

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“EFECTO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AL
REEMPLAZAR PORCENTUALMENTE CEMENTO POR VIDRIO
MOLIDO LAS MEZCLAS DE HORMIGÓN**

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

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:
GUILLERMO ANDERSON TEJADA ROMERO**

ASESOR

Ing. LUIS VÁSQUEZ RAMÍREZ

CAJAMARCA - PERÚ

2014

AGRADECIMIENTO

El presente trabajo de tesis primeramente me gustaría agradecerle a ti Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, porque hiciste realidad este sueño anhelado.

A la Universidad Nacional de Cajamarca, Facultad de Ingeniería, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil y a toda su plana docente por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional.

A mi asesor de tesis, Ing. Luis Vásquez Ramírez por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación ha logrado en mí que pueda terminar esta tesis profesional.

También me gustaría agradecer a mis profesores durante toda mi carrera profesional porque todos han aportado con un granito de arena a mi formación, y en especial a mis profesores M.Cs. Ing. Héctor Pérez Loayza, M.Cs. Ing. Jaime Amorós, Delgado, Dr. Ing. Miguel Ángel Mosqueira Moreno, Ing. Simón Horna Pereyra por sus consejos, su enseñanza y más que todo por su amistad, los cuales me han motivado durante mi formación profesional.

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida profesional a las que me encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida. Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en mi corazón, sin importar en donde estén quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones.

Para ellos: Muchas gracias y que Dios los bendiga.

EL AUTOR

DEDICATORIA

*A mis amados y queridos padres:
Guillermo Adriano Tejada Burgos y
Carmen María Romero Moza por
su total e incondicional apoyo moral
y espiritual durante el desarrollo de
mi vida diaria y carrera profesional,
y a mis hermanas Lelis y Fresia
Tejada Romero por su constante
ayuda y confianza depositada
en mí persona.*

*A mis queridos abuelos
Andrés Tejada Jiménez,
Rosalia Burgos Chicchón,
Olinda Moza Bobadilla;
presentes en la gracia de Dios,
quienes me cuidan desde el cielo,
gracias a sus sabios concejos,
ánimos, y por darme los
maravillosos Padres.*

EL AUTOR

CONTENIDO

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	3
1.1. Planteamiento del problema.....	3
1.2. Formulación del problema	4
1.3. Justificación de la investigación.....	4
1.4. Alcances o delimitación de investigación	5
1.5. Limitaciones	5
1.6. Objetivos	5
1.6.1. Objetivo General	5
1.6.1. Objetivos Específicos	5
1.7. Hipótesis	5
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	6
2.1. Antecedentes Teóricos de la investigación.....	6
2.2. Bases Teóricas	7
2.2.1. El Hormigón	7
2.2.2. El vidrio	15
2.2.3. Resistencia a la compresión del hormigón	18
2.2.4. Diseño de mezclas de hormigón	18
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS	23
3.1 Procedimiento	24
3.1.1 Tratamiento del vidrio.....	24
3.1.2 Agregado fino y grueso	26
3.1.3. El agua	30
3.1.4. El cemento	30
3.1.5. Diseño de la mezcla patrón	30
3.1.6. Pruebas del hormigón en estado fresco.....	36
3.1.7. Pruebas del hormigón en estado endurecido.....	39
3.2 Tratamiento y análisis de datos y presentación de resultados	40
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	45
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	46
5.1. Conclusiones.....	46

5.2. Recomendaciones	46
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
ANEXOS.....	50
Propiedades de los agregados	51
Granulometría de los agregados	51
Densidad, densidad Relativa y absorción del agregado grueso	57
Densidad, densidad Relativa y absorción del agregado fino	58
Contenido de humedad de los agregados	59
Abrasión los ángeles	60
Elaboración y ruptura de probetas	62
Panel fotográfico	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Requisitos del Agregado Fino según Norma	11
Tabla 2. Ubicación del Laboratorio de materiales	23
Tabla 3: Número de probetas según porcentaje de vidrio molido	24
Tabla 4. Ubicación de la Cantera Aguilar	26
Tabla 5. Volumen unitario de agua	30
Tabla 6. Contenido de Aire Atrapado	31
Tabla 7. Relación agua-cemento por resistencia	31
Tabla 8. Propiedades de los agregados.....	32
Tabla 9. Módulo de finura de la combinación de agregados	33
Tabla 10. Proporciones de las mezclas por m ³ de hormigón	36
Tabla 11. Ensayos de asentamiento de los diferentes tratamientos	38
Tabla 12. Resistencia a compresión ensayadas a los 7 días	40
Tabla 13. Resistencia a compresión ensayadas a los 14 días	42
Tabla 14. Resistencia a compresión ensayadas a los 28 días	43
Tabla 15. Resistencia a Compresión promedio a los diferentes días	44
Tabla 16. Ensayo N°01-Granulometría Agregado Fino	51
Tabla 17. Ensayo N°02-Granulometría Agregado Fino	52
Tabla 18. Ensayo N°03-Granulometría Agregado Fino	53
Tabla 19. densidad, densidad relativa y la absorción del agregado Grueso ...	57
Tabla 20. densidad, densidad relativa y la absorción agregado Fino.	58
Tabla 21. Ensayos de Contenido de Humedad agregado fino	59
Tabla 22. Ensayos contenido de humedad agregado grueso	59
Tabla 23. Ensayo a la abrasión N°01	60
Tabla 24. Ensayo a la abrasión N°02	60
Tabla 25. Ensayo a la abrasión N°03	61

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Vista aérea del laboratorio	23
Ilustración 2. Vista área de la cantera Aguilar	26
Ilustración 3. Compactación 25 golpes en cada una de las tres capas	37
Ilustración 4. Enrasado, alzado y medición del slump ó asentamiento	37
Ilustración 5. Resistencia a la compresión a los 7 días	41
Ilustración 6. Resistencia a la compresión a los 14 días	42
Ilustración 7. Resistencia a la compresión a los 28 días	43
Ilustración 8. Evolución del hormigón a las diferentes edades	44

RESUMEN

El presente trabajo de 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 estos resultados 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.

Palabras clave: hormigón, vidrio molido, hormigón con vidrio, hormigón ecológico, aprovechamiento del vidrio, usos del vidrio, hormigón

ABSTRACT

The present research has as main purpose to determine the optimal ratio of ground glass (15%, 20%, 25%) which replaces the cement concrete mixes and generates better resistance to compression. Assays were performed in the laboratory as established by the current regulations as NTP, ACI, ASTM, AASHTO, governing the procedures and materials to be used for best results. With the characteristics and physical properties of aggregates quarry Aguilar, obtained in the laboratory of materials from the National University of Cajamarca, design concrete mixtures was performed by the method of fineness Combination Aggregates, which was designated as master batch. Six specimens were prepared with proportions: 0% (mixed pattern), 15%, 20%, 25% ground glass replacement cement, these specimens tested at ages 7, 14, 28 days, which made A total of 72 specimens. The compressive strength results on average, obtained from the breaking of the specimens at the age of seven days showed: specimens with 15%, 20%, 25% of ground glass in cement replacement, reached 75.42%, 91.34%, 83.71% over the concrete pattern (100%). Of the specimens tested at the age of 14 days showed that: the specimens with 15%, 20%, 25% of ground glass in place of cement reached 74.69%, 93.31%, 79.41%, with respect to the concrete pattern (100 %). Finally the specimens tested at the age of 28 days showed that: the specimens with 15%, 20%, 25% of ground glass in cement replacement, reached 77.91%, 96.15%, 79.91%. From these results it is concluded that the proportion that provides best results with 20% glass replacement cement, in all ages of rupture, note that such treatment does not exceed the standard mixture, and as it increases the addition glass, increases fluidity of the mixture.

Keywords: concrete, crushed glass, concrete, glass, organic concrete, use of glass, uses of glass, concrete

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

El hormigón, un material principal en la construcción, es un material hecho por el hombre que más se consume en el mundo. Alrededor de 800 millones de toneladas de cemento fue consumido en los EE.UU. en 2007, y el consumo mundial se estimó en 11 mil millones de toneladas, o aproximadamente 1,7 toneladas por cada ser humano vivo... (Naik 2005, Mehta 2006 y Naik 2008).

La producción de cemento es un proceso de alto consumo energético y muy contaminante, que aporta alrededor del 5 al 8% de las emisiones antropogénicas mundiales de CO₂, y representa el 3% del total (5% del consumo energético industrial) en todo el mundo. La producción de cada tonelada de cemento emite una tonelada de dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera... (Worrell *et al.* 2001). La fabricación de cemento también es un proceso de alto consumo energético, que ocupa el tercer lugar después de aluminio y acero en términos de consumo de energía. Cerca de 5,5 millones de BTU de energía se consumen para la producción de una tonelada de cemento... (World Energy Council, 1995).

La energía utilizada para la producción de cemento representa más del 90% de la energía total requerida para la producción de hormigón... (Cement and concretes Environmental Considerations 2004). A pesar de los grandes esfuerzos de las últimas décadas, importantes ganancias en la eficiencia de combustible de las plantas de producción de cemento no se han dado cuenta... (Meyer 2001).

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).

Las crecientes preocupaciones ambientales por los residuos en los basurales, el aumento de los costos de energía, tarifas de descarga conjuntamente con la

escasez de agregados de calidad cerca de los sitios de construcción hace tomar valor la fomentación el reciclado del vidrio de desecho.

1.2. Formulación del problema

¿Cómo afecta a la resistencia a compresión al reemplazar cemento por vidrio molido, en proporciones de 15, 20 y 25 % de peso de cemento, en las mezclas de hormigón?

1.3. Justificación de la investigación

Actualmente existe la necesidad de buscar productos tecnológicos más ecológicos para tratar de reducir la contaminación ambiental que es un problema mundial mediante la utilización de materiales provenientes de reciclaje como es el caso del vidrio.

Al reemplazar al cemento con vidrio molido proveniente del reciclaje en determinadas proporciones se pretende mejorar las características mecánicas del hormigón con respecto a un hormigón tradicional.

El vidrio Esta investigación pretende reducir la contaminación ambiental debido a las emisiones antropogénicas de CO₂, disminución del consumo energético que demanda la producción de cemento y también busca la protección del medio ambiente debido al reciclaje del vidrio que contribuye a la disminución del volumen de residuos que han de recoger y eliminar las municipalidades o entidades encargadas.

El estudio realizado por Zainab (2009), muestra la naturaleza puzolánica del vidrio, de esta forma en este estudio le damos un tratamiento de puzolana artificial, la cual reemplazaremos en proporciones de 15%, 20%, 25% de vidrio molido que pasa el tamiz estandarizado N°100, para obtener las propiedades en cuanto a resistencia a diferentes edades (7, 14, 28 días). La norma ASTM C-595, permite la participación de puzolana entre el 15 hasta 40% en peso del material cementante (cemento).

De la revisión bibliográfica que se realizó no se encontraron antecedentes locales o nacionales al respecto. En tal sentido los resultados de la investigación servirán para otras investigaciones o para el mejoramiento del hormigón usando un producto de desecho. Asimismo, los resultados de la

investigación serán útiles otros investigadores, estudiantes, tomadores de decisiones en la industria y en la construcción.

1.4. Alcances o delimitación de investigación

En esta investigación tomaremos una muestra patrón (sin adición de vidrio molido) y comparemos su resistencia a la compresión con otras muestras las cuales el cemento será reemplazado porcentualmente con vidrio molido en valores de 15%, 20% y 25% de peso de cemento.

Esta investigación pretende obtener que al reemplazar al cemento con vidrio molido se mejore las propiedades mecánicas del hormigón y de esta manera reducir el consumo de cemento.

1.5. Limitaciones

No se avizoran limitantes en la presente investigación.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo General

Estudiar la influencia del reemplazo porcentual de 0, 15, 20 y 25% en peso de cemento con vidrio molido, sobre la resistencia mecánica del hormigón.

1.6.1. Objetivos Específicos

- Determinar las características físico-mecánicas de los materiales utilizados en las mezclas de hormigón.
- Determinar la resistencia mecánica a compresión de las probetas de hormigón.
- Analizar los resultados obtenidos a partir de las distintas dosificaciones de hormigón, con y sin adición de vidrio.

1.7. Hipótesis

El reemplazo de cemento por vidrio molido incrementa la resistencia a compresión del hormigón en un 20%.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes Teóricos de la investigación

La protección del medio ambiente es un tema de suma importancia, por ello en todo el mundo se vienen realizando investigaciones en búsqueda de la reutilización de sub productos o desechos como materiales no convencionales en el diseño de mezclas de hormigón, para mejorar sus propiedades físico mecánicas y así disminuir el uso de recursos naturales no renovables.

A continuación se presenta un resumen de los trabajos de investigación realizados.

Uchikawa(2000), estudió los problemas tratados por la industria del cemento y hormigón y la dirección futura del desarrollo técnico, como el reciclaje de los residuos como materia prima y combustible para la fabricación de cemento; utilizando desechos; reduciendo el cemento que emite menos CO₂ , durante la fabricación.

Zainab (2009), utilizó residuos de vidrio para tratar de reducir los residuos sólidos y reciclar lo más posible, sumándose a la industria del hormigón que ha adoptado una serie de métodos para lograr este objetivo. Su investigación consistió en utilizar vidrio triturado proveniente del reciclaje para tratar de reemplazar con agregado fino en determinados porcentajes. Los resultados demostraron la fortaleza puzolánica del vidrio.

Catalan (2013), estudió la influencia del vidrio molido en las mezclas de hormigón al reemplazar agregado fino por vidrio molido y como 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.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. El Hormigón

2.2.1.1 Cemento

El cemento es un conglomerante formado a partir de una mezcla de caliza y arcilla calcinadas y posteriormente molidas, que tiene la propiedad de endurecerse al contacto con el agua. Hasta este punto la molienda entre estas rocas es llamada clinker, esta se convierte en cemento cuando se le agrega yeso, este le da la propiedad a esta mezcla para que pueda fraguar y endurecerse. Mezclado con agregados pétreos (grava y arena) y agua, crea una mezcla uniforme, maleable y plástica que fragua y se endurece, adquiriendo consistencia pétreo, denominada hormigón (Norma: NTP 334.001)

2.2.1.1.1 Tipos o Clases de Cemento

La industria de cemento en el Perú produce los tipos y clases de cemento que son requeridos en el mercado nacional, según las características de los diferentes procesos que comprende la construcción de la infraestructura necesaria para el desarrollo, la edificación y las obras de urbanización que llevan a una mejor calidad de vida.

Los diferentes tipos de cemento que se encuentran en el mercado cumplen estrictamente con las normas nacionales e internacionales (ASOCEM).

- **Cemento Portland**

Un cemento hidráulico producido mediante la pulverización del clinker, compuesto esencialmente de silicatos de calcio hidráulicos y que contiene generalmente una o más de las formas de sulfato de calcio, como una adición durante la molienda.

Cemento portland tipo 1, normal es el cemento portland destinado a obras de hormigón en general, cuando en las mismas no se especifique la utilización de otro tipo.

Cemento portland tipo 2, de moderada resistencia a los sulfatos es el cemento portland destinado a obras de hormigón en general y obras expuestas a la acción moderada de sulfatos o donde se requiera moderado calor de hidratación, cuando así sea especificado.

Cemento portland tipo 5, resistente a los sulfatos es el cemento Portland del cual se requiere alta resistencia a la acción de los sulfatos.(ASOCEM).

- **Cemento Puzolánico**

El cemento que contiene puzolana se obtiene por la pulverización conjunta de una mezcla de clinker portland y puzolana con la adición eventual de sulfato de calcio. El contenido de puzolana debe estar comprendido entre 15% y 40% en peso del total.

La puzolana será un material silicoso o silico-aluminoso, que por sí misma puede tener poca o ninguna actividad hidráulica pero que, finamente dividida y en presencia de humedad, reacciona químicamente con el hidróxido de calcio a temperaturas ordinarias para formar compuestos que poseen propiedades hidráulicas.

Cemento Portland Puzolánico Tipo IP.- Para usos en construcciones generales de hormigón. El porcentaje adicionado de puzolana se encuentra entre 15% y 40%.

Cemento Portland Puzolánico Modificado Tipo IPM.- Cemento Portland Puzolánico modificado para uso en construcciones generales de hormigón. El porcentaje adicionado de puzolana es menor de 15% (ASOCEM).

2.2.1.1.2 Producción del Cemento

La producción del cemento consta de los siguientes procesos:

- **Explotación de Materias Primas**

El proceso industrial comienza en las canteras de piedra se extrae la caliza y la arcilla mediante explotaciones a cielo abierto a través de perforaciones y voladuras, cuyo impacto es mínimo gracias a la moderna tecnología empleada.

- **Transporte de materias primas**

Una vez que las grandes masas de piedra han sido fragmentadas, se transportan a la planta en camiones o bandas transportadoras.

- **Trituración**

El material de la cantera es fragmentado en los trituradores, cuya tolva recibe las materias primas, que por efecto de impacto y/o presión son reducidas a un tamaño máximo de una y media pulgadas.

- **Prehomogenización**

La prehomogenización es la mezcla proporcional de los diferentes tipos de arcilla, caliza o cualquier otro material que lo requiera.

- **Almacenamiento de Materias Primas**

Cada una de las materias primas es transportada por separado a silos en donde son dosificadas para la producción de diferentes tipos de cemento.

- **Molienda de Materia Prima**

Se realiza por medio de un molino vertical de acero, que muele el material mediante la presión que ejercen tres rodillos cónicos al rodar sobre una mesa giratoria de molienda. Se utilizan también para esta fase molinos horizontales, en cuyo interior el material es pulverizado por medio de bolas de acero.

- **Homogenización de Harina Cruda**

Se realiza en los silos equipados para lograr una mezcla homogénea del material.

- **Calcinación**

La calcinación es la parte medular del proceso, donde se emplean grandes hornos rotatorios en cuyo interior, a 1400°C la harina se transforma en clinker, que son pequeños módulos gris oscuros de 3 a 4 cm.

- **Molienda de Cemento**

El clinker es molido a través de bolas de acero de diferentes tamaños a su paso por las dos cámaras del molino, agregando el yeso para alargar el tiempo de fraguado del cemento.

- **Envase y embarque del Cemento**

El cemento es enviado a los silos de almacenamiento; de los que se extrae por sistemas neumáticos o mecánicos, siendo transportado a donde será envasado en sacos de papel de 42.5 Kg, o surtido directamente a granel. En ambos casos se puede despachar en camiones, tolvas de ferrocarril o barcos.

2.2.1.1.3 Producción mundial del cemento

La producción mundial de cemento ha mantenido un crecimiento de alrededor de un 2 a 3% anual, como se muestra en la figura 1, llegando a las 3.000 millones de toneladas en el año 2008, donde países desarrollados tienen consumos per cápita superiores a 450kg/habitante/año. Esta estadística puede servir como un indicador del nivel de desarrollo de una nación, lo cual nos ilustra a importancia que tiene la industria del cemento y el hormigón a nivel mundial.

2.2.1.2 Agregados

Llamados también áridos, los cuales constituyen entre el 70% al 75% del volumen total de cualquier mezcla típica de hormigón: Se definen como un conjunto de partículas de origen natural o artificial, que pueden ser tratados o elaborados, cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados por la Norma Técnica Peruana 400.011 o la norma ASTM C 33.

2.2.1.2.1 Agregado Fino

Se define como agregado fino al proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, que pasa el tamiz 9.51 mm (3/8") y queda retenido en el tamiz 0.074 mm (N°200); además de cumplir con los límites establecidos en la norma NTP 400.037 o la norma ASTM C 33.

Tabla 1. Requisitos del Agregado Fino según Norma

Tamiz	Porcentaje que pasa
9.5 mm (3/8")	100
4.75 mm (N° 04)	95 a 100
2.36 mm (N° 08)	80 a 100
1.18 mm (N° 16)	50 a 85
600 µm (N° 30)	25 a 60
300 µm (N° 50)	05 a 30
150 µm (N° 100)	0 a 10

NOTAS:

2. Se permitirá el uso de agregados que no cumplan con las gradaciones especificadas, siempre y cuando existan estudios calificados a satisfacción de las partes, que aseguren que el material producirá hormigón (hormigón) de la calidad requerida.
3. El hormigón con agregado fino cercano a los mínimos porcentajes de la mallas 300 µm (N° 50) y 150 µm (N° 100), pueden tener dificultades con la trabajabilidad, bombeado o excesiva exudación. Lo que puede regularse con adiciones finas (filleres) o aditivos incorporadores de aire
4. El módulo de fineza recomendable estará entre 2.3 y 3.1

2.2.1.2.2 Agregado Grueso

Se define como agregado grueso al material retenido en el tamiz normalizado 4.75 mm (N° 4) proveniente de la desagregación natural o artificial de la roca, y cumple los límites establecidos en la norma NTP 400.037 o la norma ASTM C 33.

2.2.1.3 Agua

El agua empleada en la preparación y curado del hormigón deberá cumplir con los requisitos de la Norma (NTP 339.088) y ser, de preferencia, potable.

Está prohibido el empleo de aguas ácidas; calcáreas; minerales; carbonatadas; aguas provenientes de minas o relaves; aguas que contengan residuos minerales o industriales; aguas con un contenido de sulfatos mayor del 1%; aguas que contengan algas, materia orgánica, humus, o descargas de desagües; aguas que contengan azúcares o sus derivados.

Igualmente está prohibido el empleo de aquellas aguas que contengan porcentajes significativos de sales de sodio o de potasio disueltas, en todos aquellos casos en que la reacción álcali- agregado es posible.

Máximo Cloruros.....	300 ppm
Sulfatos.....	300 ppm
Sales de magnesio.....	150 ppm
Sales solubles totales.....	1500 ppm
pH.....	mayor de 7
Sólidos en suspensión.....	1500 ppm
Materia orgánica.....	10 ppm

2.2.1.4 Aditivos

Los aditivos del hormigón son productos capaces de disolverse en agua, que se adicionan durante el mezclado en porcentajes no mayores del 5% de la masa de cemento, con el propósito de producir una modificación en el comportamiento de] hormigón en su estado fresco y/o en condiciones de trabajo.

Esta definición excluye, por ejemplo, a las fibras metálicas, las puzolanas y otros. En la actualidad los aditivos permiten la producción de hormigones con características diferentes a los tradicionales, han dado un creciente impulso a la construcción y se consideran como un nuevo ingrediente, conjuntamente con el cemento, el agua y los agregados (ASOCEM).

Material que no siendo agua, agregado, cemento hidráulico, o fibra de refuerzo, es empleado como un ingrediente del mortero u hormigón, y es añadido a la tanda inmediatamente antes o durante su mezclado. Los aditivos son utilizados como componentes del concreto o mortero a fin de modificar una o varias propiedades con el objetivo que sea adecuado al trabajo realizado, facilitar su colocación y reducir costos de operación. (ASTM C494).

Los aditivos se clasifican según la norma ASTM C494 en:

Tipo A.- Reductor de agua de medio rangos.

Tipo B.- Retardador de fraguado.

Tipo C.- Acelerador de fraguado.

Tipo D.- Reductor de agua y retardador.

Tipo E.- Reductor de agua y acelerador.

Tipo F.- Reductor de agua de alto efecto.

Tipo G.- Reductor de agua de alto efecto y retardador.

2.2.1.5 Adicciones Minerales

Materiales inorgánicos que son incorporados al cemento o al hormigón, en diferentes porcentajes, con el fin de mejorar sus propiedades.

Ventajas

- Mejores propiedades:
 - Mayor durabilidad.
 - Menor calor de hidratación.
 - Mayores resistencias.
- Ahorro de energía no renovable
- Protección del medio ambiente
 - Reducción de la emisión de CO₂, SO₂, NO_x.
 - Uso de subproductos industriales.

Clasificación:

Puzolanas Naturales:

- Cenizas volcánicas
- Tufos o tobas volcánicas (zeolitas)
- Tierras de diatomeas (diatomitas)

Puzolanas Artificiales:

- Cenizas volantes
- Arcillas activadas térmicamente
- Microsilíce (silica fume)
- Cenizas de cáscara de arroz
- Escoria de Alto Horno

- Filler

2.2.2. El vidrio

Definición

El vidrio es un material artificial o incluso natural que se obtiene por enfriamiento a una velocidad determinada de una mezcla de componentes de tipo inorgánico fundida o bien en el enfriamiento de ciertas rocas fundidas. Desde el punto de vista industrial se logra por este procedimiento, así como por diversos métodos de moldeado, una amplia variedad de materiales con múltiples usos en la vida ordinaria, construcción, industria, tecnología, investigación, etc. (Fernández Navarro, 2003). En el caso de "vidrios naturales" no sólo han tenido diversas aplicaciones prácticas' como utensilios en diversos pueblos antiguos como es el caso de las obsidianas, sino que además tienen un gran interés su estudio en el campo de la Geoquímica.

Aunque desde hace siglos la Naturaleza proporciona los componentes esenciales para la fabricación de vidrios con componentes abundantes y de fácil extracción, hoy en día se utilizan además productos químicos sintéticos y una amplia gama de residuos. Para la formulación de composiciones vítreas en vidrios de óxidos se refieren las mismas en razón de las proporciones de ciertos óxidos y en función de su carácter o papel en la estructura del fundido. Así, desde el punto de vista estructural el vidrio está constituido por:

- a) Óxidos formadores de la red vítrea, vitrificantes, tales como SiO_2 , B_2O_3 ó P_2O_5 para los tipos de productos vítreos más generales o tradicionales.
- b) óxidos modificadores de la red vítrea, fundentes, que aportan enlaces por los denominados "oxígenos no-puente", tales como óxidos alcalinos: Na_2O , K_2O u óxidos alcalinotérreos: CaO , MgO .
- c) óxidos "estabilizantes" que tienen un carácter intermedio o anfótero, aportando los denominados "oxígenos puente", tales como: Al_2O_3 , Fe_2O_3 . (Cortés, 1987).

Características

- Muestra un patrón de interacción de Rayos X difuso.
- No tienen punto de fusión definido.
- No rompen en direcciones preferenciales.
- Son isotrópicos.

Composición

Las propiedades del vidrio común, son una función tanto de la naturaleza como de las materias primas como de la composición química del producto obtenido. Esta composición química se suele representar en forma de porcentajes en peso de los óxidos más estables a temperatura ambiente de cada uno de los elementos químicos que lo forman:

Composición Química	Vidrio
SiO ₂	72.5%
Al ₂ O ₃	0.4%
CaO	9.7%
Fe ₂ O ₃	0.2%
MgO	3.3%
Na ₂ O	13.7%
K ₂ O	0.1%
SO ₃	-
Pérdida por ignición	-

Reciclaje del vidrio

El reciclaje de vidrio es uno de los materiales que permiten reutilizar una gran parte del material desechado, de ahí su importancia. La forma ideal para reciclar vidrio, consiste en almacenar en nuestros hogares, todo tipo de tarros, botellas o envases de vidrio, para después depositarlos en los contenedores o iglús, de color verde. Es importante tener en cuenta que deberemos retirar cualquier otro material de estos productos, como tapones, anillas, y si es posible, el papel de las etiquetas. De esta forma,

facilitaremos en gran medida el proceso de reciclaje del vidrio, siendo este mucho más rápido y económico.

Proceso de reciclaje del vidrio

Este proceso del reciclaje del vidrio, tiene un ciclo circular tal como vemos en la imagen. Como vemos, tras el uso de este material, y si lo depositamos en los contenedores verdes, el vidrio pasa por una fase de recogida, para su posterior tratamiento en una planta de reciclaje. Vemos como de esta sencilla forma, hacemos que el vidrio pueda tener muchas más vidas y por tanto generamos una menor cantidad de residuos.

Como ya hemos dicho, el vidrio no tiene límite en la cantidad de veces que puede ser reciclado, sin perder además calidad, algo que sí pasa por ejemplo en el reciclaje del papel.

Se estima que con el proceso de reciclar vidrio, se ahorra un 30% de energía respecto a obtenerlo por primera vez.

Botellas de vidrio

Una curiosidad sobre el reciclaje de las botellas de vidrio, es que este se separa y clasifica por el color del mismo. Generalmente en tres grupos, verde, ámbar y transparente.

En algunos casos, las botellas se recuperan por completo, sin tener que reciclar. Únicamente se lavan y se tratan con productos químicos para eliminar cualquier impureza.

En el caso que el vidrio se deba de tratar, este se tritura y se funde con arena, hidróxido de sodio y caliza para fabricar nuevos productos que tendrán idénticas propiedades.

Composición	ASTM C-618	VIDRIO		
		Verde	Ámbar	Flint(Transparente)
SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	≥70%	74.1%	74.2%	74.9%
SO ₃	≤5%	0.053%	0.13%	0.22%
Pérdida por Ignición	≤6%	0%	0%	0%

2.2.3. Resistencia a la compresión del hormigón

Definición

Las mezclas de hormigón se pueden diseñar de tal manera que tengan una amplia variedad de propiedades mecánicas y de durabilidad que cumplan con los requerimientos de diseño de la estructura. La resistencia a la compresión del hormigón es la medida más común de desempeño que emplean los ingenieros para diseñar edificios y otras estructuras. La resistencia a la compresión se mide fracturando probetas cilíndricas de hormigón en una máquina de ensayos de compresión.

La resistencia a la compresión se calcula a partir de la carga de ruptura dividida por el área de la sección que resiste a la carga y se reporta en unidades de fuerza y de área.

2.2.4. Diseño de mezclas de hormigón

A continuación algunos de los métodos más usados para elaborar mezclas de hormigón:

2.2.4.1 Método del Comité 211 del ACI

El Comité 211 del ACI ha desarrollado un procedimiento de diseño de mezclas bastante simple el cual, basándose en algunas de las Tablas presentadas en los capítulos anteriores, permite obtener valores de los diferentes materiales que integran la unidad cúbica de concreto.

El procedimiento para la selección de las proporciones que se presenta en este capítulo es aplicable a concretos de peso normal y a las condiciones que para cada una de las Tablas se indican en ellas. Aunque los mismos datos básicos y procedimientos pueden

ser empleados en el diseño de concretos pesados y concretos ciclópeos, al tratar éstos se da la información complementaria.

Es usual que las características de obra establezcan limitaciones a quien tiene la responsabilidad de diseñar la mezcla. Entre dichas limitaciones pueden estar:

- Relación agua—cemento máxima.
- Contenido mínimo de cemento.
- Contenido máximo de aire.
- Asentamiento.
- Tamaño máximo nominal del agregado grueso.
- Resistencia en compresión mínima.
- Requisitos especiales relacionados con la resistencia promedio, el empleo de aditivos, o la utilización de tipos especiales de cemento o agregados.

La estimación de las cantidades de materiales requeridas para la preparar la unidad cúbica de concreto implica una secuencia cuyo cumplimiento permite, en función de las características de los materiales, preparar la mezcla adecuada para el trabajo que se va a efectuar.

2.2.4.2 Método de Walker

El denominado Método de Walker, se desarrolla debido a la preocupación del profesor norteamericano Stanton Walker en relación con el hecho de que, sea cual fuera la resistencia de diseño del concreto y tanto su relación agua-cemento, contenido de cemento y características del agregado fino, la cantidad de agregado grueso era la misma, ello cuando se aplicaba el procedimiento de diseño desarrollado por el Comité 211 del ACI.

Considerando que la relación fino-grueso debería variar en función del contenido de la pasta en la mezcla, así como del perfil y tamaño máximo nominal del agregado grueso, y que otro factor que debería ser considerado era la mayor o menor fineza del

agregado fino, el profesor Walker desarrolló una tabla. En dicha Tabla se toma en consideración la fineza del, agregado fino, clasificándolo en tres categorías: fino, mediano y grueso igualmente se considera si el agregado grueso es de perfil redondeado o angular y, para cada uno de los dos casos, se considera cuatro alternativas de factor cemento. Todo ello permite encontrar en la Tabla un porcentaje de agregado fino que se considera más conveniente en relación al volumen absoluto total de agregado.

Calculado el volumen absoluto de agregado fino, se determina el de agregarlo grueso por diferencia con el volumen absoluto total de agregado y, conocidos ambos, se determina el peso seco de cada uno de ellos en la mezcla.

El procedimiento anterior garantiza una mejor relación fino-grueso en la mezcla de concreto La Tabla de Walker corresponde a concretos sin aire incorporado.

2.2.4.3. Método de finura de la combinación de agregados

En el Método de Diseño del Comité 211 del American Concrete Institute, se determina en primer lugar los contenidos de cemento, agua, aire, y agregado grueso y, por diferencia de la suma de volúmenes absolutos en relación con la unidad, el volumen absoluto y peso seco del agregado fino.

De esta manera, sea cual fuere la resistencia deseada, en tanto se mantengan constantes el amado máximo nominal del agregado grueso y el módulo de fineza del agregado fino, el contenido total de agregado grueso en la mezcla será el mismo, independientemente del contenido de pasta.

Este hecho ha llevado a muchos investigadores a cuestionar el Método de Diseño del ACI y buscar un procedimiento en el cual la relación fino - grueso se modifique en función del contenido de pasta en consideración al contenido de cemento de ésta.

Stanton Walker, conjuntamente con el grupo de investigación del Laboratorio de Concreto de la Universidad de Maryland, ha formulado un procedimiento de selección de las proporciones de la unidad cúbica de concreto en el cual los porcentajes de agregado fino y grueso se modifican en función de sus propios módulos de fineza, medida indirecta de sus granulometrías y superficies específicas, a partir de la determinación del módulo de fineza de la mejor combinación de agregados para las condiciones planteadas por las especificaciones de método del módulo de fineza de la combinación de agregados de agregados fino y grueso varían para las diferentes resistencias, siendo esta variación función, principalmente de la relación agua – cemento y el contenido total de agua, expresados a través del contenido de cemento en la mezcla.

Este método tiene como consideración fundamental además de lo ya expresado, la premisa de que el módulo de finura del agregado fino y grueso es un índice de su superficie específica y que en la medida que esta aumenta se incrementa la demanda de pasta, así como que si mantiene constante la pasta y se incrementa la fineza del agregado disminuye la resistencia por adherencia

2.2.4.4. Método DIN 1045

El método DIN –1045, es una aplicación singularizada del método del Módulo de Finura de la Combinación de Agregados. Este método parte de la hipótesis que el módulo de finura del agregado integral oscila entre 5.2 y 5.3.

El método DIN –1045 propone 02 Husos Granulométricos estandarizados, el Grading A32 y el Grading B32 (Gradación A32 y Gradación B32).

A veces puede presentarse en la elaboración del concreto con este método una mezcla sobre-arenosa, a la cual hay que necesariamente corregirla, disminuyéndole el 10% de agregado

fino ó agregándole el 10% de agregado grueso. Si la mezcla se presenta sobre-gravosa se hará lo contrario. Este informe sólo pretende ser un aporte más al conocimiento del concreto y, específicamente está orientado al estudio de los procedimientos a seguir para la elección de las proporciones de la unidad cúbica de concreto por el Método DIN -1045.

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se realizó en las instalaciones del laboratorio de materiales "Ing° Carlos Esparza Díaz", del Campus de la Universidad Nacional de Cajamarca, distrito de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Departamento de Cajamarca, país Perú.

Esta investigación se realizó en los meses de setiembre a noviembre del 2014.

Tabla 2. Ubicación del Laboratorio de materiales

DATUM: WGS 84		
ZONA: 17 M		
COORDENADAS UTM		
ESTE	NORTE	COTA
776618.00 m	9206987.00 m	2683 m.s.n.m.



Ilustración 1. Vista aérea del laboratorio

Fuente: Google Earth

3.1 Procedimiento

Para determinar el efecto en la resistencia a la compresión del hormigón al reemplazar porcentualmente al cemento por vidrio molido en proporciones de 0%, 15%, 20%, 25% en las mezclas de hormigón, debido a las características puzolanicas que ha mostrado el vidrio, en estudios anteriores.

Se elaboraron probetas cilíndricas de 6"x12" de hormigón con vidrio molido en las proporciones mencionadas, según los procedimientos indicados en la NTP 339.033 ó ASTM C 3, las cuales luego fueron ensayadas en la máquina de compresión según la NTP 339.034 ó ASTM C 39, determinando de esta forma su resistencia a la compresión.

La probeta base o patrón está diseñado con el Método de Finura de la Combinación de Agregados para una resistencia $f_c=210 \text{ Kg/cm}^2$ a los 28 días.

Dichas probetas curaron y se ensayaron a los 7, 14 y 28 días.

Tabla 3: Número de probetas según porcentaje de vidrio molido

Número de Probetas ensayadas a los:	Porcentaje de Vidrio Molido en Reemplazo de Cemento			
	0%	15%	20%	25%
7 días	6	6	6	6
14 días	6	6	6	6
28 días	6	6	6	6

3.1.1 Tratamiento del vidrio

El vidrio utilizado en esta investigación proviene del reciclaje de botellas en su totalidad, sin hacer distinciones de color, procedencia, forma, ni contenidos previos, esto con la finalidad de tener lo más parecido

posible a los típicos desechos domiciliarios correspondientes a este material.

Este tratamiento se ha realizado en el laboratorio de Materiales de la facultad de ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca.

3.1.1.1 Limpieza del vidrio

Las botellas recicladas son sometidas a un lavado con agua caliente y detergente común, con la finalidad de remover cualquier residuo acumulado, producto de su uso anterior, especialmente restos orgánicos, además de remover las etiquetas correspondientes a cada envase.

El proceso es relativamente sencillo, debido a la naturaleza soluble de los adhesivos utilizados para la demarcación de las botellas, en su gran mayoría.

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 molienda.

3.1.1.2 Trituración del vidrio

Una vez que las botellas se encuentran libres de toda suciedad y secas, Se ha realizado el triturado mediante medios mecánicos empleando un martillo.

3.1.1.3 Molienda del vidrio

Luego de haber triturado el vidrio, se procedió a la molienda del vidrio en la **Maquina de los Ángeles**, la cuales se colocaron muestras de aproximadamente 1.0 a 1.5Kg y a 500 revoluciones.

3.1.1.4 Tamizado del vidrio

Luego de la molienda del vidrio, se procedió al tamizado por el tamiz N°100 y el material retenido por dicha tamiz se recolecto para hace el procedimiento anterior.

3.1.2 Agregado fino y grueso

El agregado ha sido extraído de la cantera Aguilar ubicada en el distrito de los Baños del Inca, provincia de Cajamarca departamento del mismo nombre.

Tabla 4. Ubicación de la Cantera Aguilar

DATUM: WGS 84		
ZONA: 17 M		
COORDENADAS UTM		
ESTE	NORTE	COTA
779907.00 m	9208926.00 m	2680 m.s.n.m.



Ilustración 2. Vista área de la cantera Aguilar

Fuente: Google Earth

3.1.2.1. Granulometría

La determinación de la granulometría de los agregados se realizó siguiendo las directrices de la norma NTP 400.012 2013 – Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global.

Resumen del método

Una muestra de agregado seco, de masa conocida, es separada a través de una serie de tamices (1" 3/4" 1/2" 3/8", N°04, N°08, N°16, N°50, N°100) que van progresivamente de una abertura mayor a una menor, para determinar la distribución del tamaño de las partículas.

Aparatos

- Balanza
- Tamices
- Estufa

3.1.2.2. Densidad, densidad relativa y la absorción del agregado Grueso

La determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del agregado grueso se siguió las directrices de la norma NTP 400.021-2013 – Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso.

Resumen del método

Una muestra de agregado es sumergida en agua por 24 ± 4 h para esencialmente llenar los poros. Luego la muestra es removida del agua, y el agua superficial de las partículas es secada y se determina la masa. Posteriormente, el volumen de la muestra se determina por el método de desplazamiento de gua. Finalmente, la muestra es secada en horno y la masa determinada. Usando los valores de la masa obtenidos y las fórmulas de este método de ensayo, es posible calcular la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y la absorción.

Aparatos

- Balanza.

- Recipiente para muestra.
- Tanque de agua (balde).
- Tamices.
- Estufa.

3.1.2.3. Densidad, densidad relativa y la absorción. Agregado Fino.

La determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del agregado fino se realizó siguiendo las directrices de la norma NTP 400.022 - 2013 – Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino del agregado grueso.

Resumen del método

Una muestra de agregado fino es retirada en agua por 24 ± 4 h para esencialmente llenar los poros. Luego es retirada del agua, el agua superficial de las partículas es secada y se determina la masa. Posteriormente, la muestra (o una parte de ella) se coloca en un recipiente graduado y el volumen de la muestra se determina por el método gravimétrico o volumétrico. Finalmente, la muestra es secada en horno y la masa se determina de nuevo. Usando los valores de la masa obtenidos y mediante las fórmulas de este método de ensayo, es posible calcular la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del agregado fino.

Aparatos

- Balanza
- Picnómetro (para usarse con el procedimiento gravimétrico)
- Frasco (para su uso en determinación volumétrica)
- El molde y la barra compactadora para los ensayos superficiales de humedad.
- Estufa

3.1.2.4. Contenido de Humedad

Realizados de acuerdo a la NTP 339.185.2002. Agregados. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregado por secado.

3.1.2.5. Abrasión los Ángeles

Este método está basado en la norma MTC E 207-2000, ASTM C 131 y AASHTO T 96. Se refiere al procedimiento que se debe seguir para realizar el ensayo de desgaste de los agregados grueso hasta 37.5 mm (1½") por medio de la máquina de Los Ángeles.

Este método se emplea para determinar la resistencia al desgaste de agregados naturales o triturados, empleando la citada máquina con una carga abrasiva.

Resumen del método

La muestra y la carga abrasiva correspondiente, se colocan en la máquina de Los Ángeles, y se hace girar el cilindro a una velocidad comprendida entre 30 y 33 rpm; el número total de vueltas deberá ser 500. La máquina deberá girar de manera uniforme para mantener una velocidad periférica prácticamente constante. Una vez cumplido el número de vueltas prescrito, se descarga el material del cilindro y se procede con una separación preliminar de la muestra ensayada, en el tamiz # 12. La fracción fina que pasa, se tamiza a continuación empleando el tamiz de 1.70 mm (No. 12). El material más grueso que el tamiz de 1.70 mm (No. 12) se lava, se seca en el horno, a una temperatura comprendida entre 105 a 110 °C (221 a 230 °F), hasta peso constante, y se pesa con precisión de 1 g.

Cuando el agregado esté libre de costras o de polvo, puede eliminarse la exigencia del lavarlo antes y después del ensayo. La eliminación del lavado posterior, rara vez reducirá la pérdida medida, en más del 0.2% del peso de la muestra original.

3.1.3. El agua

El agua utilizada en la elaboración de las muestras de hormigón, fue el agua proveniente de las instalaciones del laboratorio de Materiales del Campus universitario.

3.1.4. El cemento

El cemento utilizado en esta mezcla de hormigón es el cemento Pacasmayo tipo I, según la norma ASTM C150.

3.1.5. Diseño de la mezcla patrón

Las probetas base o patrón están diseñadas con el Método de Fineza de la Combinación de Agregados para una resistencia $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ a los 28 días.

1 Selección de la resistencia promedio

$$f_{cr}=f'c+84$$

$$f_{cr}=(210+84) \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_{cr} =294 \text{ Kg/cm}^2$$

2 Consistencia

Debido a nuestro requerimiento necesitamos una mezcla con consistencia plástica 3"- 4" de asentamiento o slump.

3 Volumen unitario de agua

Según la siguiente tabla 3, entrando con la consistencia (plástica), y el TMN 3/4", obtenemos el volumen unitario de agua.

Tabla 5. Volumen unitario de agua

ASENTAMIENTO (pulgadas)	Agua, en L/m ³ , para los tamaños máximo nominales del agregado grueso y consistencia indicados							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO								
1 a 2	207	199	190	179	166	154	130	113
3 a 4	228	216	205	193	181	169	145	124

6 a 7	243	228	216	202	190	178	160	...
CONCRETO CON AIRE INCORPORADO								
1 a 2	181	175	165	160	145	140	135	120
3 a 4	202	190	180	175	160	155	150	135
6 a 7	216	205	190	185	170	165	160	...

4 Contenido de aire atrapado

Con el TMN del agregado grueso 3/4", entramos en la siguiente tabla y obtenemos el contenido de aire atrapado, la cual es **2.0%**.

Tabla 6. Contenido de Aire Atrapado

Tamaño Máximo Nominal	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%

5 Relación agua cemento (a/c)

Según la tabla

Tabla 7. Relación agua-cemento por resistencia

fcr	Relación agua-cemento de diseño en peso
-----	---

(28 días)	Concretos sin aire incorporado	Concretos 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	...

Interpolando:

$$250 \text{ Kg/cm}^2 \dots\dots\dots 0.62$$

$$250 \text{ Kg/cm}^2 \dots\dots\dots \text{a/c}$$

$$300 \text{ Kg/cm}^2 \dots\dots\dots 0.55$$

$$\text{a/c} = 0.56$$

6 Factor cemento

$$\frac{205 \text{ L/m}^3}{0.56} = 366.07 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = 8.61 \text{ bolsas/m}^3$$

7 Cálculo del volumen Absoluto de la pasta

De la tabla:

Tabla 8. Propiedades de los agregados

Característica	Agregado fino	Agregado grueso
Densidad Aparente	2.62 g/cm ³	2.58 g/cm ³
Humedad	2.76%	0.27%
Absorción	1.22%	0.98%

$$\text{Cemento} = \frac{366.07 \text{ Kg}}{3110 \text{ Kg/m}^3} = 0.11771 \text{ m}^3$$

$$Agua = \frac{205 L}{1000 Kg/m^3} = 0.20500 m^3$$

$$Aire = 2\% = 0.02000 m^3$$

$$Volumen\ Absoluto\ de\ la\ pasta = 0.34271 m^3$$

8 Cálculo del volumen Absoluto del agregado

$$V_T = Volumen\ Absoluto\ de\ agregados = 1 - 0.34271 \\ = 0.655729 m^3$$

9 Cálculo del módulo de finura de la combinación de agregados.

Entrando a la **Tabla 8** con un contenido de **366.07 Kg/m³** y un tamaño máximo nominal del agregado de **3/4"**, se encuentra el valor igual a:

Tabla 9. Módulo de finura de la combinación de agregados

Tamaño máximo nominal del agregado grueso	Módulo de finura de la combinación de agregados que da las mejores condiciones de trabajabilidad para los contenidos de cemento en Kg/m ³ , indicados			
	300	350	400	450
3/8"	3.96	4.04	4.11	4.19
1/2"	4.46	4.54	4.61	4.69
3/4"	4.96	5.04	5.11	5.19
1"	5.26	5.34	5.41	5.49
1 1/2"	5.56	5.64	5.71	5.79
2"	5.86	5.94	6.01	6.09
3"	6.16	6.24	6.31	6.39

Interpolando

350.00 Kg	.....	5.04
366.07 Kg	.....	m_c
400.00 Kg	.....	5.11

Por lo tanto:

$$m_c = 5.06$$

10 Cálculo del porcentaje de agregado fino en relación al volumen absoluto total de agregado.

$$r_f = \frac{m_g - m_c}{m_g - m_f} \quad (I)$$

$$r_f + r_g = 1 \quad (II)$$

En el cual:

m_c : Módulo de finura de la combinación de agregados.

m_f : Módulo de finura del agregado fino.

m_g : Módulo de finura del agregado grueso.

r_f : Porcentaje de agregado fino en relación al volumen absoluto total de agregado.

r_g : Porcentaje de agregado grueso en relación al volumen absoluto total de agregado.

Reemplazando los siguientes valores en (I), tenemos:

$$m_c = 5.06$$

$$m_f = 2.80$$

$$m_g = 6.94$$

Obtenemos,

$$r_f = 0.4541$$

Reemplazando en la ecuación (II), tenemos:

$$r_g = 0.5459$$

11 Cálculo de los volúmenes absolutos del agregado:

$$\begin{aligned} \text{Vol. Abs.de agregado fino} &= r_f \times V_T = 0.4541 \times 0.655729 \\ &= 0.29777 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Vol. Abs.de agregado grueso} &= r_g \times V_T = 0.5459 \times 0.655729 \\ &= 0.35796 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

12 Pesos de los valores de diseño(sin corregir por humedad) por m³ de hormigón:

$$\text{Cemento} = 366.07 \text{ Kg}$$

$$\text{Agua} = 205 \text{ L}$$

$$\begin{aligned} \text{Agregado Fino} &= \delta_{Ag.fino} \times V_{Ag.fino} = 2620 \times 0.29777 = \\ &780.14 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Agregado Grueso} &= \delta_{Ag.grueso} \times V_{Ag.grueso} = 2580 \times \\ &0.35796 = 923.54 \text{ Kg} \end{aligned}$$

13 Corrección por Humedad:

De la tabla 11 (Propiedades de los agregados), tenemos:

$$\text{Cemento} = 366.07 \text{ Kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Agua mezclado} &= \text{Agua}_{\text{diseño}} - \left[\left(\frac{w(\%) - \text{Abs}(\%)}{100} \right) W_{Ag.fino} + \right. \\ &\left. \left(\frac{w(\%) - \text{Abs}(\%)}{100} \right) W_{Ag.grueso} \right] \end{aligned}$$

$$\text{Agua mezclado} = 210.46 \text{ L}$$

$$\text{Agregado Fino} = W_{Ag.fino} \times \left[\frac{1+w(\%)}{100} \right] = 801.68 \text{ Kg}$$

$$\text{Agregado Grueso} = W_{Ag.grueso} \times \left[\frac{1+w(\%)}{100} \right] = 924.55 \text{ Kg}$$

Tabla 10. Proporciones de las mezclas por m³ de hormigón

Proporciones por m ³	Mezcla Patrón	Mezcla 15% de Vidrio	Mezcla 20% de Vidrio	Mezcla 25% de Vidrio
Cemento (Kg)	366.07	311.16	292.86	274.55
Vidrio Molido (Kg)	0	54.91	73.21	91.52
Agua Efectiva (L)	210.46	210.46	210.46	210.46
Agregado Fino (kg)	801.68	801.68	801.68	801.68
Agregado Grueso (Kg)	924.55	924.55	924.55	924.55

3.1.6. Pruebas del hormigón en estado fresco

Se elaboró una tanda para dos probetas de prueba las cuales fueron ensayadas a las edad de 7 días, cuyos resultados cumplían con el diseño tanto en asentamiento (3.2") y resistencia a la compresión para dicha edad (entre 65-70% de la resistencia a los 28 días).

3.1.6.1. Determinación del asentamiento del hormigón fresco

Esta determinación se realiza mediante los estándares de las Normas:

NTP 339.035 ó ASTM C 143

Equipos.

- Cono de Abrams.
 Diámetro de la base inferior: 20 cm.
 Diámetro de la base superior: 10 cms.
 Altura del cono: 30 cm.
 Tolerancia: + 3 mm.
 Espesor mín: 1.5 mm.
- Barra compactadora
 barra de acero liso con punta semiesférica
 Ø 5/8" (16 mm) x 24" (600 mm)
- Instrumento de medida(regla, wincha).

El procedimiento

Es el siguiente:

- Colocar el cono en una base plana, no absorbente.

- Humedecer todos los aparatos a utilizar.
- Mantener el cono firme contra la base, parándose sobre las dos aletas.
- Llenar el hormigón en 3 capas de aproximadamente $\frac{1}{3}$ del volumen del cono cada una.
- Compactar con la varilla cada capa con 25 golpes. Distribuirlos en toda el área y aplicarlos comenzando cerca del molde y acercándose en espiral hacia el centro de la sección. Mantener la misma intensidad en todos los golpes.
- Levantar el cono verticalmente de 5 a 7 segundos.
- Medir la distancia entre la altura del molde y el centro de la cara superior del hormigón, con una aproximación de $\frac{1}{4}$ " ($\frac{1}{2}$ cm.).
- El tiempo máximo del ensayo debe durar 2 minutos y medio.

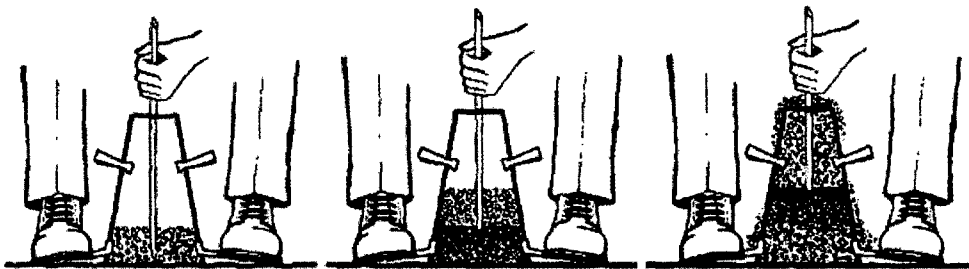


Ilustración 3. Compactación 25 golpes en cada una de las tres capas

Fuente: <http://micropilotes.blogspot.com/2011/09/los-pilotes-tipo-cpi-8-iii.html>

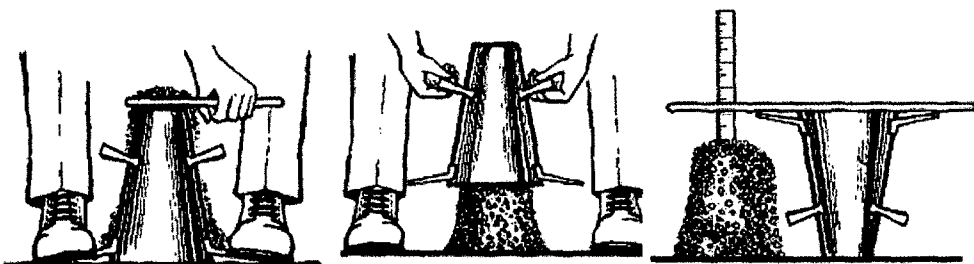


Ilustración 4. Enrasado, alzado y medición del slump ó asentamiento

Fuente: <http://micropilotes.blogspot.com/2011/09/los-pilotes-tipo-cpi-8-iii.html>

Tabla 11. Ensayos de asentamiento de los diferentes tratamientos

Asentamiento (Slump)				
Ensayo N°	Mezcla Patrón 0% de Vidrio molido	Mezcla con 15% de Vidrio molido	Mezcla con 20% de Vidrio molido	Mezcla con 25% de Vidrio molido
E-01	3.3"	4.2"	6.7"	7.4"
E-02	3.5"	4.5"	6.8"	7.1"
E-03	3.3"	4.3"	6.8"	7.2"

3.1.6.2. Método para la elaboración y curado de probetas cilíndricas de hormigón

Estos procedimientos los efectuamos mediante el uso de las Normas:

NTP 339.033 ó ASTM C 31

Equipos

- Moldes cilíndricos

Diámetro del molde: 6"

Altura: 12"

Material: plástico.

- Barra compactadora

Diámetro: barra de acero liso con punta semiesférica

Diámetro: Ø 5/8".

Longitud: 60 cm

- Martillo de Goma

Peso: 340 a 800 gramos.

Herramientas

Pala

Cucharón

Mezcladora 9 pie³

Procedimiento

- Colocar los moldes en una superficie plana, rígida, horizontal, libre de vibraciones y protegida contra el tránsito vehicular y peatonal.
- Los moldes y sus bases deben estar limpios y su superficie interior deberá tener algún desmoldante. Todas las herramientas deberán humedecerse previamente.
- Compactar cada capa dando 25 golpes con el martillo de goma y distribuir en toda el área de la capa y aplicarlos comenzando cerca del molde y acercándose progresivamente en forma de espiral hacia el centro de la sección.
- Mantener la misma intensidad en todos los golpes.
- La capa inferior se compacta en todo su espesor y en las siguientes toda la profundidad de la capa y además 2.5 cm. de la capa inferior.
- Después de chucear cada capa, se golpea ligeramente las paredes del molde de 10 a 15 veces con el martillo de goma y se enrasa al tope del molde usando la barra compactadora o una plancha de albañilería.

3.1.7. Pruebas del hormigón en estado endurecido

3.1.7.1 Método normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del hormigón, en muestras cilíndricas

El método consiste en aplicar una carga de compresión axial a los cilindros moldeados a una velocidad normalizada en un rango prescrito mientras ocurre la falla. La resistencia a la compresión de la probeta es calculada por la división de la carga máxima (f_c) alcanzada durante el ensayo, entre el área de la sección recta de la probeta.

Equipo

Máquina de ensayo

Almohadillas de neopreno

Deformímetro

Procedimiento

El método consiste en aplicar una carga de compresión axial a los cilindros moldeados a una velocidad normalizada en un rango prescrito mientras ocurre la falla. La resistencia a la compresión de la probeta es calculada por la división de la carga máxima (f_c) alcanzada durante el ensayo, entre el área de la sección recta de la probeta.

3.2 Tratamiento y análisis de datos y presentación de resultados

Procesamiento de datos referentes a la resistencia a la compresión.

Como se ha indicado anteriormente el ensayo de resistencia a la compresión consistirá en cargar las probetas de concreto permeable fabricadas a compresión hasta la ruptura en una máquina de compresión.

Los resultados son los siguientes:

Tabla 12. Resistencia a compresión ensayadas a los 7 días

Edad de Ruptura	Probetas ensayadas con 0% Vidrio	Probetas ensayadas con 15% Vidrio	Probetas ensayadas con 20% Vidrio	Probetas ensayadas con 25% Vidrio
-----------------	----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------

	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)
7 días	189.63	151.90	178.63	162.75
	192.12	148.01	178.17	163.09
	189.13	146.64	181.62	167.64
	198.01	152.69	182.93	164.46
	205.85	150.56	179.73	161.72
	209.14	143.10	180.24	171.33

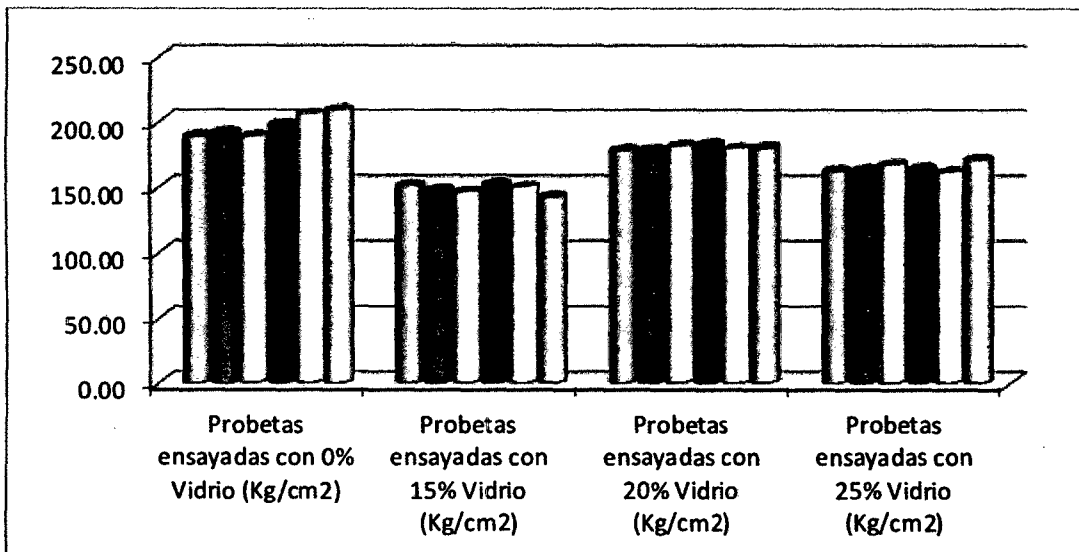


Ilustración 5. Resistencia a la compresión a los 7 días

Tabla 13. Resistencia a compresión ensayadas a los 14 días

Edad de Ruptura	Probetas ensayadas con 0% Vidrio (Kg/cm2)	Probetas ensayadas con 15% Vidrio (Kg/cm2)	Probetas ensayadas con 20% Vidrio (Kg/cm2)	Probetas ensayadas con 25% Vidrio (Kg/cm2)
14 días	238.47	186.39	219.28	162.75
	241.53	183.89	233.29	163.09
	247.34	175.89	235.73	167.64
	245.88	190.38	231.60	164.46
	256.26	182.34	226.54	161.72
	257.65	191.87	241.21	171.33

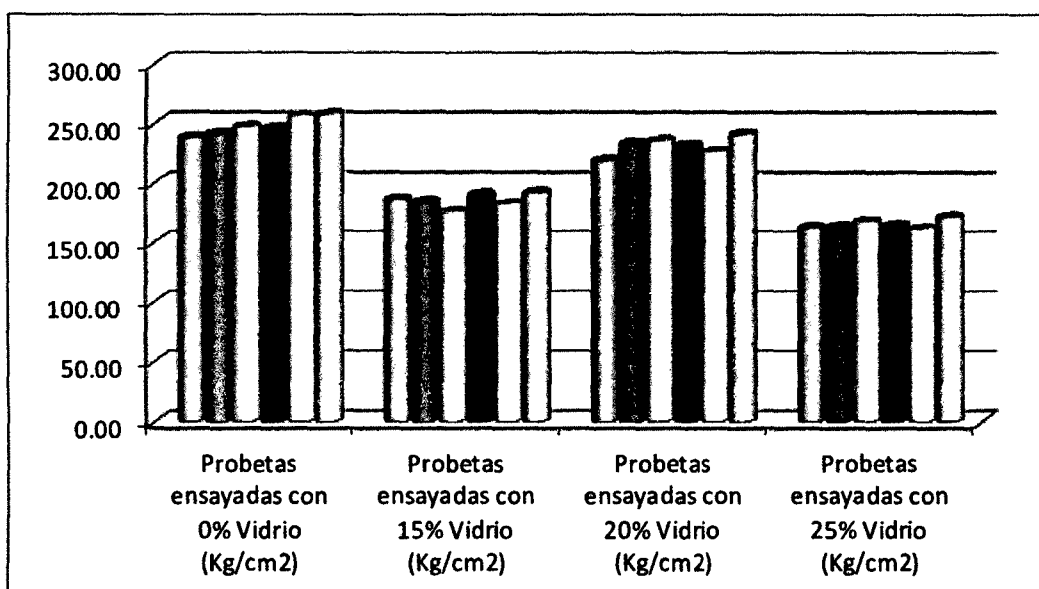


Ilustración 6. Resistencia a la compresión a los 14 días

Tabla 14. Resistencia a compresión ensayadas a los 28 días

Edad de Ruptura	Probetas ensayadas con 0% Vidrio (Kg/cm2)	Probetas ensayadas con 15% Vidrio (Kg/cm2)	Probetas ensayadas con 20% Vidrio (Kg/cm2)	Probetas ensayadas con 25% Vidrio (Kg/cm2)
28 días	302.30	230.85	291.31	239.09
	299.16	228.40	294.45	242.16
	295.64	246.69	296.03	227.50
	302.92	230.69	287.32	243.95
	301.91	241.53	279.95	236.04
	304.12	229.00	287.45	254.51

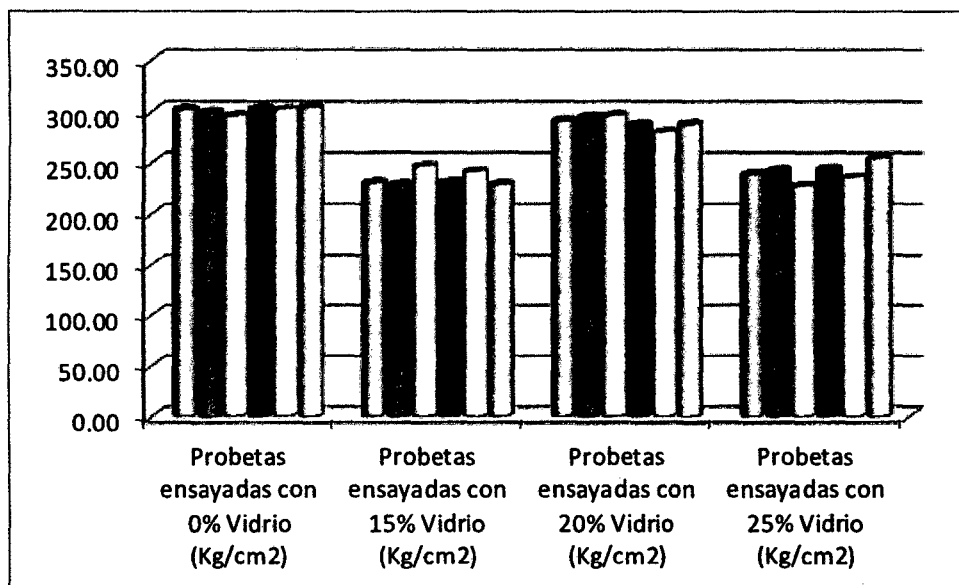


Ilustración 7. Resistencia a la compresión a los 28 días

Tabla 15. Resistencia a Compresión promedio a los diferentes días

% Vidrio	7 días (Kg/cm ²)	8 días (Kg/cm ²)	9 días (Kg/cm ²)
Patrón (0%)	197.31	247.85	301.01
15% Vidrio	148.82	185.12	234.53
20% Vidrio	180.22	231.28	289.42
25% Vidrio	165.17	196.82	240.54

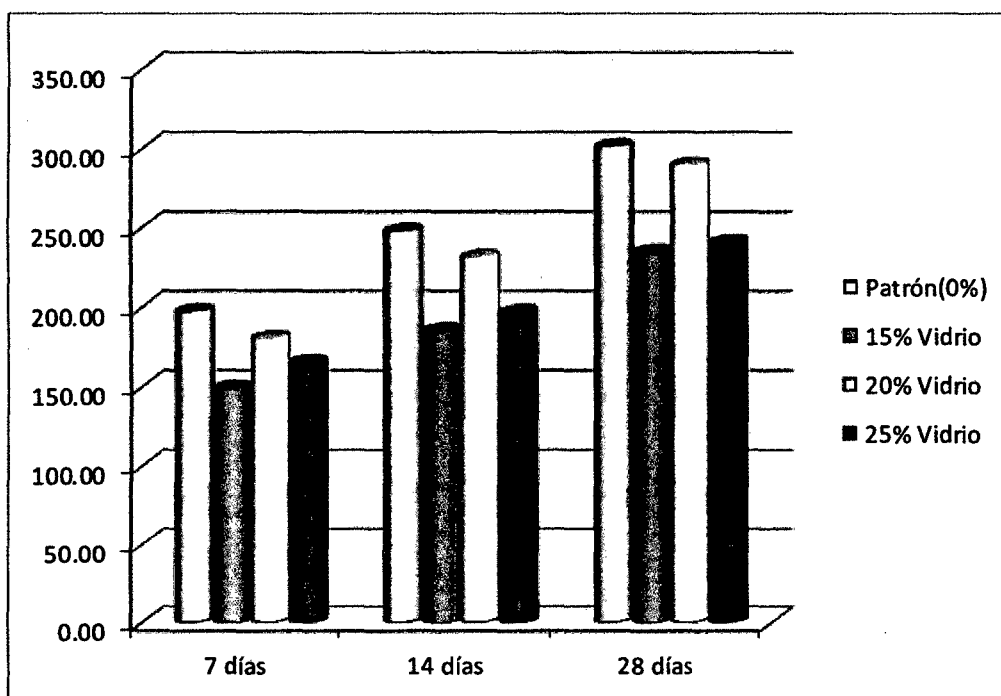


Ilustración 8. Evolución del hormigón a las diferentes edades

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Las mezclas en estado fresco siguieron la tendencia que al aumentar el porcentaje de vidrio molido, el asentamiento o slump aumenta como lo muestra, para la mezcla patrón asentamiento de diseño(3" a 4"), con 15%, 20%, 25% de vidrio molido en reemplazo del cemento sea obtenido 4.3", 6.8", 7.2" respectivamente de asentamiento promedio.

El ensayo de resistencia a la compresión fue aplicado a un total de 72 probetas, a 3 edades de ruptura a los 7, 14 y 28 días luego de ser moldeadas y curadas.

Los resultados mostraron que en el estado endurecido del hormigón la resistencia del hormigón con ruptura a los 7 días de los tratamientos con 15%, 20%, 25% de vidrio molido en reemplazo del cemento son: 75.42%, 91.34%, 83.71% con respecto del hormigón patrón en promedio.

Asimismo la ruptura de las probetas a los 14 días de los tratamientos con 15%, 20%, 25% de vidrio molido en reemplazo del cemento son: 74.69%, 93.31%, 79.41% con respecto del hormigón patrón en promedio.

Y la ruptura de las probetas a los 28 días de los tratamientos con 15%, 20%, 25% de vidrio molido en reemplazo del cemento son: 77.91%, 96.15%, 79.91% con respecto del hormigón patrón en promedio.

De los resultados obtenidos se puede deducir que las probetas ensayadas con el 20% de vidrio molido de reemplazo del cemento se aproximan (96.15%) al hormigón patrón, pero no lo superan.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. 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 demostrado que no es válida.

5.2. Recomendaciones

- Se deben establecer condiciones adecuadas para la manipulación y trituración, molienda y cribado, teniendo especial cuidado, en el vidrio debido a la composición 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.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 Naik, T.R., Sustainability of concrete construction. Practice Periodical on Structural Design and Construction, 2008. 13(2): p. 98-103.
- 2 Mehta, K. P., Ed. (2006). Microstructure, Properties, and Materials. McGraw-Hill Professional.
- 3 Naik, T. R. (2005). "Sustainability of cement and concrete industries. Proceedings of the International Conference on Achieving Sustainability in Construction: 141-150.
- 4 Gartner, E., industrially interesting approaches to "low-002" cements. Cement and Concrete Research, 2004. 34(9): p. 1489-1498.
- 5 Worrell, E., e a I., Carbon dioxide emissions from the global cement industry. Annual Review of Energy and the Environment, 2001. 26: p. 303-329.
- 6 Guimaraes, C. P. (2007). "The CO2 uptake of concrete in 100 year perspective." Cement and Concrete Research 37: 1348-1356.
- 7 Van Oss, H. G. and A. C. Padovani (2003). "Cement manufacture and the environment, P00 11: Environmental challenges and opportunities." 7:93-126.
- 8 Efficient use of energy utilizing high technology: An assessment of energy use in industry and building 1995, World Energy Council: London.
- 9 , Cement and concretes Environmental Considerations. 2004 (cited 2010 Jan 30th I; Available from:
<http://www.wbcscement.org/pdf/12/cementconc.pdf>.
- 10 Meyer, C. Recycled Glass -from waste Material to Valuable Resource. in Recycling and Reuse of Glass Cullet 2001. Dundee, Scotland.
- 11 Meyer, C., The greening of the concrete industry. Cement and Concrete Composites, 2009. 31(8), p. 601-605.

Normas Técnicas Referenciadas

- 12 NTP 339.034: 2008 HORMIGÓN (CONCRETO), Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas. 3a d. R 001-2008 - INDECOPI-CRT (2008-01-25).
- 13 NTP 339 034: 939 HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para la medición del asentamiento del hormigón con el cono de Abrams. 2a. ed. R. 21-99-INDECOPI-CRT (1999-0529).
- 14 NTP 339.036:1999 HORMIGON (CONCRETO). Práctica normalizada para muestreo de mezclas de concreto fresco. 2a. ed. R 21-99-INDECOPI-CRT (1999-04-29).
- 15 NTP 339.185:2002 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido humedad total evaporable de agregados por secado. R. 48-2002-INDECOPI- CTR (2002-05-30).
- 16 NTP 400.011:1976 AGREGADOS. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y concretos R 758-76 (1970).
- 17 NTP 400.012:2001 AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. 2a. ed. R 71-2001-INDECOP1-CRT (2001-07-17).
- 18 NTP 400.017:1999 AGREGADOS. Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado. 2a ed. R 21-99-INDECOPI-CRT(1999-04-29).
- 19 NTP 400 019:2002 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores para abrasión e impacto en la máquina de los Ángeles 2a ed. R. 7-2002- INDECOPI-CRT (2002-02-09).
- 20 NTP 400 021:2002 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso. 2a ed. R. 48-2002-ESDECOPPERT (2002-05-30).
- 21 NTP 400.022:2002 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado fino. 2a. ed. R. 48-2002-INDECOPI-CRT (2002-05-30).

22 NTP 400.037:2002 AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en hormigón (concreto) R 13-2002-INDECOPI-CRT (2002-02-27)

ANEXOS

Propiedades de los agregados

Granulometría de los agregados

Tabla 16. Ensayo N°01-Granulometría Agregado Fino

Datos de la Muestra

Peso Húmedo (g)	334.5
Peso Seco (g)	325.3
Contenido de Humedad (%)	2.82

Tamiz Estándar	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)	Que Pasa (%)	NTP 400.037	
						Máximo	Mínimo
N°4	4.750	11.7	3.60	3.60	96.40	100	95
N°8	2.380	39.9	12.27	15.86	84.14	100	80
N°16	1.180	52.5	16.14	32.00	68.00	85	50
N°30	0.600	52.2	16.05	48.05	51.95	60	25
N°50	0.300	89.2	27.42	75.47	24.53	30	5
N°100	0.150	71.7	22.04	97.51	2.49	10	0
Cazoleta	...	8.10	2.49	100.00	0.00		
Módulo de Finura:				2.72			

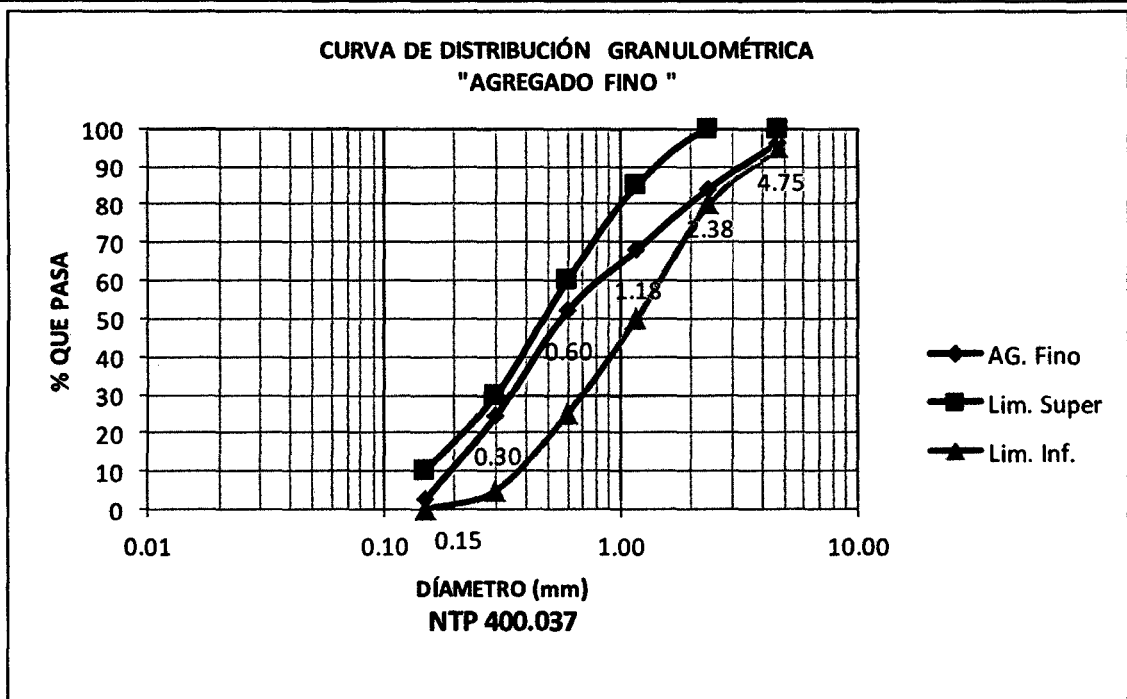


Tabla 17. Ensayo N°02-Granulometría Agregado Fino

Datos de la Muestra

Peso Húmedo (g)	314.2
Peso Seco (g)	305.7
Contenido de Humedad (%)	2.78

Tamiz Estándar	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)	Que Pasa (%)	NTP 400.037	
						Máximo	Mínimo
N°4	4.750	10.2	3.34	3.34	96.66	100	95
N°8	2.380	43.3	14.16	17.50	82.50	100	80
N°16	1.180	55.1	18.02	35.53	64.47	85	50
N°30	0.600	50.3	16.45	51.98	48.02	60	25
N°50	0.300	81.2	26.56	78.54	21.46	30	5
N°100	0.150	60.2	19.69	98.23	1.77	10	0
Cazoleta	...	5.40	1.77	100.00	0.00		
Módulo de Finura:				2.85			

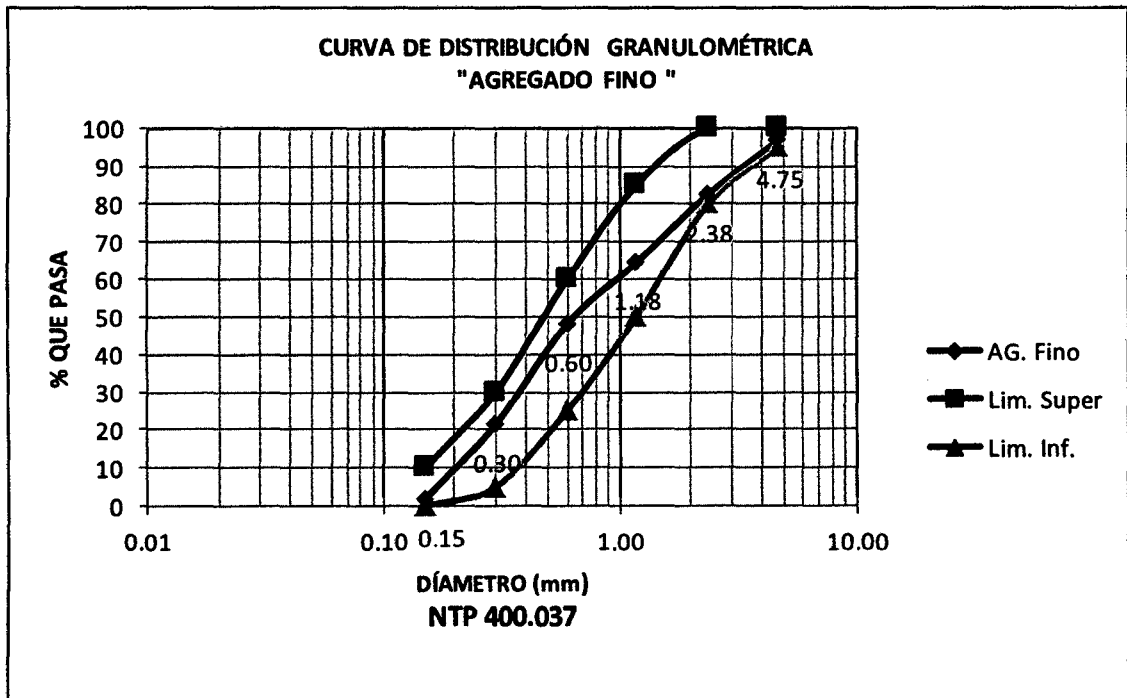
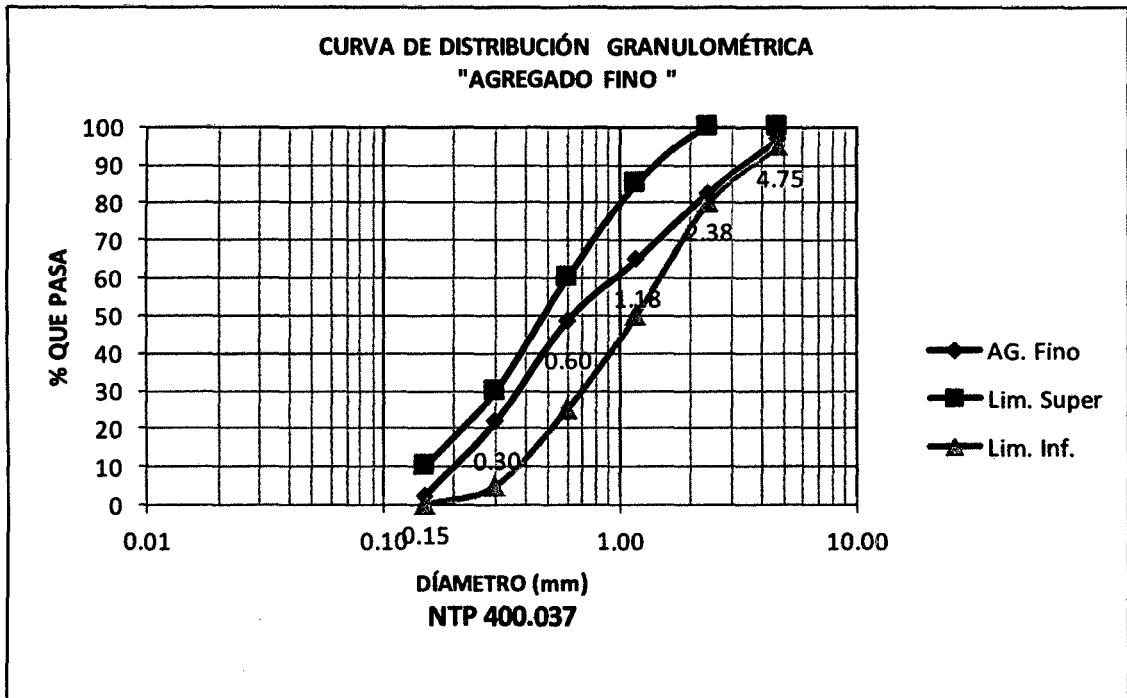


Tabla 18. Ensayo N°03-Granulometría Agregado Fino

Datos de la Muestra

Peso Húmedo (g)	311.0
Peso Seco (g)	302.9
Contenido de Humedad (%)	2.68

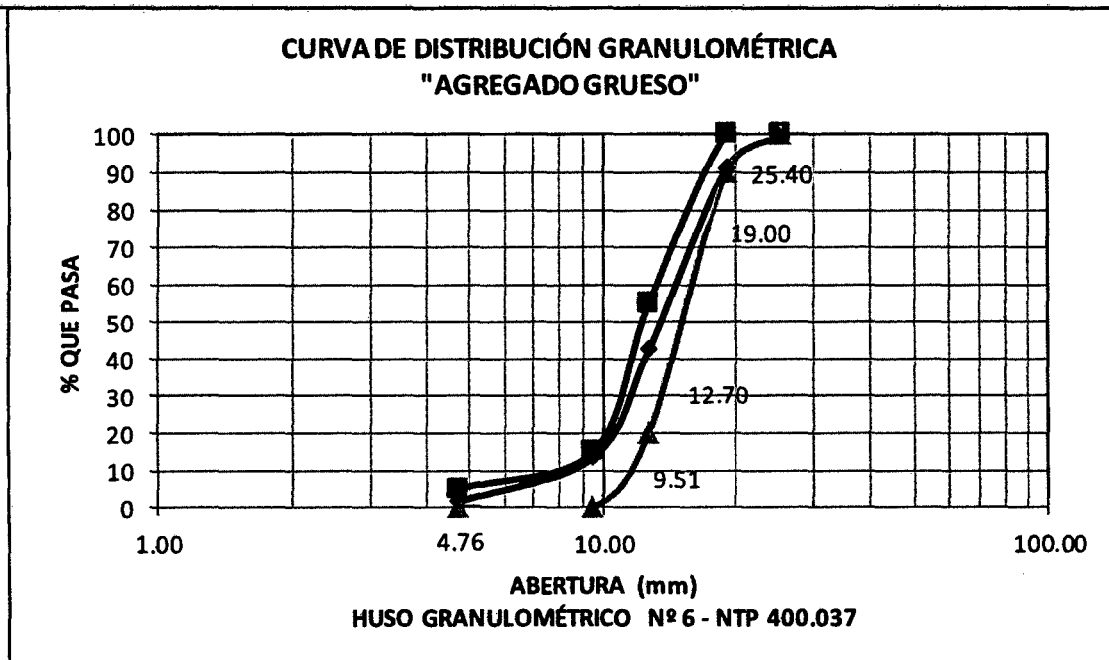
Tamiz Estándar	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)	Que Pasa (%)	NTP 400.037	
						Máximo	Mínimo
N°4	4.750	9.9	3.27	3.27	96.73	100	95
N°8	2.380	42.7	14.10	17.37	82.63	100	80
N°16	1.180	54.1	17.86	35.23	64.77	85	50
N°30	0.600	49.4	16.31	51.54	48.46	60	25
N°50	0.300	80.8	26.68	78.21	21.79	30	5
N°100	0.150	58.9	19.45	97.66	2.34	10	0
Cazoleta	...	7.10	2.34	100.00	0.00		
Módulo de Finura:				2.83			



Datos de la Muestra

Peso Húmedo (g)	5130
Peso Seco (g)	5110
Contenido de Humedad (%)	0.39

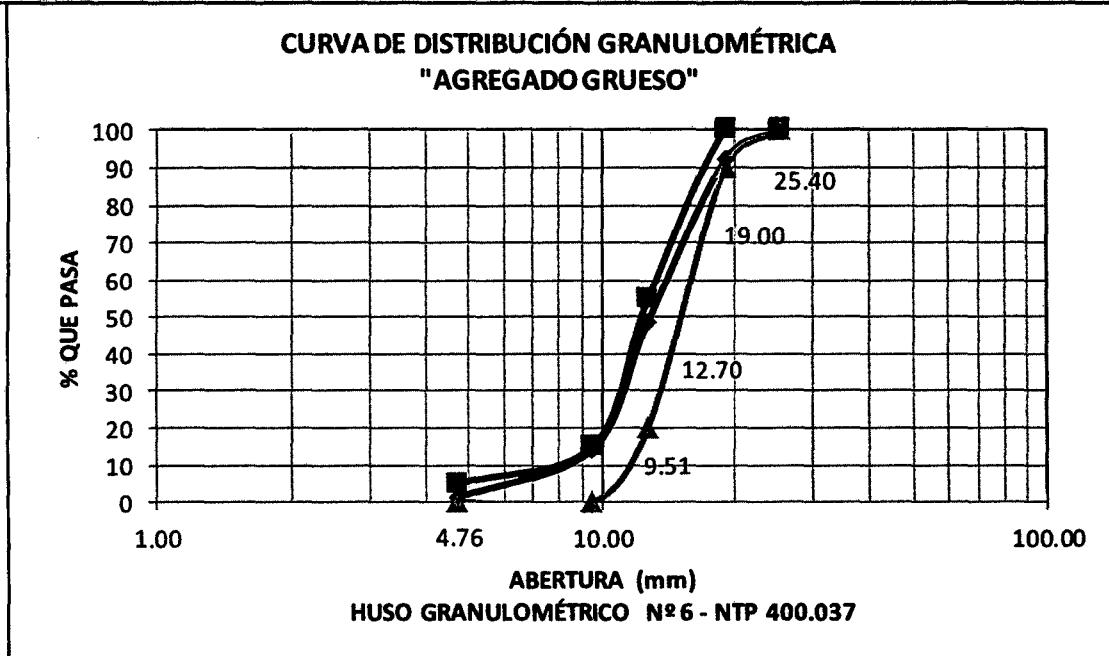
Tamiz Estándar	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)	Que Pasa (%)	NTP 400.037	
						Máximo	Mínimo
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
3/4"	19.00	465.00	9.10	9.10	90.90	100	90
1/2"	12.70	2475.00	48.43	57.53	42.47	55	20
3/8"	9.51	1485.00	29.06	86.59	13.41	15	0
N°4	4.76	610.00	11.94	98.53	1.47	5	0
Cazoleta	...	75.00	1.47	100.00	0.00	...	...
Módulo de Finura				6.94			



Datos de la Muestra

Peso Húmedo (g)	5090
Peso Seco (g)	5075
Contenido de Humedad (%)	0.30

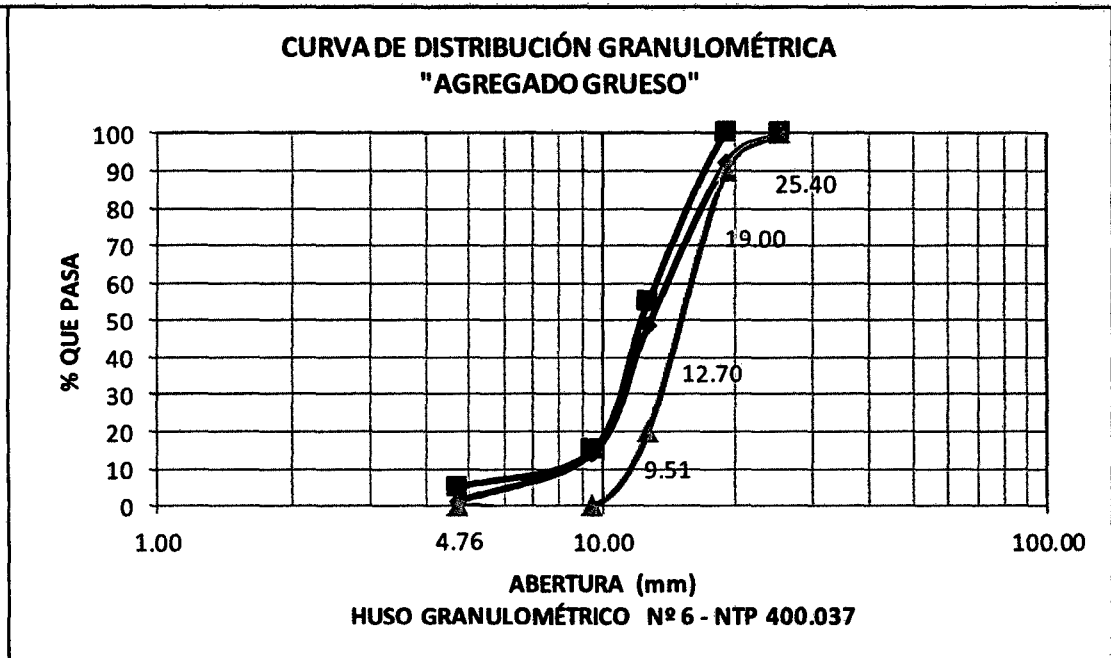
Tamiz Estándar	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)	Que Pasa (%)	NTP 400.037	
						Máximo	Mínimo
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
3/4"	19.00	485.00	9.56	9.56	90.44	100	90
1/2"	12.70	2455.00	48.37	57.93	42.07	55	20
3/8"	9.51	1465.00	28.87	86.80	13.20	15	0
N°4	4.76	605.00	11.92	98.72	1.28	5	0
Cazoleta	...	65.00	1.28	100.00	0.00	...	...
Módulo de Finura				6.95			



Datos de la Muestra

Peso Húmedo (g) 5440
 Peso Seco (g) 5425
 Contenido de Humedad (%) 0.28

Tamiz Estándar	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)	Que Pasa (%)	NTP 400.037	
						Máximo	Mínimo
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
3/4"	19.00	435.00	8.02	8.02	91.98	100	90
1/2"	12.70	2355.00	43.41	51.43	48.57	55	20
3/8"	9.51	1865.00	34.38	85.81	14.19	15	0
N°4	4.76	705.00	13.00	98.80	1.20	5	0
Cazoleta	...	65.00	1.20	100.00	0.00	...	...
Módulo de Finura				6.93			



Densidad, densidad Relativa y absorción del agregado grueso

Tabla 19. densidad, densidad relativa y la absorción del agregado Grueso

Descripción	Ensayos			
	E - 1	E - 2	E - 3	
$W_{\text{agregado S.S.S}} \text{ (gr)}$ (B)	4932	5059	4837	
$W_{\text{Agregado + Malla}} \text{ (gr)}$	7570	7810	7590	
$W_{\text{Malla}} \text{ (gr)}$	2550	2550	2550	
$W_{\text{Malla sumergida}} \text{ (gr)}$	2480	2480	2480	
$W_{\text{Malla + grava sumergida}} \text{ (gr)}$	5464	5551	5412	
$W_{\text{Grava sumergida}} \text{ (gr)}$ (C)	2984	3071	2932	
$W_{\text{Muestra seca}} \text{ (gr)}$ (A)	4885	5010	4790	Promedio
Peso específico de masa	2.51	2.52	2.51	2.51
Peso específico de masa SSS	2.53	2.55	2.54	2.54
Peso específico aparente	2.57	2.58	2.58	2.58
Porcentaje de absorción	0.97	0.97	0.99	0.98

Densidad, densidad Relativa y absorción del agregado fino

Tabla 20. densidad, densidad relativa y la absorción agregado Fino.

Descripción	Ensayos			
	E - 1	E - 2	E - 3	
W_{Fiola} (g)	193.9	193.9	193.9	
$W_{Fiola + agregado}$ (g)	693.9	693.9	693.9	
$W_{Fiola + agregado + agua}$ (g)	999.3	1000.8	998.5	
Volumen de agua añadida (V_a)	305.4	306.9	304.6	
TARA	T - 1	T - 2	T - 3	
W_{Tara} (g)	73.6	73.8	72.6	
$W_{Tara + M_{seca}}$ (g)	567.5	567.9	566.5	
$W_{Muestra\ seca}$ (g) (W_o)	493.9	494.1	493.9	Promedio
Peso específico de masa	2.54	2.56	2.53	2.54
Peso específico de masa SSS	2.57	2.59	2.56	2.57
Peso específico aparente	2.62	2.64	2.61	2.62
Porcentaje de absorción	1.23	1.20	1.23	1.22

Contenido de humedad de los agregados

Tabla 21. Ensayos de Contenido de Humedad agregado fino

Descripción	Formula	Ensayos			Promedio
		E - 01	E - 02	E - 03	
Peso Tara	-	80.2	80.7	91.1	
Peso Tara + muestra Húmeda	-	563.30	575.50	571.00	
Peso de la Muestra Húmeda	Mh	483.10	494.80	479.90	
Peso de Tara + Muestra Seca		550.30	562.30	558.00	
Peso de la Muestra secada al horno (gr)	Ms	470.10	481.60	466.90	
Peso del agua perdida (gr)	CA=(MH-MS)	13.00	13.20	13.00	
Contenido de Humedad (%)	CAMS*100	2.77%	2.74%	2.78%	2.76%

Tabla 22. Ensayos contenido de humedad agregado grueso

Descripción	Formula	Ensayos			Promedio
		E - 01	E - 02	E - 03	
Peso Tara	PT	120.2	118.6	116.5	
Peso Tara + muestra	PT+MH	1186.60	2140.50	1186.30	
Peso de la Muestra Húmeda	Mh	1066.40	2021.90	1069.80	
Peso de Tara + Muestra Seca	T+Ms	1183.70	2134.60	1183.70	
Peso de la Muestra secada al horno (g)	Ms	1063.50	2016.00	1067.20	
Peso del agua perdida (g)	CA=(MH-MS)	2.90	5.90	2.60	
Contenido de Humedad (%)	CAMS*100	0.27%	0.29%	0.24%	0.27%

Abrasión los ángelos

Tabla 23. Ensayo a la abrasión N°01

TAMICES		RETENIDO EN		Granulometría B
ABERTURA	PASA			
1 1/2"	37.5 mm	1"	25.4 mm	-
1"	25.4 mm	3/4"	19.0mm	-
3/4"	19.0mm	1/2"	12.7 mm	2500g
1/2"	12.7 mm	3/8"	9.51 mm	2500g
TOTAL				5000g

Peso Inicial 5000 gr
 Pt 249 gr
 Pt + m 3718 gr
 Peso Final 3469 gr

% Desgaste = 30.62%

Tabla 24. Ensayo a la abrasión N°02

TAMICES		RETENIDO EN		Granulometría B
ABERTURA	PASA			
1 1/2"	37.5 mm	1"	25.4 mm	-
1"	25.4 mm	3/4"	19.0mm	-
3/4"	19.0mm	1/2"	12.7 mm	2500g
1/2"	12.7 mm	3/8"	9.51 mm	2500g
TOTAL				5000g

Peso Inicial 5000 gr
 Pt 321 gr
 Pt + m 3785 gr
 Peso Final 3464 gr

% Desgaste = 30.72%

Tabla 25. Ensayo a la abrasión N°03

TAMICES		RETENIDO EN		Granulometría B
ABERTURA	PASA			
1 1/2"	37.5 mm	1"	25.4 mm	-
1"	25.4 mm	3/4"	19.0mm	-
3/4"	19.0mm	1/2"	12.7 mm	2500g
1/2"	12.7 mm	3/8"	9.51 mm	2500g
TOTAL				5000g

Peso Inicial 5000 gr

Pt 245 gr

Pt + m 3660 gr

Peso Final 3415 gr

% Desgaste = 31.70%

Promedio de Desgaste = 31.01%

Elaboración y ruptura de probetas

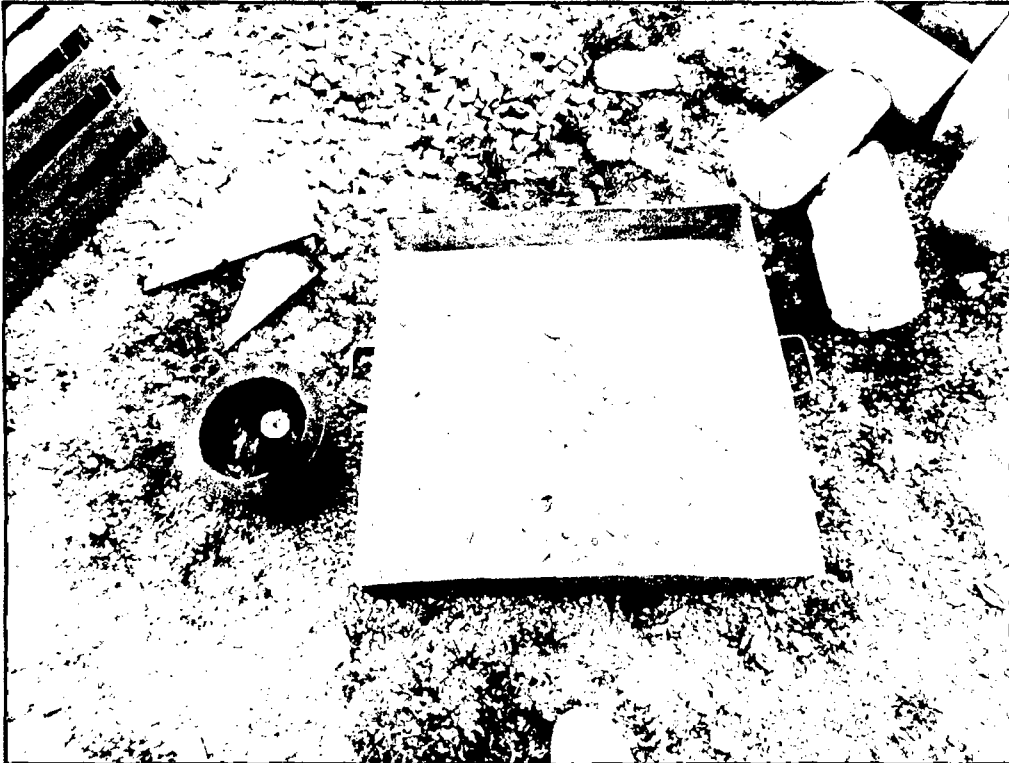
Probetas Patrón (0% de Vidrio Molido en reemplazo de cemento)								
Edad de Ruptura	Código	Peso en Estado endurecido (Kg)	Carga de Rótura (Kg)	Altura (cm)	Diámetro Promedio (cm)	Esbeltez	Área (cm ²)	Resistencia (Kg/cm ²)
7 días	P-01	12.71	34500	30.30	15.22	2.0	181.94	189.63
	P-02	12.68	35000	30.38	15.23	2.0	182.18	192.12
	P-03	12.72	34500	30.40	15.24	2.0	182.41	189.13
	P-04	12.66	36500	30.50	15.32	2.0	184.33	198.01
	P-05	12.69	37500	30.30	15.23	2.0	182.18	205.85
	P-06	12.66	38000	30.35	15.21	2.0	181.70	209.14
14 días	P-07	12.72	43500	30.32	15.24	2.0	182.41	238.47
	P-08	12.65	44000	30.37	15.23	2.0	182.18	241.53
	P-09	12.66	45000	30.22	15.22	2.0	181.94	247.34
	P-10	12.66	44500	30.48	15.18	2.0	180.98	245.88
	P-11	12.69	46500	30.42	15.20	2.0	181.46	256.26
	P-12	12.67	47000	30.50	15.24	2.0	182.41	257.65
28 días	P-13	12.70	55000	30.45	15.22	2.0	181.94	302.30
	P-14	12.68	54500	30.38	15.23	2.0	182.18	299.16
	P-15	12.71	54000	30.42	15.25	2.0	182.65	295.64
	P-16	12.73	54750	30.50	15.17	2.0	180.74	302.92
	P-17	12.69	55000	30.30	15.23	2.0	182.18	301.91
	P-18	12.68	54750	30.35	15.14	2.0	180.03	304.12

Probetas Patrón (15% de Vidrio Molido en reemplazo de cemento)								
Edad de Ruptura	Código	Peso en Estado endurecido (Kg)	Carga de Rótura (Kg)	Altura (cm)	Diámetro Promedio (cm)	Esbeltez	Área (cm ²)	Resistencia (Kg/cm ²)
7 días	P-01	12.62	28000	30.30	15.32	2.0	184.33	151.90
	P-02	12.61	27000	30.38	15.24	2.0	182.41	148.01
	P-03	12.65	26750	30.30	15.24	2.0	182.41	146.64
	P-04	12.71	28000	30.40	15.28	2.0	183.37	152.69
	P-05	12.69	27500	30.30	15.25	2.0	182.65	150.56
	P-06	12.64	26000	30.35	15.21	2.0	181.70	143.10
14 días	P-07	12.72	34000	30.32	15.24	2.0	182.41	186.39
	P-08	12.65	33500	30.37	15.23	2.0	182.18	183.89
	P-09	12.63	32000	30.22	15.22	2.0	181.94	175.89
	P-10	12.66	34500	30.48	15.19	2.0	181.22	190.38
	P-11	12.68	33000	30.42	15.18	2.0	180.98	182.34
	P-12	12.67	35000	30.50	15.24	2.0	182.41	191.87
28 días	P-13	12.70	42000	30.45	15.22	2.0	181.94	230.85
	P-14	12.68	41500	30.38	15.21	2.0	181.70	228.40
	P-15	12.71	45000	30.42	15.24	2.0	182.41	246.69
	P-16	12.73	41750	30.50	15.18	2.0	180.98	230.69
	P-17	12.69	44000	30.30	15.23	2.0	182.18	241.53
	P-18	12.68	41500	30.35	15.19	2.0	181.22	229.00

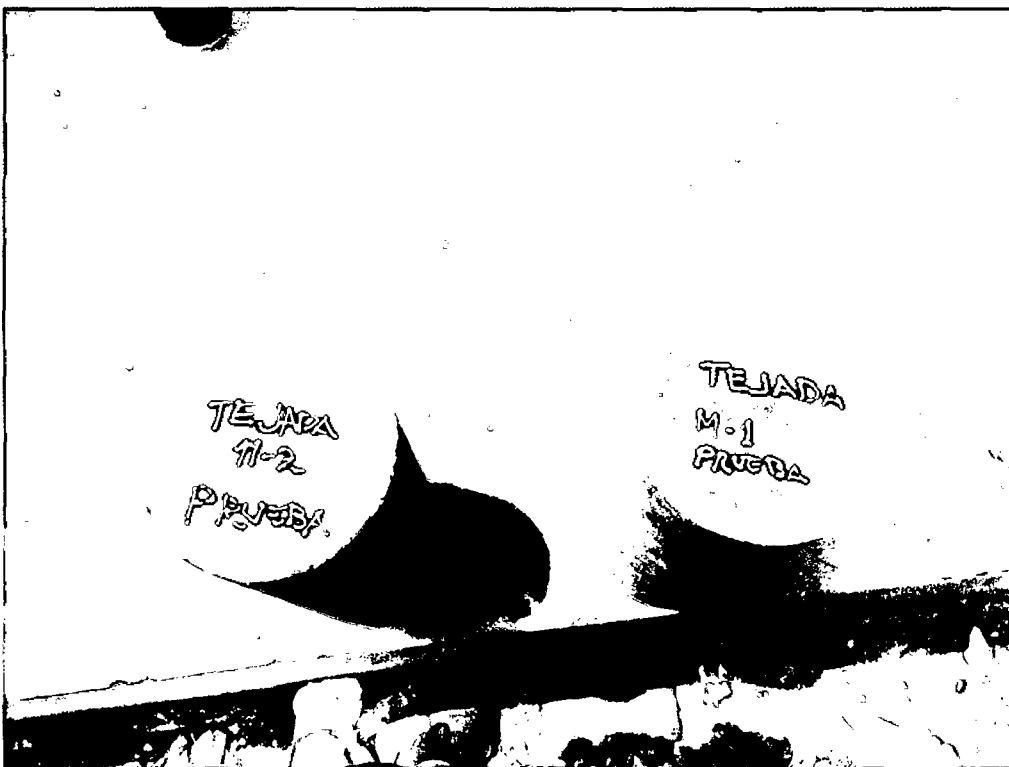
Probetas Patrón (20% de Vidrio Molido en reemplazo de cemento)								
Edad de Ruptura	Código	Peso en Estado endurecido (Kg)	Carga de Rotura (Kg)	Altura (cm)	Diámetro Promedio (cm)	Esbeltez	Área (cm ²)	Resistencia (Kg/cm ²)
7 días	P-01	12.63	32500	30.30	15.22	2.0	181.94	178.63
	P-02	12.64	32500	30.43	15.24	2.0	182.41	178.17
	P-03	12.67	33000	30.48	15.21	2.0	181.70	181.62
	P-04	12.73	33500	30.47	15.27	2.0	183.13	182.93
	P-05	12.61	33000	30.43	15.29	2.0	183.61	179.73
	P-06	12.64	32750	30.39	15.21	2.0	181.70	180.24
14 días	P-07	12.72	40000	30.32	15.24	2.0	182.41	219.28
	P-08	12.65	42500	30.37	15.23	2.0	182.18	233.29
	P-09	12.66	43000	30.22	15.24	2.0	182.41	235.73
	P-10	12.66	41750	30.48	15.15	2.0	180.27	231.60
	P-11	12.69	41000	30.42	15.18	2.0	180.98	226.54
	P-12	12.67	44000	30.50	15.24	2.0	182.41	241.21
28 días	P-13	12.70	53000	30.45	15.22	2.0	181.94	291.31
	P-14	12.68	53500	30.38	15.21	2.0	181.70	294.45
	P-15	12.71	54000	30.42	15.24	2.0	182.41	296.03
	P-16	12.73	52000	30.50	15.18	2.0	180.98	287.32
	P-17	12.69	51000	30.30	15.23	2.0	182.18	279.95
	P-18	12.68	51750	30.35	15.14	2.0	180.03	287.45

Probetas Patrón (25% de Vidrio Molido en reemplazo de cemento)								
Edad de Ruptura	Código	Peso en Estado endurecido (Kg)	Carga de Rótura (Kg)	Altura (cm)	Diámetro Promedio (cm)	Esbeltez	Área (cm ²)	Resistencia (Kg/cm ²)
7 días	P-01	12.62	30000	30.30	15.32	2.0	184.33	162.75
	P-02	12.61	29750	30.38	15.24	2.0	182.41	163.09
	P-03	12.65	30500	30.48	15.22	2.0	181.94	167.64
	P-04	12.71	30000	30.41	15.24	2.0	182.41	164.46
	P-05	12.69	29500	30.35	15.24	2.0	182.41	161.72
	P-06	12.64	31500	30.37	15.30	2.0	183.85	171.33
14 días	P-07	12.72	34500	30.32	15.24	2.0	182.41	189.13
	P-08	12.65	35000	30.37	15.23	2.0	182.18	192.12
	P-09	12.66	36500	30.22	15.24	2.0	182.41	200.09
	P-10	12.66	38000	30.48	15.15	2.0	180.27	210.80
	P-11	12.69	35500	30.42	15.18	2.0	180.98	196.15
	P-12	12.67	35000	30.50	15.21	2.0	181.70	192.63
28 días	P-13	12.64	43500	30.45	15.22	2.0	181.94	239.09
	P-14	12.68	44000	30.39	15.21	2.0	181.70	242.16
	P-15	12.71	41500	30.42	15.24	2.0	182.41	227.50
	P-16	12.63	44500	30.43	15.24	2.0	182.41	243.95
	P-17	12.69	43000	30.27	15.23	2.0	182.18	236.04
	P-18	12.58	46000	30.35	15.17	2.0	180.74	254.51

Panel fotográfico



Fotografía N° 01: Trituración del vidrio



Fotografía N° 02: Especímenes de Prueba



Fotografía N° 03: Ensayo a compresión de Prueba



Fotografía N° 04: Tamizado del agregado grueso por el tamiz de 1"



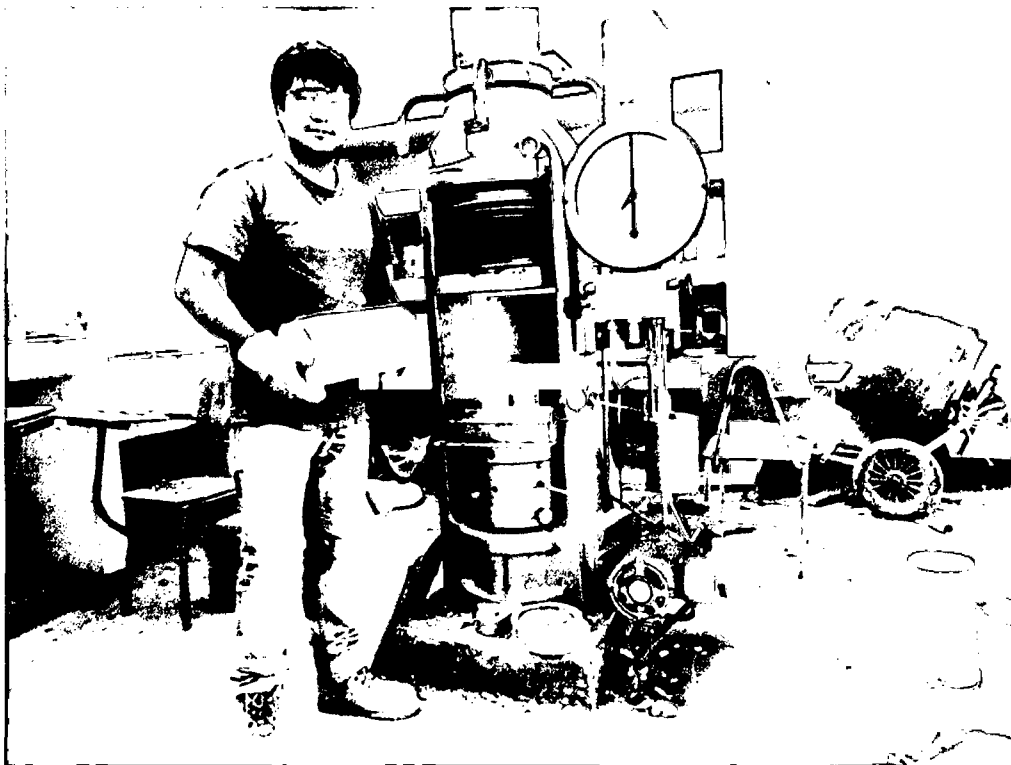
Fotografía N° 05: Tamizado del vidrio molido por el tamiz de N° 100



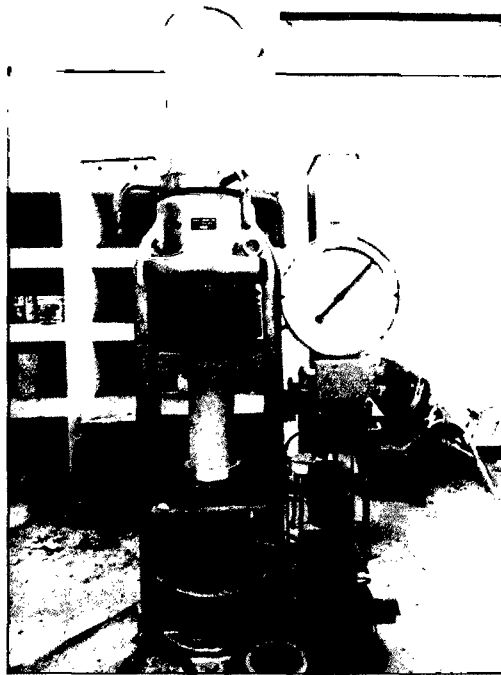
Fotografía N° 06: Elaboración de probetas



Fotografía N° 07: Desmoldamiento y descripción de especímenes



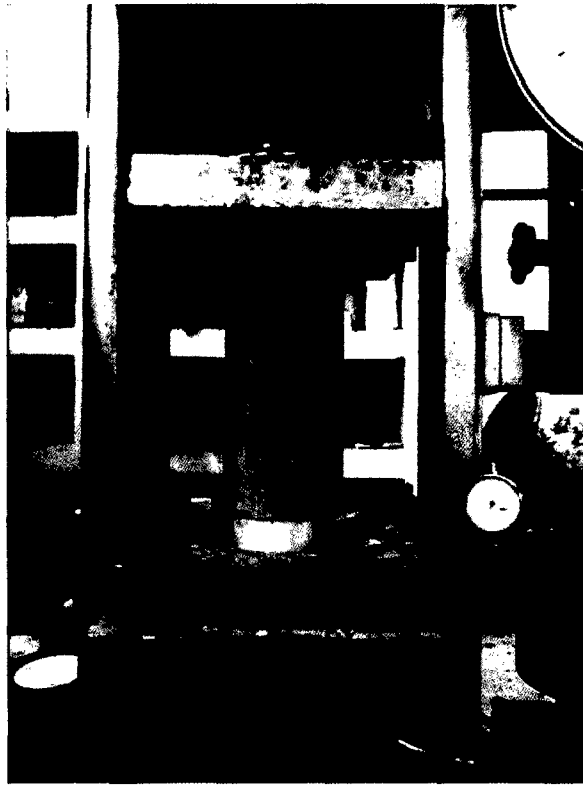
Fotografía N° 08: Ruptura de especímenes a las diferentes edades



Fotografía N° 09: Espécimen a punto de fallar.



Fotografía N° 010: Espécimenes antes de ser sometidos al ensayo.



Fotografía N° 011: Falla común en todos los especímenes.