



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

“RESISTENCIA A COMPRESIÓN AXIAL DEL MORTERO
CEMENTO – ARENA 1:4 CON EL REEMPLAZO DE
VIDRIO MOLIDO”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Bach. Anthony Roswell Alemán Laura

Asesor:

M. Cs. Ing. Irene Del Rosario Ravines Azañero

Cajamarca – Perú

2017

APROBACIÓN DE LA TESIS

La asesora y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por el Bachiller **Anthony Roswell Alemán Laura**, denominada:

**“RESISTENCIA A COMPRESIÓN AXIAL DEL MORTERO CEMENTO – ARENA
1:4 CON EL REEMPLAZO DE VIDRIO MOLIDO”**

M. Cs. Ing. Irene Del Rosario Ravines Azañero
ASESOR

Dr. Ing. Orlando Aguilar Aliaga
JURADO
PRESIDENTE

M. Cs. Ing. Fabián Sebastián Sánchez Portal
JURADO
SECRETARIO

Ing. Anita Elizabet Alva Sarmiento
JURADO
VOCAL

DEDICATORIA

A Dios: por guiarme y estar conmigo en cada paso que doy y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que me han brindado incondicionalmente su apoyo durante todo el periodo de estudio.

A mis padres: quienes me han sabido guiar y siempre me han apoyado para poder llegar a esta instancia de mis estudios, ya que ellos siempre han estado presentes motivándome y dándome consejos para que pueda cumplir mis sueños.

AGRADECIMIENTO

A mis padres, Rubén Marcelino Alemán Rodríguez y Lishzet María Laura Hincho porque siempre me han acompañado y aconsejado a lo largo de mi vida.

A mis hermanas, ya que siempre me han brindado su apoyo incondicional a lo largo de mi vida universitaria.

A mi asesora, M. Cs. Ing. Irene Del Rosario Ravines Azañero quien me oriento a lo largo de mi tesis para una adecuada elaboración de la misma.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DE LA TESIS	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE GRÁFICOS	viii
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	13
1.1. Realidad problemática	13
1.2. Formulación del problema.....	14
1.3. Justificación.....	14
1.4. Limitaciones	14
1.5. Objetivos	14
1.5.1. Objetivo general.....	14
1.5.2. Objetivos específicos.....	15
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	16
2.1. Antecedentes	16
2.2. Bases teóricas.....	18
2.2.1. Mortero:	18
2.2.2. Características físicas y químicas de los cementos peruanos:.....	21
2.2.3. Vidrio:.....	24
2.3. Hipótesis	26
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA.....	27
3.1. Operacionalización de variables	27
3.2. Diseño de investigación	28
3.3. Unidad de estudio	28
3.4. Población	28
3.5. Muestra	28
3.6. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos	29

3.7.	Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos	29
3.7.1.	Obtención del agregado fino	29
3.7.2.	Obtención del vidrio	30
3.7.3.	Ensayos realizados para la determinación de las propiedades del agregado fino	32
3.7.4.	Gravedad específica y absorción de agregados finos (NTP 400.022).....	34
3.7.5.	Ensayos realizados para la determinación de las propiedades del cemento y vidrio molido	41
3.7.6.	Diseño de mezcla del mortero.....	45
3.7.7.	Ensayo de Resistencia a Compresión de Morteros de Cemento Hidráulico usando especímenes cúbicos de 2 pulg. (NTP 334.051)	48
CAPÍTULO 4.	RESULTADOS	52
4.1.	Características físicas del agregado fino	52
4.1.1.	Análisis granulométrico y módulo de finura (NTP 400.012)	52
4.1.2.	Gravedad específica y absorción de agregados finos (NTP 400.022).....	54
4.1.3.	Peso unitario de los agregados (NTP 400.017)	55
4.1.4.	Método de ensayo para contenido de humedad total de los agregados por secado (NTP 339.185)	56
4.2.	Características físicas del cemento	57
4.2.1.	Finura del cemento (MTC E 604)	57
4.3.	Características físicas del vidrio molido.....	57
4.3.1.	Finura del vidrio	57
4.4.	Resumen de las propiedades físicas del agregado fino, cemento y vidrio molido.....	58
4.5.	Ensayo de resistencia a compresión	59
4.5.1.	Comparación de la resistencia a compresión axial del mortero cemento – arena sin y con reemplazo de vidrio molido para 24 horas de curado	59
4.5.2.	Comparación de la resistencia a compresión axial del mortero cemento – arena sin y con reemplazo de vidrio molido para 3 días de curado.....	60
4.5.3.	Comparación de la resistencia a compresión axial del mortero cemento – arena sin y con reemplazo de vidrio molido para 7 días de curado.....	61
4.5.4.	Comparación de la resistencia a compresión axial del mortero cemento – arena sin y con reemplazo de vidrio molido para 28 días de curado.....	62
4.5.5.	Comparación de los porcentajes de variación de la resistencia a compresión axial del mortero cemento – arena con reemplazo de vidrio molido para 24 horas, 3 días, 7 días y 28 días de curado	63
CAPÍTULO 5.	DISCUSIÓN.....	65
	CONCLUSIONES.....	67
	RECOMENDACIONES	68
	REFERENCIAS.....	69
	ANEXOS	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Usos de los morteros de cemento	19
Tabla N° 2: Componentes químicos del cemento portland	20
Tabla N° 3: Porcentajes de los componentes químicos que intervienen en el cemento portland.....	21
Tabla N° 4: Características químicas de los cementos peruanos	22
Tabla N° 5: Características físicas de los cementos peruanos	23
Tabla N° 6: Operacionalización de variables en estudio.....	27
Tabla N° 7: Cantidad de probetas de mortero cemento - arena con porcentajes de reemplazo de vidrio molido	28
Tabla N° 8: Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos.....	29
Tabla N° 9: Dosificaciones del mortero cemento - arena sin y con reemplazo de vidrio molido.....	47
Tabla N° 10: Análisis granulométrico y módulo de finura del agregado fino	52
Tabla N° 11: Límites granulométricos.....	53
Tabla N° 12: Gravedad específica y absorción del agregado fino	54
Tabla N° 13: Peso unitario suelto y compactado del agregado fino	55
Tabla N° 14: Contenido de humedad del agregado fino	56
Tabla N° 15: Finura del cemento Pacasmayo Extraforte ICO	57
Tabla N° 16: Finura del vidrio molido.....	57
Tabla N° 17: Propiedades físicas del agregado fino de la cantera Roca fuerte	58
Tabla N° 18: Propiedades físicas del cemento (finura del cemento Pacasmayo Extraforte ICO).....	58
Tabla N° 19: Propiedades físicas del vidrio molido (finura del vidrio molido)	58

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 1: Curva granulométrica del agregado fino de la cantera Roca fuerte	53
Gráfico N° 2: Resistencia alcanzada para un tiempo de curado de 24 horas sin y con reemplazo de vidrio molido	59
Gráfico N° 3: Resistencia alcanzada para un tiempo de curado de 3 días sin y con reemplazo de vidrio molido	60
Gráfico N° 4: Resistencia alcanzada para un tiempo de curado de 7 días sin y con reemplazo de vidrio molido	61
Gráfico N° 5: Resistencia alcanzada para un tiempo de curado de 28 días sin y con reemplazo de vidrio molido	62
Gráfico N° 6: Porcentajes de variación con respecto a la probeta patrón para 24 horas, 3 días, 7 días y 28 días de curado con reemplazo de vidrio molido	64
Gráfico N° 7: Porcentaje de reemplazo óptimo entre los tres porcentajes 5%, 10% y 15%	65

ÍNDICE DE FÓRMULAS

Fórmula N° 1: Módulo de finura	34
Fórmula N° 2: Gravedad específica	36
Fórmula N° 3: Absorción.....	37
Fórmula N° 4: Peso unitario suelto seco	38
Fórmula N° 5: Peso unitario compactado seco	39
Fórmula N° 6: Contenido de humedad.....	40
Fórmula N° 7: Finura del cemento	42
Fórmula N° 8: Finura del vidrio	44
Fórmula N° 9: Resistencia a la compresión	51

FOTOGRAFÍAS

Fotografía N° 1: Ubicación de la cantera Roca fuerte	29
Fotografía N° 2: Fachada de la cantera Roca fuerte.....	30
Fotografía N° 3: Vidriería Pinillos.....	30
Fotografía N° 4: Molienda del vidrio.....	31
Fotografía N° 5: Vidrio molido que pasa el tamiz N° 200	32
Fotografía N° 6: Secado del agregado fino	32
Fotografía N° 7: Tamizado del agregado fino	33
Fotografía N° 8: Agregado fino sumergido en agua por 24 horas	34
Fotografía N° 9: Agregado fino en estado saturado superficialmente seco.....	35
Fotografía N° 10: Eliminación de burbujas de aire por el método manual.....	36
Fotografía N° 11: Llenado del recipiente con el agregado fino.....	37
Fotografía N° 12: Apisonado de la primera capa de agregado	38
Fotografía N° 13: Muestra seca de agregado fino después de 24 horas en el horno	40
Fotografía N° 14: Peso de muestra del cemento Pacasmayo Extraforte ICO	41
Fotografía N° 15: Peso del cemento retenido en el tamiz N° 200	42
Fotografía N° 16: Peso del vidrio molido.....	43
Fotografía N° 17: Tamizado del vidrio molido	44
Fotografía N° 18: Orden del apisonado en el moldeado de los especímenes de ensayo.....	48
Fotografía N° 19: Especímenes de mortero moldeados	49
Fotografía N° 20: Probetas sumergidas hasta su respectivo día de ensayo	49
Fotografía N° 21: Probetas de mortero listos para el ensayo a compresión.....	50
Fotografía N° 22: Ensayo a compresión de la probeta de mortero.....	51

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se ha realizado la comparación de la resistencia a compresión de un mortero cemento-arena con dosificación 1:4, con reemplazo parcial del cemento por vidrio molido pasante la malla N° 200 en tres porcentajes de 5%, 10% y 15%, se ha seleccionado la cantera Roca Fuerte ubicada en el distrito de Baños del Inca, de la cual se han analizado sus propiedades físicas determinándose que su granulometría está dentro de los límites de acuerdo a la norma ASTM C-33, su módulo de finura es 2.97, gravedad específica 2.621 gr/cm³, absorción 2.775%, peso unitario suelto 1719.979 Kg/m³, peso unitario compactado 1846.617 Kg/m³ y contenido de humedad 6.172%; así mismo, se verificó la finura del cemento Pacasmayo Extraforte ICO, encontrándose su valor de 12.27%, y del mismo modo se evaluó la finura del vidrio determinándose un valor de 1.40%; se ha propuesto 4 edades de curado: 24 horas, 3 días, 7 días y 28 días, registrándose que las resistencias promedio del mortero patrón son 22.01 kg/cm², 24.20 kg/cm², 128.78 kg/cm², 151.76 kg/cm², respectivamente, para el mortero con reemplazo del 5% se registró las resistencias promedios 20.36 kg/cm², 77.55 kg/cm², 156.73 kg/cm², 181.01 kg/cm², respectivamente, para el mortero con reemplazo del 10% se registró las resistencias promedios 15.32 kg/cm², 56.79 kg/cm², 106.86 kg/cm², 142.32 kg/cm², respectivamente; y por último para el mortero con reemplazo del 15% se registró las resistencias promedios 20.88 kg/cm², 65.70 kg/cm², 112.09 kg/cm², 138.36 kg/cm²; llegando a determinar que a mayor incorporación de vidrio molido como reemplazo del cemento disminuye la resistencia a compresión axial, sin embargo también se identificó a su vez que las máxima resistencia obtenida es con el reemplazo de 5% logrando incluso superar la resistencia a compresión axial de la probeta patrón.

ABSTRACT

In the present work the comparison of the compressive strength of a cement-sand mortar with a 1:4 dosage, with partial replacement of the cement by grinding glass through the mesh N° 200 in three percentages of 5%, 10% and 15%, has selected the Roca Fuerte quarry located in the district of Baños del Inca, whose physical properties have been analyzed determining that their granulometry is within the limits according to ASTM C33, its module of fineness is 2.97, specific gravity 2.621 gr/cm³, absorption 2.775%, unit weight loose 1719.979 kg/m³, compacted unit weight 1846.617 kg/m³ and moisture content 6.172%; In addition, the fineness of the Pacasmayo Extraforte ICO cement was verified, its value being 12.27%, and the fineness of the glass was also evaluated, determining a value of 1.40%; it has been proposed 4 curing ages: 24 hours, 3 days, 7 days and 28 days, with the average resistance of the standard mortar being 22.01 kg/cm², 24.20 kg/cm², 128.78 kg/cm², 151.76 kg/cm², respectively, for the mortar with 5% replacement the average resistance was recorded 20.36 kg/cm², 77.55 kg/cm², 156.73 kg/cm², 181.01 kg/cm² respectively, for the mortar with 10% replacement the average resistance was recorded 15.32 kg/cm², 56.79 kg/cm², 106.86 kg/cm², 142.32 kg/cm², respectively; and finally for the mortar with replacement of 15% the average resistance was recorded 20.88 kg/cm², 65.70 kg/cm², 112.09 kg/cm², 138.36 kg/cm²; arriving to determine that the greater incorporation of ground glass as a replacement of the cement decreases the resistance to axial compression, however it was also identified in turn that the maximum resistance obtained is with the replacement of 5% even managing to overcome the resistance to axial compression of the standard test piece.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La fabricación de cemento, un ingrediente clave utilizado para la producción de hormigón, es una fuente importante de emisiones de gases de efecto invernadero. Fabricación de una tonelada de cemento resulta en la emisión de una tonelada de dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera (Naik, 2008).

En términos relativos, la energía consumida para la fabricación del cemento representa el 90% de la energía consumida para la elaboración del hormigón (Nassar and Soroushian, 2011).

La producción industrial del clínker, su principal componente, es un proceso industrial, que incluye la calcinación de cales y arcillas a más de 1400°C, lo que genera altas cantidades de gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono (CO₂), óxidos como SO_x, NO_x y partículas volantes. A nivel mundial del 5 al 8% del CO₂ emanado por la actividad industrial es debido a la producción del cemento. Worrell, Price, Martin, Hendriks y Ozawa (2001).

En el sector de la construcción, el uso del vidrio plano ha venido en aumento por las ventajas que ofrece tanto en estética como en iluminación y otros factores como su apariencia transparente y liviana y por la seguridad y versatilidad de los productos del vidrio. Un aumento en el consumo de este material implica a su vez un aumento en la cantidad de residuos generados de los mismos vidrios. Además, no todos los tipos de vidrios planos son reciclables, ya que son fabricados con mezclas de varios metales, plásticos o resinas, presentan impurezas o son mezclados en muchos colores distintos lo que encarece costos de reciclaje (Shi & Zheng, 2007).

El uso de materiales de desecho sólidos o subproductos industriales como reemplazo parcial del cemento en el hormigón es una estrategia viable para reducir el uso del cemento Portland, y reduciendo así los impactos ambientales y energéticos de la producción de hormigón (Meyer, 2009).

Este sector busca continuamente oportunidades de mejora y por ello se ha empezado a estudiar el uso de materiales alternativos en las mezclas, entre los que incluye los residuos de los distintos tipos de vidrio (Vijayakumar, Vishaliny, & Govindarajulu, 2013).

Con lo presentado anteriormente es necesario buscar alternativas de solución a estas dos problemáticas.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es el efecto en la resistencia a compresión axial del mortero cemento – arena 1:4 con el reemplazo del cemento por vidrio molido en tres porcentajes (5%, 10% y 15%)?

1.3. Justificación

La presente investigación se realizó con el fin de buscar nuevos materiales (vidrio molido) y verificar cuál es su efecto al reemplazarlo por el cemento en porcentajes del 5%, 10% y el 15%, para su uso en la construcción de obra civiles y así tratar de reducir la contaminación ambiental producidos por la gran cantidad de consumo energético que demanda la producción del cemento, así como también lograr el interés de otros investigadores, estudiantes, etc. para futuras investigaciones.

1.4. Limitaciones

- No existe una norma específica para el diseño de morteros.
- En Cajamarca no existe un lugar donde se realice la molienda del vidrio.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Determinar la resistencia a compresión axial del mortero cemento-arena 1:4 con el reemplazo de vidrio molido.

1.5.2. Objetivos específicos

1. Determinar propiedades físico - mecánicas del agregado fino (Contenido de humedad, Peso específico, Porcentaje de absorción, Peso unitario suelto, Peso unitario compactado, Análisis Granulométrico y Módulo de finura) y vidrio molido (Finura del cemento y vidrio molido).
2. Determinar propiedades físicas del cemento y vidrio molido (Finura del cemento y vidrio molido).
3. Elaborar probetas de mortero cemento – arena 1:4 con reemplazo del cemento por vidrio molido.
4. Comparar la resistencia a compresión axial de las probetas del mortero cemento-arena 1:4 patrón y con el reemplazo de cemento por vidrio molido en porcentajes del 5%, 10% y 15% a edades de ensayo de 24 horas, 3 días, 7 días y 28 días.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

- Catalán (2013) en su investigación denominada “Estudio de la influencia del vidrio molido en hormigones grado H15, H20, y H30”. Reemplazó el agregado fino por vidrio molido en el hormigón en porcentajes del 10% y 20%.

Concluyendo 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.

- Tejada (2014) en su tesis denominado “Efecto en la resistencia a la compresión al reemplazar porcentualmente cemento por vidrio molido las mezclas de hormigón”. Elaboró probetas con reemplazo del cemento en porcentajes de 15%, 20%, y 25% por vidrio molido los cuales fueron ensayados a edades de 7, 14, y 28 días.

Concluyendo que las probetas en ninguna de las edades ensayadas supera a las del patrón, sin embargo, el porcentaje de reemplazo que mejor resultado dio fue el 20% ya que se aproximan en un 96.15% con respecto al hormigón patrón a los 28 días.

- Poveda, Granja, Hidalgo y Ávila (2015) presentaron un artículo denominado “Análisis de la influencia del vidrio molido sobre la resistencia al desgaste en adoquines de hormigón tipo A”. Donde se trató al vidrio molido como reemplazo de la arena para adoquines con 25% de vidrio fino y 15% de vidrio grueso, la resistencia a la compresión característica de las probetas que poseen vidrio tanto de granulometría fina como gruesa, son 4,8% y 2,4% mayores, respectivamente, frente a la resistencia alcanzada por los adoquines tradicionales.

Concluyendo que, entre los adoquines fabricados con vidrio, se puede afirmar que aquellos con un 25% de vidrio de grano fino presentan una mayor resistencia

a la compresión que aquellos con 15% de vidrio de granulometría gruesa. Se presume, que la resistencia a la compresión es mayor con el uso de vidrio de granulometría fina respecto al de granulometría gruesa, debido a la rigidez dada por las propiedades mecánicas del vidrio, geometría y tamaño.

- En 2016, Rodríguez y Ruíz presentaron un artículo “Evaluación del desempeño de un hormigón con incorporación de vidrio reciclado finamente molido en reemplazo de cemento mediante ensayos de laboratorio”. En el presente trabajo se analizó con el objeto de estudiar cómo afecta la resistencia del hormigón la reducción del contenido de cemento y su reemplazo parcial por vidrio molido donde se elaboraron pastones de hormigón según la norma IRAM 1534 donde se utilizó vidrio molido pasante el tamiz #200 en proporciones de 0% (control) y 20% los cuales en estado endurecido se realizaron ensayos de resistencia a la compresión a edades de 7, 28, 56, 120 y 270 días.

Los autores concluyen que, en efecto, si se considera la relación a/c neta (sin considerar la adición del vidrio molido) igual a 0,71 en el hormigón se obtiene que la mejora por incorporación de las micro partículas de vidrio a la mezcla fue del 17%, aproximadamente, para 28 días de edad.

El aumento total de resistencia (medido entre el ensayo a 270 días y el ensayo a 7 días) es del 279% para el hormigón con incorporación de vidrio y del 106% para el hormigón patrón.

También cabe resaltar que la resistencia a compresión con reemplazo de 20% de vidrio molido no sobrepasa a la del patrón en ninguna de las edades.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Mortero:

Los morteros se definen como mezclas de uno o más conglomerantes inorgánicos, áridos, agua y a veces adiciones y/o aditivos. Entendemos por mortero fresco el que se encuentra completamente mezclado y listo para su uso.

Los morteros principalmente tienen un uso enfocado hacia la albañilería común, si bien pueden tener otras aplicaciones derivadas de las prestaciones específicas de los morteros especiales (AFAM, 2013).

2.2.1.1. Uso del mortero:

Según Gutiérrez (2003) los morteros pueden tener una función estructural, y pueden usarse entonces en la construcción de elementos estructurales, o en la mampostería estructural en donde puede ser de pega o de relleno en las celdas de los muros.

Existen otros morteros que no tienen función estructural y se destinan a recubrimiento como pañetes, repellos o revoques.

- Mortero de pega: debe tener cualidades especiales, diferentes a los morteros usados para otros fines porque está sometido a las condiciones especiales del sistema constructivo, y una resistencia adecuada ya que debe absorber esfuerzos de tensión y compresión.
- Morteros de relleno: se utilizan para llenar las celdas de los elementos en la mampostería estructural, y al igual que el mortero de pega debe tener una adecuada resistencia.
- Morteros de recubrimiento: ya que su función no es estructural sino de embellecimiento, o la de proporcionar una superficie uniforme para aplicar la pintura, no requieren una resistencia determinada; la plasticidad juega en ellos un papel muy importante.

2.2.1.2. Mortero de cemento:

Se componen de arena y cemento Portland. Este mortero tiene altas resistencias y sus condiciones de trabajabilidad son variables de acuerdo a la proporción de cemento y arena usados. Es hidráulico y debe prepararse teniendo en cuenta que haya el menor tiempo posible entre el amasado y la colocación; se acostumbra mezclarlo en obra, revolviendo primero el cemento y la arena y después adicionando el agua.

En el mortero de cemento al igual que en el hormigón, las características de la arena, tales como la granulometría, módulo de finura, forma y textura de las partículas, así como el contenido de materia orgánica, juegan un papel decisivo en su calidad (Gutiérrez, 2003).

Tabla N° 1: Usos de los morteros de cemento

Mortero	Usos
1:1	Mortero muy rico para impermeabilizaciones, rellenos
1:2	Para impermeabilizaciones y pañetes de tanques subterráneos. Rellenos.
1:3	Impermeabilizaciones menores. Pisos.
1:4	Pega para ladrillos en muros y baldosines. Pañetes finos
1:5	Pañetes exteriores. Pega para ladrillos y baldosines, pañetes y mampostería en general Pañetes no muy finos.
1:6 y 1:7	Pañetes interiores: Pega para ladrillos y baldosines, pañetes y mampostería en general. Pañete no muy finos.
1:8 y 1:9	Pegas para construcciones que se van a demoler pronto. Estabilización de taludes en cimentaciones.

Fuente: Gutiérrez, 2003.

2.2.1.3. Cemento Portland:

Es un aglomerante hidrófilo, resultante de la calcinación de rocas calizas, areniscas y arcillas, de manera de obtener un polvo muy fino que en presencia de agua endurece adquiriendo propiedades resistentes y adherente (Pasquel, 1998).

Tabla N° 2: Componentes químicos del cemento portland

	Componente Químico	Procedencia Usual
95%	Óxido de Calcio CaO	Rocas Calizas
	Óxido de Sílice SiO_2	Areniscas
	Óxido de Aluminio Al_2O_3	Arcillas
	Óxido de Hierro Fe_2O_3	Arcillas, Mineral de Hierro, Pirita
5%	Oxido de Magnesio, Sodio	Minerales varios
	Potasio, Titanio, Azufre	
	Fósforo y Manganeso	

Fuente: Pasquel, 1998.

Los porcentajes típicos en que intervienen en el cemento Portland los óxidos mencionados son:

Tabla N° 3: Porcentajes de los componentes químicos que intervienen en el cemento portland

Óxido Componente	Porcentaje Típico	Abreviatura
<i>CaO</i>	61% - 67%	C
<i>SiO₂</i>	20% - 27%	S
<i>Al₂O₃</i>	4% - 7%	A
<i>Fe₂O₃</i>	2% - 4%	F
<i>SO₃</i>	1% - 3%	
<i>MgO</i>	1% - 5%	
<i>K₂O y Na₂O</i>	0.25% - 1.5 %	

Fuente: Pasquel, 1998.

2.2.2. Características físicas y químicas de los cementos peruanos:

Según Pasquel (1998) se fabrican en el Perú los cementos Tipo I, Tipo II, Tipo V, Tipo IP y Tipo IPM. Se pueden observar las características físicas y químicas de los cementos de fabricación nacional suministradas por los fabricantes, con excepción del Cemento Rumi, cuyo productor no accedió a proporcionarlas.

Tabla N° 4: Características químicas de los cementos peruanos

Elemento	Sol Tipo 1	Atlas Tipo IP	Andino Tipo I	Andino Tipo II	Andino Tipo V	Yura Tipo I	Yura Tipo IP	Yura Tipo IPM	Pacasmayo Tipo I	Pacasmayo Tipo V	Rumi Tipo I (*)
CaO	63.20	53.65	64.18	63.83	64.60	65.90	46.30	53.80	63.02	62.92	44.19
SiO ₂	19.79	26.28	21.86	22.58	22.51	22.66	43.51	33.34	19.50	20.50	21.67
Al ₂ O ₃	6.15	6.44	4.81	4.21	3.04	4.15	3.36	4.80	6.20	4.07	1.56
Fe ₂ O ₃	2.82	4.84	3.23	3.11	4.28	2.41	1.98	2.04	3.30	5.14	5.01
K ₂ O	0.96	1.07	0.65	0.54	0.56				0.70	0.68	0.72
Na ₂ O	0.28	0.37	0.15	0.12	0.13				0.26	0.22	1.69
SO ₃	2.58	2.84	2.41	2.38	2.36	1.66	1.42	2.04	2.50	1.83	1.09
MgO	3.16	2.76	0.96	0.97	0.92	1.24	1.30	1.37	2.13	2.10	1.06
Cal Libre	0.52	0.29	0.59	0.40	0.55				1.20	1.10	
P. Ignición	0.80	1.63	1.24	1.46	1.08	0.96	1.60	1.87	2.30	1.93	2,85
R. Insolubles	0.62	10.21	0.42	0.59	0.57	0.48	26.70	15.69	0.50	0.68	2,99
C ₃ S	54.18		51.33	48.73	58.64	60.00			54.85	60.44	-9.21
C ₂ S	15.87		23.95	27.98	20.30	19.70			14.52	13.18	69.08
C ₃ A	11.53		7.28	5.89	0.81	6.92			10.85	2.09	-4.34
C ₄ AF	8.57		9.82	9.45	13.01	7.33			10.03	15.63	15.25

Fuente: Pasquel, 1998.

Tabla N° 5: Características físicas de los cementos peruanos

Elemento	Sol Tipo 1	Atlas Tipo IP	Andino Tipo I	Andino Tipo II	Andino Tipo V	Yura Tipo I	Yura Tipo IP	Yura Tipo IPM	Pacasmayo Tipo I	Pacasmayo Tipo V
Peso específico(gr/cm³)	3.11	3.03	3.11	3.18	3.11	3.11	2.86	2.95		
Fineza malla 100 (%)	0.04	0.03	0.34	0.1	0.2					
Fineza malla 200 (%)	4.14	0.38	5.66	4.71	2.58					
S. específica Blaine (cm²/gr)	3.477	4.472	3.300	3.400	3.400	3.597	4.086	3.848	3.400	3.300
Contenido de aire (%)	9.99	9.82	6.5	5.35	5.22				10.5	10.1
Expansión en autoclave (%)	0.18	0.15	0.02	0.01	-0.01	0.2	0.11	0.26	0.22	0.14
Fraguado Inicial Vicat	1hr 49'	1hr 59'	2hr 50'	3hr 15'	2hr 15'	2hr	2hr	2hr 10'	2hr 29'	2hr 40'
Fraguado Final Vicat	3hr 29'	3hr 41'	3hr 45'	4hr 30'	3hr 45'	4hr	4hr 10'	4hr 10'	5hr 10'	5hr 20'
f'c a 3 días (kg/cm²)	254	235	204	160	184	242	140	240	168	154
f'c a 7 días (kg/cm²)	301	289	289	205	243	335	222	299	210	196
f'c a 28 días (kg/cm²)	357	349	392	320	362	388	316	367	273	258
Calor Hidratación a 7 días (cal/gr)	70.6	60.5	64.93	63.89	59.02					
Calor Hidratación a 28 días (cal/gr)	84.3	78.4								

Fuente: Pasquel, 1998.

2.2.3. Vidrio:

En 2009, Pearson menciona que el producto que llamamos vidrio, es una sustancia dura, normalmente brillante y transparente, compuesta principalmente de silicatos y álcalis fusionados a alta temperatura. Se lo considera un sólido amorfo, porque no es ni sólido ni líquido, sino que existe en un estado vítreo.

Los componentes principales del vidrio, como ya se dijo, son productos que se encuentran fácilmente en la naturaleza: sílice, cal y carbonato de sodio. Los materiales secundarios son usados para dar propiedades especiales o para facilitar el proceso de fabricación. De la mezcla de los materiales secundarios con las materias primas básicas en el porcentaje correcto se pueden obtener diferentes tipos de vidrio, los cuales pueden ser clasificados de acuerdo a su composición química. Dentro de cada tipo, a su vez, hay numerosas composiciones distintas.

2.2.3.1. Tipos de vidrios según su composición química:

Según Pearson (2009) quien indica en su investigación la composición química, los vidrios pueden clasificarse de la siguiente manera:

- Vidrio sodo-cálcico: Este es el vidrio comercial más común y el menos costoso. El amplio uso de este tipo de vidrio es debido a sus importantes propiedades químicas y físicas. El vidrio sodo-cálcico es primariamente usado para: envases (botellas, jarros, vasos de uso diario, etc.) y vidrio para ventanas (en la industria de la construcción y en la industria automotriz).

Un típico vidrio sodo-cálcico está compuesto de 71 a 75% en peso de arena (SiO_2), 12-16% de soda (óxido de sodio de la materia prima carbonato de sodio), 10-15% de cal (óxido de calcio de la materia prima carbonato de calcio) y un bajo porcentaje de otros materiales para propiedades específicas tales como el color.

- Vidrio Plomado: un típico vidrio plomado está compuesto de 54-65% de sílice (SiO_2), 18-38% de óxido de plomo (PbO), 13- 15% de soda (Na_2O) o potasio (K_2O), y varios otros óxidos. Se pueden usar dos tipos diferentes de óxido de plomo: el PbO y el Pb_3O_4 , éste último preferido por su mayor porcentaje de oxígeno presente. Vidrios del mismo tipo, pero conteniendo menos que 18% de PbO son conocidos simplemente como cristal.
- Vidrio Boro silicato: un típico vidrio boro silicato está compuesto de un 70 a 80% de sílice (SiO_2), un 7 a 13% de ácido bórico (B_2O_3), un 4-8% de óxido de sodio (Na_2O) y óxido de potasio (K_2O), y un 2 a 7% de óxido de aluminio (Al_2O_3).
- Vidrios Especiales: se pueden inventar vidrios con propiedades específicas para casi cualquier requerimiento que se pueda imaginar. Sus composiciones son diversas e involucran numerosos elementos químicos. Así pueden obtenerse vidrios especiales para uso en diversos campos tales como en química, farmacia, electro-tecnología, electrónica, óptica, aparatos e instrumentos, etc. Podemos citar como ejemplos:
 - Vidrio alúmino-silicato: tiene óxido de aluminio en su composición. Es similar al vidrio boro silicato, pero tiene una mayor durabilidad química y puede soportar temperaturas de operación más altas. Comparado con el boro silicato, el vidrio alúmino-silicato es más difícil de fabricar. Cuando se lo cubre con un film conductor, el vidrio alúmino-silicato es usado como para circuitos electrónicos.
 - Vidrio de silicio 96%: se obtiene a partir de un vidrio boro silicato fundido, al que se le remueven casi todos los elementos no silicatos. Este vidrio es resistente a shocks térmicos superiores a 900°C .

- Vidrio de sílice fundida: es dióxido de silicio puro en un estado no cristalino. Es muy difícil de fabricar, por lo que es el más caro de los vidrios. Pueden sostener temperaturas de operación de arriba de 1200°C por períodos cortos.

Por otra parte, también nos informa que el vidrio sodo-cálcico también se puede clasificar según su uso:

- Vidrio plano: (fabricado en líneas automáticas) - para uso en Construcción: ventanas, curtain wall, fachadas templadas, etc. - para uso en Automotores: parabrisas, lunetas traseras, vidrios laterales, espejos retrovisores, tanto para automóviles particulares como para transporte de pasajeros (terrestre y ferrocarril), maquinarias agrícolas, etc. para uso en Artículos Electrodomésticos: la llamada línea blanca (hornos de cocina, heladeras, calefones, etc.). - Para uso en Refrigeración: puertas de heladeras exhibidoras, etc.
- Vidrio hueco: (fabricado por soplado automático o manual) - para uso en Envases: botellas, frascos, etc.
- Vidrio para decoración: (elaborado por el método conocido como fusing) - Muebles de Vidrio: bachas para baños, mesas pequeñas, etc. - Objetos varios para decoración (producidos normalmente en forma artesanal): platos, floreros, collares, ceniceros, vasos, etc.
- Vidrio artístico: (elaborado por fusing y/o soplado manual) todo tipo de objetos con aplicaciones no funcionales sino artísticas.

2.3. Hipótesis

Al reemplazar el cemento por vidrio molido en 5%, 10% y 15 % incrementará la resistencia a compresión axial del mortero cemento-arena 1:4 en más de 10%.

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

3.1. Operacionalización de variables

Tabla N° 6: Operacionalización de variables en estudio

VARIABLES		DEFINICIÓN CONCEPTUAL	INDICADORES	ÍNDICES
Variables independiente	% Vidrio molido	Material cerámico usado comúnmente en la construcción, es un material compacto, homogéneo, transparente y muy resistente a la acción de los agentes atmosféricos (Gutiérrez, 2003).	Peso con 5% de vidrio molido	Kg
			Peso con 10% de vidrio molido	Kg
			Peso con 15% de vidrio molido	Kg
Variable dependiente	Resistencia a compresión axial	Propiedad de que poseen algunos materiales de construcción como el mortero y concreto cuando son sometidos a cargas.	Resistencia a compresión axial	Kg/cm ²

Fuente: Elaboración propia, 2017.

3.2. Diseño de investigación

Experimental

3.3. Unidad de estudio

Mortero

3.4. Población

La población será la misma que la muestra asumida por el investigador.

3.5. Muestra

De acuerdo a la norma técnica peruana NTP 334.051 nos establece que debe hacerse un mínimo de 3 cubos de mortero para edades de ensayo establecidas en la misma norma, por lo que en esta investigación se ha optado a hacer 6 cubos de mortero por cada porcentaje y edad de ensayo haciendo un total de 96 probetas cúbicas distribuidas de la siguiente manera:

Tabla N° 7: Cantidad de probetas de mortero cemento - arena con porcentajes de reemplazo de vidrio molido

Edad de ensayo	Porcentaje de reemplazo del cemento por vidrio molido			
	0%	5%	10%	15%
24 horas	6	6	6	6
3 días	6	6	6	6
7 días	6	6	6	6
28 días	6	6	6	6
Total	96 probetas cúbicas de mortero			

Fuente: Elaboración propia, 2017.

3.6. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos

Tabla N° 8: Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos

Variables dependientes	Datos de recolección		
	Fuente	Técnica	Instrumento
Resistencia a compresión axial	Experimento	Observación directa	Hoja de datos

Fuente: Elaboración propia, 2017.

3.7. Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos

3.7.1. Obtención del agregado fino

- Se obtendrá el agregado fino de la cantera Roca fuerte, que se encuentra ubicada en el distrito de Baños del Inca, departamento de Cajamarca.

Fotografía N° 1: Ubicación de la cantera Roca fuerte



Fuente: Google Earth, 2017.

Fotografía N° 2: Fachada de la cantera Roca fuerte



Fuente: Elaboración propia, 2017.

3.7.2. Obtención del vidrio

- Se obtendrá el vidrio plano transparente en la vidriería Pinillos ubicada en la ciudad de Cajamarca.

Fotografía N° 3: Vidriería Pinillos



Fuente: Elaboración propia, 2017.

3.7.2.1. Trituración, molienda y tamizado del vidrio

- Una vez limpiado y secado el vidrio se procede al triturado con el uso de un martillo y así facilitar el proceso de molienda del vidrio.
- Ya triturado el vidrio se procede a la molienda del mismo mediante un molino de maíz.

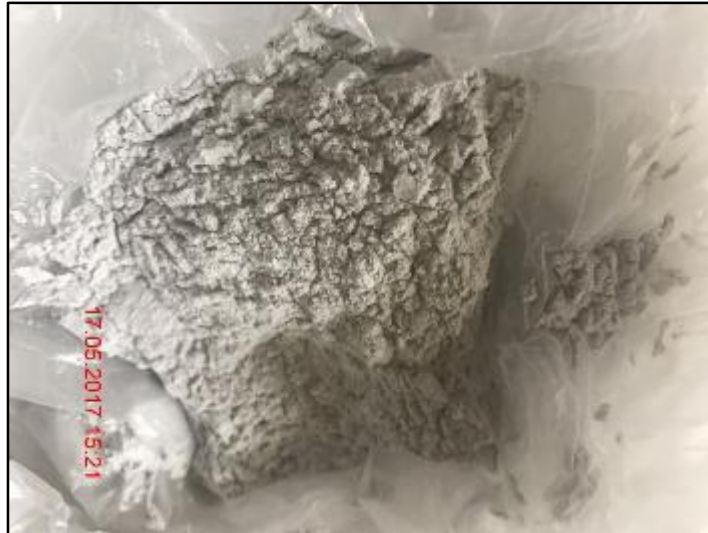
Fotografía N° 4: Molienda del vidrio



Fuente: Elaboración propia, 2017.

- Luego de la molienda del vidrio se tamiza al vidrio por el tamiz N° 200 y el material que pasante de dicho tamiz es el que se usara para esta investigación.

Fotografía N° 5: Vidrio molido que pasa el tamiz N° 200



Fuente: Elaboración propia, 2017.

3.7.3. Ensayos realizados para la determinación de las propiedades del agregado fino

3.7.3.1. Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos (NTP 400.012)

- Secar la muestra.

Fotografía N° 6: Secado del agregado fino



Fuente: Elaboración propia, 2017.

- Seleccionar tamices adecuados para cumplir con las especificaciones del material que se va a ensayar, colocar los tamices en orden decreciente por tamaño de abertura.
- Efectuar la operación de tamizado manual o por medio de un tamizador mecánico, durante un tiempo adecuado.
- Limitar la cantidad de material en un tamiz con el objetivo que todas las partículas puedan alcanzar las aberturas del tamiz varias veces durante el tamizado.

Fotografía N° 7: Tamizado del agregado fino



Fuente: Elaboración propia, 2017.

- Continuar el tamizado por un periodo suficiente, de tal manera que al final no más del 1% de la masa del residuo sobre uno de los tamices, pasará a través de él durante 1 min de tamizado manual.
- Determinar la masa de cada incremento de medida sobre una balanza. La masa total de material luego del tamizado deberá ser verificada con la masa de la muestra colocada sobre cada tamiz. Si la cantidad difiere en más de 0.3%, sobre la masa seca original de la muestra, el resultado no deberá utilizarse para propósitos de aceptación.

- El módulo de finura se calcula con la siguiente fórmula:

Fórmula N° 1: Módulo de finura

$$M. F. = \frac{\%Ret. Acum. (N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50, N^{\circ}100)}{100}$$

Donde:

M.F = Módulo de finura

3.7.4. Gravedad específica y absorción de agregados finos (NTP 400.022)

- Se coloca el material en un recipiente y se cubre con agua, se deja reposar durante 24 horas.

Fotografía N° 8: Agregado fino sumergido en agua por 24 horas



Fuente: Elaboración propia, 2017.

- Se extiende sobre una superficie plana expuesta a una corriente suave de aire tibio y se remueve con frecuencia, para garantizar un secado uniforme.
- Se continúa esta operación hasta que los granos del agregado no se adhieran entre sí.
- En el molde cónico, se coloca la muestra y se apisona suavemente 25 veces con la varilla de metal y se levanta el molde verticalmente. Repetir la operación del secado y del molde cónico hasta que el cono de agregado se desintegre, siendo en ese instante cuando el agregado fino se encuentra en estado de saturado superficialmente seco

Fotografía N° 9: Agregado fino en estado saturado superficialmente seco



Fuente: Elaboración propia, 2017.

- Introducir en el frasco una muestra de 500 g de material preparado, llenar parcialmente con agua a una temperatura de 23 ± 2 °C hasta alcanzar la marca de 1000 cm³.
- Agitar el frasco para eliminar burbujas de aire de manera manual.

- Manualmente rodar, invertir y agitar el frasco para eliminar todas las burbujas de aire.
- Nota 1. Cerca de 15 a 20 minutos son normalmente requeridos para eliminar las burbujas de aire por método manual.

Fotografía N° 10: Eliminación de burbujas de aire por el método manual



Fuente: Elaboración propia, 2017.

- Después de eliminar las burbujas de aire, ajustar la temperatura del frasco y su contenido a 23 ± 2 °C y llenar el frasco hasta la capacidad calibrada. Determinar el peso total del frasco, espécimen y agua.
- Remover el agregado fino del frasco, secar en la estufa hasta peso constante a una temperatura de 105 ± 5 °C, enfriar a temperatura ambiente por $\frac{1}{2}$ a $1 \frac{1}{2}$ hora y determinar el peso.
- La gravedad específica se calcula con la siguiente fórmula:

$$Pe_{sss} = \frac{500}{(V - V_a)} \times 100 \quad \text{Fórmula N° 2: Gravedad específica}$$

- La absorción se calcula con la siguiente fórmula:

$$Ab = \frac{500 - W_o}{W_o} \times 100 \quad \text{Fórmula N° 3: Absorción}$$

Donde:

Pesss = Peso específico de masa

Ab = Absorción

Wo = Peso en el aire de la muestra secada en el horno, g

V = Volumen del frasco en cm³

Va = Peso en gramos o volumen en cm³ de agua añadida al frasco.

3.7.4.1. Peso unitario de los agregados (NTP 400.017)

3.7.4.1.1 Peso unitario suelto seco

- Procedimiento con pala: el recipiente de medida se llena con una pala o cuchara, que descarga el agregado desde una altura no mayor de 50 mm (2") hasta que rebose el recipiente.

Fotografía N° 11: Llenado del recipiente con el agregado fino



Fuente: Elaboración propia, 2017.

- Eliminar el agregado sobrante con una regla.
- Determinar el peso del recipiente de medida más el contenido y el peso del recipiente, registrar los pesos con aproximación de 0,05 kg (0,1 lb).
- El peso unitario suelto se calcula de la siguiente manera:

Fórmula N° 4: Peso unitario suelto seco

$$\text{PUSS} = \frac{\text{Peso}_{\text{recipiente+muestra}} - \text{Peso}_{\text{recipiente}}}{\text{Volumen}_{\text{recipiente}}}$$

3.7.4.1.2 Peso unitario compactado seco

- Procedimiento de apisonado: para agregados de tamaño máximo nominal de 37,5 mm (1 1/2") o menos.
- Llenar la tercera parte del recipiente con el agregado, y emparejar la superficie con los dedos.

Fotografía N° 12: Apisonado de la primera capa de agregado



Fuente: Elaboración propia, 2017.

- Apisonar la capa de agregado con 25 golpes de la varilla distribuidos uniformemente, utilizando el extremo semiesférico de la varilla.
- Al apisonar la primera capa, evitar que la varilla golpee el fondo del recipiente. Al apisonar las capas superiores, aplicar la fuerza necesaria para que la varilla atraviese solamente la respectiva capa.
- Una vez colmado el recipiente, enrasar la superficie con la varilla, usándola como regla, determinar el peso del recipiente lleno y peso del recipiente solo, y registrar pesos con aproximación de 0,05 kg (0,1 lb).
- El peso unitario compactado se calcula de la siguiente manera:

Fórmula N° 5: Peso unitario compactado seco

$$PUCS = \frac{\text{Peso}_{\text{recipiente+muestra}} - \text{Peso}_{\text{recipiente}}}{\text{Volumen}_{\text{recipiente}}}$$

3.7.4.2. Método de ensayo para contenido de humedad total de los agregados por secado (NTP 339.185)

- Determinar la masa de la muestra con una precisión del 0,1%.
- Secar la muestra en el recipiente por medio de la fuente de calor elegida, teniendo cuidado de evitar la pérdida de ninguna partícula. Un secado muy rápido puede causar que exploten algunas partículas resultando en pérdidas de partículas. Usar un horno de temperatura controlada cuando el calor excesivo puede alterar las características del agregado o cuando se requiera una medición más precisa.

- La muestra estará suficientemente seca cuando la aplicación de calor adicional cause o puede causar menos de 0,1% de pérdida adicional de masa.
- Determinar la masa de la muestra seca con una aproximación de 0,1% después que se haya secado y enfriado lo suficiente para no dañar la balanza

Fotografía N° 13: Muestra seca de agregado fino después de 24 horas en el horno



Fuente: Elaboración propia, 2017.

- El contenido de humedad total evaporable se calcula de la siguiente manera:

$$P = \frac{100(W-D)}{D} \quad \text{Fórmula N° 6: Contenido de humedad}$$

Donde:

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

W = Masa de la muestra húmeda original en gramos

D = Masa de la muestra seca en gramo

3.7.5. Ensayos realizados para la determinación de las propiedades del cemento y vidrio molido

3.7.5.1. Finura del cemento por medio de la malla N° 200 (MTC E604)

- Pesar 50 g de cemento Extraforte ICO en una balanza con $\pm 0,0002$ g de aproximación.

Fotografía N° 14: Peso de muestra del cemento Pacasmayo Extraforte ICO



Fuente: Elaboración propia, 2017.

- Colocar la malla N° 200 limpia y seca sobre el recipiente base y transferir cuantitativamente la muestra a la malla y tapar.
- Agitar suavemente la malla, horizontalmente con movimientos de rotación, y verticalmente con golpes de vez en cuando. El tiempo de agitado debe ser entre 5 y 10 minutos.

- Quitar la tapa y separar la malla N° 200, vaciando la fracción de cemento que ha sido retenida en ella sobre un papel bien limpio y tarado. Las partículas que han quedado atrapadas sobre los hilos de la malla no hay que forzarlas a pasar a través de ella; inviértase el tamiz y con ayuda de una brocha o un cepillo de alambre, despréndanse y agréguese a las depositadas en el papel.
- Pesarse cuidadosamente la fracción de la muestra obtenida anteriormente.

Fotografía N° 15: Peso del cemento retenido en el tamiz N° 200



Fuente: Elaboración propia, 2017.

- La finura del cemento se calcula por medio de la fórmula:

$$F = \frac{R}{50} \times 100 \quad \text{Fórmula N° 7: Finura del cemento}$$

Donde:

F = Finura del cemento expresada como porcentaje en peso del residuo que no pasa el tamiz N° 200

R = Peso del residuo que no pasa el tamiz N° 200, en gramos.

3.7.5.2. Finura del vidrio molido por medio de la malla N° 200

- De manera que no existe una norma para hallar la finura del vidrio se optara la norma utilizada para hallar la finura del cemento ya que está siendo tratado como reemplazo del cemento.
- Pesar 50 g de vidrio molido en una balanza con $\pm 0,0002$ g de aproximación.

Fotografía N° 16: Peso del vidrio molido



Fuente: Elaboración propia, 2017.

- Colocar la malla N° 200 limpia y seca sobre el recipiente base y transferir cuantitativamente la muestra a la malla y tapar.
- Agitar suavemente la malla, horizontalmente con movimientos de rotación, y verticalmente con golpes de vez en cuando. El tiempo de agitado debe ser entre 5 y 10 minutos.

Fotografía N° 17: Tamizado del vidrio molido



Fuente: Elaboración propia, 2017.

- Quitar la tapa y separar la malla N° 200, vaciando la fracción de cemento que ha sido retenida en ella sobre un papel bien limpio y tarado. Las partículas que han quedado atrapadas sobre los hilos de la malla no hay que forzarlas a pasar a través de ella; inviértase el tamiz y con ayuda de una brocha o un cepillo de alambre, despréndanse y agréguese a las depositadas en el papel.
- Pesar cuidadosamente la fracción de la muestra obtenida anteriormente.

$$F = \frac{R}{50} \times 100$$

Fórmula N° 8: Finura del vidrio

Donde:

F = Finura del vidrio expresada como porcentaje en peso del residuo que no pasa el tamiz N° 200

R = Peso del residuo que no pasa el tamiz N° 200, en gramos.

3.7.6. Diseño de mezcla del mortero

Datos:

Tamaño de la probeta

Ancho: 5.08 cm

Largo: 5.08 cm

Altura: 5.08 cm

Especificaciones técnicas

	<u>Agua</u>	<u>Cemento</u>	<u>Arena</u>	
Peso específico (P.E.)	1	2.92	2.62	gr/cm ³
P.U.S. S		1500.00	1719.98	Kg/m ³
Contenido de humedad (C.H. %)			6.17	%
Grado de absorción (ABS %)			2.78	%
Relación cemento/arena		C/A = 1/4		
Cantidad de aire incluido		1%		

Proporcionamiento (en volumen):

Relación agua/cemento	A/C = 0.75
Consistencia plástica	(0.70 - 0.80)
Dosificación (cemento: arena: agua)	C / A / A = 1 / 4 / 0.75
Porcentaje por desperdicios	10%

Diseño del mortero:

Volúmenes aparentes:

Cemento	=	1pie ³
Agregado fino	=	4pie ³
A/C	=	0.75

Materiales secos:

Cemento	=	42.50 Kg
Agregado fino	=	194.82 Kg
Agua	=	31.88 Kg

Volúmenes absolutos:

Cemento	=	0.01455 m ³
Agregado fino	=	0.07433 m ³
Agua de diseño	=	0.03188 m ³
Sub total	=	0.12076 m ³
<u>Aire (1%)</u>	=	<u>0.00121 m³</u>
TOTAL	=	0.12197 m ³

Cantidad de materiales por metro cúbico:

Nº de bolsas	=	8.20 bls
--------------	---	----------

	<u> Materiales por m³</u>	<u> Materiales Secos</u>
Cemento	8.20 bls	348.46 Kg
Agregado fino	0.929 m ³	1597.29 Kg
Agua de diseño	261.34 lts	261.34 lts

	<u> Corrección por humedad</u>	<u> Materiales Húmedos</u>
Cemento	348.46 Kg	348.46 Kg
Agregado fino	1651.55 Kg	1651.55 Kg
Agua de aporte	56.10 lts	56.10 lts
Agua efectiva		205.24 lts

Cantidad de material para 6 probetas

Volumen para 1 Espécimen:	131.096512 cm ³
Volumen para "n" Especímenes:	
Cantidad: 6	786.579072 cm ³ <> 0.00078658 m ³

Dosificación del mortero cemento-arena 1:4

<u>Materiales</u>	<u>Sin desperdicios</u>	<u>Con desperdicios (10%)</u>
Cemento	0.274 Kg	0.301 Kg
Agregado fino húmedo	1.299 Kg	1.429 Kg
Agua efectiva	0.161 Kg	0.178 Kg

Tabla N° 9: Dosificaciones del mortero cemento - arena sin y con reemplazo de vidrio molido

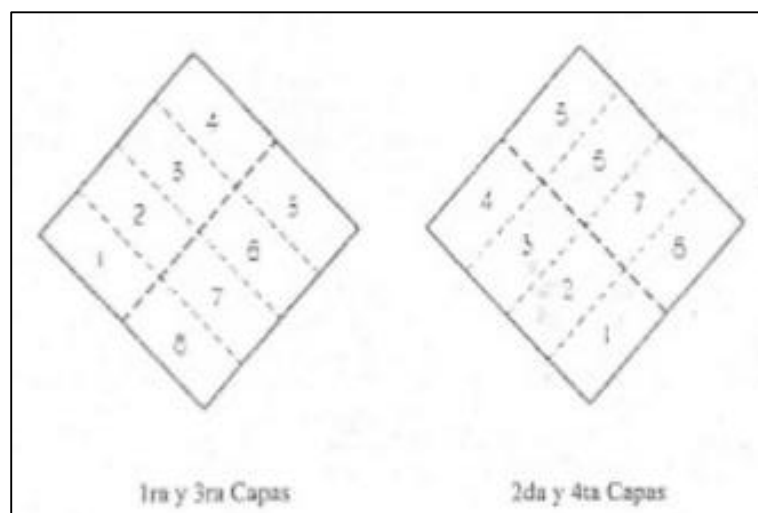
Especímen	Reemplazo de cemento por vidrio molido		Cemento	Agregado fino	Agua
	%	Kg	Kg	Kg	Its
Mortero C/A 1:4	0	0	0.301	1.429	0.178
Mortero C/A 1:4	5	0.0151	0.286	1.429	0.178
Mortero C/A 1:4	10	0.0301	0.271	1.429	0.178
Mortero C/A 1:4	15	0.0452	0.256	1.429	0.178

Fuente: Elaboración propia, 2017.

3.7.7. Ensayo de Resistencia a Compresión de Morteros de Cemento Hidráulico usando especímenes cúbicos de 2 pulg. (NTP 334.051)

- Con los materiales ya pesados, mezclar uniformemente el cemento, arena, agua y de ser el caso cualquier otro material que se va incorporar a la mezcla.
- Verter la mezcla a los moldes cúbicos de 2 pulgadas de lado apisonándolo 32 veces.

Fotografía N° 18: Orden del apisonado en el moldeado de los especímenes de ensayo



Fuente: Norma técnica peruana NTP 334.051, 2006.

- Inmediatamente terminada la operación de llenado, colocar los especímenes de ensayo en la cámara húmeda o cuarto de curado. Inmediatamente después del moldeado mantener todos los especímenes en sus moldes, sobre sus placas de base, en la cámara de curado o cuarto húmedo de 20 horas a 72 horas con las caras superiores expuesta al aire húmedo pero protegidas de la eventual caída de gotas de agua. Si los especímenes son retirados de sus moldes antes de las 24 horas, mantenerlos en los estantes del cuarto húmedo o de la cámara de curado hasta que tengan 24 horas y luego sumergirlos.

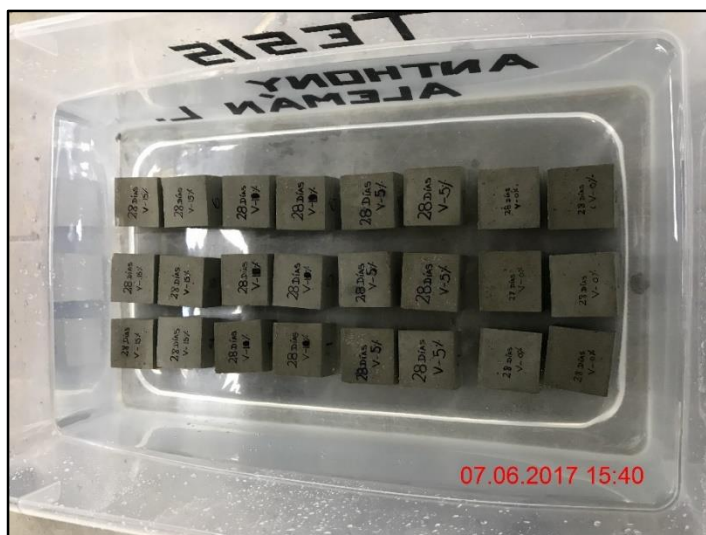
Fotografía N° 19: Especímenes de mortero



Fuente: Elaboración propia, 2017.

- Retirar de la cámara húmeda los cubos que van a ser ensayados a las 24 horas, cubriéndolos con un paño húmedo, mientras se van pasando a la máquina. Los otros cubos, deben sacarse del tanque de almacenamiento uno por uno y probarse inmediatamente.

Fotografía N° 20: Probetas sumergidas hasta su respectivo día de ensayo



Fuente: Elaboración propia, 2017.

- Todos los cubos se ensayarán dentro de las siguientes tolerancias de tiempo: a las 24 horas $\pm\frac{1}{2}$ hora; a los 3 días ± 1 hora; a los 7 días ± 3 horas; y a los 28 días ± 12 horas.
- Los cubos deberán secarse y dejarse limpios de arena suelta, o incrustaciones, en las caras que van a estar en contacto con los bloques de la máquina de ensayo.

Fotografía N° 21: Probetas de mortero listas para el ensayo a compresión



Fuente: Elaboración propia, 2017.

- Se debe comprobar por medio de una regla que las caras están perfectamente planas. Colocar cuidadosamente el espécimen en la máquina centrando debajo del bloque superior, comprobándose antes de ensayar cada cubo, que la rótula gire libremente en cualquier dirección. No se usarán amortiguadores entre el cubo y los bloques de carga.
- Cuando se espera que el cubo resista una carga máxima superior a 13,3 kN (3000 lbf), se aplica a este una carga inicial de la mitad del valor esperado, a velocidad conveniente; si se espera que la carga que va a resistir sea menor de 13,3 kN (3000 lbf), no se aplicará carga inicial al cubo.

- La velocidad de aplicación de la carga se calcula en tal forma que la carga restante para romper los cubos con resistencia esperada mayor de 13,3 kN (3000lbf) o la carga total en los otros, se aplique sin interrupción en un tiempo comprendido entre 20 y 80 segundos, desde el inicio de la carga.

Fotografía N° 22: Ensayo a compresión de la probeta de mortero



Fuente: Elaboración propia, 2017

- Se debe anotar la carga máxima indicada por la máquina de ensayo en el momento de rotura y se debe calcular la resistencia a la compresión como sigue:

$$f_m = \frac{P}{A}$$

Fórmula N° 9: Resistencia a la compresión

Donde:

f_m = Es la resistencia a la compresión en Kg/cm²

P = Es la carga máxima total en Kg

A = Área de la superficie de carga en cm²

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

4.1. Características físicas del agregado fino

4.1.1. Análisis granulométrico y módulo de finura (NTP 400.012)

En la tabla N° 10 se muestra el análisis granulométrico del agregado fino y módulo de finura de la cantera Roca fuerte utilizado para la elaboración del mortero cemento – arena.

Tabla N° 10: Análisis granulométrico y módulo de finura del agregado fino

Malla #	Diámetro (mm)	Peso retenido (gr)	% Retenido (%)	% Retenido acumulado (%)	% Que pasa
N° 3/8	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.75	181.10	12.07	12.07	87.93
N° 8	2.36	224.50	14.97	27.04	72.96
N° 16	1.18	175.50	11.70	38.74	61.26
N° 30	0.60	209.30	13.95	52.69	47.31
N° 50	0.30	320.40	21.36	74.05	25.95
N° 100	0.15	269.80	17.99	92.04	7.96
N° 200	0.075	94.90	6.33	98.37	1.63
CAZOLETA		24.50	1.63	100.00	0.00

Fuente: Elaboración propia, 2017.

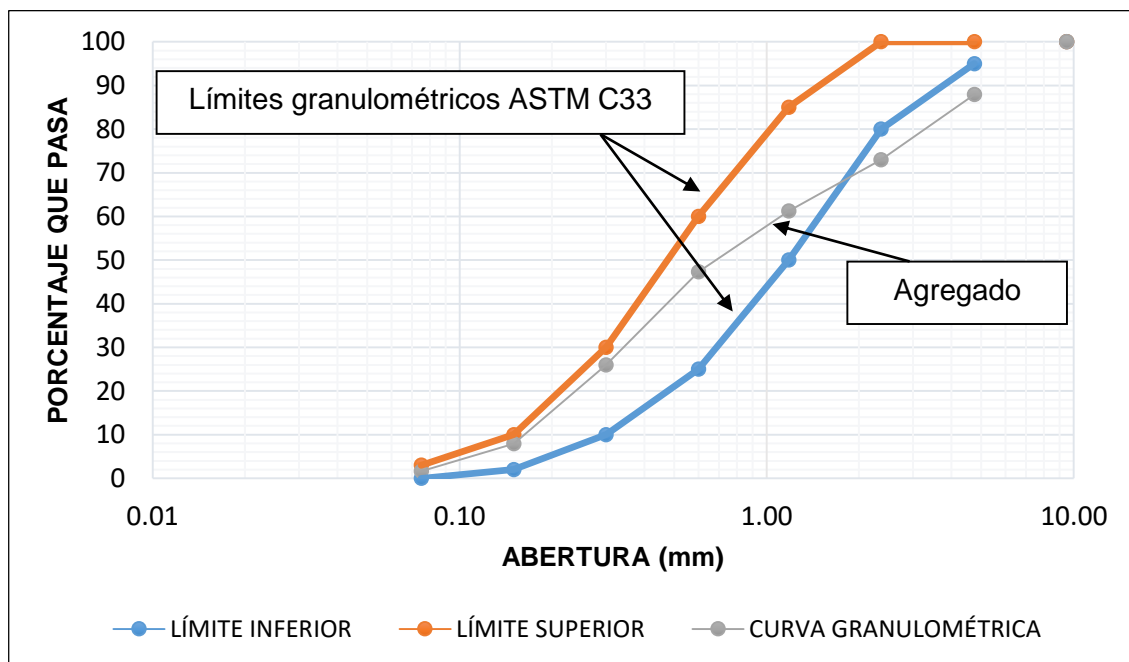
Módulo de Finura = 2.97

Tabla N° 11: Límites granulométricos

Malla #	Diámetro (mm)	% Que pasa	
		Especificaciones	
N° 3/8	9.50	100	100
N° 4	4.75	95	100
N° 8	2.36	80	100
N° 16	1.18	50	85
N° 30	0.60	25	60
N° 50	0.30	10	30
N° 100	0.15	2	10
N°200	0.075	0	3

Fuente: Norma técnica peruana NTP 400.012, 2001.

Gráfico N° 1: Curva granulométrica del agregado fino de la cantera Roca fuerte



Fuente: Elaboración propia, 2017

4.1.2. Gravedad específica y absorción de agregados finos (NTP 400.022)

En la tabla N° 11, se muestran los resultados obtenidos del ensayo de gravedad específica y absorción, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla N° 12: Gravedad específica y absorción del agregado fino

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	RESULTADO
A	Peso Saturado Superficialmente Seco del suelo (Psss)	gr	500	500	500	
B	Peso del frasco + agua hasta marca de 1000ml	gr	1261.2	1261.2	1261.2	
C	Peso del frasco + agua + Psss, $C = A + B$	gr	1761.2	1761.2	1761.2	
D	Peso del frasco + Psss + agua hasta la marca de 1000ml	gr	1569.9	1570.8	1570.5	
E	Volumen de masa + volumen de vacío, $E = C - D$	cm ³	191.3	190.4	190.7	
F	Peso seco del suelo (en estufa a 105°C ± 5°C)	gr	484.7	487.0	487.8	
G	Volumen de masa, $G = E - (A - F)$	cm ³	176.0	177.4	178.5	
H	Peso específico bulk (base seca), $H = F / E$	gr/cm ³	2.534	2.558	2.558	2.550
I	Peso específico (base saturada), $I = A / E$	gr/cm³	2.614	2.626	2.622	2.621
J	Peso específico aparente (base seca), $J = F / G$	gr/cm ³	2.754	2.745	2.733	2.744
K	Absorción, $K = (A - F / F) * 100$	%	3.156	2.669	2.501	2.775

Fuente: Elaboración propia, 2017.

4.1.3. Peso unitario de los agregados (NTP 400.017)

4.1.3.1. Peso unitario suelto y compactado

En la tabla N° 12 se muestran los resultados del ensayo peso unitario de los agregados (agregado fino) de la cantera Roca fuerte utilizado para la elaboración del mortero cemento - arena. Obteniendo como resultado PUCS de 1846.617 Kg/m³ y PUSS de 1716.979 Kg/ m³.

Tabla N° 13: Peso unitario suelto y compactado del agregado fino

AGREGADO FINO		TAMAÑO MÁX. NOMINAL		< 1/2"		VOLUMEN MOLDE (m ³)	0.00941
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	RESULTADO	
A	Peso del Molde + AF Compactado	Kg	22.250	22.130	22.105		
B	Peso del molde	Kg	4.785	4.785	4.785		
C	Peso del AF Compactado, C = A – B	Kg	17.465	17.345	17.320		
E	Peso unitario compactado D = C / Vol. Molde	Kg/m³	1856.004	1843.252	1840.595	1846.617	
F	Peso del Molde + AF Suelto	Kg	20.960	21.035	20.915		
G	Peso del AF Suelto, G = F – B	Kg	16.175	16.250	16.130		
H	Peso unitario suelto H = G / Vol. Molde	Kg/m³	1718.916	1726.886	1714.134	1719.979	

Fuente: Elaboración propia, 2017.

4.1.4. Método de ensayo para contenido de humedad total de los agregados por secado (NTP 339.185)

En la tabla N° 13, se muestran los resultados del ensayo para la determinación del contenido de humedad del agregado fino.

Tabla N° 14: Contenido de humedad del agregado fino

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	RESULTADO
A	Peso de la tara	gr	82.2	82.4	160.3	
B	Peso de la muestra húmeda	gr	500	500	500	
C	Peso de la tara + peso de la muestra húmeda C = A + B	gr	582.2	582.4	660.3	
D	Peso de la tara + peso de muestra seca (en estufa a 105°C ± 5°C)	gr	552.5	553.3	631.9	
E	Peso del agua E = C - D	gr	29.7	29.1	28.4	
F	Peso de la muestra seca F = D - A	gr	470.3	470.9	471.6	
G	CONTENIDO DE HUMEDAD G = (E / F) * 100	%	6.315	6.180	6.022	6.172

Fuente: Elaboración propia, 2017.

4.2. Características físicas del cemento

4.2.1. Finura del cemento (MTC E 604)

En la tabla N° 14 se muestran los resultados del ensayo de finura del cemento Pacasmayo Extraforte ICO.

Tabla N° 15: Finura del cemento Pacasmayo Extraforte ICO

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	RESULTADO
A	Peso de la tara	gr	1.5	1.5	1.5	
B	Peso del cemento	gr	50	50	50	
C	Peso tara + Peso retenido en la malla N°200	gr	7.6	7.8	7.5	
D	Peso retenido en la malla N° 200	gr	6.1	6.3	6.0	
E	FINURA DEL CEMENTO $E = (D / 50) * 100$	%	12.2	12.6	12.0	12.27

Fuente: Elaboración propia, 2017.

4.3. Características físicas del vidrio molido

4.3.1. Finura del vidrio

En la tabla N° 15 se muestran los resultados del ensayo de finura del vidrio molido.

Tabla N° 16: Finura del vidrio molido

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	RESULTADO
A	Peso de la tara	gr	1.6	1.6	1.6	
B	Peso del cemento	gr	50	50	50	
C	Peso tara + Peso retenido en la malla N°200	gr	2.4	2.2	2.5	
D	Peso retenido en la malla N° 200	gr	0.8	0.6	0.7	
E	FINURA DEL VIDRIO MOLIDO $E = (D / 50) * 100$	%	1.6	1.2	1.4	1.40

Fuente: Elaboración propia, 2017.

4.4. Resumen de las propiedades físicas del agregado fino, cemento y vidrio molido

Tabla N° 17: Propiedades físicas del agregado fino de la cantera Roca fuerte

DESCRIPCIÓN	RESULTADO	UND
Módulo de finura	2.97	-
Peso específico	2.621	gr/cm ³
Absorción	2.775	%
Peso unitario compactado seco	1846.617	Kg/ m ³
Peso unitario suelto seco	1719.979	Kg/ m ³
Contenido de humedad	6.172	%

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla N° 18: Propiedades físicas del cemento (finura del cemento Pacasmayo Extraforte ICO)

DESCRIPCIÓN	RESULTADO	UND
Finura del cemento	12.27	%

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla N° 19: Propiedades físicas del vidrio molido (finura del vidrio molido)

DESCRIPCIÓN	RESULTADO	UND
Finura del vidrio molido	1.40	%

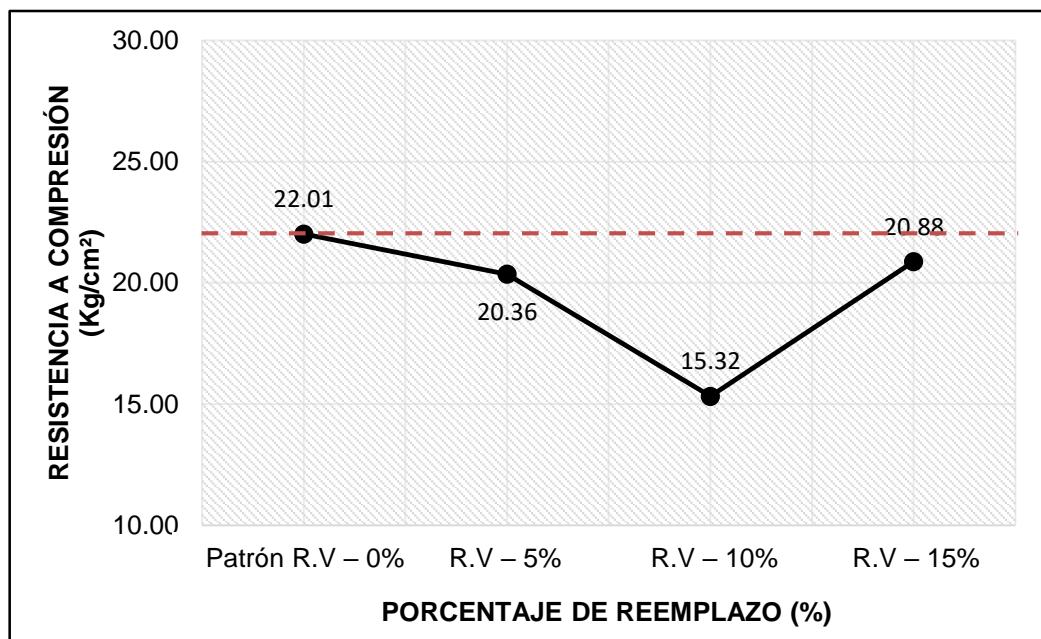
Fuente: Elaboración propia, 2017.

4.5. Ensayo de resistencia a compresión

4.5.1. Comparación de la resistencia a compresión axial del mortero cemento – arena sin y con reemplazo de vidrio molido para 24 horas de curado

Los resultados obtenidos para en un tiempo de curado de 24 horas como se muestra en el gráfico N° 2 donde se puede observar que la resistencia alcanzada fue de 22.01 kg/cm² con 0% de reemplazo de cemento; 20.36 kg/cm² al reemplazar un 5% de cemento por vidrio molido, 15.32 kg/cm² al reemplazar un 10% y 20.88 kg/cm² reemplazando un 15%. En donde también se muestra que con ninguno de los tres porcentajes de reemplazo supera a la muestra patrón.

Gráfico N° 2: Resistencia alcanzada para un tiempo de curado de 24 horas sin y con reemplazo de vidrio molido



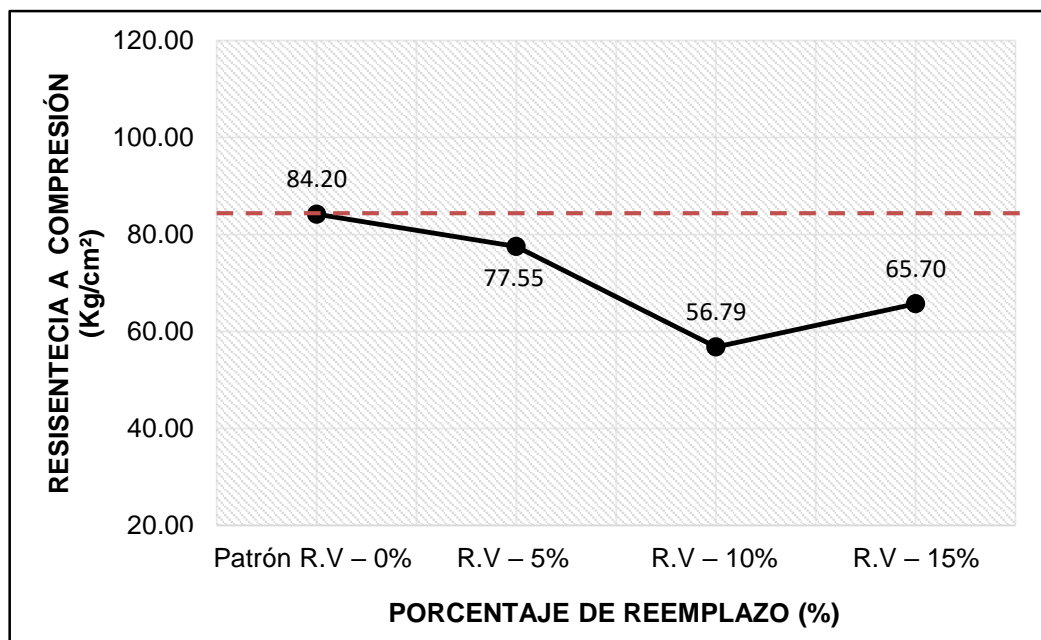
Fuente: Elaboración propia, 2017.

4.5.2. Comparación de la resistencia a compresión axial del mortero cemento – arena sin y con reemplazo de vidrio molido para 3 días de curado

Los resultados obtenidos para en un tiempo de curado de 3 días como se muestra en el grafico N° 3 donde se puede observar que la resistencia alcanzada fue de 84.20 kg/cm² con 0% de reemplazo de cemento; 77.55 kg/cm² al reemplazar un 5% de cemento por vidrio molido, 56.79 kg/cm² al reemplazar un 10% y 65.70 kg/cm² reemplazando un 15%. En donde también se muestra que con ninguno de los tres porcentajes de reemplazo supera a la muestra patrón e inclusive se puede apreciar que la resistencia disminuye aún más con el reemplazo del 10% y 15%.

Gráfico N° 3: Resistencia alcanzada para un tiempo de curado de 3 días sin y con reemplazo de vidrio molido

A

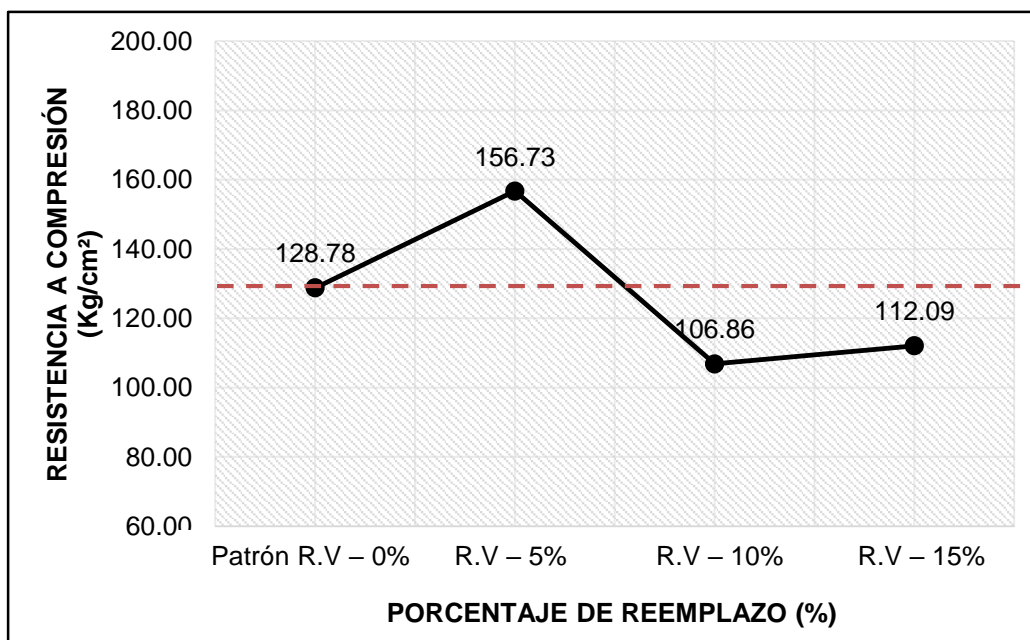


Fuente: Elaboración propia, 2017.

4.5.3. Comparación de la resistencia a compresión axial del mortero cemento – arena sin y con reemplazo de vidrio molido para 7 días de curado

Los resultados obtenidos para en un tiempo de curado de 7 días como se muestra en el grafico N° 4 donde se puede observar que la resistencia alcanzada fue de 128.78 kg/cm² con 0% de reemplazo de cemento; 156.73 kg/cm² al reemplazar un 5% de cemento por vidrio molido, 106.86 kg/cm² al reemplazar un 10% y 112.09 kg/cm² reemplazando un 15%. Se puede apreciar que a partir de esta edad de ensayo la resistencia aumenta con el 5% de reemplazo de cemento por vidrio molido con respecto de la probeta patrón, también se puede observar que las resistencias con 10% y 15% se aproximan a la resistencia de la probeta patrón.

Gráfico N° 4: Resistencia alcanzada para un tiempo de curado de 7 días sin y con reemplazo de vidrio molido

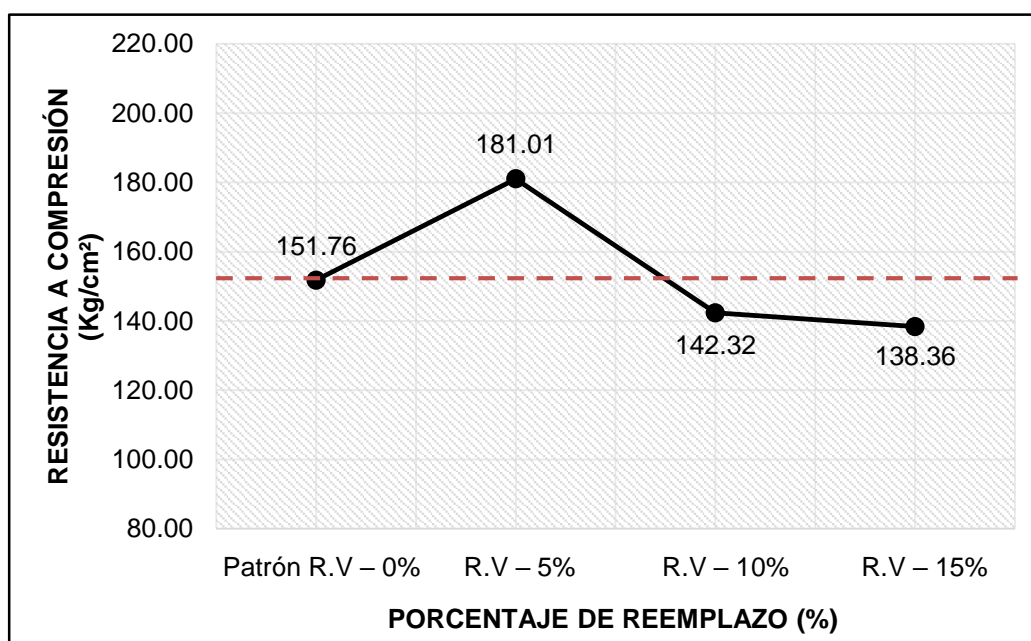


Fuente: Elaboración propia, 2017.

4.5.4. Comparación de la resistencia a compresión axial del mortero cemento – arena sin y con reemplazo de vidrio molido para 28 días de curado

Los resultados obtenidos para en un tiempo de curado de 28 días como se muestra en el gráfico N° 5 donde se puede observar que la resistencia alcanzada fue de 151.76 kg/cm² con 0% de reemplazo de cemento; 181.01 kg/cm² al reemplazar un 5% de cemento por vidrio molido, 142.32 kg/cm² al reemplazar un 10% y 138.36 kg/cm² reemplazando un 15%. Se puede apreciar que a partir de esta edad de ensayo la resistencia a compresión aumenta con el 5% de reemplazo de cemento por vidrio molido con respecto de la probeta patrón, también se puede observar que las resistencias a compresión con 10% aumenta con respecto a la probeta con 15% de reemplazo de cemento por vidrio molido se aproximan a la resistencia de la probeta patrón, aunque siguen manteniéndose por de debajo de la probeta patrón R.V – 0%.

Gráfico N° 5: Resistencia alcanzada para un tiempo de curado de 28 días sin y con reemplazo de vidrio molido

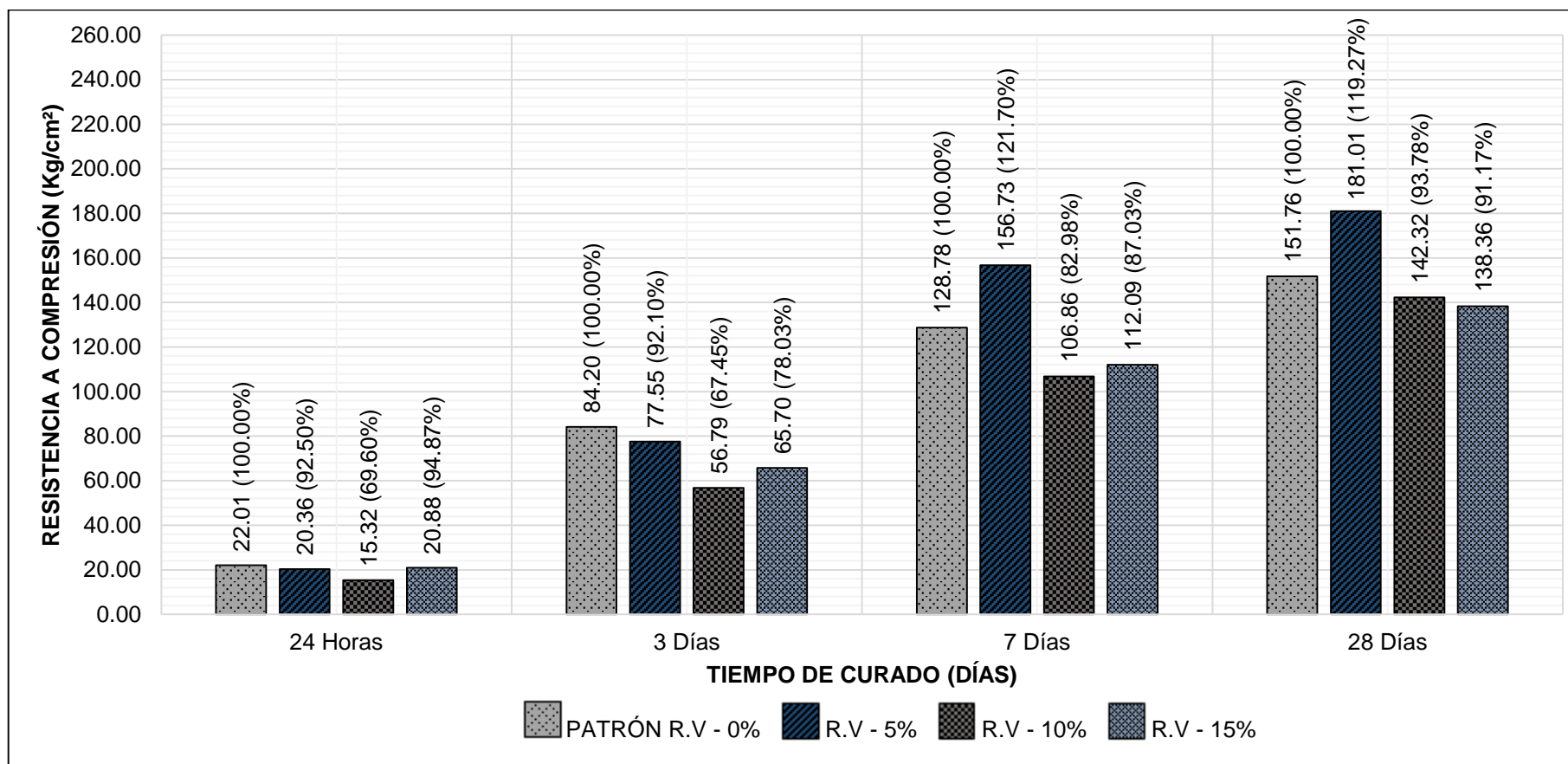


Fuente: Elaboración propia, 2017.

4.5.5. Comparación de los porcentajes de variación de la resistencia a compresión axial del mortero cemento – arena con reemplazo de vidrio molido para 24 horas, 3 días, 7 días y 28 días de curado

En el gráfico N° 6 se presenta los porcentajes de variación de las resistencias alcanzadas con reemplazo de cemento por vidrio molido, observándose que para 24 horas de curado con 5%, 10% y 15% de reemplazo de vidrio molido la resistencia disminuye en 7.50%, 30.40% y 5.13% respectivamente; a los 3 días de curado las resistencias siguen disminuyendo en 7.90%, 32.55% y 21.97% respectivamente; para un tiempo de curado de 7 días las resistencias con reemplazo del 10% y 15% siguen decayendo en 17.02% y 12.96% respectivamente respecto al patrón, sin embargo, con el reemplazo de 5% la resistencia se incrementa en 21.70%; por último a los 28 días de curado la resistencia con 10% y 15% de reemplazo de vidrio molido decaen en 6.22% y 8.83% respectivamente; con el 5% la resistencia se incrementa en 19.27%.

Gráfico N° 6: Porcentajes de variación con respecto a la probeta patrón para 24 horas, 3 días, 7 días y 28 días de curado con reemplazo de vidrio molido.



Fuente: Elaboración propia, 2017

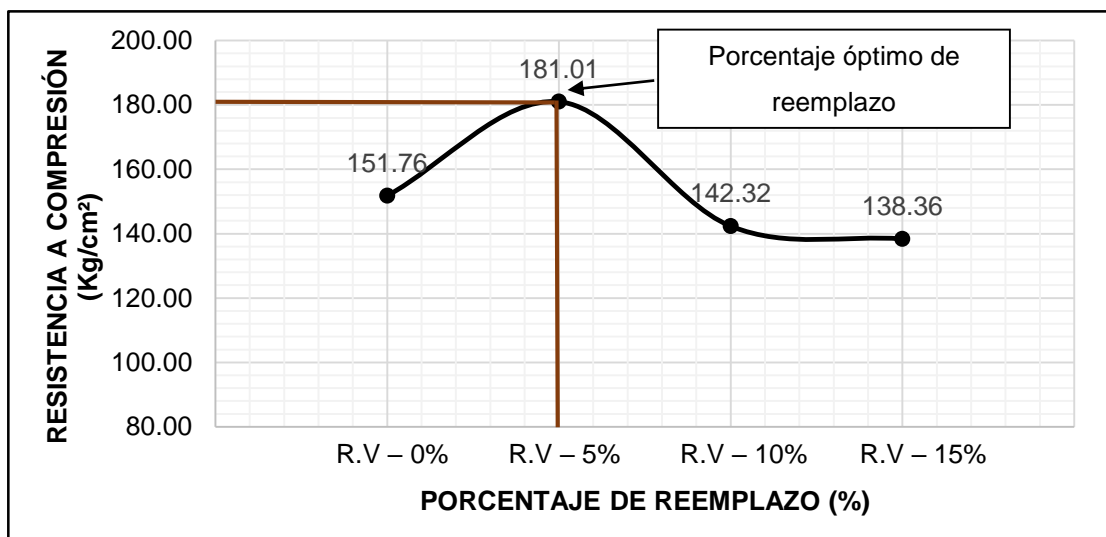
CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados mostrados en el Grafico N° 6, la resistencia a compresión axial del mortero cemento- arena aumenta en un porcentaje de 19.27% a los 28 días con respecto a la probeta patrón con el 5% de reemplazo de cemento por vidrio molido.

En el Gráfico N° 5 se puede observar que la resistencia a compresión con 10% de reemplazo de vidrio llega a un 93.78% con respecto a la probeta patrón y con 15% de reemplazo llega a 91.17% con respecto a la probeta patrón R.V – 0% a los 28 días de curado.

En el gráfico N° 7 se puede observar que el porcentaje que mayor beneficio dio como reemplazo del cemento Pacasmayo Extraforte ICO por vidrio molido en el mortero cemento – arena 1:4 a los 28 días de curado fue del 5%.

Gráfico N° 7: Porcentaje de reemplazo óptimo entre los tres porcentajes 5%, 10% y 15% a los 28 días de curado



Fuente: Elaboración propia, 2017

De acuerdo con Tejada (2014) en su tesis llega a al resultado que de los porcentajes de reemplazo usados (15%, 20% y 25%), el que mejor resultado dio fue el 20% ya que se aproximan en un 96.15% con respecto al hormigón patrón a los 28 días. Comparándolo con que en esta investigación el porcentaje de reemplazo que supera

la resistencia patrón es con la del 5% a partir de los 7 días de curado, sin embargo, también se consideró reemplazos con un 10% y 15% lográndose identificar que con ninguno de estos porcentajes se logra alcanzar la resistencia a compresión axial del mortero patrón a los 28 días, pero cabe recalcar que la que más se acerca a la resistencia a compresión es con el reemplazo de cemento por vidrio molido es del 10% con 93.78% con respecto de la probeta patrón con 0% de reemplazo como se puede apreciar en el Gráfico N° 6.

De acuerdo a los Gráficos N° 5 y 6 los resultados comparados con la investigación de Rodríguez y Ruíz (2016) donde emplearon el 20% de sustitución de cemento por vidrio finamente molido encontrado que a mayor tiempo de curado la resistencia aumenta considerablemente hasta un 17% a los 28 días, comparándolo con esta investigación se encuentra una similitud, aunque cabe destacar que no en mismo porcentaje de reemplazo, ya que a los 28 días se observó una mejora en la resistencia a la compresión de 19.27% con un 5% de reemplazo.

CONCLUSIONES

1. Se confirma satisfactoriamente la hipótesis formulada; ya que la resistencia a compresión axial del mortero cemento-arena 1:4 reemplazado el cemento por vidrio molido se incrementa en un porcentaje superior al 10%.
2. Se calculó las propiedades físico - mecánicas del agregado fino a utilizar en la elaboración del mortero, tales como: módulo de finura es 2.97, gravedad específica 2.621gr/cm³, absorción 2.775%, peso unitario suelto 1719.979Kg/m³, peso unitario compactado 1846.617Kg/m³ y contenido de humedad 6.172%,
3. Se calculó las propiedades físico - mecánicas del cemento Pacasmayo Extraforte ICO y vidrio molido, encontrándose que la finura del cemento tiene un valor de 12.27%, y del mismo modo se evaluó la finura del vidrio molido determinándose un valor de 1.40%.
4. Se elaboró las probetas de mortero cemento – arena 1:4 con reemplazo del cemento por vidrio molido.
5. Se comparó que la resistencia a compresión axial de las probetas del mortero cemento-arena 1:4 aumentan con el reemplazo del 5% de cemento por vidrio molido a partir de los 7 días en un porcentaje de 21.70% con respecto de la probeta patrón y a los 28 días la resistencia a compresión se incrementa en un porcentaje de 19.27% con respecto a la probeta patrón; donde se puede notar una disminución leve de la resistencia a compresión en un porcentaje de 2.43%.

RECOMENDACIONES

1. Estudiar la resistencia a compresión axial del mortero con el reemplazo del cemento por vidrio molido en porcentajes menores al 5%.
2. Estudiar la resistencia a compresión axial del mortero usando otros tipos de cemento hechos en el Perú al reemplazarlo por vidrio molido y ver su efecto.
3. Evaluar los costos de la muestra patrón y de la optimizada para identificar posibles usos en la construcción.
4. Evaluar las propiedades de adherencia y permeabilidad de morteros con reemplazo de vidrio molido.

REFERENCIAS

1. Asociación Nacional de Fabricantes de Mortero (2003). *Morteros guía general*. España: Madrid.
2. Catalán, C. (2013). *Estudio de la influencia del vidrio molido en hormigones grado H15, H20, Y H30*. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
3. Fernández, J. (2003). *Textos universitarios: El vidrio* (3ra edición). España: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
4. Gutiérrez, L. (2003). *El Concreto y Otros Materiales para la Construcción* (2da edición). Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
5. INDECOPI. (1999). NTP 400.017 Agregados. *Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado* (2da edición). Lima, Perú.
6. INDECOPI. (2001). NTP 400.012 Agregados. *Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global* (2da edición). Lima, Perú.
7. INDECOPI. (2002). NTP 339.185 Agregados. *Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado* (1ra edición). Lima, Perú.
8. INDECOPI. (2002). NTP 400.021 Agregados. *Método de ensayo normalizado para el peso específico y absorción del agregado grueso* (2da edición). Lima, Perú.
9. INDECOPI. (2002). NTP 400.022 Agregados. *Método de ensayo normalizado para el peso específico y absorción del agregado fino* (2da edición). Lima, Perú.
10. INDECOPI. (2006). NTP 334.051 Cementos. *Método de ensayo para la resistencia a la compresión de morteros de cemento portland usando especímenes cúbicos de 50 mm de lado* (2da edición). Lima, Perú.
11. Meyer, C. (2009). The greening of the concrete industry. En *Cement and Concrete Composites*. 31(8), pp. 601-605.
12. Ministerio de transportes y comunicaciones (2016). MTC E 604 Cemento. *Finura del cemento por medio de la malla nº 200*. Lima, Perú.
13. Naik, T.R. (2008). Sustainability of concrete construction. En *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 13 (2), pp. 98-103.
14. Nassar, Roz-Ud-Diny Soroushian, P. (2011). Field investigation of concrete incorporating milled waste glass. En *Journal of Solid Waste Technology and Management*, 37 (4), pp. 307-319.

15. Pasquel Carbajal, E. (1998). *Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú* (2da edición). Lima: San Marcos.
16. Pearson, C. (2009). *Manual del Vidrio Plano* (3ra edición). Argentina: Buenos Aires.
17. Poveda, R. et al (2015). Análisis de la influencia del vidrio molido sobre la resistencia al desgaste en adoquines de hormigón tipo A. En *Revista Politécnica*, 35 (3), pp. 1 – 10.
18. Rodríguez, M. y Ruíz, M. (2016). Evaluación del desempeño de un hormigón con incorporación de vidrio reciclado finamente molido en reemplazo de cemento mediante ensayos de laboratorio. En *Revista Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 3 (2) pp. 53-60.
19. Shi, C., & Zheng, K. (2007). A review on the use of waste glass in the production of cement and concrete. En *Resources, Conservation & Recycling*, 52 pp. 234 - 247.
20. Tejada, G. (2014). *Efecto en la resistencia a la compresión al reemplazar porcentualmente cemento por vidrio molido las mezclas de hormigón*. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.
21. Vijayakumar, G., Vishaliny, H., & Govindarajulu, D. (2013). Studies on glass powder as partial replacement of cement and concrete production. En *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 3(2), pp. 153 - 157.
22. Worrell, E., et al. (2001). Carbon dioxide emissions from the global cement industry. En *Annual Review of Energy and the Environment*, 26 pp. 303-329.

ANEXOS

ANEXO N° 1

MEDIDAS DE ESPECÍMINES

ANEXO N° 2
ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN

ANEXO N° 3
ENSAYO DEL AGREGADO FINO

ANEXO N° 4
FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO PACASMAYO EXTRAFORTE ICO

ANEXO N° 5
FICHA TÉCNICA DEL VIDRIO