



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

## **TESIS**

**“ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN  
CONCRETO  $F'C=210$  KG/CM<sup>2</sup> CON VIDRIO MOLIDO EN  
REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO PARA  
EDIFICACIONES EN LA CIUDAD DE CUSCO”**

**PRESENTADO POR:  
BACHILLER: SANDRO DANIEL VENERO SONCCO  
Para optar el título profesional de Ingeniero Civil**

**ASESOR TÉCNICO  
MGT. ING. RAUL APAZA MENESES**

**ASESOR METODOLÓGICO  
MGT. FERNANDO DIAZ ANCCO**

**CUSCO-PERU**

**2017**

## DEDICATORIA

### ***A Dios.***

*Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, por iluminar mis acciones, guiar mi camino y por la sabiduría para cumplir una meta de las muchas que quiero plantearme.*

### ***A mi madre Rosa Paulina.***

*Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.*

### ***A mi padre Mario.***

*Por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.*

### ***A mis hermanos***

*Lucio y Uriel, por su apoyo, cariño y por todos aquellos días que juntos superamos momentos y disfrutamos alegrías.*

*Sandro Daniel Venero Soncco*

## **AGRADECIMIENTOS**

*Gracias a Dios y a la vida, por haberme dado la oportunidad de tener personas maravillosas a mi lado y por permitirme culminar la carrera.*

*A mis padres por todo su apoyo incondicional y por aceptar todas las decisiones que he tomado, por la paciencia, tolerancia y respeto que me han dado al largo de mi vida.*

*A mis amigos quienes forman una parte importante de mi vida y los cuales me han brindado su apoyo.*

*A la Universidad Alas Peruanas, en especial a la Facultad de Ingeniería Civil por brindarme el conocimiento y formarme como profesional.*

*Sandro Daniel Venero Soncco*

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como propósito fundamental de mejorar la resistencia a la compresión del concreto, y tiene como objetivo principal, Analizar en qué medida la resistencia a la compresión de un concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  con vidrio molido en reemplazo parcial del agregado fino mejora la calidad del concreto para edificaciones en la ciudad de cusco.

La metodología que se utilizó para obtener los datos de análisis es el método de investigación experimental, y los resultados se obtuvieron mediante pruebas de laboratorio, para lo cual se consideró cuatro diseños de mezclas de concreto: concreto tradicional y concreto con la sustitución 5%, 10%, 15% de vidrio molido como agregado fino para mejorar la resistencia a la compresión axial.

Mediante el presente trabajo de investigación experimental, el concreto tradicional obtuvo la resistencia más alta siendo de  $230.57 \text{ kg/cm}^2$ , con respecto a los concretos modificados con la sustitución de vidrio molido en porcentajes de 5%, 10%, 15%, que alcanzaron resistencias de  $217.04 \text{ kg/cm}^2$ ,  $211.87 \text{ kg/cm}^2$ ,  $204.37 \text{ kg/cm}^2$ .

Partiendo de los resultados, se obtuvieron conclusiones; que la mejor resistencia adquirida con la sustitución de vidrio molido por agregado fino a los 28 días de curado es al 5%, con el cual se adquirió una resistencia de  $217.04 \text{ kg/cm}^2$ .

## ABSTRACT

The main purpose of this research work is to improve the compressive strength of concrete, and its main objective is to analyze to what extent the compressive strength of a concrete  $f'c = 210 \text{ kg / cm}^2$  with ground glass in replacement partial of the fine aggregate improves the quality of concrete for buildings in the city of Cusco.

The methodology used to obtain the analysis data is the experimental research method, and the results were obtained through laboratory tests, for which four designs of concrete mixtures were considered: conventional concrete and concrete with the 5% substitution, 10%, 15% of ground glass as fine aggregate to improve the axial compressive strength.

By means of the present experimental research work, the conventional concrete obtained the highest resistance being  $230.57 \text{ kg / cm}^2$ , with respect to the concrete modified with the replacement of ground glass in percentages of 5%, 10%, 15%, which reached resistances of  $217.04 \text{ kg / cm}^2$ ,  $211.87 \text{ kg / cm}^2$ ,  $204.37 \text{ kg / cm}^2$ .

Based on the results, they obtained conclusions; that the best resistance acquired with the replacement of ground glass by fine aggregate at 28 days of curing is 5%, with which it acquired a strength of  $217.04 \text{ kg / cm}^2$ .

## ÍNDICE

<b>DEDICATORIA</b>	<b>i</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>ii</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>iv</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>viii</b>
<b>ÍNDICE DE GRAFICOS</b>	<b>x</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>xi</b>
<b>CAPÍTULO I El problema de investigación</b>	<b>1</b>
1.1. Descripción del problema	1
1.2. Formulación del problema	2
1.2.1. Problema general	2
1.2.2. Problemas específicos	2
1.3. Objetivos de la investigación	2
1.3.1. Objetivo general	2
1.3.2. Objetivos específicos	3
1.4. Justificación e importancia de la investigación	3
1.4.1. Justificación académica	3
1.4.2. Justificación técnica	3
1.4.3. Justificación social	3
1.4.4. Relevancia	3
1.5. Delimitación de la investigación	4
1.5.1. Delimitación espacial	4
1.5.2. Delimitación social	4
1.5.3. Delimitación temporal	4
1.5.4. Delimitación conceptual	4
<b>CAPÍTULO II Marco teórico</b>	<b>5</b>
2.1. Antecedentes de la investigación	5
2.2. Bases teóricas	16
2.2.1. Cemento portland	16
2.2.2. Puzolana	21

2.2.3. Concreto	24
2.2.4. Agregado para el concreto	32
2.2.5. El agua	39
2.2.6. Aditivos	41
2.2.7. Vidrio	42
2.2.8. Probeta de concreto	55
2.2.9. Slump	56
2.3. Definición de términos básicos	63
2.4. Hipótesis	64
2.4.1. Hipótesis general	64
2.4.2. Hipótesis específicas	64
2.5. Variables	64
2.5.1. Variable independiente (v1)	64
2.5.2. Variable dependiente (v2)	64
2.5.3. Operacionalización de variables	64
<b>CAPÍTULO III Metodología de la investigación</b>	<b>65</b>
3.1. Tipo de investigación	65
3.1.1. Nivel de investigación	65
3.2. Método de la investigación	65
3.3. Población y muestra de la investigación	65
3.3.1. Población	65
3.3.2. Muestra de estudio	66
3.3.3. Unidad de análisis	66
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	66
3.4.1. Técnica	66
3.4.2. Instrumentos	66
3.4.3. Recolección de datos	67
3.5. Diseño de mezcla de concreto	73
3.6. Comité ACI 211	73
3.6.1. Resistencia promedio requerida ( $f'_{cr}$ )	73
3.6.2. Elección del asentamiento slump	74
3.6.3. Selección del tamaño máximo nominal del agregado	75

3.6.4. Contenido de aire	76
3.6.5. Contenido de agua	76
3.6.6. Relación a/c	77
3.6.7. Contenido de cemento	79
3.6.8. Peso del agregado grueso	79
3.6.9. Volumen absoluto	79
3.6.10. Peso del agregado fino	80
3.6.11. Presentación del diseño en estado seco	80
3.6.12. Corrección por humedad de los agregados	80
3.6.13. Aporte de agua a la mezcla	81
3.6.14. Agua efectiva	81
3.6.15. Proporcionamiento del diseño	81
3.6.16. Proporción en peso	81
3.7. Materiales utilizados y cálculo de diseño de mezcla	82
3.7.1. Cemento portland tipo IP	82
3.7.2. Agregados	82
3.8. Diseño de mezcla de concreto $f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup>	85
<b>CAPITULO IV Resultados y discusión</b>	<b>92</b>
4.1. Resultados	92
4.1.1. Promedios de rotura y desviación estándar a diferentes edades	94
4.1.2. Resultados de resistencia alcanzada durante el tiempo de curado	98
4.1.3. Promedio de las resistencias obtenidas en cada caso	102
4.2. Discusión de resultados	104
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>105</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>109</b>
<b>REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>110</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>111</b>



**ÍNDICE DE TABLAS**

<b>TABLA N° 1: Componentes del cemento portland</b>	<b>16</b>
<b>TABLA N° 2: Composición de cemento</b>	<b>18</b>
<b>TABLA N° 3: Requisitos químicos de las puzolanas</b>	<b>22</b>
<b>TABLA N° 4: Requisitos físicos de las puzolanas</b>	<b>22</b>
<b>TABLA N° 5: Propiedades físicas de la puzolana</b>	<b>24</b>
<b>TABLA N° 6: Propiedades químicas de la puzolana</b>	<b>24</b>
<b>TABLA N° 7: Propiedades resistentes</b>	<b>38</b>
<b>TABLA N° 8: Requisitos del agua</b>	<b>40</b>
<b>TABLA N° 9: Límites permisibles para agua de mezcla y de curado</b>	<b>40</b>
<b>TABLA N° 10: Relación a/c</b>	<b>41</b>
<b>TABLA N° 11: Composición – vidrios comerciales</b>	<b>49</b>
<b>TABLA N° 12: Densidad – vidrios</b>	<b>51</b>
<b>TABLA N° 13: Análisis granulométrico</b>	<b>57</b>
<b>TABLA N° 14: Requisitos granulométricos para el agregado grueso</b>	<b>58</b>
<b>TABLA N° 15: Resistencia a la</b>	<b>74</b>
<b>TABLA N° 16: Calidad de obra</b>	<b>74</b>
<b>TABLA N° 17: Asentamientos</b>	<b>75</b>
<b>TABLA N° 18: Asentamientos para varios tipos de construcción</b>	<b>75</b>
<b>TABLA N° 19: Contenido de aire</b>	<b>76</b>
<b>TABLA N° 20: Contenido de aire incorporado</b>	<b>76</b>
<b>TABLA N° 21: Contenido de agua</b>	<b>77</b>
<b>TABLA N° 22: Relación agua cemento por resistencia</b>	<b>77</b>
<b>TABLA N° 23: Relación agua cemento por durabilidad</b>	<b>78</b>
<b>TABLA N° 24: Peso para el agregado grueso</b>	<b>79</b>
<b>TABLA N° 25: Resistencia promedio</b>	<b>85</b>
<b>TABLA N° 26: Contenido de aire</b>	<b>85</b>
<b>TABLA N° 27: Contenido de agua</b>	<b>85</b>
<b>TABLA N° 28: Relación a/c</b>	<b>86</b>
<b>TABLA N° 29: Peso para el agregado grueso</b>	<b>87</b>
<b>TABLA N° 30: Proporción de diseño</b>	<b>90</b>
<b>TABLA N° 31: Corrección por absorción y humedad</b>	<b>90</b>
<b>TABLA N° 32: Proporción de mezcla</b>	<b>90</b>

<b>TABLA N° 33: Diseño de mezcla patrón <math>f'c=210</math> kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>91</b>
<b>TABLA N° 34: Diseño de mezcla <math>f'c=210</math> kg/cm<sup>2</sup> – 5% vidrio molido</b>	<b>91</b>
<b>TABLA N° 35: Diseño de mezcla <math>f'c=210</math> kg/cm<sup>2</sup> – 10% vidrio molido</b>	<b>91</b>
<b>TABLA N° 36: Diseño de mezcla <math>f'c=210</math> kg/cm<sup>2</sup> – 15% vidrio molido</b>	<b>91</b>
<b>TABLA N° 37: Resultados de resistencia a la compresión</b>	<b>92</b>
<b>TABLA N° 38: Promedios y desviación estándar del concreto patrón</b>	<b>94</b>
<b>TABLA N° 39: Promedios y desviación estándar del concreto con la sustitución de 5% de vidrio por agregado fino</b>	<b>95</b>
<b>TABLA N° 40: Promedios y desviación estándar del concreto con la sustitución de 10% de vidrio por agregado fino</b>	<b>96</b>
<b>TABLA N° 41: Promedios y desviación estándar del concreto con la sustitución de 15% de vidrio por agregado fino</b>	<b>97</b>
<b>TABLA N° 42: Promedios de resistencia a la compresión concreto patrón</b>	<b>98</b>
<b>TABLA N° 43: Promedios de resistencia a la compresión concreto con la sustitución de 5% de vidrio por agregado fino</b>	<b>99</b>
<b>TABLA N° 44: Promedios de resistencia a la compresión concreto con la sustitución de 10% de vidrio por agregado fino</b>	<b>100</b>
<b>TABLA N° 45: Promedios de resistencia a la compresión concreto con la sustitución de 15% de vidrio por agregado fino</b>	<b>101</b>
<b>TABLA N° 46: Promedio de resistencias obtenidas</b>	<b>102</b>
<b>TABLA N° 47: a.c.u concreto <math>f'c=210</math> kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>122</b>
<b>TABLA N° 48: a.c.u concreto <math>f'c=210</math> kg/cm<sup>2</sup> 5% vidrio molido</b>	<b>122</b>
<b>TABLA N° 49: a.c.u concreto <math>f'c=210</math> kg/cm<sup>2</sup> 10% vidrio molido</b>	<b>123</b>
<b>TABLA N° 50: a.c.u concreto <math>f'c=210</math> kg/cm<sup>2</sup> 15% vidrio molido</b>	<b>123</b>
<b>TABLA N° 51: a.c.u molienda de vidrio para agregado fino</b>	<b>124</b>

**ÍNDICE DE GRAFICOS**

<b>GRAFICO N° 1: Proceso de fabricación</b>	<b>17</b>
<b>GRAFICO N° 2: Estructura – vidrio</b>	<b>43</b>
<b>GRAFICO N° 3: Fabricacion del vidrio</b>	<b>46</b>
<b>GRAFICO N° 4: Clasificación del vidrio según su forma</b>	<b>50</b>
<b>GRAFICO N° 5: Estructura del vidrio</b>	<b>51</b>
<b>GRAFICO N° 6: Composición – vidrio</b>	<b>52</b>
<b>GRAFICO N° 7: Tipos de fallas</b>	<b>55</b>
<b>GRAFICO N° 8: Cono de abrams</b>	<b>56</b>
<b>GRAFICO N° 9: Estados de humedad del agregado</b>	<b>59</b>
<b>GRAFICO N° 10: Curva granulométrica agregado fino</b>	<b>83</b>
<b>GRAFICO N° 11: Curva granulométrica agregado grueso</b>	<b>84</b>
<b>GRAFICO N° 12: Curva granulométrica del vidrio como agregado fino</b>	<b>84</b>
<b>GRAFICO N° 13: Curva de resistencia a la compresión de patrón a diferentes edades</b>	<b>95</b>
<b>GRAFICO N° 14: Curva de resistencia a la compresión con la sustitución de 5% de vidrio por agregado fino</b>	<b>96</b>
<b>GRAFICO N° 15: Curva de resistencia a la compresión con la sustitución de 10% de vidrio por agregado fino</b>	<b>97</b>
<b>GRAFICO N° 16: Curva de resistencia a la compresión con la sustitución de 15% de vidrio por agregado fino</b>	<b>98</b>
<b>GRAFICO N° 17: Resistencia/curado del concreto patrón</b>	<b>99</b>
<b>GRAFICO N° 18: Resistencia/curado del concreto con la sustitución de 5% de vidrio</b>	<b>100</b>
<b>GRAFICO N° 19: Resistencia/curado del concreto con la sustitución de 10% de vidrio</b>	<b>101</b>
<b>GRAFICO N° 20: Resistencia/curado del concreto con la sustitución de 15% de vidrio</b>	<b>102</b>
<b>GRAFICO N° 21: Promedio de curvas de resistencia a la compresión</b>	<b>103</b>
<b>GRAFICO N° 22: Promedio de barras de resistencia a la compresión</b>	<b>103</b>

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación se enfoca en utilizar materiales considerados desechos, como sustituto parcial del agregado fino por vidrio molido, todo esto con el fin de reducir la contaminación ambiental que causan los desechos de los vidrios en los botaderos de basura. De este modo se dio inicio a esta investigación con la idea de sustituir porcentajes de vidrio molido por agregado fino.

Este trabajo pretende ser un aporte más al conocimiento del concreto, y específicamente está orientado al estudio de diseño de mezclas para la elaboración de un concreto utilizando el vidrio molido que reemplazara parcialmente al agregado fino.

La presente investigación, consta de cinco capítulos, los cuales han sido elaborados siguiendo los parámetros establecidos por la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Alas Peruanas.

Así mismo esta investigación estuvo conformado por el capítulo I, que contiene el problema de investigación, descripción del problema, problema general, problemas específicos, objetivo general, objetivos específicos, justificación e importancia de la investigación, delimitación de la investigación; en el capítulo II se encuentra el marco teórico, antecedentes de la investigación, bases teóricas, hipótesis y variables; el capítulo III está conformado por la metodología de la investigación, población y muestra de la investigación, técnicas e instrumentos de recolección de datos, diseño de mezcla de concreto, materiales utilizados y cálculo de diseño de mezcla, diseño de mezcla de concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ ; el capítulo IV se encuentra los resultados, discusión de resultados.

## **CAPÍTULO I El problema de investigación**

### **1.1. Descripción del problema**

El concreto es el material resultante de unir agregado grueso, agregado fino o arena, un conglomerante que puede ser cualquiera, pero generalmente es el cemento portland y agua como solvente. Estos materiales forman una mezcla que ha sido utilizado durante años por el hombre con el fin de mejorar las condiciones de las obras civiles. Hoy en día se estudia la posibilidad de agregar diferentes tipos de aditivos o sustitutos por agregados con el objeto de mejorar la resistencia de este material.

En la sociedad actual, el problema de la contaminación ambiental es incesante por la acumulación de residuos sólidos en estos últimos años debido al crecimiento poblacional, gran industrialización y poco reciclaje de materiales, que generan una elevada contaminación al medio ambiente, debido a que la mayoría de las personas utilizan espacios no adecuados para verter la basura; dentro de lo cual se encuentra el vidrio, común, utilizado para hacer ventanas, botellas, lentes, entre otros, el cual se encuentran en la basura, contribuyendo inconscientemente a la contaminación ambiental. Por ello se necesita reciclar el vidrio y darle un mejor uso y sobre todo obteniendo un beneficio del material y a la vez aminorando el impacto negativo que causan al medio ambiente.

Últimamente se han desarrollado estudios que apuntan a disminuir el impacto que genera los residuos sólidos en el medio ambiente, particularmente mediante el uso del material reciclado como agregado para la preparación de hormigones a distintos niveles, principalmente el uso de cenizas volantes, escoria de altos hornos en fundiciones de acero, desechos de vidrios, neumáticos, plásticos en general y concreto proveniente de demoliciones, entre otros.

Según el diario La República el 9% de los desechos más abundantes viene a ser el vidrio sódico cálcico, el cual es empleado en botellas, ventanas, vasos, lentes, etc., en el caso de la provincia de cusco, el Distrito que más desechos de vidrio genera viene a ser Saylla con 5.03 %, seguido de San Jerónimo con 3.77% y Wánchaq con 3.04 % (PIGARS Gobierno Regional, 2015). Además, se tiene un promedio de 2.60% de desecho de vidrio del total a nivel provincial. Por lo, cual es necesario reciclar y darle un uso productivo a este deshecho (vidrio sódico cálcico), empleándolo así en la construcción.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿En qué medida la resistencia a la compresión de un concreto  $f'c = 210$  kg/cm<sup>2</sup> con vidrio molido en reemplazo parcial del agregado fino mejora la calidad del concreto para edificaciones en la ciudad de cusco?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Cuál será la variación de la curva de resistencia a la compresión alcanzada del concreto  $f'c = 210$  kg/cm<sup>2</sup> tradicional y al sustituir vidrio molido en reemplazo parcial del agregado fino en porcentajes de 5%, 10%, 15%?
- ¿Cuál será el porcentaje adecuado de vidrio molido como agregado fino en la mezcla de concreto para edificaciones en la ciudad de cusco?

## **1.3. Objetivos de la investigación**

### **1.3.1. Objetivo general**

Analizar en qué medida la resistencia a la compresión de un concreto  $f'c = 210$  kg/cm<sup>2</sup> con vidrio molido en reemplazo parcial del agregado fino mejora la calidad del concreto para edificaciones en la ciudad de cusco.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Determinar la variación de la curva de resistencia a la compresión alcanzada del concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  tradicional y al sustituir vidrio molido en reemplazo parcial del agregado fino en porcentajes de 5%, 10%, 15%.
- Establecer el porcentaje adecuado de vidrio molido como agregado fino en la mezcla de concreto para edificaciones en la ciudad de cusco.

## **1.4. Justificación e importancia de la investigación**

### **1.4.1. Justificación académica**

La siguiente investigación se justifica académicamente porque permite aplicar las metodologías y procedimientos ya aprendidas y además normadas para la elaboración de probetas cilíndricas de concreto y obtener resultados como. La resistencia a la compresión del concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  tradicional, y la resistencia sustituyendo vidrio molido.

### **1.4.2. Justificación técnica**

En la presente investigación de tesis se realiza los ensayos de resistencia a la compresión con probetas de concreto sustituyendo vidrio molido en distintos porcentajes, así mismo rigiéndose a las normas técnicas peruanas establecidas para obtener resultados precisos y puntuales.

### **1.4.3. Justificación social**

Se justifica socialmente porque nos permite mitigar la contaminación ambiental, reduciendo el impacto negativo que causan los desperdicios de vidrios en las construcciones o demoliciones de las viviendas, colegios, centros comerciales, entre otros.

### **1.4.4. Relevancia**

#### **a) En lo teórico**

Sirve como información base para ampliar conocimientos de otros materiales para el mejoramiento a la resistencia a la compresión del concreto.

**b) En lo practico**

Nos permite conocer la resistencia a la compresión de concreto  $f'c=210\text{kg/cm}^2$  utilizando el vidrio molido producto del desperdicio de las construcciones de las viviendas, colegios, centros comerciales, así como permite reducir la contaminación ambiental.

**c) En lo metodológico**

Es un instrumento importante para ampliar conocimientos e innovar nuevas tecnologías en la ingeniería para el uso del vidrio molido como agregado fino en las mezclas de concreto.

**1.5. Delimitación de la investigación****1.5.1. Delimitación espacial**

La presente investigación sobre el estudio del comportamiento del vidrio molido como agregado fino en un concreto  $FC=210\text{KG/CM}^2$ , se desarrolla dentro de la ciudad de Cusco, Departamento del Cusco.

**1.5.2. Delimitación social**

La presente investigación tiene el objeto de reducir la contaminación que genera los residuos de vidrio en la ciudad de Cusco; teniendo un alcance para las personas naturales o jurídicas involucradas con las actividades de la construcción.

**1.5.3. Delimitación temporal**

La presente investigación tuvo una duración de aproximadamente 10 (diez) meses. De abril 2017 a enero del año 2018.

**1.5.4. Delimitación conceptual**

Esta investigación abarca conceptos como el análisis de la resistencia del concreto empleando diferentes porcentajes de vidrio molido en reemplazo del agregado fino, así como la determinación de cuál de estos porcentajes se comporta mejor a la acción de fuerzas de compresión.



## **CAPÍTULO II Marco teórico**

### **2.1. Antecedentes de la investigación**

#### **a) Internacional**

Título: **“ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE VIDRIO MOLIDO EN HORMIGONES GRADO H15, H20 Y H30”**, presentado por: CARLOS JAVIER CATALAN ARTEAGA VALDIVIA EN LA UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE, para optar el Título de Ingeniero Civil, dicho trabajo de investigación tiene por finalidad dar una perspectiva al lector, acerca de la reutilización del vidrio de desecho, como un agregado no natural en el hormigón, considerándolo como un árido más, reemplazando una cantidad controlada de arena.

Para determinar la influencia del vidrio triturado en la mezcla, se confeccionaron mezclas de hormigón de prueba, de graduación H15, H20 y H30, con porcentajes variables de vidrio en reemplazo de una fracción de la arena. Las resistencias obtenidas se comparan con la resistencia de hormigones patrones, sin adición de vidrio. Además, es de interés para este estudio, la variación producida en otras propiedades del hormigón, como la docilidad y la densidad final de la mezcla.

Los resultados muestran que el hormigón con adición de vidrio mantiene prácticamente inalterable sus propiedades, tanto en estado fresco como endurecido, observándose un ligero aumento en la resistencia de las

mezclas con un 10% de agregado de vidrio, resultado que es consistente con estudios previos, y que además confirma la hipótesis propuesta.

## **Conclusiones**

Las conclusiones de este estudio pueden abordarse desde varios puntos de interés, los cuales, en su mayoría, han sido tocados con anterioridad en alguno de los capítulos precedentes.

- Dado que la absorción de agua es prácticamente nula en el vidrio, se puede disminuir la cantidad de agua necesaria, para un determinado descenso del cono.
- La incorporación del vidrio en la mezcla de hormigón permite la reutilización de dicho material, considerando que una gran cantidad de vidrio de desecho es tirado directamente a la basura. Con esto se estaría realizando un aporte a la disminución de volúmenes de desechos sólidos acopiados en vertederos autorizados y clandestinos, además de reducir los costos asociados a la producción de hormigón, en relación a la extracción de áridos.
- El reemplazo de parte de los áridos por vidrio triturado no provoca cambios significativos en la densidad del hormigón, no se genera un aumento excesivo del peso final de las probetas, ya que el vidrio posee una densidad del mismo orden que los áridos utilizados, manteniéndose dentro del rango permitido por la norma, para los áridos utilizados en hormigones (según NCh163Of.1979 entre 2000 y 3000 kg/m<sup>3</sup>).
- El contenido de materia orgánica en el vidrio es despreciable, siempre y cuando se le dé un tratamiento adecuado de limpieza, previo a su incorporación en la mezcla de hormigón, lo que se traduce en una mayor estabilidad físico-química a reaccionar con distintos agentes presentes ya sea en el agua de amasado, o en el cemento mismo.
- Se deben establecer condiciones adecuadas para la manipulación y trituración del vidrio, teniendo especial cuidado al manejar granulometrías menores a 5mm, debido a la composición 71 del mismo, con un alto contenido de Sílice, el que al ser aspirado en grandes

cantidades puede ser nocivo para la salud, provocando en casos extremos, enfermedades como la silicosis.

- Existe una tendencia, aunque en este caso ligero, a un aumento en la resistencia del hormigón, al incluir un 10% de vidrio en la mezcla, lo que corrobora estudios anteriores referentes al tema. Al incluir un porcentaje mayor en la mezcla, se tiende a una disminución de la resistencia, lo cual se explica en la naturaleza como material frágil del vidrio, en detrimento de la ductilidad deseada en hormigones.
- Si bien, según los resultados obtenidos, no se apreció una variación significativa en la resistencia a partir de los hormigones patrones, este mismo hecho permite verificar que la inclusión de vidrio en el hormigón es completamente factible, desde el punto de vista de inalterabilidad de las características principales de este material (densidad y resistencia).
- En el proceso de triturado y manipulación del vidrio en este estudio, se pudo apreciar en el vidrio un comportamiento similar al cemento en condiciones de tamaño parecido, en presencia de humedad. En estudios anteriores respecto a este tema, se han observado propiedades puzolánicas en el polvo de vidrio, lo cual no fue objeto de este tema, pero bien puede abrir la posibilidad a estudios posteriores.
- En relación al hormigón, el vidrio posee un coeficiente de dilatación térmica menor que el concreto (entre 0,3 a 0,5 veces), lo cual es beneficioso para elemento expuestos al calor, pudiendo controlar de mejor manera la expansión y/o contracción frente a ciclos de cambios de temperatura (choques térmicos, cambios de estación, etc.)
- La fabricación de hormigón con agregado de vidrio de desecho es viable en la medida en que se disponga de suficiente material para ser procesado. Dado que la idea de este estudio se enfoca a la utilización de residuos domiciliarios principalmente, la recolección de envases de vidrio a nivel de la población juega un papel preponderante. Si bien, el reciclaje de vidrio para la elaboración de productos de este material es el destino ideal de los residuos de vidrio, la industria del concreto pareciera ofrece un buen espectro de posibilidades para su incorporación.

- Un punto que juega en contra de esta iniciativa es la inversión inicial asociada al tratamiento que requieren los residuos de vidrio, destinada a la implementación de maquinaria adecuada para el trabajo con este material, limpieza, separación de otros residuos, trituración, tamizado, etc., aunque en la actualidad existe gran variedad de productos desarrollados para la trituración de residuos.

**Título: “ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN AL EMPLEAR VIDRIO RECICLADO MOLIDO EN REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO”**, presentado por: DANIELA ALEJANDRA PEÑAFIEL CARRILLO EN LA UNIVERSIDAD TECNICA DE ABANTO - ECUADOR, para optar el Título de Ingeniero Civil, dicha investigación tuvo como objetivo brindar los resultados de un estudio a compresión de muestras cilíndricas de hormigón en cuya composición se utilizó vidrio molido por reemplazo parcial de la arena.

En primera instancia se determinaron las propiedades de los áridos a emplear, provenientes de minas de material pétreo ubicadas en el Cantón Mera, provincia de Pastaza, verificando de esa manera que el ripio y arena a usarse en la dosificación cumplen los parámetros establecidos en la norma Inen 694, una vez obtenido estos datos se realizó la recolección de botellas de vidrio resultantes de reciclaje las mismas que fueron desinfectadas evitando la presencia de impurezas que perjudiquen al hormigón; al vidrio procedente de la molienda mediante una máquina trituradora de mandíbula, se ejecutó el ensayo de granulometría correspondiente a áridos finos, comprobando que los tamaños de partícula conseguidos están dentro de los límites otorgados por ASTM C33. Con estos antecedentes se procedió al cálculo de la dosificación para un hormigón con  $f_c$  de 210 kg/cm<sup>2</sup> mediante el Método de la Densidad Máxima, consecutivamente se elaboraron 45 probetas cilíndricas de hormigón, se hicieron nueve muestras para cada porcentaje de vidrio molido añadido a la mezcla, los porcentajes usados fueron 10%, 20%, 30% y 40% de vidrio reemplazando en peso a la arena.

Las probetas fueron curadas y ensayadas a compresión a las edades de 7, 14 y 28 días, ensayando tres cilindros para cada porcentaje de vidrio

adicionado a la mezcla, esto permitió conseguir resultados de resistencia a la compresión que al compararlos se deduce que en edades tempranas (7 días) conforme se incrementa el contenido de vidrio la resistencia se ve disminuida, mientras que para las edades de 14 y 28 días el porcentaje óptimo de vidrio molido en reemplazo parcial de la arena es el 40%, obteniendo resistencias considerablemente mayores a las alcanzadas en un hormigón patrón.

De esa manera se da veracidad y factibilidad al uso de vidrio reciclado molido en reemplazo parcial de la arena en un hormigón simple de estas características, gracias a varias propiedades del vidrio el hormigón obtenido mantiene la resistencia dentro de los rangos establecidos para cada edad, mejora su resistencia a la humedad debido a la impermeabilidad del vidrio por lo tanto se vuelve más durable.

### **Conclusiones**

- Al procesar el vidrio reciclado de botellas previamente desinfectadas, mediante una máquina trituradora de mandíbula, se obtuvo un material cuya curva granulométrica permitió aceptarlo como material adecuado para la elaboración de hormigón en reemplazo parcial de la arena, debido a que la curva se encuentra dentro de los parámetros establecidos por la norma Inen 872, ajustándose a los límites mejor que la arena proveniente de la Mina Maricela en el Cantón Mera, esto se debe a que el vidrio al ser procesado de acuerdo a ciertos requerimientos permite obtener una adecuada distribución granulométrica.
- Se obtuvo un Módulo de Finura (MF) del vidrio molido de 3.226 correspondiente al límite inferior de arenas gruesas, mientras que en la arena se determinó un Módulo de 2.226 tendiendo al límite superior de arenas finas. Con esto el vidrio molido y la arena de la Mina en cuestión se complementaron adecuadamente para conformar el agregado fino en el hormigón.
- El aumento del porcentaje de vidrio que reemplaza a la arena en la mezcla puede permitir disminuir la cantidad de cemento a emplear,

debido a que el vidrio al tener mayor tamaño de partícula, su superficie específica disminuye requiriendo menor cantidad de cemento para cubrirla.

- Durante la elaboración del hormigón con los diferentes porcentajes de vidrio añadidos en reemplazo de la arena se visualizó que al incrementar el porcentaje de vidrio la trabajabilidad mejora levemente, debido a la impermeabilidad en el vidrio que deja agua, que en el caso de la arena sería mayormente absorbida. La homogeneidad se mantiene en todos los casos.
- La dosificación del hormigón fue elaborada en base a los datos obtenidos de los ensayos a los agregados como arena (Mina Maricela) y ripio (Mina Santa Isabel), donde la cantidad de agua determinada fue 193.489 Lts por cada m<sup>3</sup> de hormigón, esta cantidad se ve obligada a reducirse cuando se emplea vidrio en reemplazo de la arena, gracias a su impermeabilidad.
- La consistencia no presenta una variación significativa, sin embargo, se produce un ligero aumento del asentamiento conforme incrementa el contenido de vidrio, esto debido al agua no absorbida por el material de reciclaje. En todas las mezclas se obtuvo asentamientos dentro del rango para hormigón de 210 kg/cm<sup>2</sup> (6 a 9 cm).
- La determinación del peso específico del hormigón tanto en estado fresco como endurecido en el hormigón común y con los distintos contenidos de vidrio no mostró variaciones importantes, todos los valores se encuentran dentro del rango de 2000 a 3000 kg/m<sup>3</sup>. En cuanto al peso de las probetas no existe una diferencia al incrementar el porcentaje de vidrio, ligeramente las muestras con 40% de vidrio molido reducen su peso.
- Al analizar los resultados del ensayo de compresión a los 7 días de edad de probetas cilíndricas de hormigón ( $f_c$  210kg/cm<sup>2</sup>), se obtuvo resistencias de 157.26kg/cm<sup>2</sup> para el hormigón común, 157.24kg/cm<sup>2</sup>, 156.86kg/cm<sup>2</sup>, 155.97kg/cm<sup>2</sup> y 155.58kg/cm<sup>2</sup> al reemplazar parcialmente a la arena por vidrio molido en 10%, 20%, 30% y 40% respectivamente; La mezcla de hormigón común logró una mayor

resistencia en comparación con las que contenían vidrio alcanzando un 74.89% de la resistencia de diseño.

- En el ensayo de las probetas a los 7 días de edad se determinó que conforme se incrementa el porcentaje de vidrio la resistencia a la compresión se ve disminuida sutilmente, esto debido a que el vidrio es un material totalmente impermeable dando lugar a que la acción de adherencia con los demás componentes del hormigón se da en forma tardía y a edades tempranas por su fragilidad ocasione falla en el hormigón, sin embargo todas las muestras alcanzaron resistencias dentro de los límites establecidos.
- Las muestras cilíndricas de hormigón ensayadas a los 14 días de edad presentaron resistencias de 192.47kg/cm<sup>2</sup> para el hormigón común, mientras que en las que contenían vidrio se obtuvo 175.77kg/cm<sup>2</sup>, 164.48kg/cm<sup>2</sup>, 192.66kg/cm<sup>2</sup> y 215.23kg/cm<sup>2</sup>, para los porcentajes de 10% - 20% - 30% y 40% de vidrio molido respectivamente. Todas las probetas adquirieron la resistencia requerida, con excepción del hormigón elaborado con 20% de arena que obtuvo un 1.68% de error en cuanto a la resistencia requerida a esta edad; esto debido a que durante el ensayo existió un cilindro cuyo diámetro sobrepasaba la capacidad de los cabezales de neopreno, por lo cual se lo ensayo usando placas, esto dio como resultado un valor considerado absurdo, que para efecto de análisis fue descartado.
- Las muestras ensayadas a los 14 días manifiestan que mientras se aumenta el contenido de vidrio molido como reemplazo de la arena la resistencia se reduce ligeramente hasta la mezcla que contiene 20% de vidrio, a partir de aquí se produce un aumento de la resistencia hasta alcanzar el 102.5% de la resistencia de diseño con un 40% de vidrio añadido.
- El ensayo de compresión a los 28 días de edad arrojó los siguientes resultados de resistencia 227.73kg/cm<sup>2</sup>, 224.09kg/cm<sup>2</sup>, 223.66kg/cm<sup>2</sup>, 221.68kg/cm<sup>2</sup> y 234.76kg/cm<sup>2</sup>, para adición de vidrio molido del 0% - 10% - 20% - 30% y 40% respectivamente. Verificando así que todas alcanzaron la resistencia de diseño.

- A los 28 días las muestras ensayadas permiten determinar que las mezclas cuyo porcentaje de vidrio añadido en reemplazo parcial de la arena es de 10, 20 y 30% alcanzan una resistencia ligeramente menor a la resistencia obtenida con las probetas de hormigón común, mientras que en el hormigón elaborado con 40% de vidrio en reemplazo de la arena se obtuvo una resistencia mayor a la del hormigón patrón, logrando 111.8% de la resistencia de diseño.
- Como se presenta en la Gráfica N°23, las curvas de las mezclas con un 30% y 40% de vidrio molido añadido en reemplazo parcial de la arena tienen la forma característica de la curva Edad vs Resistencia Relativa a la Compresión del Hormigón común, donde el incremento de resistencia es mayor en las primeras edades y va ralentizándose con el paso del tiempo hasta estabilizarse. Para las curvas correspondientes a las mezclas con 10% y 20% de vidrio el proceso de incremento de resistencia con la edad es relativamente lento; sin embargo, cabe mencionar que todas las mezclas sobrepasaron el  $f_c$  de diseño, alcanzado a los 28 días de edad.
- Se evidencia tras los análisis que el porcentaje óptimo que mejora la resistencia al interactuar químicamente con el cemento es el 40% de vidrio molido en peso reemplazando a la arena, siendo éste el que permite obtener mayores resistencias a edades a partir de los 14 días donde se empiezan a dar las reacciones. Esto ocurre debido a que llega un punto donde el vidrio molido cumple la función de reemplazar parcialmente a la arena y adicionalmente como lo menciona Parviz Soroushian, profesor de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad Estatal de Michigan en las investigaciones sobre un hormigón con aproximadamente 20% del cemento sustituido con vidrio reciclado molido, “El vidrio molido entra en una reacción beneficiosa con los hidratos del cemento, así que básicamente la química del cemento se mejora con el vidrio” “Se hace más fuerte y más durable y no absorbe el agua tan rápido como el cemento” [29], de aquello se deduce que el 40% de vidrio contenido en la mezcla es el punto de partida para mejorar las características del hormigón, con considerables incrementos de



resistencia debidos a las propiedades mecánicas, al tamaño, a la composición (propiedades puzolánicas) y geometría del vidrio.

- El incremento de resistencia se da con la edad debido a que al usar el vidrio molido este sigue el mismo fenómeno físico de endurecimiento que el cemento, sus partículas se hidratan progresivamente. Inicialmente de manera superficial, y desde ahí el endurecimiento continúa hasta llegar al núcleo de las partículas.
- El empleo de vidrio molido en la elaboración de hormigón ofrece algunas ventajas y beneficios como reducir la materia orgánica, que en el caso de la arena empleada en el estudio está presente al ser un material proveniente del lecho del río Pastaza, las impurezas se pueden reducir en el vidrio reciclado al darle un adecuado tratamiento de desinfección, proporcionando mejor reacción con los distintos componentes como el cemento y el agua; Mejora la resistencia a la humedad otorgándole al hormigón mayor durabilidad.
- Se observó las características físicas de las probetas cilíndricas luego de ser curadas y antes de ensayarlas, las mismas que presentaron una mínima porosidad, el color se mantuvo similar para todas las muestras con los distintos porcentajes de vidrio añadido. En cuanto al peso se obtuvo una mínima diferencia con el incremento de vidrio, notándose que al incorporar 40% de vidrio molido por arena en peso, se obtiene un menor peso respecto a los demás porcentajes, demostrando que a mayor cantidad de vidrio existe un mejor secado en las muestras.
- Una vez ensayados los cilindros se pudo identificar las fallas más características, generalmente se dan desprendimientos en los extremos superior e inferior a causa de un inadecuado tratamiento de las caras de los cilindros, lo señalado se puede evitar realizando un cabeceo con mortero de azufre siguiendo la norma ASTM C 617 o colocando almohadillas no adherentes de neopreno según la norma ASTM C 1231; Otra falla frecuente se da por los esfuerzos de compresión debidos al ensayo, los que provocan fisuras verticales y de adherencia entre el agregado grueso y el mortero, para disminuir lo mencionado es necesario un correcto llenado de los moldes cilíndricos, los mismos que deben ser normalizados, y proporcionar un curado que dé continuidad al

proceso de hidratación del cemento mejorando la durabilidad, resistencia y estabilidad volumétrica; En algunos casos se presentaron fisuras inclinadas originadas por esfuerzos de corte.

- Se identificó luego de ensayadas las probetas que la adherencia entre los componentes pasta – ripio – arena – vidrio se ve incrementada con la edad del hormigón.
- Se concluye que la elaboración de hormigón simple con  $f'c = 210$  kg/cm<sup>2</sup> empleando vidrio reciclado molido en reemplazo parcial del agregado fino es una posibilidad viable tanto estructuralmente como para beneficio del medio ambiente.

## **b) Nacional**

**Título: “EFECTO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AL REEMPLAZAR PORCENTUALMENTE CEMENTO POR VIDRIO MOLIDO LAS MEZCLAS DE HORMIGÓN”**, presentado por: GUILLERMO ANDERSON TEJADA ROMERO EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA, para optar el Título de Ingeniero Civil, dicha investigación tiene como propósito fundamental determinar la proporción óptima de vidrio molido (15%, 20%, 25%) que reemplaza al cemento en las mezclas de hormigón, y genera mejor resistencia a compresión. Se realizaron ensayos en el laboratorio conforme lo establece la normatividad vigente como: NTP, ACI, ASTM, AASHTO, que rigen los procedimientos y materiales que se deben utilizar para obtener mejores resultados. Con las características y propiedades físicas de los agregados de la Cantera Aguilar, obtenidas en el laboratorio de materiales de la Universidad Nacional de Cajamarca, se realizó un diseño de mezclas de hormigón mediante el Método de Finura de la Combinación de Agregados, a la cual fue designada como mezcla patrón. Se elaboraron 6 probetas, con las proporciones de: 0% (mezcla patrón), 15%, 20%, 25% de vidrio molido en reemplazo de cemento, dichas probetas ensayadas a las edades de 7, 14, 28 días, las cuales hicieron un total de 72 probetas.

Los resultados de resistencia a compresión en promedio, obtenidos de la ruptura de las probetas a la edad de 7 días mostraron lo siguiente: los

especímenes con 15%, 20%, 25% de vidrio molido en reemplazo de cemento, alcanzaron el 75.42%, 91.34%, 83.71% con respecto al hormigón patrón (100%). De las probetas ensayadas a la edad de 14 días mostraron que: los especímenes con 15%, 20%, 25% de vidrio molido en reemplazo de cemento, alcanzaron el 74.69%, 93.31%, 79.41%, con respecto al hormigón patrón (100%).

Por último, las probetas ensayadas a la edad de 28 días mostraron que: los especímenes con 15%, 20%, 25% de vidrio molido en reemplazo de cemento, alcanzaron el 77.91%, 96.15%, 79.91%. De este resultado se concluye que la proporción que ofrece mejores resultados es con 20% de vidrio en reemplazo de cemento, en todas las edades de ruptura, cabe destacar que dicho tratamiento, no logra superar a la mezcla patrón, y a medida que incrementa la adición de vidrio, aumenta la fluidez de la mezcla.

### **Conclusiones**

- Se determinaron las características físico-mecánicas del agregado fino y grueso.
- La resistencia a compresión de las probetas con los diferentes tratamientos fue determinada.
- Los resultados de las distintas dosificaciones o tratamientos fueron analizados.
- De los resultados obtenidos se concluye que la mezcla con 20% de vidrio molido en reemplazo de cemento logra superar a los otros dos tratamientos con 15%, 25% de vidrio molido en reemplazo de cemento, pero no a la mezcla patrón; en resistencia a la compresión a las diferentes edades ensayadas.
- En estado fresco, de las mezclas elaboradas se determinó que la adición de vidrio molido es directamente proporcional a la fluidez de la misma.
- La fabricación de hormigón con vidrio de desecho molido es viable en la medida en que se disponga de suficiente material para ser procesado.
- Dado que la idea de este estudio se enfoca a la utilización de residuos domiciliarios principalmente, la recolección de envases de vidrio a nivel de la población juega un papel preponderante.

- La hipótesis planteada en este estudio queda demostrada que no es válida.

## 2.2. Bases teóricas

### 2.2.1. Cemento portland

El cemento portland es un producto comercial de fácil adquisición el cual cuando se mezcla con agua, ya sea solo en combinación con arena, piedra u otros materiales similares, tiene la propiedad de reaccionar lentamente con el agua hasta formar una masa endurecida. Esencialmente es un Clinker finamente molido, producido por la cocción a elevadas temperaturas, de mezclas que contienen cal, alúmina, fierro y sílice en proporciones determinadas. (ABANTO CASTILLO)

Según la Norma Técnica Peruana NTP 334.009, el cemento Portland es un cemento hidráulico producido mediante la pulverización del Clinker compuesto esencialmente por silicatos de calcio hidráulicos y que contiene generalmente una o más de las formas sulfato de calcio como adición durante la molienda, es decir.

Cemento portland = Clinker portland + Yeso

**TABLA N° 1: Componentes del cemento portland**

Porcentaje	Componentes	Procedencia usual
95%	Oxido de calcio (CaO) 50 – 75%	Rocas Calizas
	Oxido de sílice (SiO <sub>2</sub> ) 15 – 30%	Areniscas
	Oxido de aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) 5 – 15%	Piedras Arcillosas
	Oxido de fierro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) 5 – 15%	Arcillas, Minerales de hierro, Pirita
5%	Oxido de magnesio, sodio	Minerales Varios
	Potasio, Titanio, Azufre	
	Fosforo y Magnesio	

Fuente: <http://ingcivil.org>

#### a. El Clinker portland

Es un producto semi acabado de forma de piedras negruzcas de tamaños de ¾" aproximadamente, obtenido de la calcinación de una mezcla de materiales calcáreos y arcillosos en proporciones convenientes, hasta

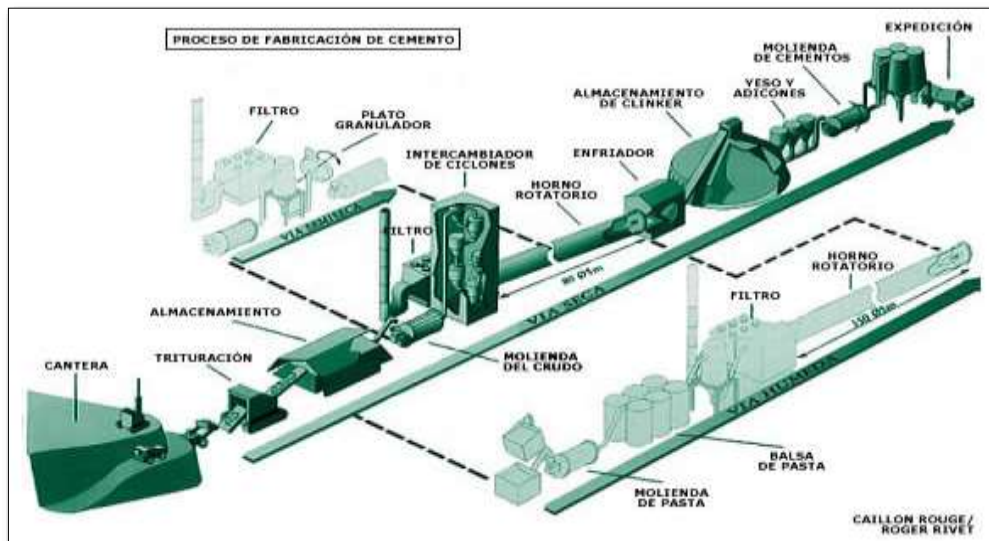
llegar a una fusión incipiente (Clinkerización) a 1450 °C. Está compuesto químicamente por Silicatos de calcio, aluminatos de calcio, ferro aluminatos de calcio y otros en pequeñas cantidades, los cuales se forman por la combinación del Óxido de Calcio (CaO) con los otros óxidos: dióxido de silicio (SiO<sub>2</sub>), óxido de aluminio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) y óxido férrico (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). (CURSO BASICO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO UNI)

### b. Fabricación del cemento portland

Las materias primas, finamente molidas e íntimamente mezcladas, se calientan hasta principio de la fusión (1400 – 1450°C), usualmente en grandes hornos giratorios, que puedan llegar a medir más de 200 metros de longitud y 5.50 metros de diámetro.

Al material parcialmente fundido que sale del horno se le denomina “Clinker” (pequeñas esferas de color gris negruzco, duras y de diferentes tamaños). El Clinker enfriado y molido a polvo muy fino, es lo que constituye el cemento portland comercial. Durante la molienda se agrega una pequeña cantidad de yeso (3 o 4%), para regular la fragua del cemento. (ABANTO CASTILLO)

**GRAFICO N° 1: Proceso de fabricación**



*Fuente: caillon rouge/ Roger Rivet*

### c. Composición del cemento portland

Luego del proceso de formación del Clinker y molienda final, se obtienen los componentes principales del cemento, que son cuatro y los que a su vez definen el comportamiento del cemento hidratado.

- **Silicato Tricálcico ( $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 > \text{C}_3\text{S} > \text{Alita}$ ):** El cual se confiere su resistencia inicial e influye directamente en el calor de hidratación.
- **Silicato Bicalcico ( $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 > \text{C}_2\text{S} > \text{Belita}$ ):** El define la resistencia a largo plazo y no tiene tanta incidencia en el calor de hidratación.
- **Aluminato Tricálcico ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{C}_3\text{A}$ ):** Es un catalizador en la reacción de los silicatos y ocasiona un fraguado violento. Para retrasar este fenómeno es preciso añadirle yeso durante la fabricación de cemento.
- **Aluminato – Férrico Tricálcico ( $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{C}_4\text{AF} > \text{Celita}$ ):** influye en la velocidad de hidratación y secundariamente en el calor de hidratación.
- **Componentes Menores:** Oxido de magnesio, potasio, sodio manganeso y titanio.

**TABLA N° 2: Composición de cemento**

Nombre	Formula	Formula de óxidos	Porcentaje
Silicato dicalcico	$\text{Ca}_2\text{SiO}_4$	$\text{SiO}_2 \cdot 2\text{CaO}$	32%
Silicato tricalcico	$\text{Ca}_3\text{SiO}_5$	$\text{SiO}_2 \cdot 3\text{CaO}$	40%
Aluminato tricálcico	$\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaO}$	10%
Ferro aluminato tetra cálcico	$\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{Fe}_2\text{O}_{10}$	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{CaO}$	9%
Sulfato de calcio	$\text{CaSO}_4$		2 – 3%

*Fuente: [ing.unne.edu.ar/pub/quimicacemento.pdf](http://ing.unne.edu.ar/pub/quimicacemento.pdf)*

### d. Mecanismo de hidratación del cemento portland

Se denomina hidratación al conjunto de reacciones químicas entre el agua y los componentes del cemento, que llevan consigo el cambio del estado plástico al endurecido, con las propiedades inherentes a los nuevos productos formados.

La velocidad con que se desarrolla la hidratación es directamente proporcional a la finura del cemento e inversamente proporcional al tiempo, por lo que inicialmente es muy rápida y va disminuyendo paulatinamente en los transcurso de los días, aunque nunca se llega a detener. (PASQUEL CARVAJAL, 1998)

Contrariamente a lo que se creía hace años, la reacción con el agua no une las partículas de cemento, sino que cada partícula se dispersa en millones de partículas de productos de hidratación desapareciendo los constituyentes iniciales. El proceso es exotérmico generando un flujo de calor hacia el exterior denominado calor de hidratación. (PASQUEL CARVAJAL, 1998)

Dependiendo de la temperatura, el tiempo, y la relación entre la cantidad de agua y cemento que reaccionan, se pueden definir los siguientes estados que se han establecido de manera arbitraria para distinguir las etapas del proceso de hidratación:

- **Plástico.** - Unión del agua y el polvo de cemento formando una pasta moldeable. Cuanto menor es la relación Agua/Cemento, mayor es la concentración de partículas de cemento en la pasta compactada y por ende la estructura de los productos de hidratación es mucho más resistente. (PASQUEL CARVAJAL, 1998)
- **Fraguado inicial.** - Condición de la pasta de cemento en que se aceleran las reacciones químicas, empieza el endurecimiento y la pérdida de la plasticidad, midiéndose en términos de la resistencia a deformarse. Es la etapa en que se evidencia el proceso exotérmico donde se genera el ya mencionado calor de hidratación, que es consecuencia de las reacciones químicas descritas.

Se forma una estructura porosa llamada gel de Hidratos de Silicatos de Calcio (CHS Torbemorita), con consistencia coloidal intermedia entre sólido y líquido que va rigidizándose cada vez más en la medida que se siguen hidratando los silicatos. Este período dura alrededor de tres horas y se producen una serie de reacciones

químicas que van haciendo al gel CHS más estable con el tiempo. (PASQUEL CARVAJAL, 1998)

- **Fraguado Final.** - Se obtiene al término de la etapa de fraguado inicial, caracterizándose por endurecimiento significativo y deformaciones permanentes. La estructura del gel está constituida por el ensamble definitivo de sus partículas endurecidas. (PASQUEL CARVAJAL, 1998)
- **Endurecimiento.** -Se produce a partir del fraguado final y es el estado en que se mantienen e incrementan con el tiempo las características resistentes. La reacción predominante es la hidratación permanente de los silicatos de calcio, y en teoría continúa de manera indefinida.

Es el estado final de la pasta, en que se evidencian totalmente las influencias de la composición del cemento. Los sólidos de hidratación manifiestan su muy baja solubilidad por lo que el endurecimiento es factible aún bajo agua. (PASQUEL CARVAJAL, 1998)

#### **e. Tipos de cemento**

Los cementos portland, se fabrican en cinco tipos cuyas propiedades se han normalizado sobre la base de la especificación ASTM de normas para el cemento portland (C – 150). (ABANTO CASTILLO).

TIPO I: Es el cemento destinado a obras de concreto en general, cuando en las mismas no se especifica la utilización de los otros 4 tipos de cemento.

TIPO II: Es el cemento destinado a obras de concreto en general y obras expuestas a la acción moderada de sulfatos o donde se requiere moderado calor de hidratación.

TIPO III: Es el cemento de alta resistencia inicial. El cemento hecho con el cemento tipo III desarrolla una resistencia en tres días igual a la desarrollada en 28 días por concretos hechos con cemento tipo I o tipo II.

TIPO IV: Es el cemento del cual se requiere bajo calor de hidratación.



TIPO V: Es el cemento del cual se requiere alta resistencia a la acción de los sulfatos. Las aplicaciones típicas comprenden las estructuras hidráulicas expuestas a aguas con alto contenido de álcalis y estructuras expuestas al agua de mar.

#### **propiedades generales del cemento**

- ✓ Resistencia a temperaturas elevadas
- ✓ Buena resistencia al ataque químico
- ✓ Resistencia inicial elevada que disminuye con el tiempo.

#### **2.2.2. Puzolana**

La norma ASTM C 618 y NTP 334.090 define a la puzolana de la siguiente manera. “Es un material silíceo o silico – aluminoso, que finalmente dividido y en presencia de agua reacciona químicamente con el hidróxido de calcio para formar compuestos que poseen propiedades hidráulicas”. Las puzolanas se clasifican en puzolanas naturales y puzolanas artificiales.

Según la NTP 334.104 y ASTM C 618 (cementos. Adicionales minerales del concreto: puzolana natural cruda o calcinada y ceniza volante. Especificaciones). Definen tres clases de cenizas volantes:

CLASE F: ceniza volante producidas por la calcinación de carbón antártico o bituminoso. Cenizas que poseen propiedades puzolánicas.

CLASE N: puzolanas naturales crudas o calcinadas, tal como las diatomitas, tufos y cenizas volcánicas, calcinadas o sin calcinar, y materiales que requieren de calcinación para inducir propiedades satisfactorias.

CALSE C: ceniza volante producida por la calcinación de carbón sub-bituminoso o lignito. Esta clase de ceniza además de tener propiedades puzolánicas, también tiene propiedades cementicias.

TABLA N° 3: Requisitos químicos de las puzolanas

Composición química	Clase de n	Adición f	Mineral c
Dióxido de silicio + oxido de aluminio + oxido de fierro, Min, %.	70.0	70.0	50.0
Trióxido de azufre (SO <sub>3</sub> ), Max, %	4.0	5.0	5.0
Contenido de humedad, Max, %	3.0	3.0	3.0
Perdida por calcinación, Max, %	10.0	6.0	6.0

Fuente: *ing. Rosaura Vásquez, curso de posgrado – tecnología de la construcción*

TABLA N° 4: Requisitos físicos de las puzolanas

Requisitos	Clase de n	Adición f	Mineral c
Fineza: Cantidad retenida en el tamizado vía húmeda en la malla de 45 um (N° 325), máx., %	34	34	34
Índice de actividad resistente Con cemento portland, a 7 días, min. ,% Con cemento portland, a 28 días, min. ,%	75 75	75 75	75 75
Demanda de agua, máx. % del control	115	105	105
Estabilidad Expansión, contracción en autoclave, máx.%	0.8	0.8	0.8
Requisitos de uniformidad	5	5	5
Densidad, máxima variación del promedio, % porcentaje retenido en 45 um (N°325), variación Max. Puntos de % del promedio	5	5	5

Fuente: *ing. Rosaura Vásquez, curso de posgrado – tecnología de la construcción*

### a. Tipos de puzolana

#### Puzolanas naturales

- **Cenizas volcánicas**, se forman por erupciones de carácter explosivo, en pequeñas partículas que son templadas a temperatura ambiente, originando la formación de este vítreo.
- **Tufos o tobas volcánicos (zeolitas)**, producto de la acción hidrotermal sobre las cenizas volcánicas y de su posterior cementación diagenética.

- **Tierras de diatomeas (diatomitas)**, puzolanas de origen orgánico. Depósitos de caparzones silíceos de microscópicas algas acuáticas unicelulares (diatomeas).

### **Puzolanas artificiales**

Las puzolanas artificiales son sub-productos industriales y materiales tratados térmicamente y se clasifican de la siguiente forma.

- **Cenizas volantes (fly ash)**, subproducto de centrales termoeléctricas que utilizan carbón pulverizado como combustible. Se separan de los gases de combustión por precipitación mecánica o electrostática. Polvo fino constituido esencialmente de partículas esféricas ( $\varnothing=1$  a 100  $\mu\text{m}$ ).
- **Arcillas activadas térmicamente**, las arcillas naturales no presentan actividades puzolánicas a menos que su estructura cristalina sea destruida mediante un tratamiento térmico a temperaturas de orden de 600 a 900°C.
- **Escorias de fundición**, principalmente de la fundición de aleaciones ferrosas en altos hornos. Estas escorias deben ser violentamente enfriadas para lograr que adquieran una estructura amorfa.
- **Cenizas de residuos agrícolas**, la ceniza de cascarilla de arroz, ceniza del bagazo y la paja de caña de azúcar. Cuando son quemados convenientemente, se obtiene un residuo mineral rico en sílice y alúmina, cuya estructura depende de la temperatura de combustión.

### **b. Propiedades de las puzolanas**

Las propiedades de las puzolanas dependen de la composición química y la estructura interna. Se prefiere puzolanas con composición química tal que la presencia de los tres principales óxidos ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}_3$ ) sea mayor del 70%. Se trata que la puzolana tenga una forma amorfa.

**TABLA N° 5: Propiedades físicas de la puzolana**

Ph	7
Punto de fusión	800° - 900°C
Punto de inflamabilidad	No inflamable
Aspecto físico	Sólido
Forma	Granulado o en rocas
Colores	Rojizo – rosado o negro
Olor	Inodora
Solubilidad en agua	Insoluble

*Fuente: Carrasco Flores, Quintanilla Cuellar 2015*

**TABLA N° 6: Propiedades químicas de la puzolana**

Elemento	Porcentaje sobre la masa total (%)
Dióxido de silicio (SiO <sub>2</sub> )	65%
14%Óxido de aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	14%
Oxido de calcio (CaO)	5%
Oxido férrico	4%
Oxido de potasio (K <sub>2</sub> O)	3%
Otros óxidos (**)	9%

*Fuente: Carrasco Flores, Quintanilla Cuellar 2015*

### 2.2.3. Concreto

El concreto es una mezcla de cemento portland, agregado fino, agregado grueso, aire y agua en proporciones adecuadas para obtener ciertas propiedades prefijadas, especialmente la resistencia.

Concreto = Cemento portland + Agregados + Aire + Agua

El cemento y el agua reaccionan químicamente uniendo las partículas de los agregados, constituyendo un material heterogéneo. Algunas veces se añaden ciertas sustancias llamadas aditivos, que mejoran o modifican algunas propiedades del concreto (ABANTO CASTILLO).

El concreto es un material durable y resistente, pero dado que este trabaja en su forma líquida, prácticamente puede adquirir cualquier forma.

Siendo los elementos que conforman el concreto (I.C.G, 2016)

- **Elementos activos:** cemento + arena + piedra + agua + aditivo (opcional)
- **Elementos pasivos:** aire

Proporción del concreto en cuanto al volumen (I.C.G, 2016)

- **Aditivo:** 0.1% - 0.2%
- **Aire:** 0.1% - 0.3%
- **Cemento:** 7% - 15%
- **Agua:** 15% - 22%
- **Agregados:** 60% - 75%

#### **a. Etapas principales de la producción para un buen concreto**

**Dosificación.** La dosificación consiste en la medición por masa o volumen de los componentes del concreto. Este proceso se debe dar para obtener un concreto de buena calidad, generalmente la medida debe estar dada en masa, debido a que la mayoría de estos pueden ser medidos con mayor precisión en esta unidad.

**Mezclado.** El mezclado del concreto tiene por finalidad cubrir la superficie de los agregados con la pasta del cemento, produciendo una masa homogénea. Por otro lado, hay 3 maneras de preparar la mezcla las cuales son:

**MEZCLADO ESTACIONARIO.** - es el mezclado producido in situ, es decir, en el mismo lugar en donde se vaciará.

**CONCRETO PREMEZCLADO.** - Se denomina así al concreto preparado en planta, en instalaciones fijas y transportado hasta el lugar de utilización por camiones mezcladores o agitadores, según sea el caso.

**CONCRETO MEZCLADO EN DOSIFICADORA MÓVIL.** - las mezcladoras móviles son camiones los cuales dosifican por Volumen.

**Transporte.** Las exigencias básicas de un buen transporte son:

No debe ocurrir segregación, es decir separación de los componentes del concreto. La segregación ocurre cuando se permite que parte del concreto se mueva más rápido que el concreto adyacente. Por ejemplo, los traqueteos de las carretillas con ruedas metálicas tienden a producir que el agregado más grande se hunda mientras que la lechada hacienda

a la superficie, cuando se suelta el concreto desde una altura mayor el efecto es semejante.

No debe ocurrir pérdidas materiales, especialmente de la pasta de cemento.

La capacidad de transporte debe estar coordinado con la cantidad de concreto a colocar, debiendo ser suficiente para impedir la ocurrencia de juntas frías.

- **Colocación.** El concreto deberá ser colocado tan cerca como sea posible de su ubicación final, a fin de evitar segregación debido al remanipuleo o flujo. El concreto no deberá ser sometido a ningún procedimiento que pueda originar segregación.
- **Consolidación.** El mejor sistema actualmente conocido para la consolidación es la vibración. La vibración por sí mismo, no hace al concreto más fuerte, ni más resistente a los agentes externos, pero permite el uso de mezclas más secas y menos trabajables.
- **Curado.** El curado es un proceso que consiste en mantener húmedo al concreto por varios días después de su colocación, con el fin de permitir la reacción química entre el cemento y el agua (hidratación del cemento)

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 una exudación mínima.
- La mezcla endurecida deberá tener las propiedades específicas en función del empleo que se va a dar a la estructura.
- El costo de la unidad cubica de concreto endurecido deberá ser el mínimo compatible con la calidad deseada.

## b. Tipos de concreto

**Concreto simple.** Es una mezcla de cemento portland, agregado fino, agregado grueso y agua. En la mezcla el agregado grueso deberá estar totalmente envuelto por la pasta de cemento, el agregado fino deberá rellenar los espacios entre el agregado grueso y a la vez estar recubierto por la misma pasta. (ABANTO CASTILLO)

Cemento + agregado grueso + agregado fino + agua = concreto simple

**Concreto ciclópeo.** Se denomina así al concreto simple que esta complementado con piedras desplazadores de tamaño máximo de 10", cubriendo hasta el 30% como máximo, del volumen total. Las piedras deben ser introducidas previa selección y lavado, con el requisito indispensable de que cada piedra, en su ubicación definitiva debe estar totalmente rodeada de concreto simple. (ABANTO CASTILLO)

Concreto simple + piedra desplazadora = concreto ciclópeo

**Concreto armado.** se le denomina así al concreto simple cuando este lleva armaduras de acero como refuerzo y que está diseñada bajo la hipótesis de que los materiales trabajan conjuntamente, actuando la armadura para soportar los esfuerzos de tracción o incrementar la resistencia a la compresión del concreto. (ABANTO CASTILLO)

Concreto simple + armaduras = concreto armado

**Concreto estructural.** Se denomina así al concreto simple, cuando este es dosificado, mezclado, transportado y colocado, de acuerdo a las especificaciones precisas, que garanticen una resistencia mínima preestablecida en el diseño y una durabilidad adecuada. (ABANTO CASTILLO)

**Concretos livianos.** Son preparados con agregados livianos y su peso unitario varía desde 400 a 1700 kg/m<sup>3</sup>. (ABANTO CASTILLO)

**Concreto normales.** Son preparados con agregados corrientes y su peso unitario varia 2300 a 2500 kg/m<sup>3</sup>. Según el tamaño máximo del agregado. El peso promedio es de 2400 g/m<sup>3</sup>. (ABANTO CASTILLO)

**Concretos pesados.** Son preparados utilizando agregados pesados, alcanzando el peso unitario valores entre 2800 a 6000 kg/m<sup>3</sup>. Generalmente se usan agregados como las baritas, minerales de fierro como la magnetita, limonita y hematita. También agregados artificiales como el fosforo de hierro y partículas de acero. La aplicación principal de los concretos pesados la constituye la protección biológica contra los efectos de las radiaciones nucleares. También se utiliza en las paredes de bóveda y cajas fuertes, en pisos industriales y en la fabricación de contenedores para desechos radioactivos. (ABANTO CASTILLO)

**Concreto premezclado.** Es el concreto que se dosifica en planta, que puede ser mezclado en la misma o en camiones mezcladores y que es transportado a obra. (ABANTO CASTILLO)

**Concreto prefabricado.** Elementos de concreto simple o armado fabricados en una ubicación diferente a su posición final en la estructura. (ABANTO CASTILLO)

**Concreto bombeado.** Concreto que es impulsado por bombeo, a través de tuberías hacia su ubicación final. (ABANTO CASTILLO)

### c. Propiedades del concreto en estado plástico – fresco

**Trabajabilidad:** Es la facilidad que presenta el concreto fresco para ser mezclado, colocado, compactado y acabado sin segregación y exudación durante estas operaciones.

No existe prueba alguna hasta el momento que permita cuantificar esta propiedad generalmente se le aprecia en los ensayos de consistencia. (ABANTO CASTILLO)

**Consistencia:** Esta definida por el grado de humedecimiento de la mezcla, depende principalmente de la cantidad de agua usada. (ABANTO CASTILLO)

**Segregación:** Es una propiedad del concreto fresco, que implica la descomposición de este en sus partes constituyentes o lo que es lo mismo, la separación del agregado grueso del mortero. Las diferencias de



densidades entre los componentes del concreto provocan una tendencia natural a que las partículas más pesadas desciendan.

Es un fenómeno perjudicial para el concreto, produciéndose en el elemento llenado, bolsones de piedra, capas arenosas, cangrejeras, etc.

La segregación está en función de la consistencia de la mezcla, siendo el riesgo mayor cuando más húmeda es esta, y menor cuando más seca lo es. Generalmente procesos inadecuados de manipulación y colocación son las causas del fenómeno de segregación en las mezclas. (ABANTO CASTILLO)

**Exudación:** Propiedad por la cual una parte del agua de mezcla se separa de la masa y sube hacia la superficie del concreto. Es un caso típico de sedimentación en que los sólidos se asientan dentro de la masa plástica. El fenómeno está gobernado por las leyes físicas del flujo de un líquido en un sistema capilar, antes que el efecto de la viscosidad y la diferencia de densidades. Esta influencia por la cantidad de finos en los agregados y la finura del cemento, por lo que cuanto más fina es la molienda de este y mayor es el porcentaje de material menor que el de la malla N° 100, la exudación será menor pues se retiene en el agua de la mezcla. La exudación se produce inevitablemente en el concreto, pues es una propiedad inherente a su estructura, luego lo importante es evaluarla y controlarla en cuanto a los efectos negativos que pudiera tener. (PASQUEL CARVAJAL, 1998)

**Contracción:** Es una de las propiedades más importantes en función de los problemas de figuración que acarrea con frecuencia. Ya hemos que la pasta de cemento necesariamente se contrae debido a la reducción de volumen original de agua por combinación química, y a esto se le llama contracción intrínseca que es un proceso irreversible. Pero además existe otro tipo de contracción inherente también a la pasta de cemento y es llamada contracción por secado, que es la responsable de la mayor parte de los problemas de figuración, dado que ocurre en el estado plástico como en el endurecido si se permite la pérdida de agua en la mezcla. Este proceso no es irreversible, ya que, si se repone el agua perdida por

secado, se recupera gran parte de la contracción acaecida. (PASQUEL CARVAJAL, 1998)

#### **d. Propiedades del concreto en estado endurecido**

**Elasticidad:** En general, es la capacidad del concreto de deformarse bajo carga, sin tener deformación permanente. El concreto no es un material estrictamente hablando, ya que no tiene un comportamiento lineal en ningún tramo de su diagrama carga vs deformación en compresión.

Sin embargo, convencionalmente se acostumbra a definir un “Modulo de elasticidad estático” del concreto mediante una recta tangente a la parte inicial del diagrama, o una recta secante que une el origen del diagrama con un punto establecido que normalmente es un % de tensión ultima.

Conceptualmente, las mezclas más ricas tienen módulos de elasticidad mayores y mayor capacidad de deformación que las mezclas pobres. La norma que establece como determinar el módulo de elasticidad estático del concreto es la ASTM C – 469. (PASQUEL CARVAJAL, 1998)

**Resistencia:** Es la capacidad de soportar cargas y esfuerzos, siendo su mejor comportamiento en compresión con la tracción, debido a las propiedades adherentes de la pasta de cemento. Depende principalmente de concentración de la pasta de cemento, que se acostumbra a expresar en términos de la relación agua/cemento en peso. La afectan además los mismos factores que influyen en las características resistentes de la pasta, como son la temperatura y el tiempo, aunados a otros elementos adicionales constituidos por el tipo de características resistentes del cemento en particular que se use y la calidad de los agregados, que contemplan la estructura del concreto. (PASQUEL CARBAJAL, 1998).

**Extensibilidad:** Es la propiedad del concreto de deformarse si agrietarse. Se define en función de la deformación unitaria máxima que puede asumir el concreto sin que ocurran figuraciones.

Depende de la elasticidad y del denominado flujo plástico, constituido por la deformación que tiene el concreto bajo carga constante en el tiempo. El flujo plástico tiene la particularidad de ser parcialmente recuperable,

estando relacionado también con la construcción, pese a ser dos fenómenos nominalmente independientes. La microfisuración aparece normalmente alrededor del 60% del esfuerzo último, y una deformación unitaria de 0.0012, y en condiciones normales la figuración visible aparece para 0.003 de deformación unitaria. (PASQUEL CARBAJAL, 1998)

**Durabilidad:** El concreto debe ser capaz de resistir la intemperie, acción de productos químicos y desgaste, a los cuales estará sometido en el servicio. Gran parte de los daños por intemperie sufridos por el concreto pueden atribuirse a los ciclos de congelación y descongelación. La resistencia del concreto a esos daños puede mejorarse aumentando impermeabilidad incluyendo de 2 a 6% de aire con un agente incluso de aire, o aplicando un revestimiento protector a la superficie. (ABANTO CASTILLO)

**Impermeabilidad:** Es una importante propiedad del concreto que puede mejorarse, con frecuencia, reduciendo la cantidad de agua en la mezcla. El exceso de agua deja vacíos y cavidades después de la evaporación y, si están interconectadas, el agua puede penetrar o atravesar el concreto. La inclusión de aire (burbujas diminutas) así como un curado adecuado por tiempo prolongado, suelen aumentar la impermeabilidad. (ABANTO CASTILLO)

#### e. Clasificación del concreto

##### Por el peso específico

- ✓ **Ligero**, cuyo peso unitario se encuentre entre 1200 – 2000 kg/m<sup>3</sup>
- ✓ **Normal**, cuyo peso unitario se encuentra entre 2000 – 2800 kg/m<sup>3</sup>
- ✓ **Pesado**, cuyo peso unitario se encuentra entre > 2800 kg/m<sup>3</sup>

##### Según su aplicación

- ✓ **Simple:** concreto sin ninguna armadura. Buena resistencia a compresión.
- ✓ **Armado:** con acero. Buena resistencia a compresión y a flexión.
- ✓ **Pretensado:** resistencia tracción: viguetas.
- ✓ **Postensado:** resistencia a tracción: se introducen fundas.

### Por su composición

- ✓ **Ordinario.**
- ✓ **Ciclópeo:** con áridos de 50cm.
- ✓ **Cascotes:** hormigón de desechos y ladrillos.
- ✓ **Inyectado:** en un molde el agregado y le metemos la pasta árida > 6%.
- ✓ **Ligero:** 1,2 – 2N/mm<sup>2</sup> pesado: áridos de densidad muy grande.
- ✓ **Refractario:** resistente a altas temperaturas (cemento de aluminato cálcico).

### 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. (A, B, C, D - PASQUEL CARBAJAL, 1998)

## 2.2.4. Agregado para el concreto

### a. Agregado

Se define como agregado al conjunto de partículas inorgánicas de origen natural o artificial cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados en la NTP 400.011.

### b. Generalidades de los agregados

Los agregados ocupan aproximadamente entre el 70 y el 75% del volumen de la masa endurecida del concreto, el resto está ocupada por la pasta de cemento-agua, razón por la cual las propiedades de los agregados resultan tan importantes para la calidad final de la mezcla.

Cada elemento tiene su rol dentro de la masa de concreto y su proporción en la mezcla es clave para lograr sus propiedades entre las cuales destacan: la trabajabilidad, resistencia, durabilidad y economía.

### c. Clasificación de los agregados

### Por su naturaleza

Los agregados pueden ser naturales o artificiales, siendo los naturales de uso frecuente, además los agregados utilizados en el concreto se pueden clasificar en: agregado grueso, agregado fino y hormigón (agregado global). (CURSO BASICO DE TECNOLGIA DEL CONCRETO UNI)

- **Agregado fino:** El agregado fino es la desintegración natural o artificial de las rocas que pasa el tamiz 3/8" y que cumple con los límites establecidos en la norma ITINTEC 400.037. (ABANTO CASTILLO)
- **Agregado grueso:** Se define como agregado grueso al material retenido en el tamiz ITINTEC 4.75mm (N°4) proveniente de la desintegración natural o mecánica de las rocas y que cumple con los límites establecidos en la norma ITINTEC 400.037. El agregado grueso puede ser grava, piedra chancada. (ABANTO CASTILLO)

**Gravas**, comúnmente llamados "canto rodado", es el conjunto de fragmentos pequeños de piedra, provenientes de la disgregación, natural de las rocas, por acción del hielo y otros agentes atmosféricos, encontrándose corrientemente en canteras y lechos de ríos depositados en forma natural. (ABANTO CASTILLO)

Cada fragmento ha perdido sus aristas vivas y se presentan en forma más o menos redondeadas.

Las gravas pesan de 1600 a 1700 kg/m<sup>3</sup>.

**Piedra partida o chancada**, se denomina así, al agregado grueso obtenido por trituración artificial de rocas o gravas. Como agregado grueso se puede usar cualquier clase de piedra partida siempre que sea limpia, dura y resistente. (ABANTO CASTILLO)

Su función principal es la de dar volumen y aportar su propia resistencia. Los ensayos indican que la piedra chancada o partida de concretos ligeramente más resistentes que los hechos con piedra redonda. (ABANTO CASTILLO)

El peso de la piedra chancada se estima en 1450 a 1500 kg/cm<sup>2</sup>

- **Hormigón:** El hormigón, es el material conformado por una mezcla de arena y grava este material mezclado en proporciones arbitrarias se encuentran en forma natural en la corteza terrestre y se emplea tal cual se extrae en la cantera. (CURSO BASICO DE TECNOLGIA DEL CONCRETO FUENTE UNI)
- **Por su densidad:** Se pueden clasificar entregados de peso específico normal comprendidos entre 2.5 a 2.75, ligeros con pesos específicos menores a 2.5, y agregados pesados cuyos pesos específicos son mayores a 2.75. (CURSO BASICO DE TECNOLGIA DEL CONCRETO UNI)
- **Por el origen, forma y textura superficial:** Por naturaleza el agregado tiene forma irregularmente geometría compuestos aleatoriamente por caras redondeadas y angularidades. En términos descriptivos las formas de los agregados pueden ser: (CURSO BASICO DE TECNOLGIA DEL CONCRETO UNI)

**Angular:** cuyos bordes están definidos y formado por la intersección de sus caras (planas) además de poca evidencia de desgaste en caras y bordes.

**Sub angular:** evidencia algo de desgaste en caras y bordes, pero las caras están intactas.

**Sub redondeada:** bordes desgastados casi eliminados.

**Redondeada:** bordes desgastados casi eliminados

**Muy redondeada:** sin caras ni bordes

Respecto de la textura superficial estas pueden ser:

- ✓ Lisa
- ✓ Áspera
- ✓ Granular
- ✓ Vítreo
- ✓ Cristalino

- **Por el tamaño del agregado:** Según su tamaño, los agregados para concreto son clasificados en: (CURSO BASICO DE TECNOLGIA DEL CONCRETO UNI)
  - ✓ Agregados finos (arenas)
  - ✓ Agregados gruesos (piedras)

#### d. Funciones del agregado

El agregado dentro del concreto cumple principalmente las siguientes funciones:

- Como esqueleto o relleno adecuado para la pasta (cemento y agua), reduciendo el contenido de pasta en el metro cubico.
- Proporciona una masa de partículas capaz de resistir las acciones mecánicas de desgaste o de intemperismo, que puedan actuar sobre el concreto.
- Reducir los cambios de volumen resultantes de los procesos de fraguado y endurecimiento, de humedecimiento y sacado o de calentamiento de pasta. (CURSO BASICO DE TECNOLGIA DEL CONCRETO UNI)

#### e. Propiedades del agregado

##### Propiedades físicas

- **Densidad:** depende de la gravedad específica de sus constituyentes solidos como de la porosidad del material mismo. La densidad de los agregados es especialmente importante para los casos en que se busca diseñar concretos de bajo o alto peso unitario. Las bajas densidades indican también que el material es poroso y débil y de alta absorción. (CURSO BASICO DE TECNOLGIA DEL CONCRETO UNI)
- **Porosidad:** la palabra porosidad viene de poro que significa espacio no ocupado por materia sólida en partícula de agregado es una de las más importantes propiedades del agregado por su influencia en las otras propiedades de este, puede influir en la estabilidad química, resistencia a la abrasión, resistencias mecánicas, propiedades elásticas, gravedad específica, absorción

y permeabilidad. (CURSO BASICO DE TECNOLGIA DEL CONCRETO UNI)

- **Peso unitario:** es el resultado de dividir el peso de las partículas entre el volumen total incluyendo los vacíos. Al incluir los espacios entre partículas influye la forma de acomodo de estos. El procedimiento para su determinación se encuentra normalizado en ASTM C 29 y NTP 400. 017. Es un valor útil sobre todo para hacer las transformaciones de pesos a volúmenes y viceversa. Por ejemplo, para un agregado grueso pesos unitarios altos significan que quedan muy pocos huecos por llenar con arena y cemento. (CURSO BASICO DE TECNOLGIA DEL CONCRETO UNI)
- **Porcentaje de vacíos:** es la medida de volumen en porcentajes de los espacios entre partículas de agregados, depende del acomodo de las partículas por lo que su valor es relativo como en el caso del peso unitario. Se evalúa usando la siguiente expresión recomendada por ASTM C 29. (CURSO BASICO DE TECNOLGIA DEL CONCRETO UNI)

$$\% \text{ vacios} = \frac{(s \times W - \text{P. U. C})}{s \times W} \times 100$$

Donde:

S=peso específico de la masa

W= densidad del agua

P.U.C=peso unitario compactado seco del agregado

- **Humedad:** es la cantidad de agua superficial por partícula, su influencia está en la mayor o menor cantidad de agua necesaria en la mezcla se expresa de la siguiente forma: (CURSO BASICO DE TECNOLGIA DEL CONCRETO UNI)

$$\% \text{ humedad} = \frac{\text{peso natural} - \text{peso seco}}{\text{peso seco}} \times 100$$



## Propiedades resistentes

- **Resistencia:** Las resistencias de los agregados dependen de su composición textura y estructura y la resistencia del concreto no puede ser mayor que el de los agregados, si los granos de los agregados no están cementados unos a otros consecuentemente serán débiles. La resistencia al chancado o compresión del agregado deberá ser tal que permita la resistencia total de la matriz cementante. (CURSO BASICO DE TECNOLGIA DEL CONCRETO UNI)
- **Tenacidad:** esta característica está asociada con la resistencia al impacto del material. Está directamente relacionada con la flexión, angularidad y textura del material. (CURSO BASICO DE TECNOLGIA DEL CONCRETO UNI)
- **Dureza:** se define como la dureza de un agregado a su resistencia a la erosión abrasión o en general al desgaste. La dureza de las partículas depende de sus constituyentes. Entre las rocas a emplear en concretos estas deben ser resistentes a procesos de abrasión y pueden ser el cuarzo, la cuarcita, las rocas densas de origen volcánico y las rocas silicosas. (CURSO BASICO DE TECNOLGIA DEL CONCRETO UNI)
- **Módulo de elasticidad:** es definido como el cambio de esfuerzos con respecto a la deformación elástica, considerándose como una medida de la resistencia a las deformaciones. El módulo elástico se determina en muy inusual su determinación en los agregados sin embargo el concreto experimentara deformaciones por los que es razonable intuir que los agregados también deben tener elasticidades acordes al tipo de concreto. El valor del módulo de elasticidad además influye en el escurrimiento plástico y las contracciones que pueden presentarse. (CURSO BASICO DE TECNOLGIA DEL CONCRETO UNI)

TABLA N° 7: Propiedades resistentes

Tipo de agregado	Módulo elástico
Granitos	610000 kg/cm <sup>2</sup>
Areniscas	310000 kg/cm <sup>2</sup>
Calizas	280000 kg/cm <sup>2</sup>
Diabasas	860000 kg/cm <sup>2</sup>
gabro	860000 kg/cm <sup>2</sup>

Fuente: *Curso Básico de Tecnología del concreto UNI*

### Propiedades térmicas

- **Coeficiente de expansión:** cuantifica la capacidad de aumento de los agregados en función de la temperatura, depende mucho de la composición y estructura interna de las rocas y varía significativamente entre los diversos tipos de roca. En los agregados secos es alrededor de un 10% mayor que en estado parcialmente saturado. Los valores oscilan normalmente entre  $0.9 \times 10^{-6}$  a  $9.9 \times 10^{-6}$  / °C. (CURSO BASICO DE TECNOLGIA DEL CONCRETO UNI)
- **Calor específico:** es la cantidad de calor necesaria para incrementar en un grado centígrado la temperatura. No varía mucho en los diversos tipos de roca salvo en el caso de agregados muy ligeros y porosos. (CURSO BASICO DE TECNOLGIA DEL CONCRETO UNI)
- **Conductividad térmica:** es la mayor o menor facilidad para conducir calor. Esta influencia básicamente por la porosidad siendo su rango de variación relativamente estrecho. Los valores usuales en los agregados son de 1.1 a 2.7 BTU/pie/ hr °F. (CURSO BASICO DE TECNOLGIA DEL CONCRETO UNI)
- **Difusividad:** representa la velocidad con que se pueden producir cambios térmicos dentro de una masa, se expresa como el cociente de dividir la conductividad entre el producto de calor específico por la densidad. (CURSO BASICO DE TECNOLGIA DEL CONCRETO UNI)

### Propiedades químicas

- **Reacción álcali – sílice:** los álcalis en el cemento están constituidos por el óxido de sodio y de potasio quienes en

condiciones de temperatura y humedad pueden reaccionar con ciertos minerales, produciendo un gel expansivo normalmente para que se produzca esta reacción es necesario contenidos de álcalis del orden del 0.6% temperaturas ambientes de 30°C y humedades relativas de 80% y un tiempo de 5 años para que se evidencie la reacción. (CURSO BASICO DE TECNOLGIA DEL CONCRETO UNI)

Existen pruebas de laboratorio para evaluar estas reacciones que se encuentran definidas en ASTM C227, ASTM C-289, ASTM C295 y que permiten obtener información para calificar reactividad del agregado. (CURSO BASICO DE TECNOLGIA DEL CONCRETO UNI)

- **Reacción álcali – carbonatos:** se produce por reacción de los carbonatos presentes en los agregados generando sustancias expansivas. Los procedimientos para la evaluación de esta característica se encuentran normalizadas en ASTM C-586. (CURSO BASICO DE TECNOLGIA DEL CONCRETO UNI)

### 2.2.5. El agua

#### a. El agua en el concreto

El agua es un elemento fundamental en la preparación del concreto, estando relacionado con la resistencia, trabajabilidad y propiedades del concreto endurecido. (ABANTO CASTILLO)

#### b. Requisitos que debe cumplir

El agua que emplearse en la preparación del concreto deberá ser limpia y estará libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, material orgánico y otras sustancias que puedan ser nocivas al concreto o al acero. (ABANTO CASTILLO)

Si se tuvieran dudas de la calidad del agua a emplearse en la preparación de una mezcla de concreto, será necesario realizar un análisis químico de ésta, para comparar los resultados con los valores máximos admisibles de las sustancias existentes en el agua a utilizarse

en la preparación del concreto que a continuación, indicamos: (ABANTO CASTILLO)

**TABLA N° 8: Requisitos del agua**

Sustancias disueltas	Valor máximo admisible
Cloruros	300 ppm
Sulfatos	300 ppm
Sales de magnesio	150 ppm
Sales solubles	1500 ppm
PH	Mayor de 7
Sólidos en suspensión	1500 ppm
Materia orgánica	10 ppm

*Fuente: Abanto Castillo*

### c. Límites permisibles

La Norma Peruana NTP 339.088 considera aptas para la preparación y curado del concreto, aquellas aguas cuyas propiedades y contenidos de sustancias disueltas están comprendidos dentro de los siguientes límites.

**TABLA N° 9: Límites permisibles para agua de mezcla y de curado**

Descripción	Limite permisible
Sólidos en suspensión	5,000 ppm máximo
Materia orgánica	3 ppm máximo
Alcalinidad (NaHCO <sub>3</sub> )	1,000 ppm máximo
Sulfato (Ion SO <sub>4</sub> )	600 ppm máximo
Cloruros (Ion CR)	1,000 ppm máximo
PH	5 a 8

*Fuente: ITINTEC 339.088*

### d. Relación agua cemento a/c

La relación agua / cemento constituye un parámetro importante de la composición del hormigón. Tiene influencia sobre la resistencia, la durabilidad y la retracción del hormigón. La relación agua / cemento 2 (a/c) es el valor característico más importante de la tecnología del hormigón. De ella dependen la resistencia y la durabilidad, así como los coeficientes de retracción y de fluencia. También determina la estructura interna de la pasta de cemento endurecida. La relación agua cemento es el cociente entre las cantidades de agua y de cemento existentes en el

hormigón fresco. O sea que se calcula dividiendo la masa del agua por la del cemento contenidas en un volumen dado de hormigón. (TESIS. ROJAS LUJAN 2015)

**TABLA N° 10: Relación a/c**

f <sub>c</sub> 28 Días	Relación a/c de diseño en peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	---
450	0.38	---

**Fuente: Aci 211**

### 2.2.6. Aditivos

Es un material distinto del agua, cemento o del agregado, el cual es utilizado 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.

Se denomina aditivo a las sustancias añadidas a los componentes fundamentales del concreto con el propósito de modificar alguna de sus propiedades y hacerlo mejor para el fin que se destine. Los aditivos que deben emplearse en el concreto cumplirán con las especificaciones de la norma ITINTEC 339.086. (ABANTO CASTILLO)

#### a. Razones para el empleo de aditivos

Los aditivos son utilizados principalmente para mejorar una o varias de las siguientes características del concreto. (ABANTO CASTILLO)

- Aumentar la trabajabilidad, sin modificar el contenido de agua.
- Retardar o acelerar el tiempo de fraguado inicial.
- Acelerar el desarrollo de la resistencia en la primera edad.
- Modificar la velocidad de producción de calor de hidratación.
- Reducir la exudación y sangrado.

- Incrementar la durabilidad o resistencia en condiciones severas de exposición.
- Reducir la permeabilidad a los líquidos.
- Disminuir la segregación
- Reducir la contracción.
- Incrementar la adherencia del concreto viejo y nuevo.
- Mejorar la adherencia del concreto con el refuerzo.

#### **b. Tipos de aditivos**

Los aditivos son considerados en la norma de acuerdo a la siguiente clasificación. (ABANTO CASTILLO)

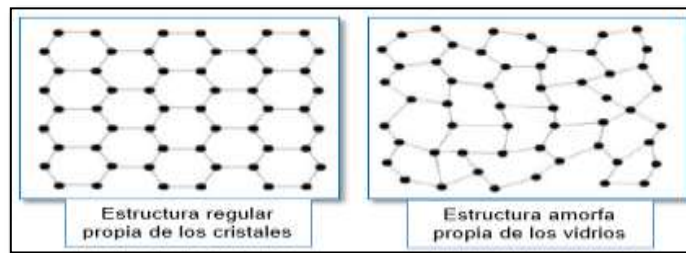
- **Plastificante, reductor de agua**, que mejora la consistencia del concreto y reduce la cantidad de agua de mezclado requerida para producir concreto de consistencia determinada.
- **Retardador**, que alarga el tiempo de fraguado del concreto.
- **Acelerador**, que acorta el tiempo de fraguado y el desarrollo de la resistencia inicial del concreto.
- **Plastificante y retardador**, que reduce la cantidad de agua de mezclado requerida para producir un concreto de una consistencia dada y retarda el fraguado
- **Plastificante y acelerador**, que reduce la cantidad de agua de mezclado requerida para producir un concreto de una consistencia dada y acelera su fraguado y el desarrollo de sus resistencias.
- **Incorporadores de aire**, aumentan la resistencia del concreto a la acción de las heladas por que introducen burbujas diminutas en la mezcla de cemento endurecida. Estas burbujas actúan como amortiguadores para los esfuerzos inducidos por la congelación y descongelación.
- **Adhesivos**, que mejoran la adherencia con el esfuerzo
- **Impermeabilizantes e inhibidores de corrosión.**

#### **2.2.7. Vidrio**

El vidrio es un material de apariencia dura, frágil y generalmente transparente, aunque se comporta como un sólido, es un fluido de muy

alta viscosidad. Está compuesta por una mezcla de óxidos metálicos, siendo su componente principal el óxido de sílice, conocido como silicio ( $\text{SiO}_2$ ). Si bien a simple vista pareciera muy similar a un cristal, la diferencia con este radica en el ordenamiento que tienen las moléculas de lo componen, donde los enlaces Si – están distribuidos de manera irregular, si un patrón determinado, siendo por definición, un material amorfo. (FUENTE ARTEAGA VALDIVIA AUSTRAL CHILE)

**GRAFICO N° 2: Estructura – vidrio**



**Fuente:** *el vidrio en la construcción, tipologías y usos. Javier calderón cabrera. Universidad politécnica de valencia*

Según la American Society For Testing Materials (ASTM) el vidrio es un: “producto inorgánico de fusión, el cual se ha enfriado hasta un estado rígido, pero sin sufrir cristalización. El vidrio común es un producto artificial obtenido por fusión de:

- Dióxido de silicio:  $\text{SiO}_2$  (sílice, arena o cuarzo)
- Carbonato de sodio:  $\text{NaCO}_3$  (soda solvay) o en su reemplazo el sulfato de sodio  $\text{Na}_2\text{CO}_4$ .
- Carbonato de calcio:  $\text{CaCO}_3$  (piedra caliza) exenta de hierro para obtener un vidrio incoloro y transparente.

**Color:** El color natural del vidrio es un tono verdoso, al cual se le aplican decolorantes para hacerlo cristalino y se le agregan colorantes para el vidrio de color. El vidrio coloreado puede proteger de la luz el contenido de un envase en diferentes grados dependiendo del color de vidrio.

**Durabilidad del vidrio:** una de las características de mayor importancia que se considera en el diseño de una fórmula de vidrio, es su potencial de resistencia al ataque químico, comportamiento conocido como durabilidad del vidrio. Esta resistencia se mide por la cantidad de álcali

liberada (sodio) desde el vidrio bajo condiciones específicas de presión y color. (TESIS- DANNY FERNADO ARCENIEGAS LOPEZ 2004)

### a. Propiedades

**Mecánicas:** los vidrios son duros pero frágiles, es decir, no son fácilmente rayados por una punta de acero pero no resisten al golpe.

**Térmicas:** cuando se calienta un sólido a la temperatura de fusión pasa al estado líquido. Resistencia a los reactivos químicos: Los vidrios resisten a la acción de los reactivos químicos, solamente les ataca el ácido fluorhídrico.

### b. Composición

El componente principal del vidrio es la sílice, obtenida a partir de arena, pedernal o cuarzo.

Desde el punto de vista estructural el vidrio está constituido por:

- ✓ Óxidos formadores de la red vítrea, vitrificantes, tales como  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3$  o  $\text{P}_2\text{O}_5$  para los tipos de productos vítreos más generales o tradicionales.
- ✓ Óxidos de modificadores de la red vítrea, fundentes, que aportan enlaces por los denominados "óxidos no puente", tales como óxidos alcalinos:  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , u óxidos alcalinotérminos como  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ .
- ✓ Óxidos estabilizantes que tienen un carácter intermedio o anfótero, aportando los denominados "óxidos puente", tales como:  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (a), b), c) - CORTES, 1987).

Además de estos componentes básicos los productos vítreos incorporan otros que cumplen diversas funciones secundarias: afinantes, colorantes, opacificantes, fluidificantes, catalizadores, o nucleantes de la cristalización (Rincon, 2008). Si bien el silicio es el principal componente de vidrio, dependiendo de la finalidad de este, se le añaden distintas proporciones de otros componentes. (ARTEAGA VALDIVIA AUSTRAL CHILE)



### **c. Fabricación del vidrio**

#### **Materias primas**

Para la fabricación de vidrio se usan como materias primas arena silicea (arcillas) y una mezcla de óxidos metálicos secos pulverizados o granulados, puesto que las arcillas son productos geológicos del envejecimiento de la corteza terrestre, es un material muy abundante en la naturaleza. (ARTEAGA VALDIVIA AUSTRAL CHILE)

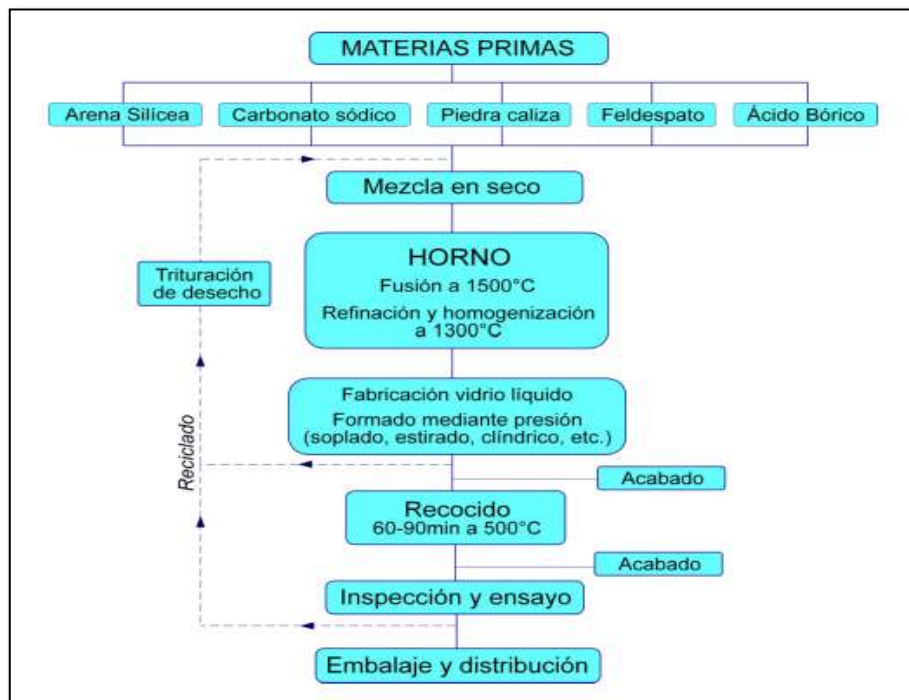
#### **Fabricación**

El proceso de fabricación propiamente tal, puede resumirse de la siguiente manera.

A medida que materias primas son recibidas (principalmente arena), se muelen y almacenan en depósitos en altura, a la espera del momento en que serán transferidas a través de un sistema de alimentación por gravedad a los pesadores y mezcladores. En los mezcladores las materias primas son dosificadas y combinadas con vidrio reciclado para formar una mezcla homogénea, la cual es trasladada por medio de cintas transportadoras a un sistema de almacenamiento de cargas donde es contenida antes de ser depositada en el alimentador del horno de fundición.

Al entrar la carga al horno a través de los alimentadores, esta flota en la superficie de la masa de vidrio fundida. Una vez que se funde, pasa al frente del baño y eventualmente fluye a través de la garganta de carga al refinador, donde es acondicionada térmicamente para descargar al proceso de formado. (TESIS- ARTEAGA VALDIVIA AUSTRAL CHILE)

GRAFICO N° 3: Fabricacion del vidrio



Fuente: ILCE

#### d. Tipos de vidrios

##### Vidrio de sílice pura

SiO<sub>2</sub>: 99.5% +

Utilizado principalmente por su baja expansión térmica, alta temperatura de servicio y, cuando es muy puro, por su transparencia a un amplio rango de longitudes de onda en el espectro electromagnético y a las ondas sonoras (Alta transmisión espectral). También tiene buena resistencia química, eléctrica y dieléctrica. Su desventaja es la muy elevada temperatura necesaria para su fabricación, aun cuando se puede producir por hidrólisis del SiCl<sub>4</sub>, pero en cualquiera de los dos casos es caro.

Se usa para los espejos ligeros para los telescopios transportados por satélites, reflectores de rayos láser, crisoles especiales para la fabricación de cristales sencillos puros de sílice para transistores y como un tamiz molecular que deja pasar el hidrogeno y el helio. (INSTITUTO DE CERÁMICA Y VIDRIO, MADRID)

**Vidrio de 96 % de sílice**

SiO<sub>2</sub>: 96%

B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 3%

Producido al formar un artículo, más grande que del tamaño requerido, a partir de un vidrio especial de boro silicato, lixiviando los ingredientes que no son silicato con ácido y dando un tratamiento a alta temperatura para contraer el artículo y cerrar los poros. Buenas propiedades térmicas; temperatura de servicio más elevada y coeficiente de expansión más bajo que los de cualquier otro vidrio, excepto el de sílice pura. Es más caro que el vidrio de boro silicato. Se usa para los conos de nariz de los misiles, lunas de las ventanas de los vehículos espaciales y de túneles aerodinámicos y algunos artículos de vidrio para laboratorio en donde se necesita una resistencia especial al calor (sistemas ópticos en dispositivos espectrofotométricos). (INSTITUTO DE CERÁMICA Y VIDRIO, MADRID)

**Vidrio de sosa, cal y sílice**

SiO<sub>2</sub>: 70 %

Na<sub>2</sub>O: 15 %

CaO: 10 %

La adición de sosa (Na<sub>2</sub>O) y, a veces, potasa (K<sub>2</sub>O) y de CaO a la sílice baja el punto de ablandamiento en 800-900 °C (desde 1600 °C hasta alrededor de 730 °C), por lo que es más fácil su fabricación.

A este tipo de vidrios se les adiciona entre 1 y 4 % de MgO para prevenir la desvitrificación y también se les incorpora de 0.5 a 1.5 % de alúmina para aumentar su duración aumentando su resistencia química. Las propiedades eléctricas pueden variar ampliamente con la composición. (INSTITUTO DE CERÁMICA Y VIDRIO, MADRID)

**Vidrio de plomo, álcali y silicato**

SiO<sub>2</sub>: 30 – 70 %

PbO: 18 – 65 %

Na<sub>2</sub>O y/o K<sub>2</sub>O: 5 - 20 %

El óxido de plomo es normalmente un modificador de la red de sílice, pero puede actuar además como un formador de red. Los vidrios al

plomo con alto contenido en óxido de plomo, son de baja fusión y se utilizan para soldar vidrios de cierre hermético.

El óxido de plomo además de reducir el punto de ablandamiento, incluso más que la cal, también incrementa el índice de refracción y el poder dispersor. (INSTITUTO DE CERÁMICA Y VIDRIO, MADRID)

### **Vidrio de borosilicato**

SiO<sub>2</sub>: 60 – 80 %

B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 10 – 25 %

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 1 – 4 %

La sustitución de óxidos alcalinos por óxido de boro en la red vítrea de la sílice da lugar a vidrios de más baja expansión térmica. Cuando el B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> entra en la red de la sílice, debilita su estructura y reduce considerablemente el punto de reblandecimiento de los vidrios de sílice.

El efecto de debilitamiento se atribuye a la presencia de boros tricoordinados planares. Los vidrios borosilicatados (vidrios Pyrex) tienen buena resistencia al choque térmico (pequeños coeficientes de dilatación térmica) y buena estabilidad química y se usan ampliamente en la industria química para equipos de laboratorio, tuberías, hornos y faros de lámparas reflectoras. (INSTITUTO DE CERÁMICA Y VIDRIO, MADRID)

### **Vidrio de aluminosilicatos**

SiO<sub>2</sub>: 5 - 60 %

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 20- 40 %

CaO: 5 - 50 %

B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 0 - 10 %

Otro vidrio de baja expansión y químicamente resistente que tiene una temperatura de servicio más elevada que el vidrio de borosilicato pero que, de manera correspondiente, es más difícil de fabricar. Se usa para tubos de alto rendimiento de aplicación militar, tubos para ondas viajeras y para muchas aplicaciones semejantes a las del vidrio de borosilicato. (INSTITUTO DE CERÁMICA Y VIDRIO, MADRID)

**e. Composición y propiedades de algunos vidrios comerciales.**

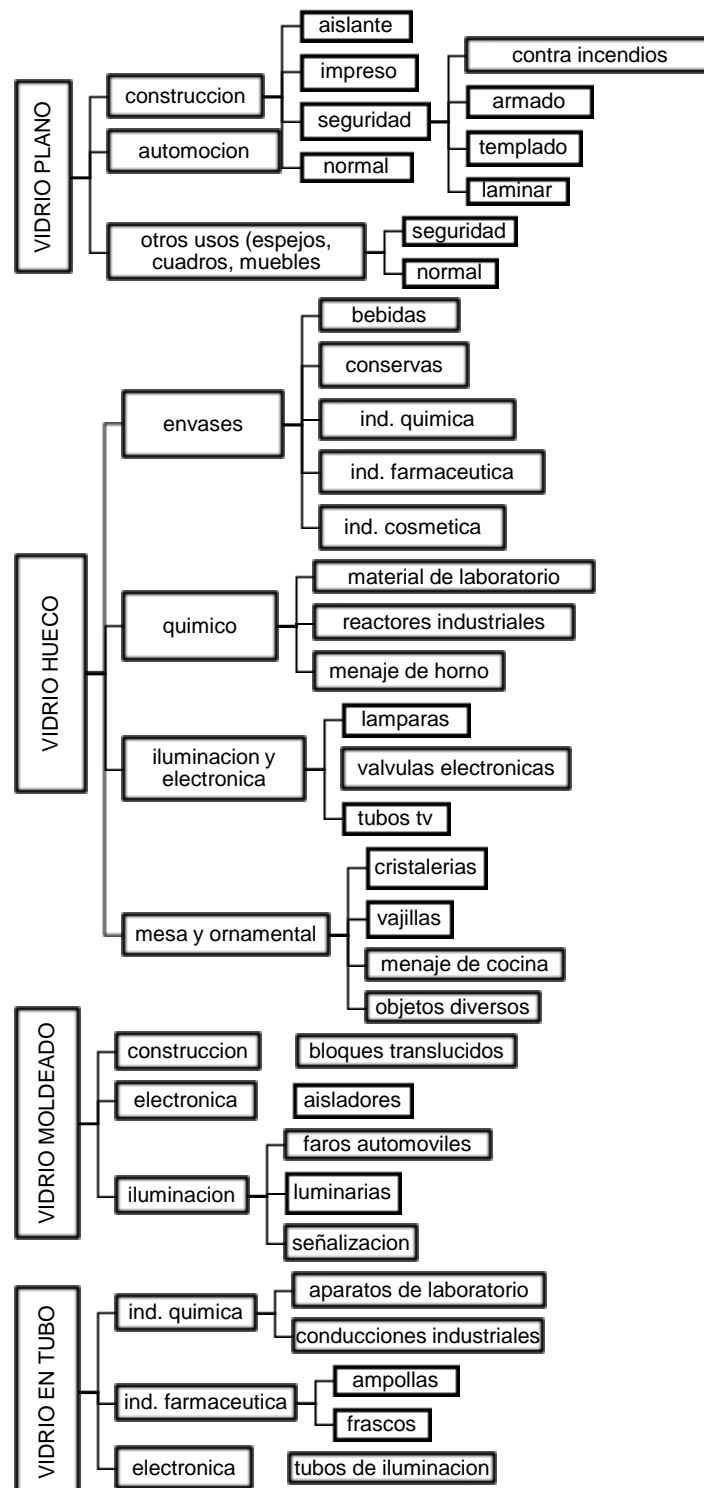
**TABLA N° 11: Composición – vidrios comerciales**

Tipo de vidrio	Composición porcentual en peso						Características y aplicaciones
	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	otros	
Sílice fundida	99.5						Alta temperatura de fusión, muy bajo coeficiente de dilatación (resistente al choque térmico)
Sílice (96%) (vycor)	96				4		Resistente al choque térmico y al ataque químico: material de laboratorio
Borosilicato (pyrex)	81	3.5		2.5	13		Resistente al choque térmico y al ataque químico: material para hornos
Recipientes (sosa-cal)	74	16	5	1		4Mg O	Baja temperatura de fusión, conformación fácil, durabilidad.
Fibra de vidrio	55		16	15	10	4Mg O	Fácilmente estirada en forma de fibras materiales compuestos de resina - vidrio
Vidrio óptico "Flint"	54	1				37pb O, 8K <sub>2</sub> O	Alta densidad y alto índice de refracción: lentes ópticas
vitroceramica	70			18		4.5 TiO <sub>2</sub> , 2.5 Li <sub>2</sub> O	Fácilmente fabricada, resistente, resiste el choque térmico. Material para hornos

*Fuente: [www.arqhys.com/construccion/vidrios-tipos.htm](http://www.arqhys.com/construccion/vidrios-tipos.htm)*

## f. Clasificación de los productos de vidrio

GRAFICO N° 4: Clasificación del vidrio según su forma



Fuente: Propia

### g. Densidad de algunos tipos de vidrios temperatura ambiente

**TABLA N° 12: Densidad – vidrios**

Tipo de vidrio	Densidad (g cm <sup>-3</sup> )
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.82
Na <sub>2</sub> O.2B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.37
SiO <sub>2</sub>	2.20
Vycor	2.17
Pyrex	2.25
Na <sub>2</sub> O.2SiO <sub>2</sub>	2.48
Na <sub>2</sub> O.SiO <sub>2</sub>	2.58
Silicato sodicocalcico	2.47
Vidrio cristal (24% pbO)	2.90
Vidrio cristal superior (60% pbO)	3.00
PbO.SiO <sub>2</sub>	6.00

*Fuente: [www.arqhys.com/construccion/vidrios-tipos.html](http://www.arqhys.com/construccion/vidrios-tipos.html)*

### h. Estructura del vidrio

Un gran numero de sustancias quimicas solidifican del estado fundido en forma de vidrio. La formacion de vidrio depende de la velocidad de enfriamiento y requiere tipos diferentes de enlaces (enlace covalente y enlace ionico) entre los atomos o grupo de atomos. Como resultado los productos que forman el vidrio tienen una fuerte tendencia en el estado fundido para enlazarse en tres dimensiones por la polimerizacion de una manera desordenada. Los cristales se forman cuando los atomos individuales se ordenan en tres dimensiones, lo que es conocido con el nombre de red cristalina, tan pronto como la sustancia particular cambie del estado liquido al estado solido. (TESIS - ARCINIEGAS LÓPEZ, FONSECA CRISTANCHO UIS)

**GRAFICO N° 5: Estructura del vidrio**



*Fuente: <http://www.aristobulo.com.ar>*

### i. Composición química del vidrio

- Vitrificantes (arena, ácido bórico, bórax, ácido fosfórico)
- Fundentes (sosa, potasa, sulfato sódico, lepidolita)
- Estabilizantes (carbonatos de calcio, bario y magnesio, alúmina, óxido de plomo, dolomita)
- Accesorios, los cuales se dividen en: afinantes (nitrato sódico, óxido arsenioso, antimonio), descolorantes (bióxido de manganeso, óxido de níquel), opalinizantes (fluoruro cálcico, criolita, fluosilicato sódico) y colorantes (óxido de cobalto, rojo azulado, óxido ferroso azul, óxido férrico amarillo, óxido de cromo verde grisáceo, trióxido de cromo amarillo, óxido de cobre verde azulado, óxido de uranio verde amarillento fluorescente, selenio elemental rosa, sulfuro de cadmio coloidal amarillo).

**GRAFICO N° 6: Composición – vidrio**



Fuente: <http://www.aristobulo.com.ar>

### j. Propiedades del vidrio

El vidrio se caracteriza por una resistencia química máxima, una dilatación térmica mínima y, en consecuencia, una elevada resistencia al choque térmico. Este comportamiento físico y químico óptimo del vidrio hace que sea el material ideal para el uso en el laboratorio, en las grandes plantas industriales, en la industria de la construcción. Por otra parte, es muy adecuado para aplicaciones industriales en todas las áreas de aplicación, en las cuales se requiere una extrema resistencia al calor, resistencia al choque térmico, estabilidad mecánica, así como resistencia química excepcional. (TESIS - ARCINIEGAS LOPEZ, FONSECA CRISTANCHO UIS)



### **Resistencia física**

Dependiendo de composición, algunos vidrios funden a temperaturas muy bajas, como 500°C, mientras que otros necesitan 1.650°C. Presentan normalmente una resistencia a la tracción entre 3.000 y 5.000 N/cm<sup>2</sup>, aunque puede llegar a sobrepasar los 70.000 N/cm<sup>2</sup> si el vidrio ha sido especialmente tratado.

La densidad relativa oscila entre 2 y 8, que equivale a decir que oscila entre una densidad menor que la del aluminio y una mayor que la del acero. Variaciones de igual amplitud se dan en las propiedades eléctricas y ópticas. (TESIS - ARCINIEGAS LÓPEZ, FONSECA CRISTANCHO UIS)

### **Resistencia química**

La resistencia química del vidrio es más amplia que la de otros materiales conocidos. El vidrio es resistente al agua, a ácidos, soluciones de sales, sustancias orgánicas, y también frente a halógenos como cloro y bromo. Tiene, también, una relativamente buena resistencia frente a soluciones alcalinas. Solamente el ácido fluorhídrico, el ácido fosfórico concentrado y soluciones fuertemente alcalinas atacan a la superficie del vidrio a temperaturas elevadas. (TESIS - ARCINIEGAS LÓPEZ, FONSECA CRISTANCHO UIS)

### **k. Vidrio molido**

El vidrio molido es el mismo vidrio pero pulverizado, triturado y como a ser utilizado como aditivo sus partículas no deben superar los dos milímetros de tamaño.

El uso de este aditivo como es vidrio molido en los proyectos de construcción está ganando popularidad. Miles de toneladas de botellas y frascos entran en los vertederos cada día. El reciclaje de este vidrio es una excelente manera de reducir los residuos, disminuir los costos de construcción y ayudar al medio ambiente. La trituración del vidrio elimina los bordes agudos, por lo que no hay más peligro para trabajadores que lo manipulan como una arena o grava.

## **I. Uso del vidrio molido en la construcción de estructuras de concreto armado**

El vidrio molido se agraga al concreto como reemplazo de la arena o de grava pequeña. El vidrio molido es mas ligero que la arena o la grava, asi que el concreto pesa menos por pie cuadrado (metro cuadrado) sin perder sus fuerza. Realizar este cambio tambien reduce la necesidad de dañar los paisajes para tener mas bancos de arena y grava.

Este tipo de aditivo se puede utilizar en cualquier tipo de construccion pero en este caso estamos incorporando a estructuras de concreto armado como: viga, columnas, lozas, muros.

Al utilizar la resistencia a compresion, estimandose en el orden de 10.000 kg/cm<sup>2</sup>. En cuanto se refiere a la resistencia a la traccion del vidrio templado es de 1.000 kg/cm<sup>2</sup> y del vidrio recocido 400 kg/cm<sup>2</sup>. Calcin, que es el vidrio reciclado fundido una vez mas, para la conformacion de nuevos productos de vidrio. Adicionalmente se mencionan los siguientes usos. (VÁSQUEZ, ROJAS, GOICOCHEA, MEDINA 2016)

- Como reemplazo de la arena o grava y otros agregados en la construccion, para preparar el concreto.
- Mezclado como base o subbase en la construccion carreteras.
- Mezclado con asfalto para el pavimento de vias.

## **m.Experiencias en la utilización de vidrio reciclado**

El vidrio es un material ideal para ser reciclado, pudiendo ser reciclado en un 100%, una infinidad de veces. El uso de vidrio reciclado ayuda a ahorrar energía, es menos costoso, además de reducir residuos y el consumo de materias primas.

Principalmente la utilización del vidrio reciclado es para la formación del denominado calcín, que es el vidrio reciclado fundido una vez más, para la conformación de nuevos productos de vidrio. Adicionalmente se mencionan los siguientes usos: (WORLD WILDLIFE FUND)

- Como reemplazo de la arena, para actividades de abrasión en la pintura de automóviles.
- Mezclado como base o sub base en la construcción de carreteras.
- Mezclado con asfalto para el pavimentado de vías.
- Para la construcción de filtros lentos de agua, en reemplazo de la arena.
- Como agregado en el hormigón en reemplazo de agregado fino.
- Como material para la protección de tuberías en zanjas.
- Como reemplazo de agregados en la construcción de baldosas, bloques adoquines, etc.

### 2.2.8. Probeta de concreto

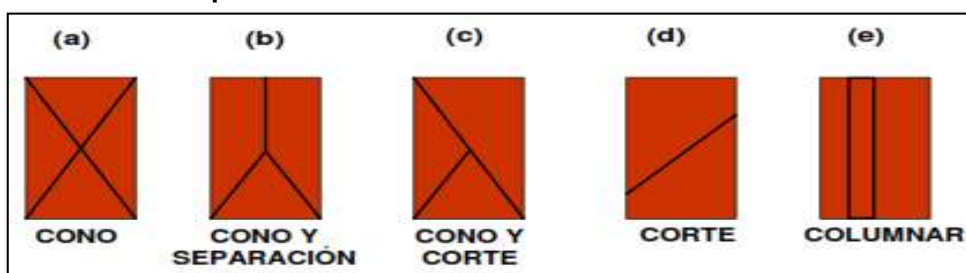
Es la manera práctica para evaluar la resistencia y la uniformidad del concreto en las edificaciones. Para obtener una resistencia representativa la norma ITINTEC determina los procedimientos en cada etapa de la preparación de las probetas, y el reglamento nacional de construcciones señala el tamaño y numero de la muestra de ensayo.

#### a. Ensayo de resistencia a la compresión

Este método de ensayo consiste en aplicar una carga axial en compresión a los moldes cilíndricos en una velocidad tal que este dentro del rango especificado antes que la falla ocurra (NTP339.074)

Es la medida más común de desempeño que realizan los ingenieros para para diseñar edificios y otras estructuras.

GRAFICO N° 7: Tipos de fallas



Fuente: (N.T.P. 339.034, 2013)

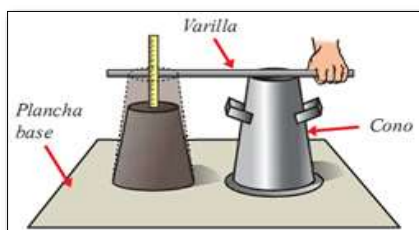
### 2.2.9. Slump

Es un ensayo que se realiza al concreto fresco para determinar su consistencia o fluidez y que cumpla con los parámetros establecidos por las normas.

#### Uso del cono de absorción

El ensayo consiste en rellenar un molde metálico troncocónico de dimensiones normalizadas, en tres capas apisonadas con 25 golpes de varilla – pisón y, luego de retirar el molde, medir el asentamiento que experimenta la masa de hormigón colocada en su interior. Esta medición se complementa con la observación de la forma de derrumbamiento del cono de hormigón mediante golpes laterales con la varilla – pisón.

**GRAFICO N° 8: Cono de abrams**



Fuente: [www.premixsa.com.ar](http://www.premixsa.com.ar)

### Ensayos de los agregados para determinar sus propiedades físico – mecánicas

La determinación de las propiedades Físico – Mecánicas, para la obtención de los valores para el diseño de Mezclas, será bajo las consideraciones de la Norma Técnica Peruana en los diferentes.

#### Análisis granulométrico de agregado fino y grueso (MTC E 204 – 2000, ASTM C 136 Y NTP 400.012)

Este método se usa principalmente para determinar la granulometría de los materiales propuestos que serán utilizados como agregados. Los resultados se emplean para determinar el cumplimiento de los requerimientos de las especificaciones que son aplicables y para

suministrar los datos necesarios para la producción de diferentes agregados y mezclas que contengan agregados. (UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE)

✓ **Granulometría y módulo de fineza para el agregado fino**

Para la granulometría del Agregado Fino se tendrá las siguientes consideraciones según la (N.T.P. 400.037, 2014).

**TABLA N° 13: Análisis granulométrico del agregado fino**

Tamiz	Porcentaje que pasa
3/8"	100
#4	95 – 100
#8	80 – 100
#16	50 – 85
#30	25 – 60
#50	5 – 30
#100	0 – 10

*Fuente: NTP 400.037, 2014*

La granulometría del Agregado Fino estará dentro de los límites del porcentaje que pasa. Según (N.T.P. 400.037, 2014), el Módulo de Fineza recomendable estará entre 2.3 y 3.1. Siendo la determinación de cálculo bajo la siguiente expresión.

$$MF = \frac{\sum \% \text{ Retenido. Acum. tamices } (\#4 + \#8 + \#16 + \#30 + \#50 + \#100)}{100}$$

Es aconsejable utilizar arena de depósito (arena para hacer concreto), de forma que no más del 10% del material pase por tamiz #200. (E. BOWLES, 1980, pág. 36).

✓ **Granulometría para el agregado grueso**

Para la granulometría del Agregado Grueso se tendrá las siguientes consideraciones según la (N.T.P. 400.037, 2014).

TABLA N° 14: Requisitos granulométricos para el agregado grueso

Tamaño Nominal	% Pasa por los tamices normalizados													
	100mm (4")	90mm (3½")	75mm (3")	63mm (2½")	50mm (2")	37.5mm (1½")	25mm (1")	19mm (¾")	12.5mm (½")	9.5mm (3/8")	4.75mm (Nº4)	2.36mm (Nº8)	1.18mm (Nº16)	
90 mm a 37.5 mm (3½" a 1½")	100	90 a 100	--	25 a 60	--	0 a 15	--	0 a 5	--	--	--	--	--	
63 mm a 37.5 mm (2½" a 1½")	--	--	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	--	0 a 5	--	--	--	--	--	
50 mm a 25 mm (2" a 1")	--	--	--	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	--	0 a 5	--	--	--	--	
50 mm a 4.75 mm (2" a Nº4)	--	--	--	100	95 a 100	--	35 a 70	--	10 a 30	--	0 a 5	--	--	
37.5 mm a 19 mm (1½" a ¾")	--	--	--	--	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	--	0 a 5	--	--	--	
37.5mm a 4.75mm (1½" a Nº4)	--	--	--	--	100	95 a 100	--	35 a 70	--	10 a 30	0 a 5	--	--	
25 mm a 12.5 mm (1" a ½")	--	--	--	--	--	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	--	--	--	
25 mm a 9.5 mm (1" a 3/8")	--	--	--	--	--	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	--	--	
25 mm a 4.75 mm (1" a Nº4)	--	--	--	--	--	100	95 a 100	--	25 a 65	--	0 a 10	0 a 5	--	
19 mm a 9.5 mm (¾" a 3/8")	--	--	--	--	--	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	--	--	--	
19 mm a 4.75 mm (¾" a Nº4)	--	--	--	--	--	100	90 a 100	--	20 a 55	0 a 10	0 a 5	--	--	
12.5mm a 4.75mm (½" a Nº4)	--	--	--	--	--	--	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	--	--	
9.5mm a 2.36mm (3/8" a Nº8)	--	--	--	--	--	--	--	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	--	

Fuente: NTP 400.037, 2014

En el proceso de los análisis de granulometría con respecto al Agregado Grueso se utilizará las siguientes Expresiones.

$$\% \text{ Retenido} = \frac{\text{Peso del Material Retenido}}{\text{Peso Total de la Muestra Evalada}} \times 100$$

$$\% \text{ Retenido Acumulado} = \% \text{ Retenido} + \% \text{ Retenido Acumulado Anterior}$$

$$\% \text{ Pasa} = 100 - \% \text{ Retenido Acumulado Anterior}$$

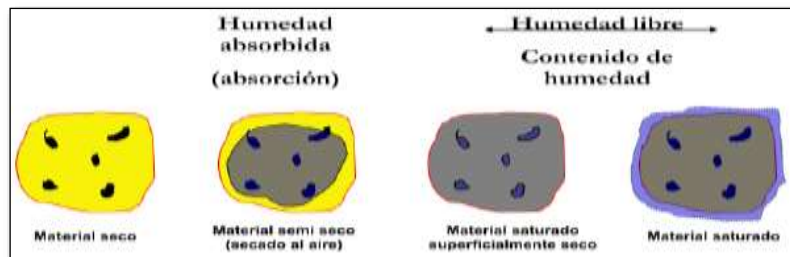
### Contenido de humedad de los agregados (ASTM C566 Y NTP 339.185)

Este ensayo realizado sirve para diversos propósitos, tales como ajuste en peso de las cantidades de agregados fino y grueso en el ensayo de peso unitario; corrección en el diseño de la dosificación de mortero y concreto. (UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE)

Los agregados generalmente se los encuentra húmedos, y varían con el estado del tiempo.

- **Seco:** No existe humedad en el agregado. Se lo consigue mediante un secado prolongado en una estufa a una temperatura de  $105 \pm 5^\circ \text{C}$ .
- **Seco al aire:** Cuando existe algo de humedad en el interior del árido. Es característica, en los agregados que se han dejado secar al medio
- **Ambiente.** Al igual que en estado anterior, el contenido de humedad es menor que el porcentaje de absorción.
- **Saturado Y Superficialmente Seco:** Estado en el cual, todos los poros del agregado se encuentran llenos de agua. Condición ideal de un agregado, en la cual no absorbe ni cede agua.
- **Húmedo:** En este estado existe una película de agua que rodea el agregado, llamado agua libre, que viene a ser la cantidad de exceso, respecto al estado saturado superficialmente seco. El contenido de humedad es mayor que el porcentaje de absorción.

**GRAFICO N° 9: Estados de humedad del agregado**



**Fuente: Tesis, Cader valencia, Universidad de el Salvador**

Es una característica importante pues contribuye a incrementar el agua de mezcla en el concreto, razón por la que se debe tomar en cuenta conjuntamente con la absorción para efectuar las correcciones adecuadas en el proporcionamiento de las mezclas, para que se cumplan las hipótesis asumidas. (PASQUEL CARBAJAL, 1998).

La humedad se expresa de la siguiente manera según ASTM C-566

$$\% \text{Humedad} = \frac{\text{Peso original de la muestra} - \text{Peso Seco}}{\text{Peso Seco}} \times 100$$

### **Peso específico y absorción del agregado fino.**

La teoría descrita a continuación es basada según (N.T.P. 400.022, 2013), el cual es aplicado para el Agregado Fino. Se dice peso específico a la relación entre el peso de muestra a evaluar y su cantidad de volumen de agua desplazado en un envase controlado. Para la determinación de los valores del Peso Específico y Porcentaje de Absorción del Agregado Fino se utilizarán las siguientes expresiones. (TESIS - CCORIMANYA SOTA, CABRERA VILCA)

$$\begin{array}{l}
 \text{Peso Especifico} \\
 \text{de Masa} \\
 \text{(Pem)} = \frac{W0}{(vf - va)} \\
 \text{Peso Especifico} \\
 \text{de Masa con} \\
 \text{Superficie Seca} \\
 \text{(PeSSS)} = \frac{500}{(vf - va)} \\
 \text{Absorción} \\
 \text{(Abs)} = \frac{500 - W0}{W0} \times 100
 \end{array}$$

Donde:

Pem: Peso específico de masa (g/cm<sup>3</sup>)

PeSSS: Peso específico de masa saturado con superficie seca (g/cm<sup>3</sup>)

Abs: Porcentaje de absorción (%)

W0: Peso del agregado fino secado al horno en (g)

Vf: Volumen de la fiola, en (cm<sup>3</sup>)

Va: Volumen de agua añadido a la fiola, cuando en agregado está dentro de la fiola.

500: cantidad de agregado fino superficialmente seco (g)

### **Peso específico y absorción del agregado grueso.**

La teoría descrita a continuación es basada según (N.T.P. 400.021, 2013), el cual es aplicado para el Agregado Grueso.

Se dice peso específico a la relación entre el peso de muestra a evaluar y su cantidad de volumen de agua desplazado en un envase controlado. También se cumple este mismo propósito si tenemos el peso de la muestra a evaluar y lo dividimos con la diferencia del peso de la muestra en el aire y el peso de la muestra dentro del agua. Esta diferencia significa el peso o volumen de la muestra evaluada en función del agua,



ya que sabemos que:  $1\text{ g (H}_2\text{O)} = 1\text{ cm}^3\text{ (H}_2\text{O)}$ . Para la determinación de los valores del Peso Específico y Porcentaje de Absorción del agregado grueso se utilizarán las siguientes expresiones: (TESIS - CCORIMANYA SOTA, CABRERA VILCA)

$$\begin{array}{l}
 \text{Peso Especifico} \\
 \text{de Masa} \\
 \text{(Pem)} = \frac{A}{(B - C)}
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{l}
 \text{Peso Especifico} \\
 \text{de Masa con} \\
 \text{Superficie Seca} \\
 \text{(PeSSS)} = \frac{B}{(B - C)}
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{l}
 \text{Absorción} \\
 \text{(Abs)} = \frac{B - A}{A} \times 100
 \end{array}$$

Donde:

Pem: Peso específico de masa ( $\text{g/cm}^3$ )

PeSSS: Peso específico de masa saturado con superficie seca ( $\text{g/cm}^3$ )

Abs: Porcentaje de absorción (%)

A: Peso del agregado grueso secado al horno, en (g)

B: Peso del agregado grueso saturado superficialmente seco (g)

C: Peso del agregado grueso saturado dentro del agua (g)

En este caso para lograr la característica del agregado grueso en estado Saturado con Superficie Seca, se realiza los siguientes pasos.

- Se sumerge totalmente el agregado grueso en un recipiente con agua durante 24 horas.
- Seguidamente se extrae y se extiende en una bandeja el agregado grueso.
- Inmediatamente se realiza el secado solo de la superficie.
- Este proceso de secado de solo la superficie se realiza con la ayuda de paños secos, toallas, franelas, etc.

### **Peso unitario de los agregados.**

Se define como la relación entre el peso de una muestra de agregado compuesta de varias partículas y el volumen que ocupan estas partículas agrupadas dentro de un recipiente de volumen conocido. Es decir, el material dentro del recipiente sufre un acomodo de las partículas dejando el menor espacio entre ellas; el mayor peso unitario

se tendrá cuando quepa más material dentro del mismo volumen, lo que depende naturalmente de la granulometría, tamaño, forma y textura del agregado. (LIBIA GUTIERREZ DE LOPEZ)

$$PUs = \frac{\text{peso unitario suelto}}{\frac{G_{sc} - T}{V_e}} \quad PUC = \frac{\text{peso unitario compactado}}{\frac{G_{co} - T}{V_e}}$$

Donde:

PUs: Peso unitario seco suelto (g/cm<sup>3</sup>)

PUC: Peso unitario seco compactado (g/cm<sup>3</sup>)

Gsc: Peso del envase más la muestra seca, sin compactar (g)

Gco: Peso del envase más la muestra seca, compactado (g)

T: Peso del envase (g)

Gsc-T: Muestra (sin compactar) (g)

Gco-T: Muestra (compactado) (g)

Ve: Volumen del envase (cm<sup>3</sup>)

### **Contenido de vacíos en los agregados.**

Es la medida del volumen expresado en porcentaje de los espacios entre las partículas de agregados. Depende también del acomodo entre partículas, por lo que su valor es relativo como en el caso del peso unitario según la N.T.P. 400.017. (PASQUEL CARBAJAL, 1998)

$$\% \text{vacios} = \frac{\text{contenido de vacios}}{S * W} = \frac{100[(S * W) - M]}{S * W}$$

Donde:

M: Peso unitario del agregado en kg/m<sup>3</sup>

S: Peso específico de masa (base seca) determinado de acuerdo con la norma NTP 400.022

W: Densidad del agua, 1000 kg/m<sup>3</sup>

### 2.3. Definición de términos básicos

**Agregado fino:** Se considera agregado fino a la arena o piedra natural finamente triturada, de dimensiones reducidas y que pasan el tamiz #4 (4.75 mm) y que cumple con los límites establecidos en la NTP 400.037.

**Agregado grueso:** Material retenido en el tamiz # 4 (4.75mm) proveniente de la desintegración natural o mecánica de las rocas y que cumple con los límites establecidos en la NTP 400.037.

**Granulometría:** La granulometría es la distribución por tamaños de las partículas de arena.

**Curva granulométrica:** Representación gráfica de la granulometría y proporciona una visión objetiva de la distribución de tamaños del agregado.

**Absorción:** Fluido que es retenido en cualquier material después de un cierto tiempo de exposición (suelo, rocas, maderas, etc.).

**Curado de concreto:** Proceso que consiste en controlar las condiciones ambientales (especialmente temperatura y humedad) durante el fraguado y/o endurecimiento del concreto o mortero.

**Densidad:** Relación entre la masa y el volumen de un cuerpo.

**Cantera:** Deposito natural de material apropiado para ser utilizado en la construcción, rehabilitación, mejoramiento y/o mantenimiento de las carreteras.

**Cono de abrams:** Molde con forma de cono constituido de un metal no atacable por la pasta de cemento, que se usa para medir la consistencia de la mezcla de concreto fresco.

**Tamaño máximo:** Menor tamiz por el que pasa toda la muestra del agregado grueso.

**Tamaño máximo nominal:** Menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido.

## 2.4. Hipótesis

### 2.4.1. Hipótesis general

La resistencia a la compresión del concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  sustituyendo un porcentaje de vidrio molido como agregado fino será mayor a la resistencia a la compresión del concreto tradicional.

### 2.4.2. Hipótesis específicas

- La variación de la curva de resistencia a la compresión alcanzada del concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  tradicional y sustituyendo un porcentaje de vidrio molido como agregado fino, será mínima.
- El mejor porcentaje de vidrio molido como agregado fino en el diseño de mezclas para un concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , será el de 10%.

## 2.5. Variables

### 2.5.1. Variable independiente (v1)

Concreto con vidrio molido, (la mezcla de concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , se sustituirá al agregado fino por vidrio molido en porcentajes de 5%, 10% y 15%).

### 2.5.2. Variable dependiente (v2)

Resistencia a la compresión, se determinará mediante la rotura de probetas a compresión axial, los cuales se romperán a la edad de los 3, 7, 14, 21 y 28 días.

### 2.5.3. Operacionalización de variables

VARIABLE	indicador	medición
Variable independiente (v1)	Vidrio molido	kg
Variable dependiente (v2)	Resistencia a la compresión	Kg/cm <sup>2</sup>

## **CAPÍTULO III Metodología de la investigación**

### **3.1. Tipo de investigación**

El presente estudio de investigación, según su finalidad es una “Investigación Aplicada”, porque intenta resolver el problema planteado en la investigación y según su naturaleza es un “Investigación cuantitativa” porque se observa y recolecta datos numéricos.

#### **3.1.1. Nivel de investigación**

El estudio de investigación tiene un “Nivel Experimental”, porque responderá a la pregunta ¿Cuál será la variación de la curva de resistencia a la compresión alcanzada del concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  tradicional y al sustituir vidrio molido en reemplazo parcial del agregado fino en porcentajes de 5%, 10%, 15%? ¿Cuál será el porcentaje adecuado de vidrio molido como agregado fino en la mezcla de concreto para edificaciones en la ciudad de cusco?

### **3.2. Método de la investigación**

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.

### **3.3. Población y muestra de la investigación**

#### **3.3.1. Población**

Porque es una investigación experimental, la población estará constituida por probetas cilíndricas de concreto producidas en la ciudad del cusco, porque se realizará el estudio experimental al concreto con la

finalidad de obtener una mezcla con un mejor comportamiento a la compresión.

### **3.3.2. Muestra de estudio**

La muestra representativa con la cual se desarrollará el trabajo de investigación serán 60 briquetas elaboradas con sustitución de vidrio molido en porcentajes del 0, 5, 10 y 15% como agregado fino.

### **3.3.3. Unidad de análisis**

Se realizará el ensayo de resistencia a la compresión, mediante las rupturas de las probetas en sus diferentes edades de 3, 7, 14, 21 y 28 días en las cuales se romperán una cantidad determinada de las probetas por edad y para ser más puntuales se sacará un promedio de las rupturas y obtener resultados más precisos.

## **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

### **3.4.1. Técnica**

La técnica que se usara en la investigación es la Observación a través de la recolección de datos.

### **3.4.2. Instrumentos**

Los formatos y/o fichas de recolección de datos para cada uno de los ensayos de laboratorio que se usaran.

#### **Agregado grueso**

- Plantilla Excel, para granulometría del agregado
- Plantilla Excel para el contenido de humedad del agregado
- Plantilla Excel para peso específico, porcentaje de absorción y peso unitario suelto- varillado del agregado

#### **Agregado fino**

- Plantilla Excel, para granulometría del agregado
- Plantilla Excel para el contenido de humedad del agregado
- Plantilla Excel para peso específico, porcentaje de absorción y peso unitario suelto- varillado del agregado

#### **Vidrio molido como agregado fino**

- Plantilla Excel, para granulometría del agregado

- Plantilla Excel para el contenido de humedad del agregado
- Plantilla Excel para peso específico, porcentaje de absorción y peso unitario suelto- varillado del agregado

### **3.4.3. Recolección de datos**

Para el trabajo de investigación se utilizó material como agregado fino proveniente de la cantera de Pisac, agregado grueso de la cantera de Vicho (San Salvador), como también se usó vidrio molido de las botellas (Coca-Cola, inca Kola) como sustituto parcial del agregado fino.

En cuanto a los envases de gaseosas como son Coca-Cola, inca Kola, están de moda alrededor de 3 a 5 años, pasado este periodo los envases cambian de forma y etiqueta, quedando al aire o para la recolección los envases antiguos.

#### **Equipos de protección personal (Epps)**

En el presente trabajo de investigación se tuvo especial cuidado ya que se trabajó con vidrio molido, el cual al ser manipulado incorrectamente puede causar efectos negativos, por lo tanto, es de gran importancia el uso de equipos de protección personal (Epps) que se detalla a continuación.

- 01 casco
- 01 par de guantes de cuero
- 01 mascarilla
- 01 par de zapatos punta acero
- 01 chaleco
- 01 par de lentes transparentes

#### **Obtención del vidrio**

Para la investigación siguiente, se hizo la recolectaron de botellas provenientes de las gaseosas Coca-Cola, inca Kola, haciendo las visitas correspondientes en varias ocasiones a los botaderos, tiendas distribuidoras de las bebidas mencionadas anteriormente.

**Lavado de las botellas**

Las botellas son sometidas a un lavado con agua y detergente común, con la finalidad de remover cualquier residuo acumulado, producto de su uso anterior, especialmente restos orgánicos.

Luego de limpiar y enjuagar las botellas se deben secar en su totalidad para evitar problemas en el proceso de trituración, sobre todo con el material fino producido en la trituración o molienda.

**Molienda del vidrio**

Una vez obtenido las botellas limpias y secas se procedió al siguiente paso que es la molienda o triturado de las botellas.

**Equipos y material utilizados en la prueba**

- Botellas de Coca-Cola, inca Kola
- 01 martillo
- 01 comba de 10kg
- 02 baldes de plástico
- 01 plástico cobertor para el balde
- Equipos de protección personal (Epps)

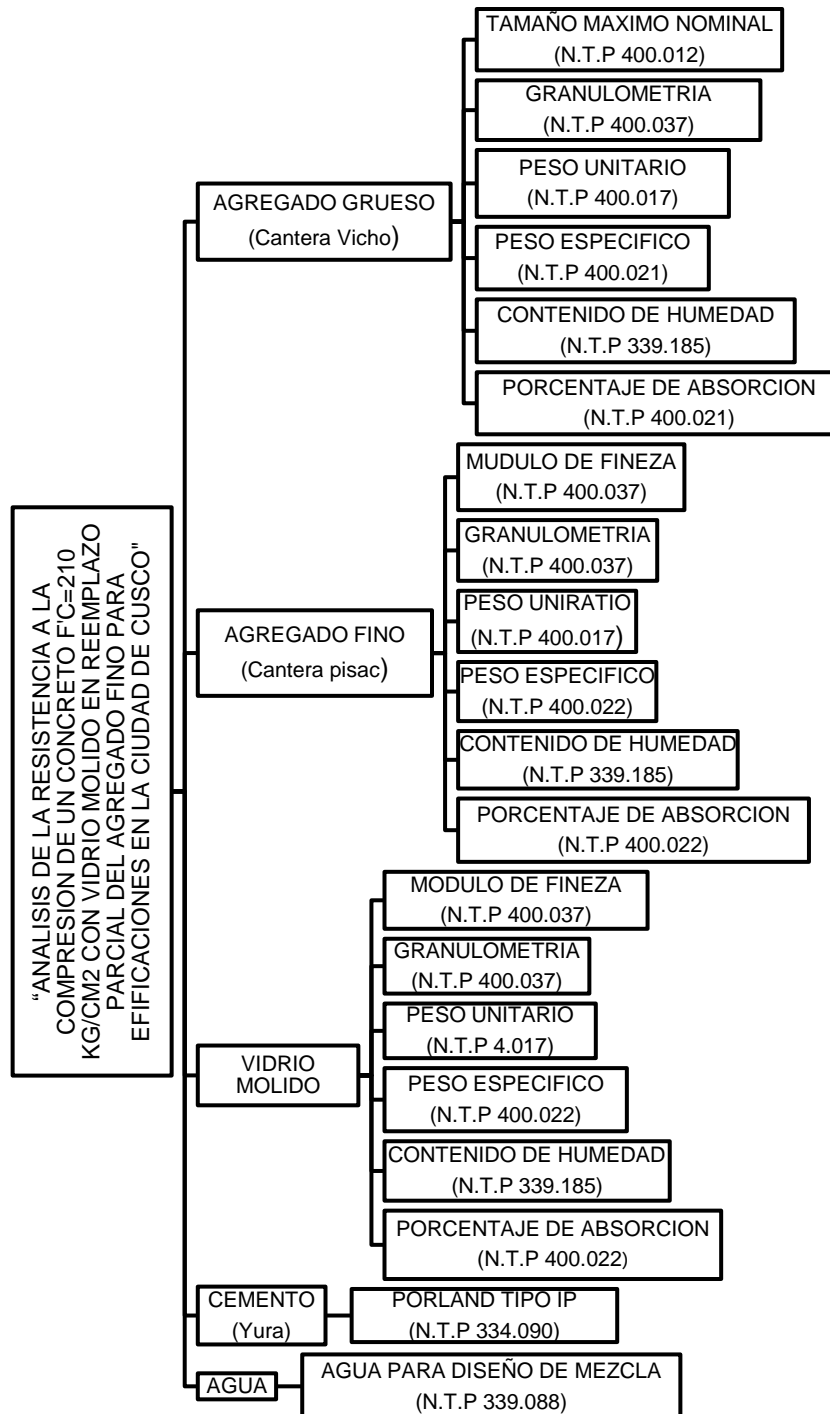
**Procedimiento**

- Ponerse los equipos de protección personal (Epps)
- Seguidamente se toma la botella con una mano y con la otra le damos un golpe con el martillo dejando caer al envase o balde, este paso lo repetimos para todos los envases.
- Tenemos los envases fracturados en retazos grandes dentro del balde.
- Como siguiente paso estando ya las botellas en el envase se coloca el combo dentro del balde, pero el mango debe sobre salir.
- Luego se procede a triturar el vidrio dentro del balde con la fuerza y peso aplicado de la comba esta actividad se realizada hasta que las partículas de vidrio tengan un tamaño aproximado de 1/2".

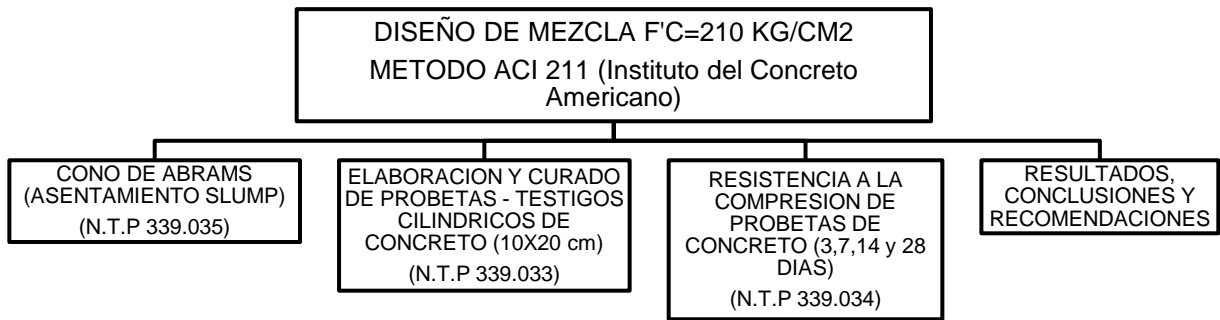


- Retirar cuidadosamente las partículas de vidrio para luego tamizar.
- Se toma muestra de 1kg para pasar por el tamiz de 3/8" y de esa manera obtener el material con las características de agregado fino.

### Plan para la recolección de datos y diseño de mezcla



Fuente: Propia



*Fuente: Propia*

## Equipos y materiales para el ensayo de agregados

### Granulometría

Para el ensayo se utilizaron los siguientes materiales y equipos.

- **Balanza**

Usamos una balanza con una precisión de 0.1 gramos de precisión.

- **Horno**

La fuente de calor usada fue un horno capaz de mantener la temperatura de la muestra a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ .

- **Recipiente para la muestra**

Denominados taras que no son afectados por el calor y que tienen la capacidad de contener la muestra sin peligro de derrame.

- **Tamices**

Tamiz para el agregado grueso: 4", 3 1/2", 3", 2 1/2", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", #4, #8, #16, #50 y cazuela de fondo.

Tamiz para el agregado fino: 3/8", #4, #8, #16, #30, #50, #100 y cazuela de fondo.

### Contenido de humedad

Se utilizaron los siguientes materiales y equipos.

- **Balanza**

Usamos una balanza con una sensibilidad de 0.1%.

- **Horno**

Usamos un horno capaz de mantener la temperatura de la muestra a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ .

- **Recipiente para la muestra**  
Recipientes metálicos, llamados también taras para contener la muestra.
- **Agitador**  
Una espátula delgada para el agregado fino y una mediana para el agregado grueso.

### **Peso específico y absorción de los agregados**

Para el siguiente ensayo se utilizaron los siguientes materiales y equipos

- **Balanza**  
Usamos una balanza con una sensibilidad de 0.1%.
- **Horno**  
Usamos un horno capaz de mantener la temperatura de la muestra a  $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- **Franela**  
Para el respectivo secado del agregado que determina la sss (peso de la muestra saturada con superficie seca).
- **Recipiente para la muestra**  
Un recipiente o vasija de tamaño suficiente para contener la muestra.
- **Canastilla**  
Para determinar el peso sumergido del agregado.
- **Probeta**  
Para determinar el peso volumétrico.

### **Peso unitario de los agregados**

Se utilizaron los siguientes materiales y equipos

- **Balanza**  
Usamos una balanza con una sensibilidad de 0.1%.
- **Fuente de calor**  
Usamos un horno capaz de mantener la temperatura de la muestra a  $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- **Recipiente para la muestra**  
Denominados taras que no son afectados por el calor y que tienen la capacidad de contener la muestra sin peligro de derrame.

- **Agitador**  
Una espátula delgada para el agregado fino y una mediana para el agregado grueso.
- **Varilla de acero de 5/8"x60cm**  
Para el compactado del agregado fino como del agregado grueso.

### **Formato durante la elaboración del concreto**

- Formato Excel para para anotar el asentamiento slump durante la elaboración del concreto.

### **Equipos y materiales**

Para el ensayo de utilizaron los siguientes materiales y equipos.

- **Cono de Abrams**  
Molde de forma troncocónica de 20cm de diámetro en la base inferior, 10cm en la base superior con una altura de 30cm.
- **Varilla compactadora**  
Se usa una varilla de 5/8"x60cm de diámetro con puntas semiesféricas.
- **Cucharon**  
Cucharon metálico del tamaño adecuado para poder introducir el concreto en el cono de abrams.
- **Instrumento de medida**  
Se uso un flexómetro con la cual se midió el slump o asentamiento.
- **Bandeja metálica**  
Bandeja metálica del tamaño apropiado para poder poner el cono de Abrams.

### **Formato para rotura de probetas de concreto a la edad de 3, 7, 14, 21 y 28 días**

- Formato para la recolección de datos, dimensiones de las probetas, apunte de lectura de resultados durante el ensayo de resistencia a compresión axial.

### 3.5. Diseño de mezcla de concreto

Diseñar o proporcionar una mezcla de concreto consiste en determinar las cantidades relativas de materiales que hay que emplear en la mezcla para obtener un concreto adecuado para un uso determinado. El diseño de mezclas de concreto es un proceso que consiste de pasos dependientes entre sí:

- Selección de los ingredientes convenientes (cemento, agregados, agua y aditivos).
- Determinación de sus cantidades relativas para producir un concreto de trabajabilidad, resistencia a la compresión, durabilidad apropiada y lo más económico como sea posible.

Estas proporciones dependerán de cada agregado los cuales a su vez dependerán de la aplicación particular del concreto.

### 3.6. Comité ACI 211

El comité 211 del ACI ha desarrollado un poco de procedimiento de diseño de mezcla bastante simple el cual, basándose en algunas tablas elaboradas mediante ensayos de los agregados, nos permiten obtener valores de los diferentes materiales que se integran la unidad cubica de concreto. (POÉMAPE, 2013).

El concreto comúnmente se conoce en el medio como un material de construcción que se diseña bajo normas específicas dependiendo del proyecto que se vaya a utilizar y con las características económicas para un determinado fin. Así mismo, el concreto se hace a base de diseños, con trabajos de ingeniería y por esta condición están sujetos a cambios y modificaciones para optimizarlo. (UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE)

Pasos para el diseño de mezcla.

#### 3.6.1. Resistencia promedio requerida ( $f'_{cr}$ )

##### a) Cuando tenemos la desviación estándar

Si se posee un registro de resultados de ensayos de obras anteriores deberá calcularse la desviación estándar según la siguiente formula.

$$\hat{f}_{cr} = \hat{f}_c + 1.34 * s \dots \dots \dots (1)$$

$$\hat{f}_{cr} = \hat{f}_c + 2.33 * s - 35 \dots \dots \dots (2)$$

$$S = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Donde:

S: desviación estándar

N: número de ensayos de serie

$X_1, X_2, X_3$ : resultados de la resistencia de muestras de ensayo individuales

$\bar{X}$ : promedio de todos los ensayos individuales de una serie

**b) Cuando no tenemos registro de resistencia de probetas correspondientes a obras anteriores**

Si se desconoce el valor de la desviación estándar, se utilizará la Tabla de la (resistencia a la compresión promedio) para la determinación de la resistencia promedio requerida.

**TABLA N° 15: Resistencia a la compresión promedio**

$f'_c$	$f'_c$
Menos de 210	$f'_c + 70$
210 a 350	$f'_c + 84$
Sobre 350	$f'_c + 98$

*Fuente: Aci 211*

**c) Teniendo en cuenta el control de calidad de obra**

**TABLA N° 16: Calidad de obra**

Nivel de control	$f'_{cr}$
Regular o Malo	$1.3 f'_c$ a $1.5 f'_c$
Bueno	$1.2 f'_c$
Excelente	$1.1 f'_c$

*Fuente: Aci 211*

**3.6.2. Elección del asentamiento slump**

- Si las especificaciones técnicas de obra requieren que el concreto tenga una determinada consistencia, el asentamiento puede ser elegido de la siguiente tabla:

TABLA N° 17: Asentamientos

Consistencia	Asentamiento
Seca	0" (0mm) a 2" (50mm)
Plástica	3" (75mm) a 4" (100mm)
fluida	>=5" (125mm)

*Fuente: Aci 211*

- Si las especificaciones de obra no indican la consistencia, ni asentamiento requeridos para la mezcla a ser diseñada, utilizando la tabla (Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción) podemos seleccionar un valor adecuado para un determinado trabajo que se va a realizar. Se deberán usar las mezclas de la consistencia más densa que puedan ser colocadas eficientemente.

TABLA N° 18: Asentamientos para varios tipos de construcción

Tipos de construcción	Revestimiento	
	máximo	mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzados	3"	1"
Zapatas simples, cajones y muros de subestructura	3"	1"
Vigas y muros reforzados	4"	1"
Columnas	4"	2"
Pavimentos y losas	3"	1"
Concreto ciclópeo y masivo	2"	1"

*Fuente: Aci 211*

### 3.6.3. Selección del tamaño máximo nominal del agregado

Los concretos con mayor tamaño de agregados, requieren menos mortero por unidad de volumen de concreto que tamaños menores. El tamaño máximo del agregado deberá ser el mayor que sea económicamente compatible con las dimensiones de la estructura; en la medida en que el tamaño máximo del agregado grueso (piedra) nunca será mayor de: (ABANTO CASTILLO)

- 1/5 de la dimensión más angosta entre caras del encofrado.
- 1/3 del espesor de las losas.
- 3/4 de la distancia libre entre barras o paquetes de barras o cables pretensores.

### 3.6.4. Contenido de aire

Da el porcentaje aproximado de aire atrapado, en mezclas sin aire incorporado para diferentes tamaños máximos nominales del agregado grueso adecuadamente graduados dentro de los requisitos de la norma ITINTEC 400.03 O ASTM C 33. (ENRIQUE RIVVA LOPES)

**TABLA N° 19: Contenido de aire atrapado**

T.M.N (pulg)	Aire atrapado
3/8"	3.0%
1/2"	2.5%
3/4"	2.0%
1"	1.5%
1 1/2"	1.0%
2"	0.5%
3"	0.3%
6"	0.2%

*Fuente: Aci 211*

**TABLA N° 20: Contenido de aire incorporado**

Tamaño máximo nominal	Contenido de aire total en porcentaje (incorporado)		
	Exposición suave	Exposición moderada	Exposición severa
3/8"	4.5	6.0	7.5
1/2"	4.0	5.5	7.0
3/4"	3.5	5.0	6.0
1"	3.0	4.5	6.0
1 1/2"	2.5	4.5	5.5
2"	2.0	4.0	5.0
3"	1.5	3.5	4.5
6"	1.0	3.0	4.0

*Fuente: Enrique Rivva Lopes*

### 3.6.5. Contenido de agua

Se refiere a la cantidad de agua de mezcla por unidad cubica de concreto. (ENRIQUE RIVVA LOPES)

La cantidad de agua por unidad de volumen de concreta necesaria para obtener el asentamiento deseado, depende del tamaño máximo, perfil, textura y granulometría de los agregados, así como de la cantidad de



aire incorporado, no siendo apreciablemente afectada por la cantidad de cemento. (ABANTO CASTILLO)

El contenido de agua se determinará mediante la siguiente tabla que se muestra a continuación.

**TABLA N° 21: Contenido de agua**

Agua 1m <sup>3</sup> para los tamaños máximos nominales del agregado grueso y consistencia indicados								
Asentamiento	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concretos sin aire incorporado								
1"-2"	267	199	190	179	166	154	130	113
3"-4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6"-7"	243	228	216	202	190	178	160	---
Concretos con sin aire incorporado								
1"-2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3"-4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6"-7"	261	205	197	184	174	166	154	---

**Fuente: Aci 211**

### 3.6.6. Relación a/c

La relación agua- cemento requerido es determinada teniendo en consideración no solamente la resistencia sino también factores como durabilidad y propiedades de acabado del concreto. Desde que diferentes agregados y cementos, producen generalmente diferentes resistencias para una misma relación agua - cemento, es muy útil tener o desarrollar las interrelaciones entre la resistencia y la relación agua-cemento para los materiales a ser usados en la preparación de la mezcla. (ABANTO CASTILLO)

#### Por resistencia f'cr

Para concretos preparados con cemento Portland tipo I o cementos comunes, puede tomarse la relación a/c de la siguiente tabla.

**TABLA N° 22: Relación agua cemento por resistencia**

F'c 28 días	Relación a/c de diseño 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: Aci 211*

### Por durabilidad

La Norma Técnica de Edificación E.060 prescribe que, si se desea un concreto de baja permeabilidad, o el concreto ha de estar sometido a procesos de congelación y deshielo en condición húmeda. Se deberá cumplir con los requisitos indicados en la siguiente tabla.

**TABLA N° 23: Relación agua cemento por durabilidad**

Condiciones de exposición	Relación agua cemento máximos en concreto con agregados con peso normal	Resistencia en compresión mínima en concretos con agregado liviano
Concretos de baja permeabilidad Expuesto a aguas dulce.....	0.50	260
Expuesto a aguas de mar o aguas solubles.....	0.45	
Expuesto a la acción de aguas cloacales.....	0.45	
Concretos expuestos a procesos de congelación y deshielo en condiciones húmedas Sardineles cunetas sección delgados...	0.45	300
Otros elementos.	0.50	300
Protección contra la corrosión de concreto expuesto a la acción del agua de mar, aguas solubles, neblina o roca de estas aguas.....	0.40	325
Si el recubrimiento mínimo se incrementa en 15mm.....	0.45	300

*Fuente: Enrique Rivva Lopes*

### 3.6.7. Contenido de cemento

La cantidad de cemento por unidad de volumen de concreto es igual al agua de mezclado dividido entre la relación agua- cemento. (ABANTO CASTILLO)

$$C = \frac{\text{volumen unitario de agua}}{\text{relacion a/c}}$$

### 3.6.8. Peso del agregado grueso

La siguiente tabla, nos proporciona valores aproximados para estos volúmenes de agregado. Como puede observarse, para similar trabajabilidad, el volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto depende solamente de su tamaño máximo y del módulo de fineza del agregado fino. (ABANTO CASTILLO)

Los volúmenes de agregado grueso mostrados, está en condición seca y compactada, tal como se describe en la norma ASTM C29.

**TABLA N° 24: Peso para el agregado grueso**

Tamaño máximo del agregado grueso		Volumen de agregado grueso, seco y compactado por unidad de volumen de concreto, para diferentes módulos de fineza del agregado fino b/b <sub>0</sub>			
		MODULO DE FINEZA DEL AGREGADO FINO			
mm	pulg	2.40	2.60	2.80	3.00
10	3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
20	3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
25	1"	0.71	0.69	0.67	0.65
40	1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.70
50	2"	0.78	0.76	0.74	0.72
70	3"	0.81	0.79	0.77	0.75
150	6"	0.87	0.85	0.83	0.81

**Fuente: Aci 211**

$$\text{Peso AG} = \frac{b}{b_0} * \text{peso USC}$$

### 3.6.9. Volumen absoluto

Un procedimiento más exacto para el cálculo de la cantidad de agregado fino por metro cúbico de concreto implica el empleo de los volúmenes

desplazados por los ingredientes o volúmenes absolutos de los mismos. En este caso el volumen absoluto del agregado fino es igual a la diferencia entre el volumen unitario de concreto y la suma de los volúmenes absolutos de los ingredientes ya conocidos (cemento, agua, aire, agregado grueso). (ABANTO CASTILLO)

El volumen absoluto ocupado en el concreto por cualquier ingrediente es igual a su peso dividido por su peso específico. (ABANTO CASTILLO)

$$\text{Volumen} = \frac{\text{Peso seco}}{\text{Peso específico}}$$

### 3.6.10. Peso del agregado fino

Viene a ser la multiplicación de volumen del agregado fino por su peso específico del mismo.

$$\text{Peso A. F} = \text{vol. AF} * \text{Peso específico AF}$$

### 3.6.11. Presentación del diseño en estado seco

Son los valores obtenidos de los pasos anteriores.

- Cemento kg/m<sup>3</sup>
- Agregado fino kg/m<sup>3</sup>
- Agregado grueso kg/m<sup>3</sup>
- Agua lts/m<sup>3</sup>

### 3.6.12. Corrección por humedad de los agregados

Generalmente los agregados utilizados en la preparación de un concreto se encuentran húmedos por lo cual sus pesos secos se incrementan en el porcentaje de agua que contengan, tanto agua absorbida como superficial. Así el agua de mezclado añadida a la colada debe ser reducida en una cantidad igual a la humedad libre aportada por los agregados, considerándose como tal el contenido total de humedad del agregado menos su porcentaje de absorción. (ABANTO CASTILLO)

Por lo tanto

$$\begin{aligned} \text{agregado grueso} & \begin{cases} \text{humedad} = \%W_g \\ \% \text{ absorcion} = \%a_g \end{cases} \\ \text{agregado fino} & \begin{cases} \text{humedad} = \%W_f \\ \% \text{ absorcion} = \%a_f \end{cases} \end{aligned}$$

Pesos de agregados húmedos.

$$\text{Peso seco} * \left( \frac{w\%}{100} + 1 \right)$$

### 3.6.13. Aporte de agua a la mezcla

Se determina mediante la siguiente expresión

$$\frac{(\%w - \%abs) * \text{agregado seco}}{100}$$

Donde:

%w: contenido de humedad

%abs: porcentaje de absorcion

### 3.6.14. Agua efectiva

Es la sustracción de agua (paso 3) menos la sumatoria de aporte de agua de mezcla (paso 11).

### 3.6.15. Proporcionamiento del diseño

Las proporciones de la mezcla de concreto deben ser seleccionadas para proporcionar la manejabilidad, resistencia y durabilidad necesarias para el trabajo específico que se está realizando. (ABANTO CASTILLO)

Es el resultado de todos los pasos anteriores para la elaboración el concreto.

### 3.6.16. Proporción en peso

Esta dada por la siguiente expresión.

$$\frac{\text{p. cemento}}{\text{p. cemento}} : \frac{\text{p. A. fino humedo}}{\text{p. cemento}} : \frac{\text{p. A. grueso humedo}}{\text{p. cemento}} : \frac{\text{A. efectiva}}{\text{p. cemento}}$$

### 3.7. Materiales utilizados y cálculo de diseño de mezcla

#### 3.7.1. Cemento portland tipo IP

Cemento Portland adicionado con puzolana de marca YURA, de según con la NTP 334.090 y la Norma ASTM C 595, recomendado para el uso general en todo tipo de obra civil.

Posee resistencia al ataque de sulfatos, bajo calor de hidratación que contribuye al vaciado de concretos masivos, mayor impermeabilidad, ganancia de mayor resistencia a la compresión con el tiempo, mejor trabajabilidad, siendo ideal para el uso de morteros, revestimientos y obras hidráulicas (en el caso de las obras portuarias expuestas al agua de mar, también en canales, alcantarillas, túneles y suelos con alto contenido de sulfatos).

Cumple con las exigencias que se indican en la norma de los cementos Tipo I, II y V. Además de tener una buena performance en ataques severos.

En función al cemento, el concreto llega a una resistencia a compresión aproximada, el cual se muestra en el siguiente cuadro.

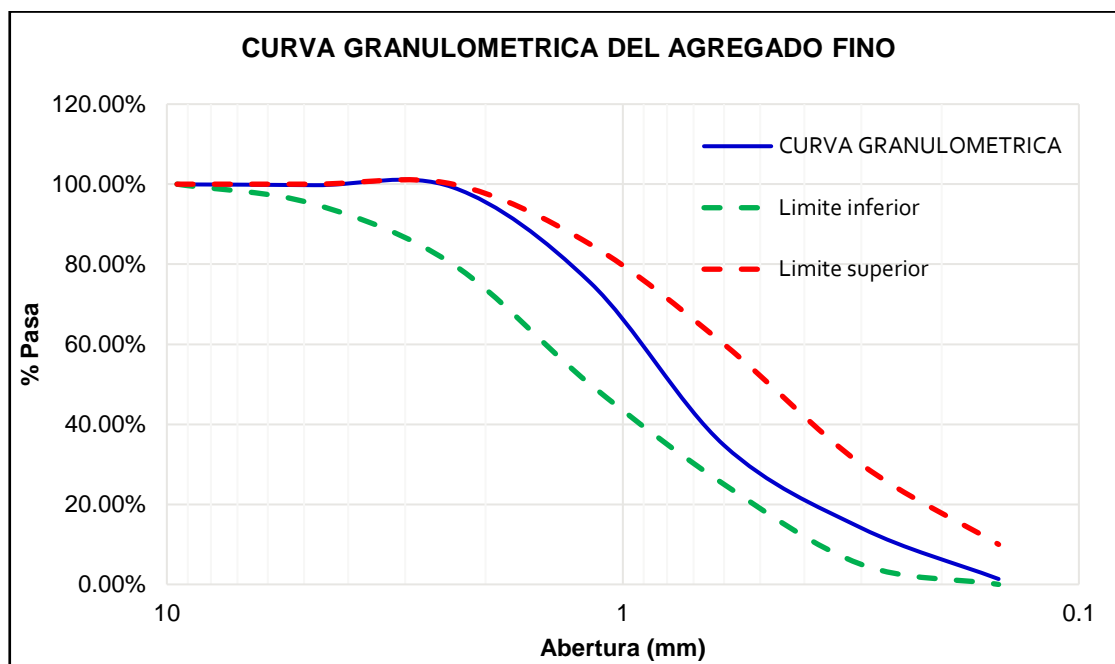
#### 3.7.2. Agregados

##### a. Agregado fino

- **Cantera:** Pisac
- **Ubicación**
  - **Distrito:** Pisac
  - **Provincia:** calca
  - **Departamento:** cusco
- **Tipo** – cantera abierta

Se consideró todos los procedimientos establecidos por la NTP para determinar las características para el agregado fino (ver Anexo 01 pág. 111). A continuación, el Grafico 10 muestra la curva granulométrica obtenida para el agregado fino.

GRAFICO N° 10: Curva granulométrica agregado fino



*Fuente: propio laboratorio*

#### b. Agregado grueso •

**Cantera:** vicho

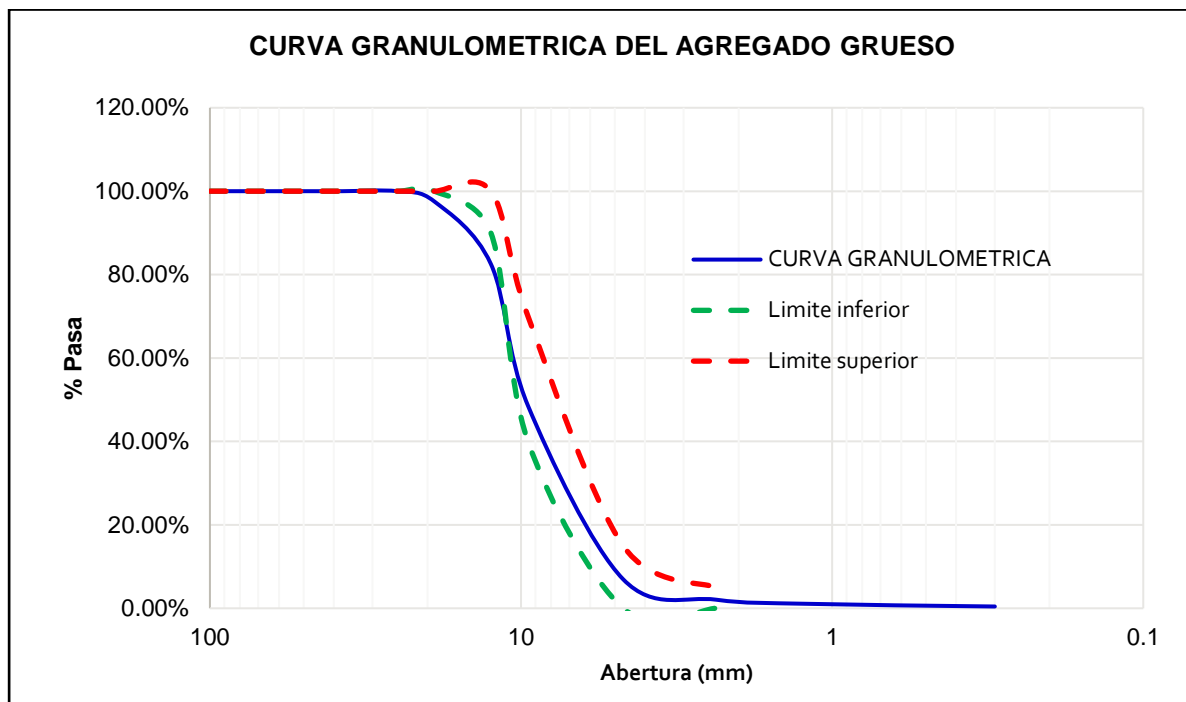
##### • Ubicación

- **Distrito:** San Salvador
- **Provincia:** calca
- **Departamento:** cusco

##### • Tipo – cantera abierta

Se consideró todos los procedimientos establecidos por la NTP para determinar las características para el agregado grueso (ver Anexo 02 pág. 115). A continuación, el Grafico 11 muestra la curva granulométrica obtenida para el agregado grueso.

**GRAFICO N° 11: Curva granulométrica agregado grueso**



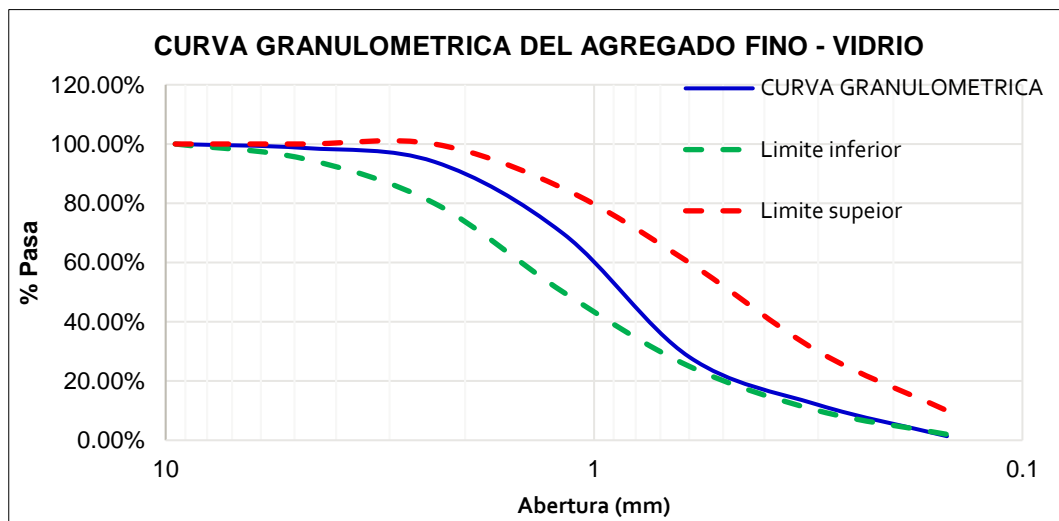
Fuente: propio laboratorio

**c. Vidrio molido**

- **Cantera:** Vidrio molido

De igual forma se consideran los procedimientos establecidos por NTP para determinar las características del vidrio como agregado fino. (Ver Anexo 03 pág. 119) A continuación, el gráfico 12 muestra la curva granulométrica.

**GRAFICO N° 12: Curva granulométrica del vidrio como agregado fino**



Fuente: propio laboratorio



### 3.8. Diseño de mezcla de concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$

#### Datos

- Cemento yura tipo IP
- $F'_c=210 \text{ kg/cm}^2$
- Peso específico del cemento= $2.85 \text{ gr/cm}^3$
- Slump requerida= $3''$
- Peso específico del agua= $1000 \text{ kg/m}^3$

#### 1) Resistencia promedio requerida ( $f'_{cr}$ )

$$F'_c=210 \text{ kg/cm}^2$$

TABLA N° 25: Resistencia promedio

$f'_c$	$f'_c$
Menos de 210	$f'_c + 70$
210 a 350	$f'_c + 84$
Sobre 350	$f'_c + 98$

Fuente: Aci 211

$$F'_c=210 + 84 = 294 \text{ kg/cm}^2$$

#### 2) Contenido de aire

TABLA N° 26: Contenido de aire

T.M.N (pulg)	Aire atrapado
3/8"	3.0%
1/2"	2.5%
3/4"	2.0%
1"	1.5%
1 1/2"	1.0%
2"	0.5%
3"	0.3%
6"	0.2%

Fuente: Aci 211

#### 3) Contenido de agua

TABLA N° 27: Contenido de agua

Agua $1\text{m}^3$ para los tamaños máximos nominales del agregado grueso y consistencia indicados								
Asentamiento	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concretos sin aire incorporado								
1"-2"	267	199	190	179	166	154	130	113
3"-4"	228	216	205	193	181	169	145	124

6"-7"	243	228	216	202	190	178	160	---
Concretos con sin aire incorporado								
1"-2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3"-4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6"-7"	261	205	197	184	174	166	154	---

Fuente: Aci 211

#### 4) Relación a/c (por resistencia f'cr)

$$F'c=210 + 84 =294 \text{ kg/cm}^2$$

TABLA N° 28: Relación a/c

F'c 28 días	Relación a/c de diseño 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: Aci 211

Interpolando datos

$$250 \dots\dots\dots 0.62$$

$$294 \dots\dots\dots x$$

$$300 \dots\dots\dots 0.55$$

$$\frac{300 - 250}{0.55 - 0.62} = \frac{300 - 294}{0.55 - x}$$

$$\frac{50}{-0.07} = \frac{6}{0.55 - x}$$

$$27.50 - 50x = -0.42$$

$$-50x = -27.92$$

$$x = 0.558$$

### 5) Contenido de cemento

$$C = \frac{\text{volumen unitario de agua}}{\text{relacion a/c}}$$

$$C = \frac{216}{0.558}$$

$$C = 387.097 \text{ kg}$$

$$\text{Factor C} = \frac{387.097 \text{ kg}}{42.5 \text{ kg}}$$

$$\text{Factor C} = 9.11 \text{ bls}$$

### 6) Peso del agregado grueso

TABLA N° 29: Peso para el agregado grueso

Tamaño máximo del agregado grueso		Volumen de agregado grueso, seco y compactado por unidad de volumen de concreto, para diferentes módulos de fineza del agregado fino b/b0			
		Módulo de fineza del agregado fino			
mm	pulg	2.40	2.60	2.80	3.00
10	3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
20	3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
25	1"	0.71	0.69	0.67	0.65
40	1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.70
50	2"	0.78	0.76	0.74	0.72
70	3"	0.81	0.79	0.77	0.75
150	6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: Aci 211

Interpolando datos

$$2.60 \dots\dots\dots 0.57$$

$$2.75 \dots\dots\dots x$$

$$2.80 \dots\dots\dots 0.55$$

$$\frac{2.80 - 2.60}{0.55 - 0.57} = \frac{2.80 - 2.75}{0.55 - x}$$

$$\frac{0.20}{-0.02} = \frac{0.05}{0.55 - x}$$

$$0.11 - 0.20x = -0.001$$

$$-0.20x = -0.111$$

$$x = 0.555$$

$$\text{Peso AG} = \frac{b}{b_0} * \text{peso USC}$$

$$\text{Peso AG} = 0.555 \text{ m}^3 * 1537 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso AG} = 853.035 \text{ kg}$$

### 7) Volumen absoluto

$$\text{Cemento} = \frac{387.097 \text{ kg}}{2.85 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} * 1000}$$

$$\text{Cemento} = 0.136 \text{ m}^3$$

$$\text{Agua} = \frac{216 \text{ lts}}{1000 \text{ kg/m}^3}$$

$$\text{Agua} = 0.216 \text{ m}^3$$

$$\text{Aire} = \frac{2.5}{100}$$

$$\text{Agua} = 0.025 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen del AG} = \frac{853.035 \text{ kg}}{2740 \text{ kg/m}^3}$$

$$\text{Volumen del AG} = 0.311 \text{ m}^3$$

$$\text{Sumatoria} = 0.136 \text{ m}^3 + 0.126 \text{ m}^3 + 0.025 \text{ m}^3 + 0.311 \text{ m}^3$$

$$\text{Sumatoria} = 0.688 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen del agregado fino} = 1 \text{ m}^3 - 0.688 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen del agregado fino} = 0.312 \text{ m}^3$$

### 8) Peso del agregado fino

$$\text{Peso del AF} = 0.312 \text{ m}^3 * 2650 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso del AF} = 826.80 \text{ kg}$$

### 9) Presentación del diseño en estado seco

$$\text{Cemento} = 387.097 \text{ kg}$$

$$\text{Agregado fino} = 826.80 \text{ kg}$$

$$\text{Agregado grueso} = 853.035 \text{ kg}$$

$$\text{Agua} = 216 \text{ lts}$$

### 10) Corrección por humedad de los agregados

$$\text{Peso seco} * \left( \frac{w\%}{100} + 1 \right)$$

$$\text{Agregado fino} = 826.80 \text{ kg}$$

$$\text{Agregado fino} = 826.80 * \left( \frac{4.66}{100} + 1 \right)$$

$$\text{Agregado fino} = 865.329 \text{ kg}$$

$$\text{Agregado grueso} = 853.035 \text{ kg}$$

$$\text{Agregado grueso} = 853.035 * \left( \frac{1.03}{100} + 1 \right)$$

$$\text{Agregado grueso} = 861.821 \text{ kg}$$

### 11) Aporte de agua a la mezcla

$$\frac{(\%w - \%abs) * \text{agregado seco}}{100}$$

$$\text{Agregado fino} = \frac{(4.66 - 3) * 865.329}{100}$$

$$\text{Agregado fino} = 14.364 \text{ lts}$$

$$\text{Agregado grueso} = \frac{(1.03 - 1.16) * 861.821}{100}$$

$$\text{Agregado grueso} = -1.120 \text{ lts}$$

$$\text{Sumatoria} = 14.364 \text{ lts} + (-1.120 \text{ lts})$$

**Sumatoria = 13.244 lts**

## 12) Agua efectiva

Agua = 216 lts – 13.244 lts

Agua = 202.756 lts

## 13) Proporciónamiento del diseño

**TABLA N° 30: Proporción de diseño**

Estado seco		
Elemento	Vol. abs m3	Peso kg
cemento	0.136	387.097
arena	0.312	826.800
pedra	0.311	853.035
agua	0.216	216
aire	0.025	0
<b>TOTAL</b>	<b>1.000</b>	<b>2282.932</b>

**Fuente: Propia laboratorio**

**TABLA N° 31: Corrección por absorción y humedad**

Corrección por absorción y humedad		
Elemento	Vol. abs m3	Peso kg
cemento	0.136	387.10
arena	0.312	865.33
pedra	0.311	861.82
agua	0.216	202.76
aire	0.025	
<b>Total</b>	<b>1.000</b>	<b>2317.00</b>

**Fuente: Propia laboratorio**

**TABLA N° 32: Proporción de mezcla**

<b>Cemento</b>	<b>A. fino</b>	<b>A. grueso</b>	<b>Agua</b>
387.10	865.33	861.82	202.76
kg	Kg	kg	Lts

**Fuente: Propia laboratorio**

TABLA N° 33: Diseño de mezcla patrón  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>

Patrón $f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup>			
Materiales - proporción		proporción en kg	proporción en gr
Cemento	1	2.48	2480
Agua	22.26	1.28	1280
Arena fina Pisac	2.24	5.52	5520
A.G Vicho	2.23	5.52	5520
TOTAL		14.80	14800

Fuente: Propia laboratorio

TABLA N° 34: Diseño de mezcla  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> – 5% vidrio molido

$f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup> (5% vidrio)		
Materiales	En gr	En kg
Cemento	2480	2.48
Agua	1280	1.28
Arena fina Pisac	5244	5.24
A.G Vicho	5520	5.52
Vidrio Molido	276	0.28
TOTAL	14800	14.80

Fuente: Propia

TABLA N° 35: Diseño de mezcla  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> – 10% vidrio molido

$f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup> (10% vidrio)		
MATERILAES	En gr	En kg
Cemento	2480	2.48
Agua	1280	1.28
Arena fina Pisac	4968	4.968
A.G Vicho	5520	5.52
Vidrio Molido	552	0.552
TOTAL	14800	14.80

Fuente: Propia laboratorio

TABLA N° 36: Diseño de mezcla  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> – 15% vidrio molido

$f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup> (15% vidrio)		
Materiales	En gr	En kg
Cemento	2480	2.48
Agua	1280	1.28
Arena fina Pisac	4692	4.692
A.G Vicho	5520	5.52
Vidrio Molido	828	0.828
TOTAL	14800	14.8

Fuente: Propia laboratorio

## CAPITULO IV Resultados y discusión

### 4.1. Resultados

Los resultados de esta investigación se plasman en el cuadro de resumen de resistencia del concreto  $f'c=210\text{kg/cm}^2$  a sus diferentes edades de 3, 7, 14, 21 y 28 días, y sustituyendo vidrio molido como agregado fino en porcentajes de 5%, 10% y 15%.

**TABLA N° 37: Resultados de resistencia a la compresión**

Días Curado y Rotura	Elemento	$f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup>	Ø cm	Altura Cm	Área cm <sup>2</sup>	$f_c$	% Resistencia	Promedio % Resistencia
3 días	$f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup>	210	10	20	78.54	107.20	51%	55%
3 días	$f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup>	210	10	20	78.54	122.30	58%	
3 días	$f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup>	210	10	20	78.54	114.75	55%	
3 días	$f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup> 5% vidrio	210	10	20	78.54	109.65	52%	50%
3 días	$f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup> 5% vidrio	210	10	20	78.54	101.21	48%	
3 días	$f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup> 5% vidrio	210	10	20	78.54	105.43	50%	
3 días	$f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup> 10% vidrio	210	10	20	78.54	101.95	49%	51%
3 días	$f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup> 10% vidrio	210	10	20	78.54	111.25	53%	
3 días	$f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup> 10% vidrio	210	10	20	78.54	106.60	51%	
3 días	$f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup> 15% vidrio	210	10	20	78.54	106.80	51%	50%
3 días	$f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup> 15% vidrio	210	10	20	78.54	104.54	50%	
3 días	$f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup> 15% vidrio	210	10	20	78.54	105.67	50%	



7 días	f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup>	210	10	20	78.54	149.49	71%	75%
7 días	f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup>	210	10	20	78.54	164.86	79%	
7 días	f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup>	210	10	20	78.54	157.18	75%	
7 días	f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup> 5% vidrio	210	10	20	78.54	134.94	64%	65%
7 días	f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup> 5% vidrio	210	10	20	78.54	139.07	66%	
7 días	f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup> 5% vidrio	210	10	20	78.54	137.01	65%	
7 días	f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup> 10% vidrio	210	10	20	78.54	138.97	66%	67%
7 días	f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup> 10% vidrio	210	10	20	78.54	142.62	68%	
7 días	f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup> 10% vidrio	210	10	20	78.54	140.80	67%	
7 días	f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup> 15% vidrio	210	10	20	78.54	122.72	58%	62%
7 días	f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup> 15% vidrio	210	10	20	78.54	136.86	65%	
7 días	f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup> 15% vidrio	210	10	20	78.54	129.79	62%	
14 días	f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup>	210	10	20	78.54	191.88	91%	93%
14 días	f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup>	210	10	20	78.54	197.71	94%	
14 días	f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup>	210	10	20	78.54	194.80	93%	
14 días	f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup> 5% vidrio	210	10	20	78.54	176.75	84%	83%
14 días	f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup> 5% vidrio	210	10	20	78.54	172.26	82%	
14 días	f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup> 5% vidrio	210	10	20	78.54	174.50	83%	
14 días	f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup> 10% vidrio	210	10	20	78.54	172.59	82%	84%
14 días	f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup> 10% vidrio	210	10	20	78.54	180.48	86%	
14 días	f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup> 10% vidrio	210	10	20	78.54	176.54	84%	
14 días	f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup> 15% vidrio	210	10	20	78.54	163.35	78%	80%
14 días	f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup> 15% vidrio	210	10	20	78.54	174.14	83%	
14 días	f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup> 15% vidrio	210	10	20	78.54	168.74	80%	
21 días	f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup>	210	10	20	78.54	208.74	99%	100%
21 días	f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup>	210	10	20	78.54	212.77	101%	
21 días	f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup>	210	10	20	78.54	210.75	100%	
21 días	f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup> 5% vidrio	210	10	20	78.54	225.26	107%	101%
21 días	f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup> 5% vidrio	210	10	20	78.54	199.48	95%	
21 días	f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup> 5% vidrio	210	10	20	78.54	212.37	101%	
21 días	f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup> 10% vidrio	210	10	20	78.54	201.77	96%	94%
21 días	f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup> 10% vidrio	210	10	20	78.54	194.64	93%	

21 días	f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup> 10% vidrio	210	10	20	78.54	198.21	94%	
21 días	f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup> 15% vidrio	210	10	20	78.54	182.23	87%	91%
21 días	f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup> 15% vidrio	210	10	20	78.54	198.29	94%	
21 días	f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup> 15% vidrio	210	10	20	78.54	190.26	91%	
28 días	f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup>	210	10	20	78.54	234.48	112%	110%
28 días	f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup>	210	10	20	78.54	226.67	108%	
28 días	f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup>	210	10	20	78.54	230.57	110%	
28 días	f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup> 5% vidrio	210	10	20	78.54	221.90	106%	103%
28 días	f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup> 5% vidrio	210	10	20	78.54	212.18	101%	
28 días	f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup> 5% vidrio	210	10	20	78.54	217.04	103%	
28 días	f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup> 10% vidrio	210	10	20	78.54	215.93	103%	101%
28 días	f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup> 10% vidrio	210	10	20	78.54	207.81	99%	
28 días	f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup> 10% vidrio	210	10	20	78.54	211.87	101%	
28 días	f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup> 15% vidrio	210	10	20	78.54	214.45	102%	97%
28 días	f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup> 15% vidrio	210	10	20	78.54	194.29	93%	
28 días	f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup> 15% vidrio	210	10	20	78.54	204.37	97%	

Fuente: Propia laboratorio

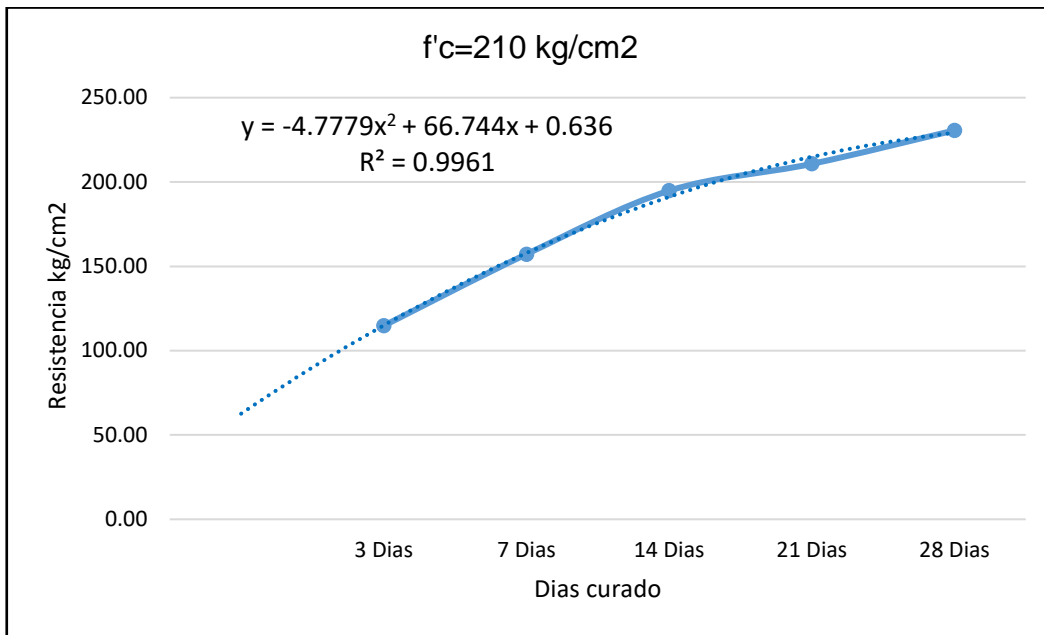
#### 4.1.1. Promedios de rotura y desviación estándar a diferentes edades

A continuación, se presenta los cuadros de análisis de resultados de la resistencia a compresión a sus diferentes edades de 3, 7, 14, 21 y 28 días, y sustituyendo vidrio molido como agregado fino en porcentajes de 5%, 10% y 15%.

**TABLA N° 38: Promedios y desviación estándar del concreto patrón**

f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup>					
días Curado y Rotura	Dimensiones		f <sub>c</sub> Promedio	% Promedio resistencia	s
	Ø cm	H cm			
3 días	10	20	114.75	55%	±3.29
7 días	10	20	157.18	75%	±3.25
14 días	10	20	194.80	93%	±2.92
21 días	10	20	210.75	100%	±2.01
28 días	10	20	230.57	110%	±3.91

Fuente: Propia laboratorio

**GRAFICO N° 13: Curva de resistencia a la compresión de patrón a diferentes edades**

**Fuente: Propia laboratorio**

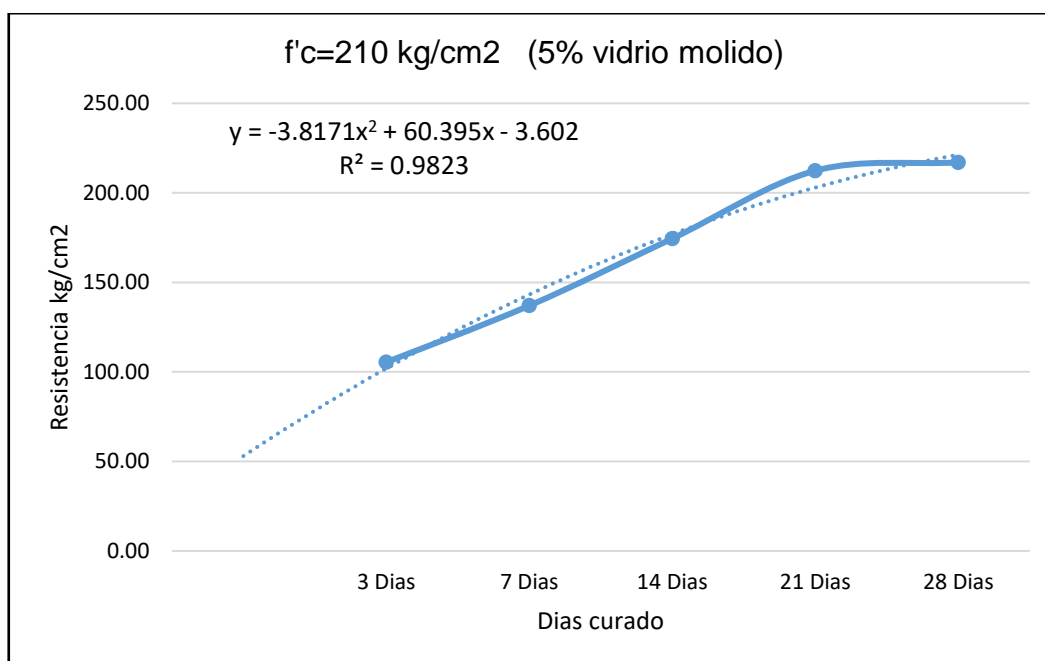
La desviación estándar para en concreto patrón a sus diferentes edades presenta una variación de 2.01 hasta 3.91.

**TABLA N° 39: Promedios y desviación estándar del concreto con la sustitución de 5% de vidrio por agregado fino**

f'c=210 kg/cm <sup>2</sup> (5% Vidrio molido)					
días Curado y Rotura	Dimensiones		f'c Promedio	% Promedio resistencia	s
	Ø cm	H cm			
3 días	10	20	105.43	50%	±4.22
7 días	10	20	137.01	65%	±2.07
14 días	10	20	174.50	83%	±2.24
21 días	10	20	212.37	101%	±2.89
28 días	10	20	217.04	103%	±4.86

**Fuente: Propia laboratorio**

**GRAFICO N° 14: Curva de resistencia a la compresión con la sustitución de 5% de vidrio por agregado fino**



**Fuente: Propia laboratorio**

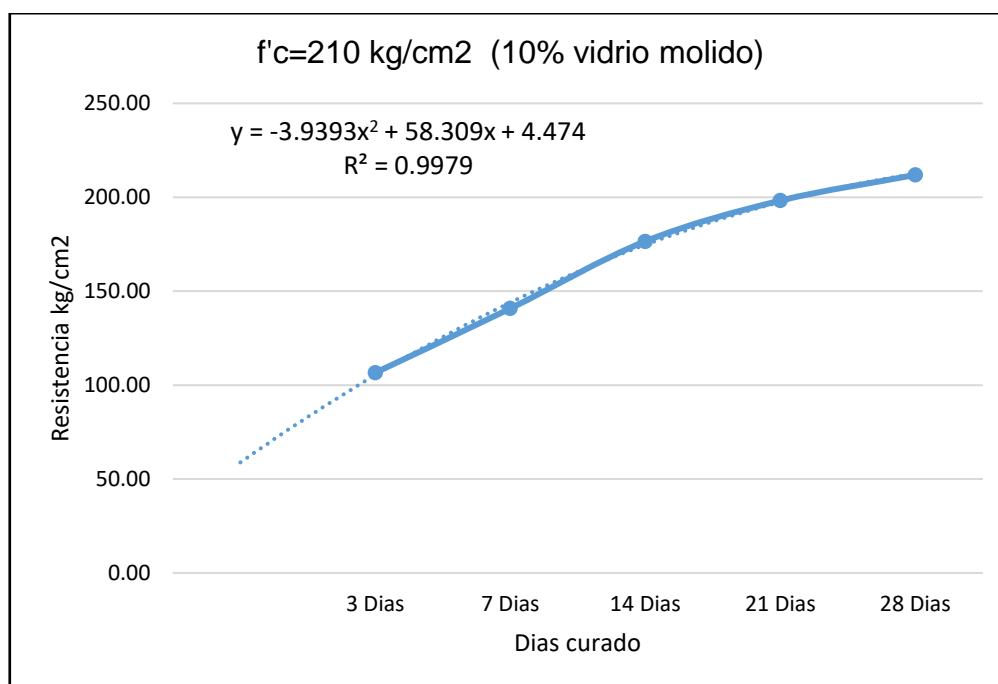
La desviación estándar con la sustitución del 5% del vidrio por agregado fino a sus diferentes edades presenta una variación de 2.24 hasta 4.86.

**TABLA N° 40: Promedios y desviación estándar del concreto con la sustitución de 10% de vidrio por agregado fino**

f'c=210 kg/cm2 (10% Vidrio molido)					
días Curado y Rotura	Dimensiones		f'c Promedio	% Promedio resistencia	s
	Ø cm	H cm			
3 días	10	20	106.60	51%	±4.65
7 días	10	20	140.80	67%	±1.82
14 días	10	20	176.54	84%	±3.95
21 días	10	20	198.21	94%	±3.56
28 días	10	20	211.87	101%	±4.06

**Fuente: Propia laboratorio**

**GRAFICO N° 15: Curva de resistencia a la compresión con la sustitución de 10% de vidrio por agregado fino**



**Fuente: Propia laboratorio**

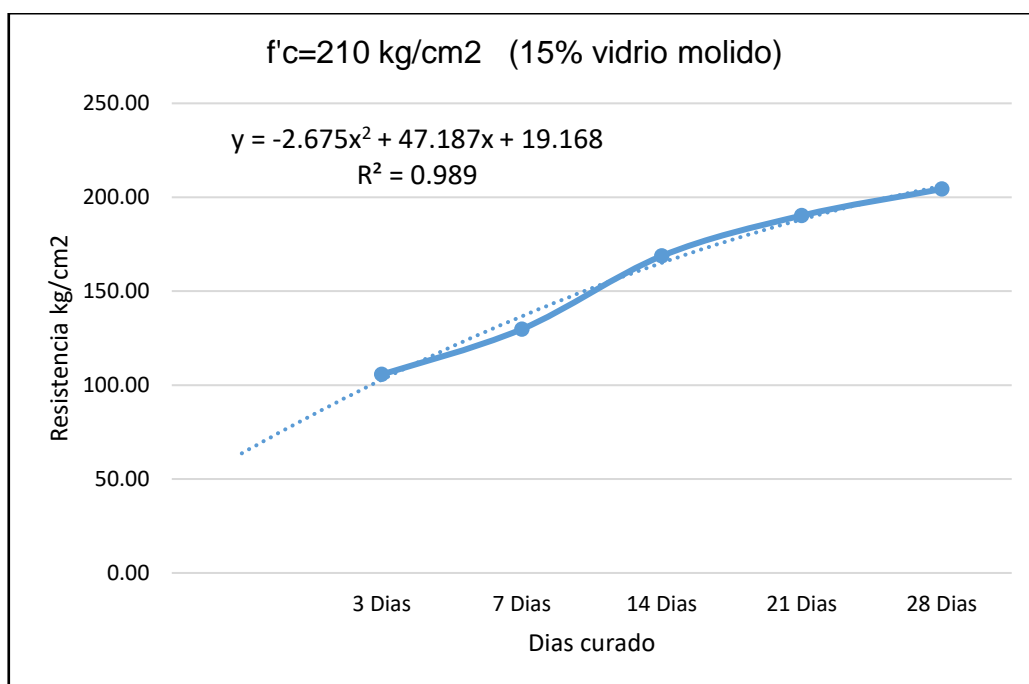
La desviación estándar con la sustitución del 10% del vidrio por agregado fino a sus diferentes edades presenta una variación de 1.82 hasta 4.65.

**TABLA N° 41: Promedios y desviación estándar del concreto con la sustitución de 15% de vidrio por agregado fino**

f'c=210 kg/cm <sup>2</sup> (15% Vidrio molido)					
días Curado y Rotura	Dimensiones		f'c Promedio	% Promedio resistencia	s
	Ø cm	H cm			
3 días	10	20	105.67	50%	±1.13
7 días	10	20	129.79	62%	±1.28
14 días	10	20	168.74	80%	±2.50
21 días	10	20	190.26	91%	±2.64
28 días	10	20	204.37	97%	±2.61

**Fuente: Propia laboratorio**

**GRAFICO N° 16: Curva de resistencia a la compresión con la sustitución de 15% de vidrio por agregado fino**



**Fuente: Propia laboratorio**

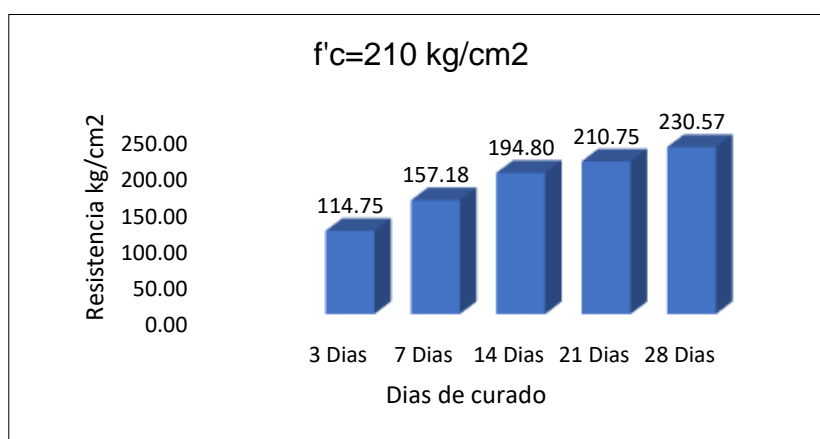
La desviación estándar con la sustitución del 15% del vidrio por agregado fino a sus diferentes edades presenta una variación de 1.13 hasta 2.50.

#### 4.1.2. Resultados de resistencia alcanzada durante el tiempo de curado

**TABLA N° 42: Promedios de resistencia a la compresión concreto patrón**

f'c=210 kg/cm <sup>2</sup>				
días Curado y Rotura	Dimensiones		f'c Promedio	% Promedio resistencia
	Ø cm	H cm		
3 días	10	20	114.75	55%
7 días	10	20	157.18	75%
14 días	10	20	194.80	93%
21 días	10	20	210.75	100%
28 días	10	20	230.57	110%

**Fuente: Propia laboratorio**

**GRAFICO N° 17: Resistencia/curado del concreto patrón**

**Fuente: Propia laboratorio**

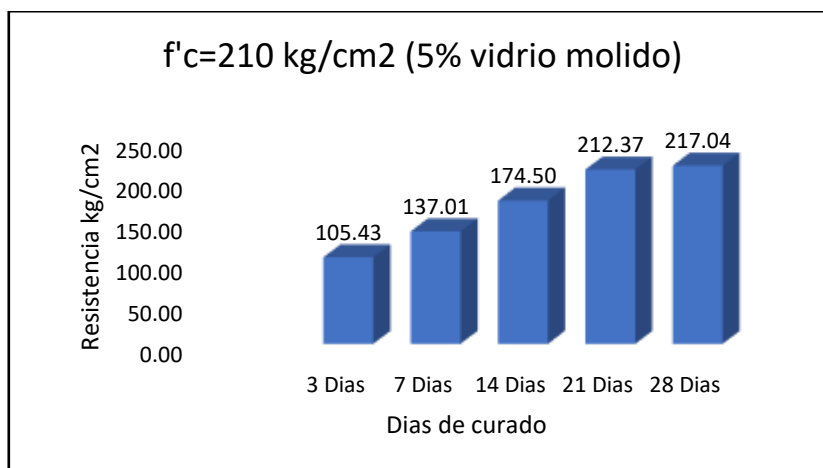
Las briquetas sin la sustitución de vidrio llegaron a alcanzar una resistencia promedio a los 3 días de 114.75 kg/cm<sup>2</sup> correspondientes a un porcentaje de 55 %, incrementándose hasta alcanzar a los 28 días una resistencia de 230.37 kg/cm<sup>2</sup> correspondiente a un porcentaje de 110 %.

**TABLA N° 43: Promedios de resistencia a la compresión concreto con la sustitución de 5% de vidrio por agregado fino**

f'c=210 kg/cm <sup>2</sup> (5% Vidrio molido)				
días Curado y Rotura	Dimensiones		f'c Promedio	% Promedio resistencia
	Ø cm	H cm		
3 días	10	20	105.43	50%
7 días	10	20	137.01	65%
14 días	10	20	174.50	83%
21 días	10	20	212.37	101%
28 días	10	20	217.04	103%

**Fuente: Propia laboratorio**

**GRAFICO N° 18: Resistencia/curado del concreto con la sustitución de 5% de vidrio**



**Fuente: Propia laboratorio**

En caso del concreto con la sustitución de 5% de vidrio por agregado fino, se obtuvo una resistencia a los 3 días de 105.43 kg/cm<sup>2</sup> correspondiente a un porcentaje 50%, a los 21 días se tiene una resistencia 212.37 kg/cm<sup>2</sup> con un porcentaje de 101% y que es mayor al concreto sin vidrio a los 21 días de curado, con el paso del tiempo de curado este se va incrementando llegando a alcanzar una resistencia a los 28 días de 217.04 kg/cm<sup>2</sup> con un porcentaje de 103%, siendo menor que la resistencia que alcanzo el concreto sin vidrio.

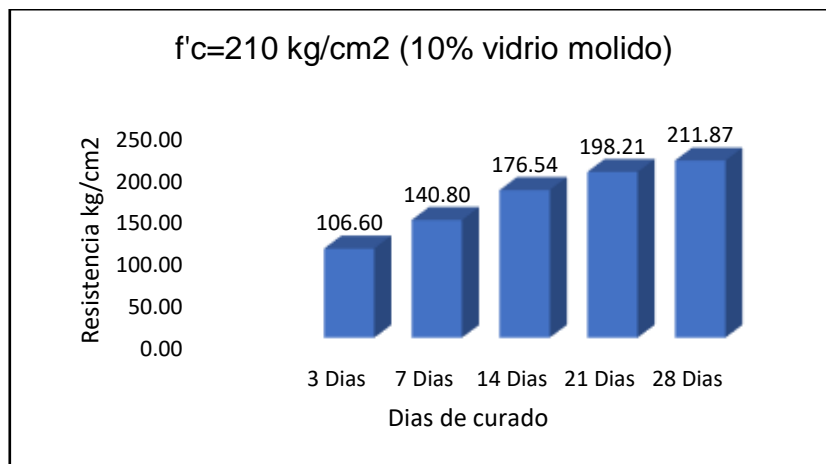
**TABLA N° 44: Promedios de resistencia a la compresión concreto con la sustitución de 10% de vidrio por agregado fino**

f'c=210 kg/cm <sup>2</sup> (10% Vidrio molido)				
días Curado y Rotura	Dimensiones		f'c Promedio	% Promedio resistencia
	Ø cm	H cm		
3 días	10	20	106.60	51%
7 días	10	20	140.80	67%
14 días	10	20	176.54	84%
21 días	10	20	198.21	94%
28 días	10	20	211.87	101%

**Fuente: Propia laboratorio**



**GRAFICO N° 19: Resistencia/curado del concreto con la sustitución de 10% de vidrio**



**Fuente: Propia laboratorio**

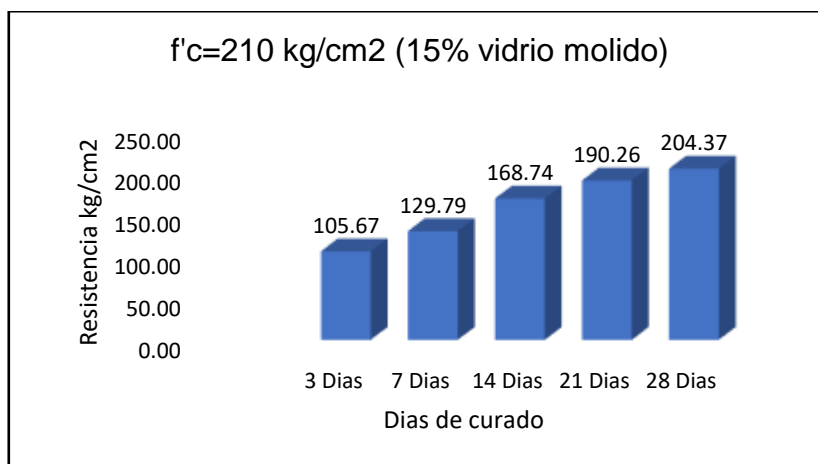
El concreto con la sustitución de 10% de vidrio por agregado fino, se obtuvo una resistencia a los 3 días de 106.60 kg/cm<sup>2</sup> correspondiente a un porcentaje 51%, con el paso del tiempo de curado este se va incrementando llegando a alcanzar una resistencia a los 28 días de 211.87 kg/cm<sup>2</sup> con un porcentaje de 101%, siendo menor que la resistencia que alcanzo el concreto sin vidrio, pero que alcanza la resistencia de diseño.

**TABLA N° 45: Promedios de resistencia a la compresión concreto con la sustitución de 15% de vidrio por agregado fino**

días Curado y Rotura	Dimensiones		f'c Promedio	% Promedio resistencia
	Ø cm	H cm		
3 días	10	20	105.67	50%
7 días	10	20	129.79	62%
14 días	10	20	168.74	80%
21 días	10	20	190.26	91%
28 días	10	20	204.37	97%

**Fuente: Propia laboratorio**

**GRAFICO N° 20: Resistencia/curado del concreto con la sustitución de 15% de vidrio**



**Fuente: Propia laboratorio**

El concreto con la sustitución de 15% de vidrio por agregado fino, se obtuvo una resistencia a los 3 días de 105.60 kg/cm<sup>2</sup> correspondiente a un porcentaje 50%, con el paso del tiempo de curado este se va incrementando llegando a alcanzar una resistencia a los 28 días de 204.37 kg/cm<sup>2</sup> con un porcentaje de 97%, siendo menor que la resistencia que alcanzo el concreto sin vidrio, viendo así que no alcanzo la resistencia de diseño.

#### 4.1.3. Promedio de las resistencias obtenidas en cada caso

A continuación, se muestra un cuadro de resumen de las resistencias obtenidas en cada caso y a sus diferentes edades de curado.

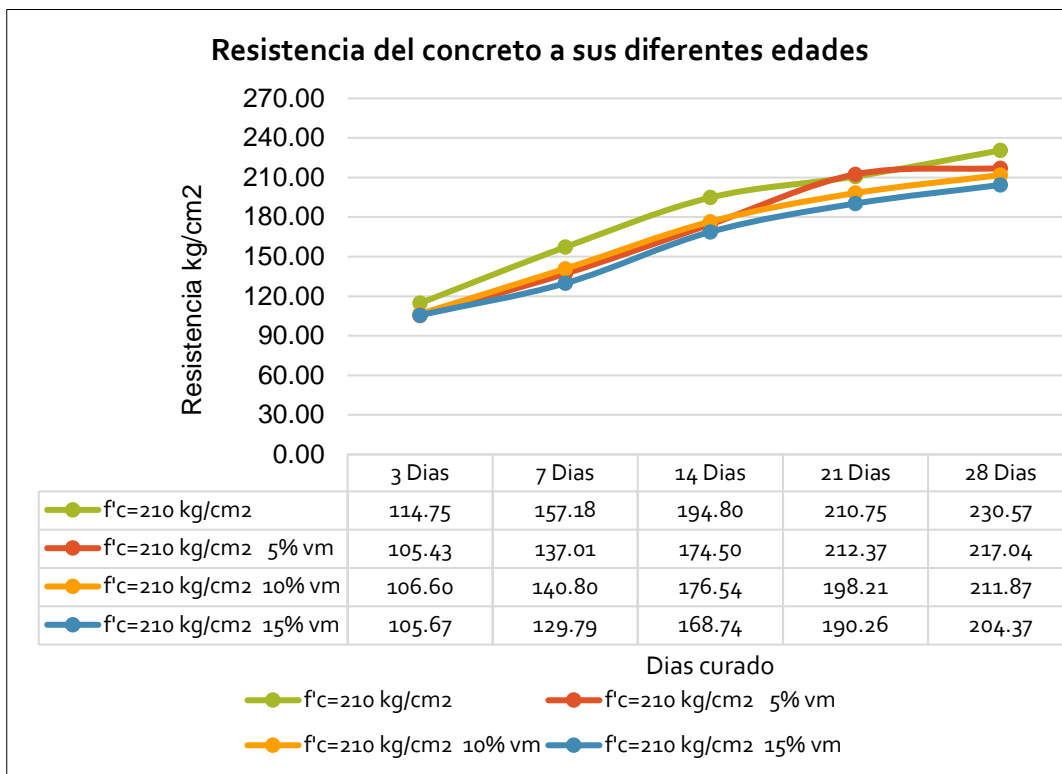
**TABLA N° 46: Promedio de resistencias obtenidas**

Días Curado Y Rotura	Promedio Esfuerzo kg/cm2			
	f'c=210 kg/cm2	f'c=210 kg/cm2 5% vidrio	f'c=210 kg/cm2 10% vidrio	f'c=210 kg/cm2 15% vidrio
3 días	114.75	105.43	106.60	105.67
7 días	157.18	137.01	140.80	129.79
14 días	194.80	174.50	176.54	168.74
21 días	210.75	212.37	198.21	190.26
28 días	230.57	217.04	211.87	204.37

**Fuente: Propia laboratorio**

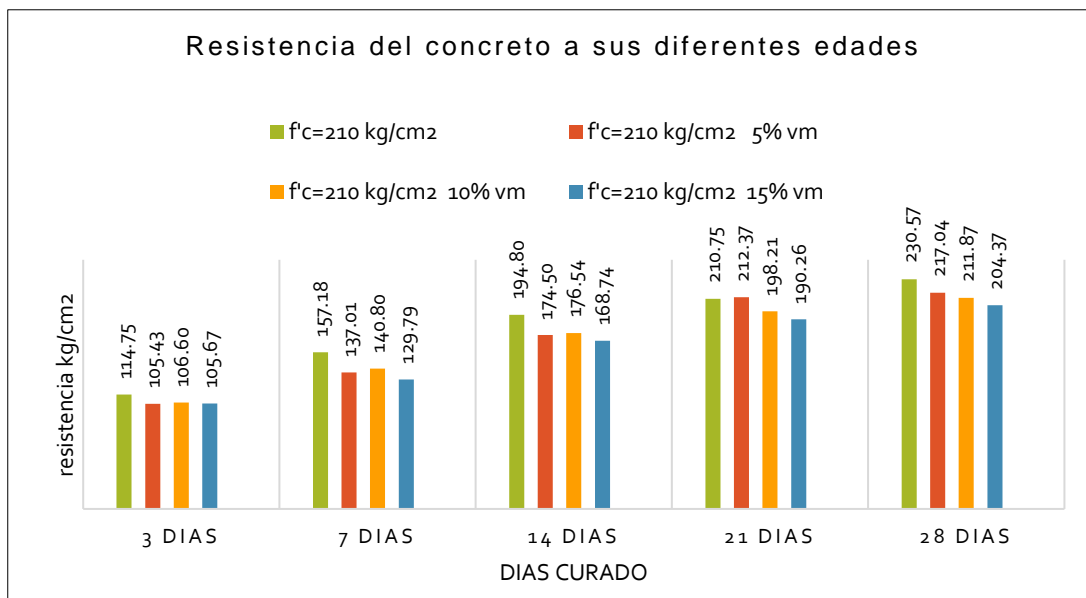
Seguidamente, se muestra el grafico de las curvas de resistencia a la compresión.

**GRAFICO N° 21: Promedio de curvas de resistencia a la compresión**



**Fuente: Propia laboratorio**

**GRAFICO N° 22: Promedio de barras de resistencia a la compresión**



**Fuente: Propia laboratorio**

Se puede observar en los dos gráficos anteriores que en concreto con la sustitución del 5% y 10% de vidrio alcanzan las resistencias de diseño,

como también se observa que a medida que se va incrementando el porcentaje de vidrio molido por agregado fino la resistencia a la compresión del concreto va disminuyendo.

#### **4.2. Discusión de resultados**

De los resultados obtenidos en el presente estudio, la incorporación de vidrio molido como un porcentaje de agregado fino, proporcionaron resistencias a la compresión axial menores con respecto al concreto tradicional, lo cual concuerda con los resultados presentados por: Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo en la Universidad Técnica de Abanto - Ecuador, con la Tesis Titulada: "ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN AL EMPLEAR VIDRIO RECICLADO MOLIDO EN REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO" en el cual concluye que el ensayo de compresión a los 28 días de edad arrojó los siguientes resultados de resistencia 227.73kg/cm<sup>2</sup>, 224.09kg/cm<sup>2</sup>, 223.66kg/cm<sup>2</sup>, 221.68kg/cm<sup>2</sup> y 234.76kg/cm<sup>2</sup>, para adición de vidrio molido del 0% - 10% - 20% - 30% y 40% respectivamente. Verificando así que todas alcanzaron la resistencia de diseño. Mientras el hormigón elaborado con 40% de vidrio en reemplazo de la arena se obtuvo una resistencia mayor a la del hormigón patrón, logrando 111.8% de la resistencia de diseño.

Del análisis realizado en el presente trabajo de investigación se tiene que con la sustitución del 5% y 10% de vidrio por agregado fino cumple la resistencia de diseño, alcanzando resistencias de 217.04 kg/cm<sup>2</sup>, 211.87 kg/cm<sup>2</sup>, mas no con el 15% de vidrio que alcanzo una resistencia de 204.37 kg/cm<sup>2</sup>, siendo menor a la resistencia de diseño.

## CONCLUSIONES

### Conclusión N°01

- Al procesar el vidrio de botellas coca – cola, inca Kola previamente lavadas y secadas, mediante la trituración con un martillo y una comba y luego el tamizado se obtuvo un material cuya curva granulométrica permitió aceptarlo como material adecuado para la elaboración de concreto en reemplazo parcial del agregado fino, debido a que la curva se encuentra dentro de los parámetros establecidos por la norma NTP 400.037, esto se debe a que el vidrio al ser procesado de acuerdo a ciertos requerimientos permite obtener una adecuada distribución granulométrica.
- Se determinó el módulo de fineza del vidrio como agregado fino teniendo 2.95, porcentaje de absorción de 0.69% y contenido de humedad de 0.03%.
- Se determinaron las características físico-mecánicas del agregado grueso (cantera de Vicho) y agregado fino (cantera de Pisac)

AGREGADOS	FINO	GRUESO
Perfil		Angular
Peso unitario suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1516.65	1453
Peso unitario compactado (kg/m <sup>3</sup> )	1547.3	1537
Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	2650	2740
Módulo de fineza	2.75	6.00
TMN	....	1/2"
% Absorción	3.00%	1.16%
% Humedad (%w)	4.66%	1.03%

- El análisis de peso unitario seco suelto y peso unitario compactado del agregado grueso se realizó bajo los parámetros de la NTP 400.017, peso específico y porcentaje de absorción se determinó bajo la norma NTP 400.021, contenido de humedad según la norma NTP 339.185.

### **Conclusión N°02**

- En la presente investigación de la resistencia a la compresión de un concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> con vidrio molido en reemplazo parcial del agregado fino se dio en tres porcentajes, los cuales son 0%, 5%, 10%, 15%, para los cual se realizó 12 briquetas (patrón) para un 0%, 12 briquetas con la sustitución de 5% de vidrio molido por agregado fino, 12 briquetas con sustitución de 10% de vidrio molido como agregado fino, 12 briquetas con sustitución de 15% de vidrio molido por agregado fino, haciendo un total de 60 briquetas.
- La variación de la curva de la resistencia a la compresión con la sustitución de vidrio molido como agregado fino es de, 7%, 9%, 13%, con resistencias que son: 217.04 kg/cm<sup>2</sup>, 211.04 kg/cm<sup>2</sup>, 204.3 kg/cm<sup>2</sup> respecto al concreto patrón.
- El mejor porcentaje de vidrio molido como agregado fino es de 5%, con respecto a los demás porcentajes que se evaluó en la presente investigación, con el cual alcanzo una resistencia de 217.04 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días y que cumple con el diseño de mezcla.

### **Conclusión N°03**

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

A los 3 días.

- Al analizar los resultados del ensayo de resistencia a la compresión a los 3 días de edad de probetas cilíndricas de concreto ( $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>), se obtuvo resistencias 114.75 kg/cm<sup>2</sup> para en concreto patrón, 105.43 kg/cm<sup>2</sup>, 106.60 kg/cm<sup>2</sup>, 105.67 kg/cm<sup>2</sup> al reemplazar parcialmente el vidrio molido por agregado fino en porcentajes de 5%, 10%, 15% respectivamente; la mezcla de concreto patrón logro una mayor resistencia en comparación con las que contenían vidrio alcanzando un 55% de la resistencia diseño.

A los 7 días.

- Al analizar los resultados del ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días de edad de probetas cilíndricas de concreto ( $f'_c=210$  kg/cm<sup>2</sup>), se obtuvo resistencias 157.18 kg/cm<sup>2</sup> para en concreto patrón, 137.01 kg/cm<sup>2</sup>, 140.80 kg/cm<sup>2</sup>, 129.79 kg/cm<sup>2</sup> al reemplazar parcialmente el vidrio molido por agregado fino en porcentajes de 5%, 10%, 15% respectivamente; la mezcla de concreto patrón logro una mayor resistencia en comparación con las que contenían vidrio alcanzando un 75% de la resistencia diseño.

A los 14 días.

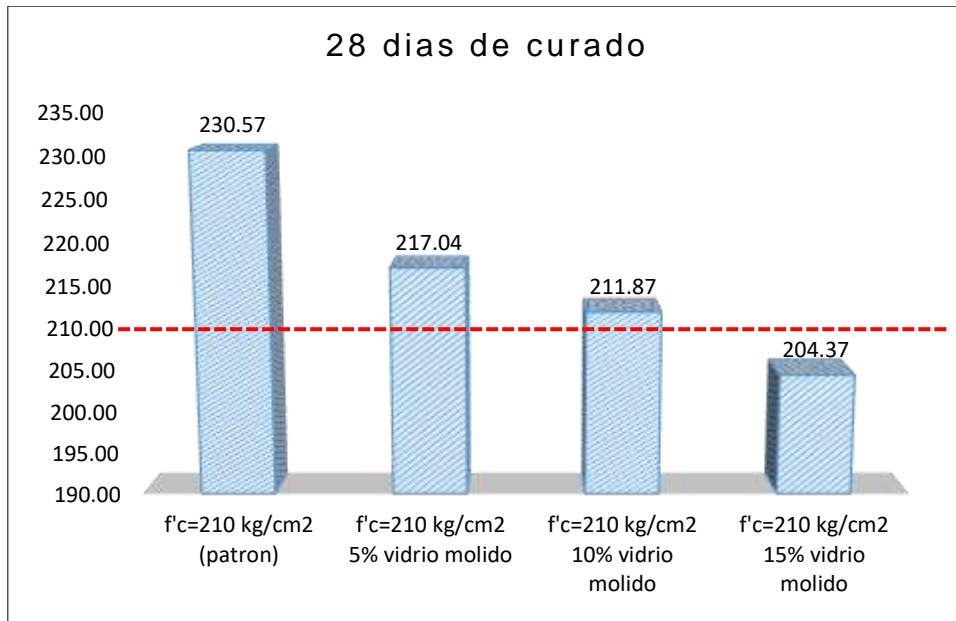
- Las muestras cilíndricas del concreto ensayadas a los 14 días de edad presentaron resistencias de 194.80 kg/cm<sup>2</sup> para el concreto patrón, mientras que en las que contienen vidrio molido como agregado fino se obtuvo 174.50 kg/cm<sup>2</sup>, 176.54 kg/cm<sup>2</sup>, 168.74 kg/cm<sup>2</sup>, para los porcentajes de 5%, 10%, 15% de vidrio molido respectivamente.

A los 21 días.

- Las muestras cilíndricas del concreto ensayadas a los 21 días de edad presentaron resistencias de 210.75 kg/cm<sup>2</sup> para el concreto patrón, mientras que en las que contienen vidrio molido como agregado fino se obtuvo 212.37 kg/cm<sup>2</sup>, 198.21 kg/cm<sup>2</sup>, 190.26 kg/cm<sup>2</sup>, para los porcentajes de 5%, 10%, 15% de vidrio molido respectivamente, como también se puede ver que con la sustitución del 5% de vidrio se supera la resistencia a la compresión con respecto al concreto patrón.

A los 28 días.

- Al analizar los resultados del ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días de edad de curado de concreto ( $f'_c=210$  kg/cm<sup>2</sup>), se obtuvo resistencias 230.57 kg/cm<sup>2</sup> para en concreto patrón, 217.04 kg/cm<sup>2</sup>, 211.87 kg/cm<sup>2</sup>, 204.37 kg/cm<sup>2</sup> al reemplazar parcialmente el vidrio molido por agregado fino en porcentajes de 5%, 10%, 15% respectivamente; la mezcla de concreto patrón logro una mayor resistencia en comparación con las que contenían vidrio alcanzando un 110% de la resistencia diseño.



- Las muestras ensayadas a los 28 días manifiestan mientras que se aumenta el porcentaje de vidrio como agregado fino la resistencia se reduce considerablemente, también se puede ver en el grafico que con los porcentajes de 5% y 10% se cumple la resistencia de diseño, mas no así con el 15% de vidrio que presenta una resistencia menor a lo diseñado.



## RECOMENDACIONES

- Realizar el llenado, varillado y compactación de los cilindros siguiendo lo establecido en las normas, para conseguir mejores resultados evitando porosidad, acumulación de aire y deficiencia al enrasar, esta última provoca una concentración de carga no uniforme durante el ensayo de compresión.
- Establecer el medio más apropiado durante el proceso de molienda del vidrio, considerando siempre el uso de equipo de protección personal como guantes, mascarilla y gafas, para evitar aspirar el polvo proveniente del triturado el mismo que es nocivo para la salud.
- Se recomienda la tesis de investigación como un aporte a la contaminación ambiental y al mismo tiempo el cuidado de la salud, producidos al desechar los vidrios c con otros residuos.
- El vidrio molido debe estar dentro los límites de la curva granulométrica del agregado fino establecidas por norma N.T.P 400.03.
- Secar las probetas de concreto antes de ensayarlos, es factible hacerlo media hora descansado el cilindro sobre una cara y media hora sobre la otra, así se impide que el agua proveniente del curado se concentre en una zona y provoque falla anticipada del cilindro.

**REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA**

(Julio-1992) ENRRIQUE RIVVA LOPEZ. TECNOLOGIA DEL CONCRETO DISEÑO DE MEZCLAS

(Lima-Perú 2009) ING. FAVIO ABANTO CASTILLO. TECNOLOGIA DEL CONCRETO, EDITORIAL SAN MARCOS

ING. JOSE ALVAREZ CANGAHUALA CIP 58077

(Facultad de Ing. Civil 2006) SAMUEL LAURA HUANCA. DISEÑO DE MEZCLAS, UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ANTIPLANO

(mayo-2004) ING. ANA TORRE C. CURSO BASICO DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO (UNI)

(marzo-2003) NATURALEZA Y MATERIALES DEL CONCRETO, ING. ENRIQUE RIVVA LOPEZ

MANUAL DE SUPERVISIÓN DE OBRAS DE CONCRETO, FEDERICO GONZALES

(1998) AMERICAN CONCRETE INSTITUTE – CAPITULO PERUANO. TECNOLOGÍA DEL CONCRETO.

(2003) EL CONCRETO Y OTROS MATERIALES PARA LA CONSTRUCCION - LIBIA GUTIÉRREZ DE LÓPEZ (UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA)

FIELD INVESTIGATION OF CONCRETE INCORPORATING MILLED WASTE GLASS (PROFESSOR OF CIVIL AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING MICHIGAN STATE UNIVERSITY, USA)

WORLD WILDLIFE FUND (WWF) MARCELO CASTILLO PAZMIÑO ING. CIVIL – MSC. INGENIERÍA AMBIENTAL

## ANEXOS

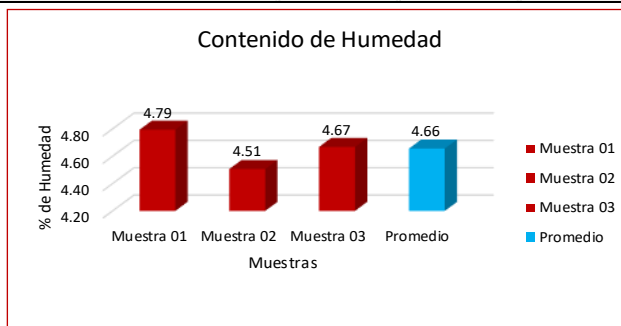
Anexo 01: características del agregado fino y resultados del análisis granulométrico de la cantera de Pisac.

**BACHILLER:** SANDRO DANIEL VENERO SONCCO

**TEMA:** ANALISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DE UN CONCRETO F'C=210 KG/CM2 CON VIDRIO MOLIDO EN REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO PARA EDIFICACIONES EN LA CIUDAD DE CUSCO

**FACULTAD:** INGENIERIA CIVIL

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO					
CANTERA DE PISAC					
DESCRIPCION	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Promedio	Unidad
Peso de capsula	20.55	20.57	20.50	20.54	gr
Peso de capsula+muestra humeda	161.75	158.91	177.45	166.04	gr
Peso de capsula+muestra seca	155.29	152.94	170.45	159.56	gr
Peso del agua	6.46	5.96	7.00	6.47	gr
Peso de la muestra en estado natural	141.21	138.34	156.95	145.50	gr
Peso de la muestra seca depues del horneado	134.75	132.37	149.95	139.02	gr
Contenido de humedad	4.79	4.51	4.67	4.66	%



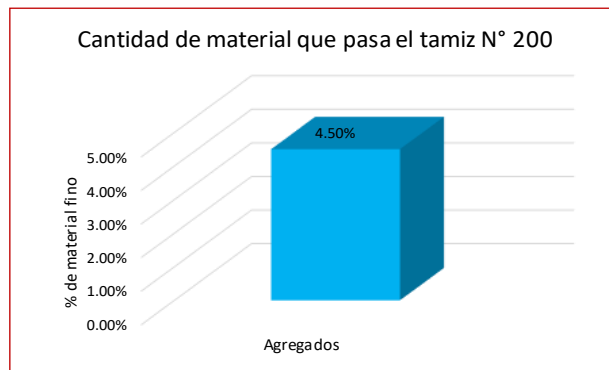
CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL=	4.66	%
-------------------------------	------	---

### CANTIDAD DE MATERIAL FINO QUE PASA EL TAMIZ N°200

DATOS DEL LAVADO DE LA MUESTRA	
Peso de la muestra seca antes del lavado (gr)	1331.60
Peso de la muestra seca despues del lavado (gr)	1262.40
Peso del residuo filtrado seco (gr)	61.50

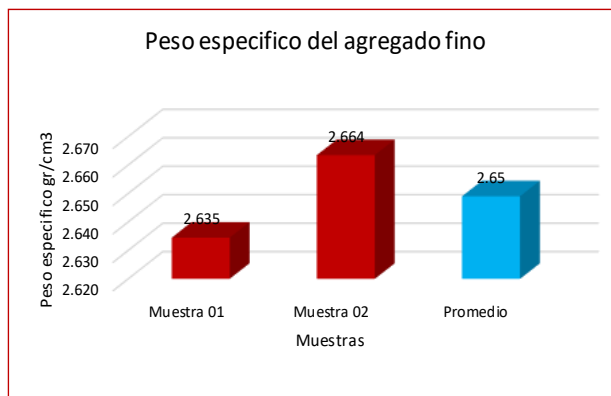
MATERIAL MAS FINO QUE EL TAMIZ N° 200	
Material de pasa el tamiz N° 200 (gr)	69.20
Porcentaje de material fino que pasa el tamiz N° 200	4.50%

FRACCIONES GRUESA Y FINA DE LA MUESTRA	
Fraccion fina (pasa el tamiz N° 200)	4.50%
Fraccion gruesa. (retiene el tamiz N° 200)	95.5%
Total	100%



MATERIAL FINO QUE PASA EL TAMIZ N° 200=	4.50%
---	-------

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DEL AGREGADO FINO - PISAC			
DESCRIPCION	Muestra 01	Muestra 02	Promedio
Recipiente de Saturacion	1	1	1.00
Volumen de recipiente (ml)	500	500	500.00
Peso del recipiente (gr)	436	436	436.00
Peso en el aire de la muestra seca (gr)	491.15	499	495.08
Peso de la muestra saturada superficialmente seca (gr)	507	514.000	510.50
Peso del picnometro o morraz aforado lleno de agua (gr)	1258	1258	1258.00
Peso del picnometro o morraz aforado con la muestra y lleno de agua (gr)	1572.5	1578.5	1575.50
Peso del agua absorbida (gr)	15.85	15.00	15.43
Peso especifico aparente (gr/cm3)	2.552	2.581	2.57
Peso especifico aparente saturado con superficie seca (gr/cm3)	2.635	2.664	2.65
Peso especifico nominal (gr/cm3)	2.782	2.798	2.79



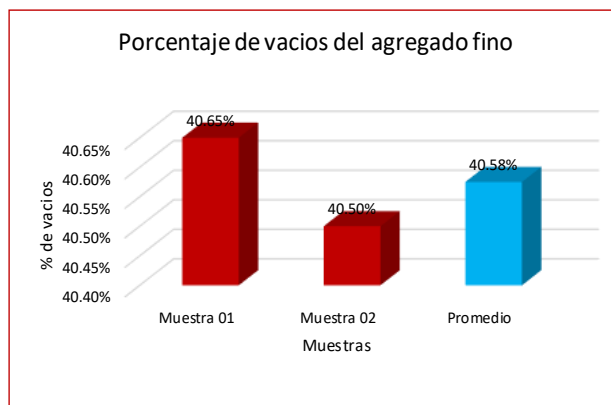
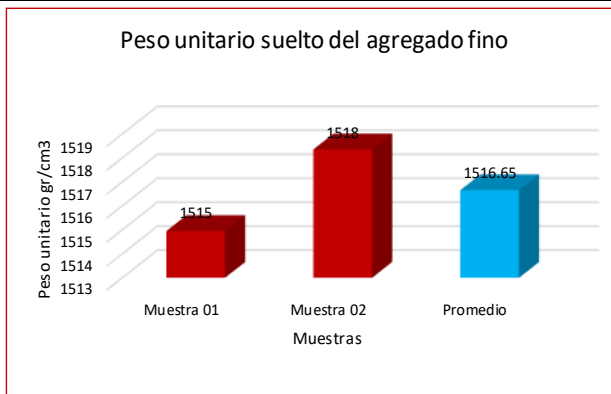
<b>PESO ESPECIFICO APARENTE=</b>	<b>2.65</b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>
----------------------------------	-------------	--------------------------

CAPACIDAD DE ABSORCION			
DATOS DE ENSAYO	Muestra 01	Muestra 02	Promedio
Numero de picnometro	2	2	2
Volumen de picnometro (ml)	1000	1000	1000
Peso del picnometro (gr)	436	436	436
Peso de la muestra seca (gr)	485.5	499	492.25
Peso de la muestra saturada con superficie seca (gr)	500.00	514.00	507
Peso del agua absorbida (gr)	14.50	15.00	14.75
Capacidad de absorcion	2.99%	3.01%	3.00%



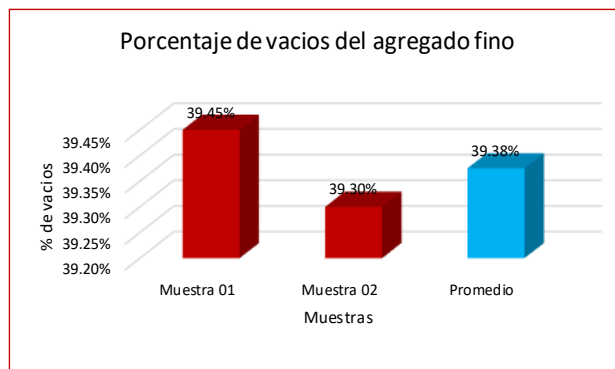
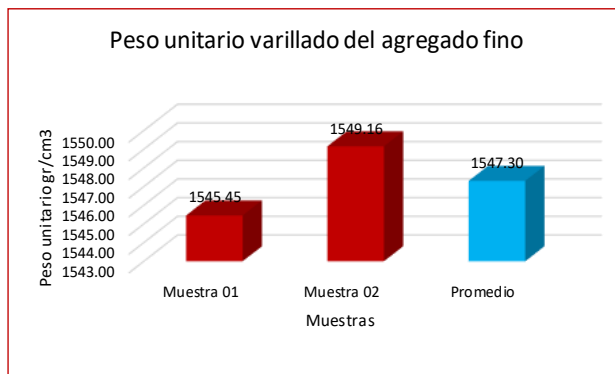
<b>CAPACIDAD DE ABSORCION=</b>	<b>3.00%</b>
--------------------------------	--------------

PESO UNITARIO SUELTO Y VACIOS DEL AGREGADO FINO			
DESCRIPCION	Muestra 01	Muestra 02	Promedio
Numero de molde	P-1	P-1	P-1
Peso del molde (gr)	2434	2434	2434
Peso de molde + muestra suelta (gr)	13123.5	13147.5	13135.5
Peso de la muestra suelta (gr)	10689.5	10713.5	10701.5
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	7056	7056	7056
Peso unitario suelto (gr/cm <sup>3</sup> )	1.515	1.518	1.517
Peso especifico aparente (kg/m <sup>3</sup> )	2552	2552	2552
Peso unitario suelto (kg/cm <sup>3</sup> )	1515	1518	1516.65
porcentaje de vacios	40.65%	40.50%	40.58%



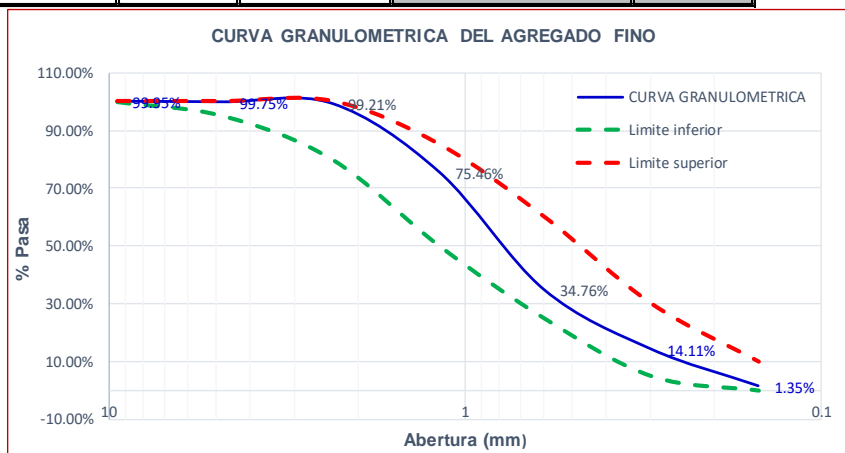
PESO UNITARIO SUELTO =	1516.65	gr/cm <sup>3</sup>
PORCENTAJE DE VACIOS =	40.58%	

PESO UNITARIO VARILLADO Y VACIOS DEL AGREGADO FINO			
DESCRIPCION	Muestra 01	Muestra 02	Promedio
Numero de capas	3	3	3
Numero de golpes	25	25	25
Numero de molde	P - 1	P - 1	P - 1
Peso del molde (gr)	2434	2434	2434
Peso del molde + la muestra varillada (gr)	13339	13364	13351.5
Peso de la muestra varillada (gr)	10905	10930	10917.5
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	7056	7056	7056
Peso unitario varillado (gr/cm <sup>3</sup> )	1.651	1.655	1.653
Peso especifico aparente (kg/m <sup>3</sup> )	2552	2552	2552
Peso unitario varillado (kg/m <sup>3</sup> )	1545.45	1549.16	1547.30
Porcentaje de vacios	39.45%	39.30%	39.38%



<b>PESO UNITARIO VARILLADO=</b>	<b>1547.30</b>	<b>gr/cm3</b>
<b>PORCENTAJE DE VACIOS=</b>	<b>39.38%</b>	

Tamiz N°	Abertura Ø mm	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que pasa	Agregado Grueso	
						L. inferior	L.superior
3/8"	9.5	0.31	0.05%	0.05%	99.95%	100%	100%
#4	4.75	1.29	0.20%	0.25%	99.75%	95%	100%
#8	2.36	3.41	0.54%	0.79%	99.21%	80%	100%
#16	1.18	150.00	23.74%	24.54%	75.46%	50%	85%
#30	0.6	257.12	40.70%	65.24%	34.76%	25%	60%
#50	0.3	130.50	20.66%	85.89%	14.11%	5%	30%
#100	0.15	80.56	12.75%	98.65%	1.35%	0%	10%
Fondo Cazuela		8.56	1.35%	100.00%	0.00%		
Total		632	100.00%			Modulo de Fineza=	2.75



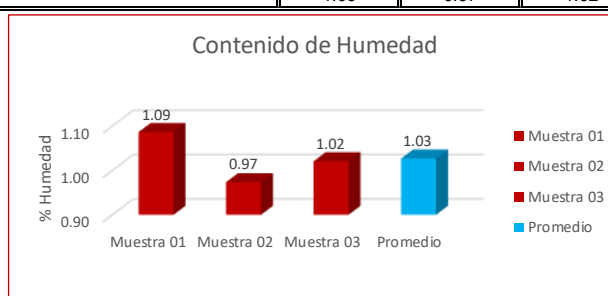
## Anexo 02: características del agregado grueso y resultados del análisis granulométrico de la cantera de vicho.

**BACHILLER SANDRO DANIEL VENERO SONCCO**

**TEMA:** ANALISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DE UN CONCRETO F'C=210 KG/CM2 CON VIDRIO MOLIDO EN REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO PARA EDIFICACIONES EN LA CIUDAD DE CUSCO

**FACULTAD:** INGENIERIA CIVIL

CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO GRUESO					
CANTERA - VICHO					
DESCRIPCION	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Promedio	Unidad
Peso de capsula	20.58	20.55	20.60	20.58	gr
Peso de capsula+muestra humeda	158.29	157.48	153.24	156.34	gr
Peso de capsula+muestra seca	156.81	156.16	151.90	154.96	gr
Peso del agua	1.48	1.32	1.34	1.38	gr
Peso de la muestra en estado natural	137.71	136.93	132.64	135.76	gr
Peso de la muestra seca despues del horneado	136.23	135.61	131.30	134.38	gr
Contenido de humedad	1.09	0.97	1.02	1.03	%



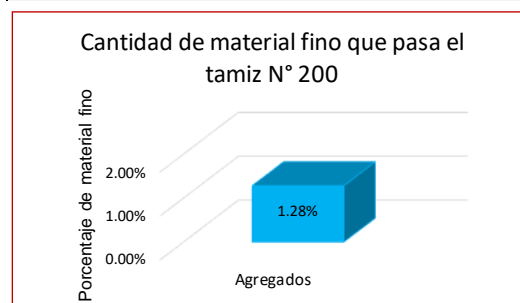
CONTENIDO DE HUMEDAD= 1.03

### CANTIDAD DE MATERIAL FINO QUE PASA EL TAMIZ N°200

DATOS DEL LAVADO DE LA MUESTRA	
Peso de la muestra seca antes del lavado (gr)	3320.00
Peso de la muestra seca despues del lavado (gr)	3273.00
Peso del residuo filtrado seco (gr)	1.00

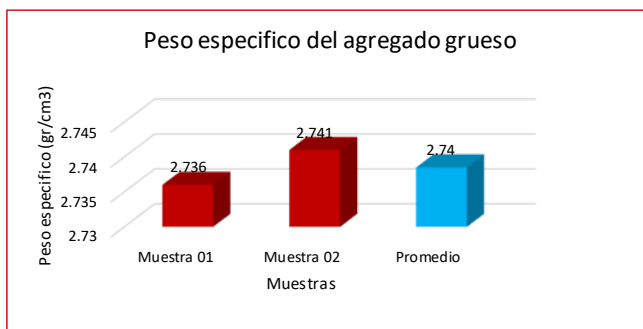
MATERIAL MAS FINO QUE EL TAMIZ N° 200	
Material de pasa el tamiz N° 200 (gr)	47.00
Porcentaje de material fino que pasa el tamiz N° 200	1.28%

FRACCIONES GRUESA Y FINA DE LA MUESTRA	
Fraccion fina (pasa el tamiz N° 200)	1.28%
Fraccion gruesa (retiene el tamiz N° 200)	98.72%
Total	100.00%



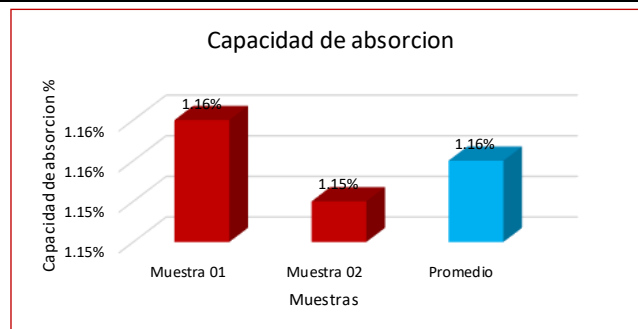
MATERIAL FINO QUE PASA EL TAMIZ N°200 = 1.28%

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO			
DESCRIPCION	Muestra 01	Muestra 02	Promedio
Peso en el aire de la muestra seca (gr)	3267	3317	3292
Peso de la muestra saturada superficialmente seca (gr)	3305	3355	3330
peso de la muestra sumergida en la balanza de flotabilidad (gr)	2097	2131	2114
Peso del agua absorbida (gr)	38	38	38
Peso especifico aparente (gr/cm3)	2.704	2.710	2.707
Peso especifico aparente saturado con superficie seca (gr/cm3)	2.736	2.741	2.74
Peso especifico nominal (gr/cm3)	2.792	2.797	2.7945



<b>PESO ESPECIFICO APARENTE =</b>	<b>2.74</b>	<b>gr/cm3</b>
-----------------------------------	-------------	---------------

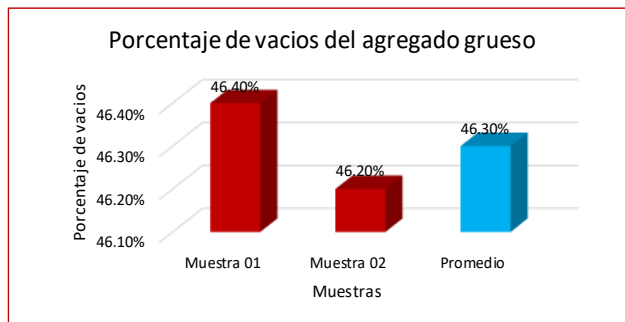
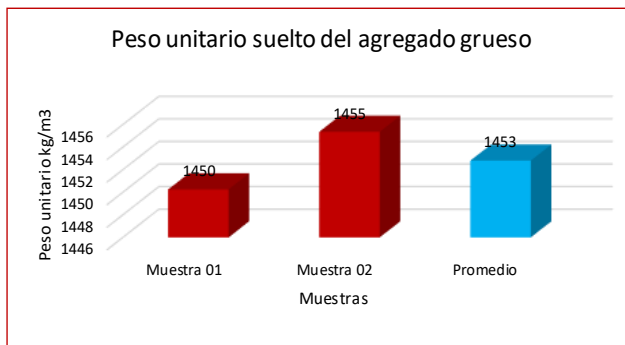
CAPACIDAD DE ABSORCION			
DATOS DE ENSAYO	Muestra 01	Muestra 02	Promedio
Peso de la muestra seca (gr)	3267	3317	3292
Peso de la muestra saturada superficialmente seca (gr)	3305	3355	3330
Peso del agua absorbida (gr)	38	38	38
Capacidad de absorcion	1.16%	1.15%	1.16%



<b>CAPACIDAD DE ABSORCION=</b>	<b>1.16%</b>
--------------------------------	--------------

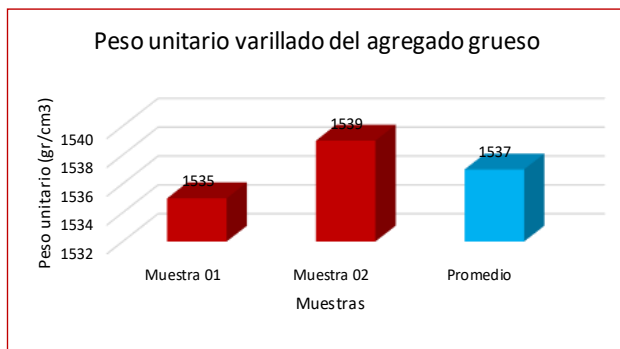
PESO UNITARIO SUELTO Y VACIOS DEL AGREGADO GRUESO			
DESCRIPCION	Muestra 01	Muestra 02	Promedio
Numero de molde	B-1	B-1	B-1
Peso del molde (gr)	2434	2434	2434
Peso de molde + muestra suelta (gr)	12667	12703	12685
Peso de la muestra suelta (gr)	10233	10269	10251
Volumen del molde (cm3)	7056	7056	7056
Peso unitario suelto (gr/cm3)	1.450	1.455	1.453
Peso especifico aparente (kg/m3)	2707	2707	2707
Peso unitario suelto (kg/cm3)	1450	1455	1453
porcentaje de vacios	46.40%	46.20%	46.30%

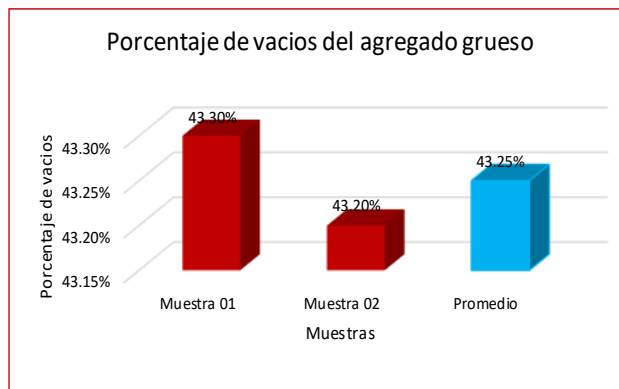




<b>PESO UNITARIO SUELTO=</b>	<b>1453</b>	<b>kg/m3</b>
<b>PORCENTAJE DE VACIOS =</b>	<b>46.30%</b>	

PESO UNITARIO VARILLADO Y VACIOS DEL AGREGADO GRUESO			
DESCRIPCION	Muestra 01	Muestra 02	Promedio
Numero de capas	3	3	3
Numero de golpes	25	25	25
Numero de molde	B - 1	B - 1	B - 1
Peso del molde (gr)	2434	2434	2434
Peso del molde + la muestra varillada (gr)	13267	13291	13279
Peso de la muestra varillada (gr)	10833	10857	10845
Volumen del molde (cm3)	7056	7056	7056
Peso unitario varillado (gr/cm3)	1.535	1.535	1.535
Peso especifico aparente (kg/m3)	2707	2707	2707
Peso unitario varillado (kg/m3)	1535	1539	1537
Porcentaje de vacios	43.30%	43.20%	43.25%

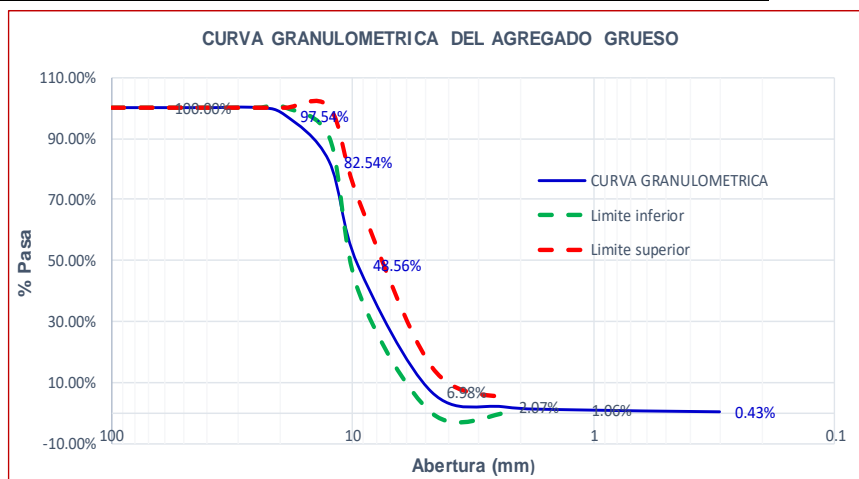




<b>PESO UNITARIO VARILLADO=</b>	<b>1537</b>	<b>kg/m3</b>
<b>PORCENTAJE DE VACIOS =</b>	<b>43.25%</b>	

ANALISIS GRANULOMETRICO DEL AGREGADO GRUESO - VICO							
Tamiz N°	Abertura Ø mm	Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que pasa	Agregado Grueso	
						L. inferior	L.superior
4"	100	0	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%
3 1/2"	90	0	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%
3"	75	0	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%
2 1/2"	63	0	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%
2"	50	0	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%
1 1/2"	37.5	0	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%
1"	25	0	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%
3/4"	19	80.52	2.46%	2.46%	97.54%	100%	100%
1/2"	12.5	491.00	15.00%	17.46%	82.54%	90%	100%
3/8"	9.5	1112.00	33.98%	51.44%	48.56%	40%	70%
#4	4.7	1361.00	41.58%	93.02%	6.98%	0%	15%
#8	2.36	160.80	4.91%	97.93%	2.07%	0%	5%
#16	1.18	32.80	1.00%	98.94%	1.06%		
#50	0.3	20.60	0.63%	99.57%	0.43%		
Fondo Cazuela		14.20	0.43%	100.00%	0.00%		
<b>Total</b>		<b>3272.92</b>	<b>100.00%</b>	<b>Modulo de fineza</b>	<b>6</b>		

TMN= 1/2"



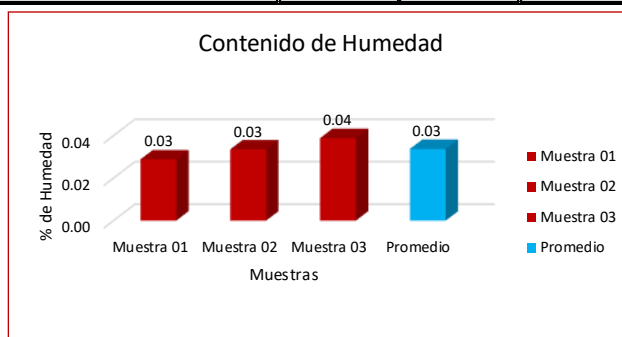
### Anexo 03: características del vidrio molido como agregado fino y resultados del análisis granulométrico vidrio molido.

**BACHILLER:** SANDRO DANIEL VENERO SONCCO

**TEMA:** ANALISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DE UN CONCRETO F'C=210 KG/CM2 CON VIDRIO MOLIDO EN REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO PARA EDIFICACIONES EN LA CIUDAD DE CUSCO

**FACULTAD:** INGENIERIA CIVIL

CONTENIDO DE HUMEDAD VIDRIO MOLIDO COMO AGREGADO FINO					
CANTERA - VIDRIO MOLIDO					
DESCRIPCION	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Promedio	Unidad
Peso de capsula	20.53	20.43	20.50	20.49	gr
Peso de capsula+muestra humeda	159.29	169.49	174.99	167.92	gr
Peso de capsula+muestra seca	159.25	169.44	174.93	167.87	gr
Peso del agua	0.04	0.05	0.06	0.05	gr
Peso de la muestra en estado natural	138.76	149.06	154.49	147.44	gr
Peso de la muestra seca despues del horneado	138.72	149.01	154.43	147.39	gr
Contenido de humedad	0.03	0.03	0.04	0.03	%



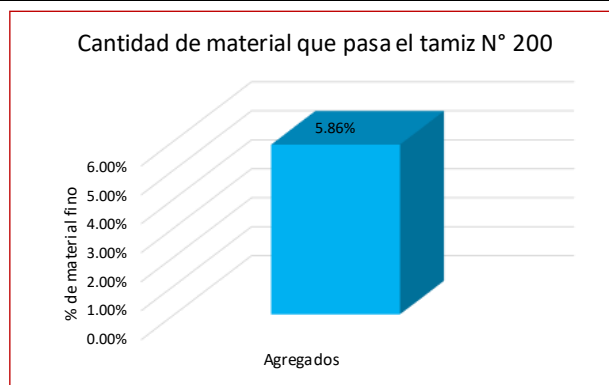
CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL=	0.03	%
-------------------------------	------	---

### CANTIDAD DE MATERIAL FINO QUE PASA EL TAMIZ N°200

DATOS DEL LAVADO DE LA MUESTRA	
Peso de la muestra seca antes del lavado (gr)	1399.00
Peso de la muestra seca despues del lavado (gr)	1317.00
Peso del residuo filtrado seco (gr)	82.00

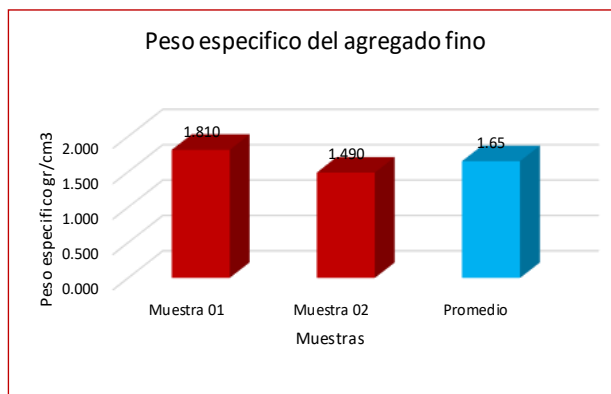
MATERIAL MAS FINO QUE EL TAMIZ N° 200	
Material de pasa el tamiz N° 200 (gr)	82.00
Porcentaje de material fino que pasa el tamiz N° 200	5.86%

FRACCIONES GRUESA Y FINA DE LA MUESTRA	
Fraccion fina (pasa el tamiz N° 200)	5.86%
Fraccion gruesa (retiene el tamiz N° 200)	94.14%
Total	100.00%



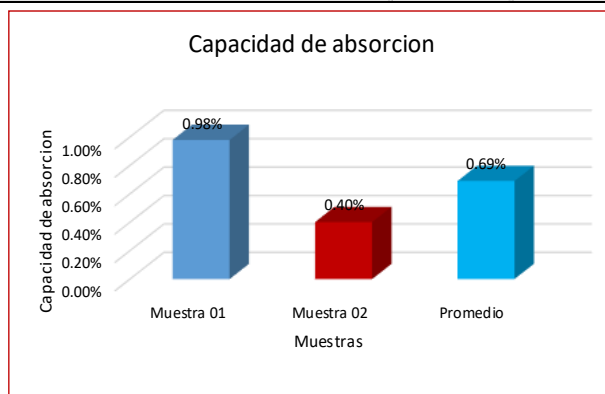
MATERIAL FINO QUE PASA EL TAMIZ N° 200=	5.86%
---	-------

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DEL VIDRIO MOLIDO COMO AGREGADO FINO			
DESCRIPCION	Muestra 01	Muestra 02	Promedio
Recipiente de Saturacion	1	1	1.00
Volumen de recipiente (ml)	500	500	500.00
Peso del recipiente (gr)	436	436	436.00
Peso en el aire de la muestra seca (gr)	485.5	499	492.25
Peso de la muestra saturada superficialmente seca (gr)	500	514.000	507.00
Peso del picnometro o morraz aforado lleno de agua (gr)	1258	1258	1258.00
Peso del picnometro o morraz aforado con la muestra y lleno de agua (gr)	1571.7	1580.8	1576.25
Peso del agua absorbida (gr)	8.90	7.30	8.10
Peso especifico aparente (gr/cm3)	1.850	1.780	1.82
Peso especifico aparente saturado con superficie seca (gr/cm3)	1.810	1.490	1.65
Peso especifico nominal (gr/cm3)	1.920	2.811	2.37

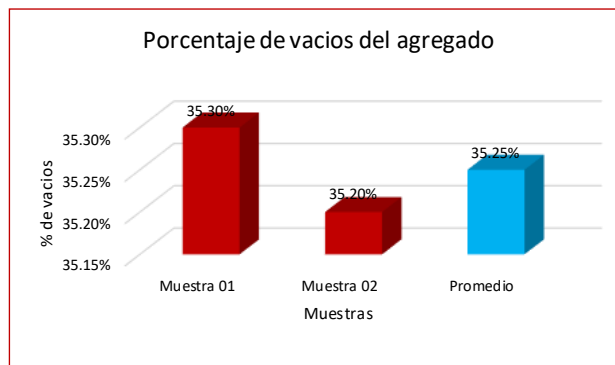
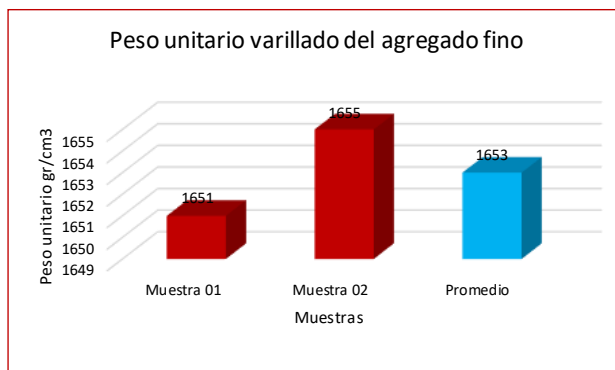


<b>PESO ESPECIFICO APARENTE=</b>	<b>1.65</b>	<b>gr/cm3</b>
----------------------------------	-------------	---------------

CAPACIDAD DE ABSORCION			
DATOS DE ENSAYO	Muestra 01	Muestra 02	Promedio
Numero de picnometro	2	2	2
Volumen de picnometro (ml)	1000	1000	1000
Peso del picnometro (gr)	436	436	436
Peso de la muestra seca (gr)	495.15	498	496.575
Peso de la muestra saturada con superficie seca (gr)	510.00	514.00	512
Peso del agua absorbida (gr)	14.85	16.00	15.425
Capacidad de absorcion	0.98%	0.40%	0.69%

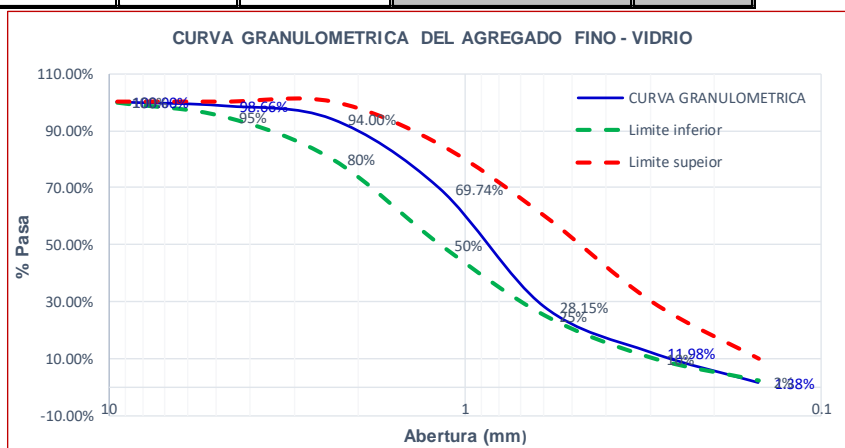


<b>CAPACIDAD DE ABSORCION=</b>	<b>0.69%</b>
--------------------------------	--------------



<b>PESO UNITARIO VARILLADO=</b>	<b>1653</b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>
<b>PORCENTAJE DE VACIOS=</b>	<b>35.25%</b>	

Tamiz N°	Abertura Ø mm	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que pasa	Agregado Grueso	
						L. inferior	L. superior
3/8"	9.5	0	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%
#4	4.75	8.3	1.34%	1.34%	98.66%	95%	100%
#8	2.36	28.77	4.65%	6.00%	94.00%	80%	100%
#16	1.18	150.00	24.26%	30.26%	69.74%	50%	85%
#30	0.6	257.12	41.59%	71.85%	28.15%	25%	60%
#50	0.3	100.00	16.17%	88.02%	11.98%	10%	30%
#100	0.15	65.50	10.59%	98.62%	1.38%	2%	10%
Fondo Cazuela		8.56	1.38%	100.00%	0.00%		
<b>Total</b>		<b>618</b>	<b>100.00%</b>		<b>Modulo de Fineza=</b>	<b>2.96</b>	



Anexo 04: análisis de los costos unitarios del concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> normal y con sustitución de vidrio molido.

**TABLA N° 47: a.c.u concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>**

Partida:	Concreto $f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup>				
	Rendimiento:		10.00	m3/día	
DESCRIPCION DE RECURSO	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio s/.	Parcial s/.
<b>Mano de Obra</b>					<b>79.39</b>
Operario	hh	3.0000	2.0000	9.10	21.84
Oficial	hh	2.0000	1.6000	8.29	13.26
Peón	hh	8.0000	6.4000	6.92	44.29
<b>Materiales</b>					<b>309.36</b>
Agregado Grueso (Piedra chancada 1/2" vicho)	m3		0.6700	65.00	43.55
Agregado Fino (Pisac)	m3		0.6300	60.00	37.80
Cemento portland tipo IP (42.5 kg)	bls		9.1100	25.00	227.75
Agua	m3		0.2160	1.20	0.26
<b>Equipos</b>					<b>11.98</b>
Herramientas Manuales	% MO		0.0300	79.39	2.38
Mezcladora 9-11 p3	hm		0.8000	12	9.60
<b>TOTAL s/</b>					<b>400.73</b>

*Fuente: Propia*

**TABLA N° 48: a.c.u concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> 5% vidrio molido**

Partida:	Concreto $f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup> 5% Vidrio Molido				
	Rendimiento:		10.00	m3/día	
DESCRIPCION DE RECURSO	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio s/.	Parcial s/.
Mano de Obra					79.39
Operario	hh	3.0000	2.4000	9.10	21.84
Oficial	hh	2.0000	1.6000	8.29	13.26
Peón	hh	8.0000	6.4000	6.92	44.29
<b>Materiales</b>					<b>333.65</b>
Agregado Grueso (Piedra chancada 1/2" vicho)	m3		0.6700	65.00	43.55
Agregado Fino (Pisac)	m3		0.5985	60.00	35.91
Vidrio Molido	m3		0.0315	831.06	26.18
Cemento portland tipo IP (42.5 kg)	bls		9.1100	25.00	227.75
Agua	m3		0.2160	1.20	0.26
<b>Equipos</b>					<b>11.98</b>
Herramientas Manuales	% MO		0.0300	79.39	2.38
Mezcladora 9-11 p3	hm		0.8000	12.00	9.60
<b>TOTAL s/</b>					<b>425.02</b>

*Fuente: Propia*

TABLA N° 49: a.c.u concreto f'c=210 kg/cm2 10% vidrio molido

Partida:	Concreto f'c=210 kg/cm2 10% Vidrio Molido				
	Rendimiento:		10.00	m3/día	
DESCRIPCION DE RECURSO	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio s/.	Parcial s/.
<b>Mano de Obra</b>					<b>79.39</b>
Operario	hh	3.0000	2.4000	9.10	21.84
Oficial	hh	2.0000	1.6000	8.29	13.26
Peón	hh	8.0000	6.4000	6.92	44.29
<b>Materiales</b>					<b>357.94</b>
Agregado Grueso (Piedra chancada 1/2" vicho)	m3		0.6700	65.00	43.55
Agregado Fino (Pisac)	m3		0.5670	60.00	34.02
Vidrio Molido	m3		0.0630	831.06	52.36
Cemento portland tipo IP (42.5 kg)	bls		9.1100	25.00	227.75
Agua	m3		0.2160	1.20	0.26
<b>Equipos</b>					<b>11.98</b>
Herramientas Manuales	% MO		0.0300	79.39	2.38
Mezcladora 9-11 p3	hm		0.8000	12.00	9.60
<b>TOTAL s/</b>					<b>449.31</b>

Fuente: Propia

TABLA N° 50: a.c.u concreto f'c=210 kg/cm2 15% vidrio molido

Partida:	Concreto f'c=210 kg/cm2 15% Vidrio Molido				
	Rendimiento:		10.00	m3/día	
DESCRIPCION DE RECURSO	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio s/.	Parcial s/.
<b>Mano de Obra</b>					<b>79.39</b>
Operario	hh	3.0000	2.4000	9.10	21.84
Oficial	hh	2.0000	1.6000	8.29	13.26
Peón	hh	8.0000	6.4000	6.92	44.29
<b>Materiales</b>					<b>382.22</b>
Agregado Grueso (Piedra chancada 1/2" vicho)	m3		0.6700	65.00	43.55
Agregado Fino (Pisac)	m3		0.5355	60.00	32.13
Vidrio Molido	m3		0.0945	831.06	78.54
Cemento portland tipo IP (42.5 kg)	bls		9.1100	25.00	227.75
Agua	m3		0.2160	1.20	0.26
<b>Equipos</b>					<b>11.98</b>
Herramientas Manuales	% MO		0.0300	79.39	2.38
Mezcladora 9-11 p3	hm		0.8000	12.00	9.60
<b>TOTAL s/</b>					<b>473.60</b>

Fuente: Propia

TABLA N° 51: a.c.u molienda de vidrio para agregado fino

Sub partida: Vidrio molido	Molienda de Vidrio				
	Rendimiento:		1.00	m3/día	
<b>DESCRIPCION DE RECURSO</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio s/.</b>	<b>Parcial s/.</b>
<b>Mano de Obra</b>					<b>166.08</b>
Peón	hh	3.0000	24.0000	6.92	166.08
<b>Materiales</b>					<b>640.00</b>
Botellas de vidrio	m3		800.0000	0.80	640.00
<b>Equipos</b>					<b>24.98</b>
Herramientas Manuales	% MO		0.0300	166.08	4.98
Zaranda	día	1.0000	1.0000	20.00	20.00
<b>TOTAL, s/</b>					<b>831.06</b>

*Fuente: Propia*



## Anexo 05: panel fotográfico



Moliendo vidrio



Vidrio molido



Vidrio tamizado



Vidrio como agregado fino



Contenido de humedad



Tamizado de agregado



Tamizado de vidrio molido



Pesando el cemento



Peso del agregado fino



Peso del agregado grueso



Materiales pesados para mezcla  
del concreto



Vertiendo los materiales al trompo



Pesando el agua para la mezcla de concreto



Porcentaje de vidrio molido en la mezcla de concreto



Verificación del asentamiento Slump



Elaboración de probetas de concreto



Probetas de concreto elaboradas



Poza de curado



Prueba de compresión axial



Rotura de briquetas



Observando el tipo de falla



Analizando el tipo de falla



Prueba de compresión



Viendo el resultado de la resistencia a la compresión



Analizando el tipo de falla



Analizando el tipo de falla



Colocando la briqueta



Compresión axial



Prueba de compresión axial



Prueba de compresión axial

## MATRIZ DE CONSISTENCIA

<b>MATRIZ DE CONSISTENCIA</b>				
<b>“ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN CONCRETO <math>f'c=210</math> KG/CM<sup>2</sup> CON VIDRIO MOLIDO EN REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO PARA EDIFICACIONES EN LA CIUDAD DE CUSCO”</b>				
<b>PROBLEMA</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>HIPOTESIS</b>	<b>VARIABLES</b>	<b>METODOLOGIA</b>
<b>PROBLEMA GENERAL</b>	<b>OBJETIVO GENERAL</b>	<b>HIPOTESIS GENERAL</b>	<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>	<b>DISEÑO DE INVESTIGACION</b>
¿En qué medida la resistencia a la compresión de un concreto $f'c = 210$ kg/cm <sup>2</sup> con vidrio molido en reemplazo parcial del agregado fino mejora la calidad del concreto para edificaciones en la ciudad de cusco?	Analizar en qué medida la resistencia a la compresión de un concreto $f'c = 210$ kg/cm <sup>2</sup> con vidrio molido en reemplazo parcial del agregado fino mejora la calidad del concreto para edificaciones en la ciudad de cusco.	La resistencia a la compresión de un concreto $f'c = 210$ kg/cm <sup>2</sup> con vidrio molido en reemplazo parcial del agregado fino mejora la calidad del concreto para edificaciones en la Ciudad del Cusco.	vidrio molido	<p><b>TIPO DE INVESTIGACION</b></p> <p>Según su finalidad es una “Investigación Aplicada”, porque intenta resolver el problema planteado en la investigación y según su naturaleza es un “Investigación cuantitativa” porque se observa y recolecta datos numéricos.</p>
<b>PROBLEMAS ESPECIFICOS</b>	<b>OBJETIVOS ESPECIFICOS</b>	<b>HIPOTESIS ESPECIFICAS</b>	<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>	<b>NIVEL DE INVESTIGACION</b>
<p>¿Cuál será la variación de la curva de resistencia a la compresión alcanzada del concreto <math>f'c = 210</math> kg/cm<sup>2</sup> tradicional, y al sustituir vidrio molido en reemplazo parcial del agregado fino en porcentajes de 5%, 10%, 15%?</p> <p>¿Cuál será el porcentaje adecuado de vidrio molido como agregado fino en la mezcla de concreto para edificaciones en la ciudad de cusco?</p>	<p>¿Determinar la variación de la curva de resistencia a la compresión alcanzada del concreto <math>f'c = 210</math> kg/cm<sup>2</sup> tradicional, y al sustituir vidrio molido en reemplazo parcial del agregado fino en porcentajes de 5%, 10%, 15%?</p> <p>¿establecer el porcentaje adecuado de vidrio molido como agregado fino en la mezcla de concreto para edificaciones en la ciudad de cusco?</p>	<p>La variación de la curva de resistencia a la compresión alcanzada del concreto <math>f'c = 210</math> kg/cm<sup>2</sup> tradicional y sustituyendo un porcentaje de vidrio molido como agregado fino, será mínima.</p> <p>El mejor porcentaje de vidrio molido como agregado fino en el diseño de mezclas para un concreto <math>f'c = 210</math> kg/cm<sup>2</sup>, será el de 10%.</p>	Resistencia a la compresión	<p><b>NIVEL DE INVESTIGACION</b></p> <p>El estudio de investigación tiene un “Nivel Experimental”, porque responderá a la pregunta.</p> <p><b>METODO</b></p> <p>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.</p>