

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

PROYECTO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

TEMA:

**ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN
AL EMPLEAR VIDRIO RECICLADO MOLIDO EN REEMPLAZO
PARCIAL DEL AGREGADO FINO.**

AUTORA:

DANIELA ALEJANDRA PEÑAFIEL CARRILLO

TUTOR:

ING. Mg. GALO NÚÑEZ

Ambato – Ecuador

2016

CERTIFICACIÓN

Yo, Ing. Mg. Galo Núñez certifico que el presente Informe Final Experimental **“ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN AL EMPLEAR VIDRIO RECICLADO MOLIDO EN REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO”** realizado por la señorita Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo Egresada de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato, se desarrolló bajo mi supervisión y tutoría, siendo un trabajo elaborado de manera personal e inédito.

Ing. Mg. Galo Núñez
TUTOR

AUTORÍA

Yo, Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo, con CI. 16005920-3 Egresada de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, certifico por medio de la presente que el trabajo con el tema:

“ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN AL EMPLEAR VIDRIO RECICLADO MOLIDO EN REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO” es de mi completa autoría.

Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo

AUTOR

APROBACIÓN PROFESORES CALIFICADORES

Los suscritos profesores calificadores, una vez revisado, aprueban el informe de investigación, sobre el tema: **“ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN AL EMPLEAR VIDRIO RECICLADO MOLIDO EN REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO”** de la egresada Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo, de la carrera de Ingeniería Civil, el mismo que guarda conformidad con las disposiciones reglamentarias emitidas por el Centro de Estudios de Pregrado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman,

Ing. Mg. Maritza Ureña
PROFESOR CALIFICADOR

Ing. Mg. Patricio Navarro
PROFESOR CALIFICADOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo de Titulación bajo la modalidad Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo de Titulación bajo la modalidad Trabajo Experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de éste Trabajo de Titulación dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando ésta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, 29 de Abril de 2016

Autor

Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo

DEDICATORIA

A Dios por ser quien nos da la fuerza de vida, por iluminar mis acciones, guiar mi camino y por la sabiduría para cumplir una meta de las muchas que quiero plantearme.

A mis incondicionales Padres, Alejandro y Dunney, que con su sacrificio, ejemplo, amor y apoyo han sabido formarme como persona e inculcarme el deseo de superación.

A mis hermanos, Javier y Esteban, por su apoyo, cariño y por todos aquellos días que juntos superamos momentos y disfrutamos alegrías.

A esa persona especial, que siempre me regala una sonrisa, por su amor, apoyo, comprensión, y por contagiarme de esas ganas de ser alguien mejor en todos los aspectos cada día.

A toda mi familia, por el más sincero cariño, por la unidad, y por jamás dejar de dar una llamada para demostrar que siempre estamos en su mente.

AGRADECIMIENTO

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

A mis Padres gracias profundo, sin ustedes no sería la persona que ven seguir avanzando. Los quiero mucho.

A mi familia por cada consejo, por siempre apoyarme, por demostrarme que el respeto, el amor, la humildad, la dedicación son los mejores atributos de una persona.

A quien me da su amor y apoyo incondicional en cada paso, por la calidad de ser humano, por los buenos momentos.

A mis verdaderos amigos, por no ser una etapa más en la vida, por ser parte de ella.

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

Al Ing. Galo Núñez por su apoyo en el desarrollo de esta investigación, por su amabilidad, conocimiento y disponibilidad.

A la Ing. Maritza Ureña y al *Ing. Patricio Navarro* por su colaboración para que este trabajo se desarrolle de la mejor manera, por la paciencia, confianza y conocimiento.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

A. PÁGINAS PRELIMINARES

CERTIFICACIÓN	II
AUTORÍA DEL TRABAJO	III
APROBACIÓN	IV
DERECHOS DE AUTOR.....	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTO.....	VII
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE GRÁFICOS	XI
RESUMEN EJECUTIVO	XII

B. CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1 TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL.....	1
1.2 ANTECEDENTES.....	1
1.3 JUSTIFICACIÓN	3
1.4 OBJETIVOS	5
1.4.1 Objetivo General	5
1.4.2 Objetivos Específicos.....	5

CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN

2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	6
2.1.1 Hormigón	6
2.1.2 Vidrio	21
2.2 HIPÓTESIS.....	25
2.3 SEÑALAMIENTO DE LAS VARIABLES DE LA HIPÓTESIS	25
2.3.1 Variable Independiente	25
2.3.2 Variable Dependiente.....	25

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1	NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	26
3.2	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	27
3.3	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	27
3.3.1	Variable Independiente	27
3.3.2	Variable Dependiente.....	28
3.4	PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	29
3.5	PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS	29
3.5.1	Plan de Procesamiento de la Información.....	29
3.5.2	Plan de Análisis.....	29

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1	RECOLECCIÓN DE DATOS	30
4.1.1	Ensayos Realizados a los Agregados	30
4.1.2	Ensayo Realizado al Cemento.....	42
4.1.3	Obtención Del Vidrio Reciclado Molido	43
4.1.4	Dosificación del Hormigón - Método de la Densidad Máxima de la Universidad Central del Ecuador	48
4.1.5	Elaboración De Probetas Cilíndricas De Hormigón	54
4.1.6	Ensayo de Compresión de las Probetas Cilíndricas de Hormigón.....	64
4.2	ANÁLISIS DE RESULTADOS	69
4.2.1	Interpretación de Resultados	78
4.3	VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS	79

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	CONCLUSIONES	80
5.2	RECOMENDACIONES	85

C.	MATERIALES DE REFERENCIA	87
1	BIBLIOGRAFÍA.....	87
2	ANEXOS.....	91
2.1	ANEXO FOTOGRÁFICO.....	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1. Límites de Granulometría Agregado Grueso.....	13
Tabla N°2. Límites de Granulometría Agregado Fino.....	14
Tabla N°3. Relación A/C según resistencia a la compresión del hormigón	16
Tabla N°4. Cantidad de pasta según asentamiento en el hormigón.....	16
Tabla N°5. Datos requeridos para dosificar	17
Tabla N°6. Granulometría del Agregado Fino (Arena).....	31
Tabla N°7. Granulometría del Agregado Grueso (Ripio)	33
Tabla N°8. Densidad Aparente Suelta de los Agregados	35
Tabla N°9. Densidad Aparente Compactada de los Agregados	36
Tabla N°10. Densidad Aparente Compactada de una Mezcla de Agregados.....	37
Tabla N°11. Densidad Real de la Arena	39
Tabla N°12. Densidad Real del Ripio.....	40
Tabla N°13. Capacidad de Absorción de la Arena y Ripio.....	41
Tabla N°14. Densidad Real del Cemento	42
Tabla N°15. Datos de la Máquina Trituradora y Molienda del Vidrio.....	44
Tabla N°16. Granulometría del Vidrio Molido Reciclado de Botellas	46
Tabla N°17. Datos para Dosificar Hormigón.....	48
Tabla N°18. Dosificación del Hormigón con una resistencia de 210 kg/cm ²	53
Tabla N°19. Dosificación para tres cilindros de hormigón de 210 kg/cm ² considerando el reemplazo de la arena por vidrio reciclado molido en distintos porcentajes.....	54
Tabla N°20. Propiedades del Hormigón en estado Fresco.	59
Tabla N°21. Peso Especifico del Hormigón Fresco en Muestras a Ensayarse a los 7 Días ...	60
Tabla N°22. Peso Especifico del Hormigón Fresco en Muestras a Ensayarse a los 14 Días..	61
Tabla N°23. Peso Específico del Hormigón Fresco en Muestras a Ensayarse a los 28 Días..	62
Tabla N°24. Descripción de los Principales Tipos de Fallas en Cilindros de Hormigón Ensayados a Compresión a los 7 Días de Edad	66
Tabla N°25. Descripción de los Principales Tipos de Fallas en Cilindros de Hormigón Ensayados a Compresión a los 14 Días de Edad	67
Tabla N°26. Descripción de los Principales Tipos de Fallas en Cilindros de Hormigón Ensayados a Compresión a los 28 Días de Edad	68
Tabla N°27. Resistencia a la Compresión del Hormigón a los 7 Días de Edad	70
Tabla N°28. Resistencia a la Compresión del Hormigón a los 14 Días de Edad	71
Tabla N°29. Resistencia a la Compresión del Hormigón a los 28 Días de Edad	72

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N°1. Tipos de Falla en Probetas de Hormigón a Compresión	19
Gráfico N°2. Curva granulométrica de la arena	32
Gráfico N°3. Curva granulométrica del ripio	34
Gráfico N°4. Densidad Óptima del Agregado – Porcentaje Óptimo de la Mezcla	38
Gráfico N°5. Reciclaje de Botellas de Vidrio	43
Gráfico N°6. Remoción de impurezas de las botellas de vidrio.....	43
Gráfico N°7. Almacenaje de botellas para su secado	44
Gráfico N°8. Molienda del Vidrio en la Trituradora de Mandíbula.....	45
Gráfico N°9. Obtención del Vidrio Reciclado Molido	45
Gráfico N°10. Curva Granulométrica del Vidrio Reciclado Molido	47
Gráfico N°11. Medidas de Cilindros	51
Gráfico N°12. Materiales para preparar Hormigón.....	55
Gráfico N°13. Equipo empleado en la elaboración del hormigón	56
Gráfico N°14. Mezclado del hormigón	57
Gráfico N°15. Medición del asentamiento en el Cono de Abrams	58
Gráfico N°16. Llenado de Moldes de Hormigón	63
Gráfico N°17. Curado de Probetas Cilíndricas de Hormigón	64
Gráfico N°18. Ensayo de Compresión en los Cilindros de Hormigón.....	64
Gráfico N°19. Curva de Resistencia a la Compresión del Hormigón a los 7 Días de Edad vs. Porcentaje de Vidrio Molido	73
Gráfico N°20. Curva de Resistencia a la Compresión del Hormigón a los 14 Días de Edad vs. Porcentaje de Vidrio Molido	74
Gráfico N°21. Curva de Resistencia a la Compresión del Hormigón a los 28 Días de Edad vs. Porcentaje de Vidrio Molido	75
Gráfico N°22. Resistencia a la Compresión del Hormigón vs. Edad del Hormigón.	76
Gráfico N°23. Curva Resistencia a la Compresión del Hormigón vs. Edad del Hormigón.	77

RESUMEN EJECUTIVO

TEMA: “ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN AL EMPLEAR VIDRIO RECICLADO MOLIDO EN REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO”

AUTOR: Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo

TUTOR: Ing. Mg. Galo Núñez

FECHA: Marzo 2016

El informe elaborado como un trabajo experimental tiene como objetivo brindar los resultados de un estudio a compresión de muestras cilíndricas de hormigón en cuya composición se utilizó vidrio molido por reemplazo parcial de la arena.

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

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

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

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1 TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN AL EMPLEAR VIDRIO RECICLADO MOLIDO EN REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO.

1.2 ANTECEDENTES

El vidrio reciclado molido tiene varias aplicaciones, dentro de las cuales están la pintura de autos con arena de vidrio, elaboración de nuevos envases o elementos decorativos; Dentro del campo de la Ingeniería Civil en el área hidráulica como material de protección en tuberías, filtros de agua con vidrio molido en sustitución de la arena; como material constituyente de asfalto para vías, base o sub-base en carreteras, agregado en la elaboración de baldosas, adoquines, bloques con mejores acabados estéticos, y como reemplazo del agregado fino en el hormigón.

Dentro de esta última aplicación la utilización de materiales alternativos como base para elaboración de hormigón es motivo de estudio de varios organismos y universidades a nivel mundial, cuyo objetivo es disminuir el empleo de materias primas no renovables creando materiales de construcción con materiales de reciclado con excelentes características de resistencia y durabilidad.

Los inicios en el estudio del vidrio reciclado como agregado para la elaboración de hormigón se dan por el año de 1970, presentándose el problema de la reacción ASR (álcali-sílice) que provoca grietas superficiales en el hormigón debido a una expansión generada por la reacción entre el sílice amorfo presente en el vidrio con la

pasta de cemento de naturaleza alcalina; para la época este inconveniente parecía insuperable; Actualmente varios estudios, técnicas y la ingeniería de materiales permiten controlar las reacciones álcali-sílice, dentro de las cuales están el empleo de cemento de bajo contenido alcalino, usar aislantes en la superficie del vidrio para impedir las reacciones, usar vidrio menos expansivo como es el de color verde, entre otras soluciones.

Dentro de las investigaciones destacadas realizadas por universidades internacionales están la Universidad Austral de Chile donde se realizó una tesis [1] para el estudio de la influencia que tiene el vidrio en hormigones de diversos grados de resistencia (H15, H20 y H30), cuyos resultados demuestran la inalterabilidad en las propiedades del hormigón en estado fresco y endurecido al adicionar vidrio por reemplazo de arena, incluso se presenta un incremento en la resistencia cuando el porcentaje de adición en la mezcla es de 10%.

Se han realizado varias investigaciones en la Universidad de Michigan en Estados Unidos sobre la calidad de hormigón cuando en su composición se adiciona vidrio molido pulverizado en tamaño promedio de $13\mu\text{m}$ [2], se investigó en cuanto a su resistencia mecánica, resistencia ante la presencia de agua y durabilidad, empleando para cada proceso las normas ASTM. El porcentaje de vidrio empleado va desde el 15 al 23%, cuyos resultados han sido considerablemente positivos [3], obteniéndose un hormigón compatible con el de composición normal, los resultados demuestran que la adición de vidrio mejora la absorción de humedad y la resistencia dando mayor durabilidad, otra característica mejorada ha sido la resistencia a la abrasión y resistencia a largo plazo con un contenido de 20% de vidrio pulverizado, comprobado en el ensayo de muestras de pavimentos y bordillos, ejecutados con procesos convencionales y controlados durante dos años.

En el Ecuador no se ha dejado de lado la investigación en este aspecto [4], las islas Galápagos conocidas internacionalmente por su maravilloso ecosistema en pro de minimizar el impacto ambiental conjuntamente con el apoyo de la WWF (World Wildlife Fund) y como pionera la Isla Santa Cruz se ejecuta en el año 2013 una

consultoría para estudiar de la factibilidad de usar el vidrio reciclado de la isla en materiales de construcción.

En la consultoría elaborada por el Municipio de la Isla Santa Cruz [5] “Comercialización de Vidrio Molido a Base de Vidrio Reciclado para Aplicaciones Secundarias” se investigaron muestras de adoquines, bloques y cilindros de hormigón con diferentes porcentajes de vidrio, de lo cual se obtuvo excelentes resultados para el 25% de vidrio molido, obteniéndose similares o mejores resistencias en las probetas.

En la Universidad Politécnica Nacional se realizó una tesis para la “Obtención de Adoquines Fabricados con Vidrio Reciclado como Agregado” [6] donde elaboraron muestras al peso que incorporan vidrio desde el 5, 15, 25 y 35 por ciento, los resultados proporcionados indican que usar el vidrio reciclado incide favorablemente en la resistencia al desgaste del adoquín, la resistencia a la compresión cumple con la especificada por la norma INEN 1488 cuando el porcentaje empleado está entre el 15% y 20%.

Como se indica anteriormente se tiene referencias de varias investigaciones con resultados favorables documentados, que presentan al vidrio reciclado molido como un material prometedor constituyente para elaboración de hormigón.

1.3 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad una de las mayores problemáticas y preocupaciones a nivel mundial es el cuidado del medio ambiente, está en boga el reciclaje de materiales que pueden ser empleados en todo tipo de procedimientos permitiendo de esa manera reducir la contaminación, crear nuevos productos con menos inversión de materia prima, minimizar la explotación de recursos no renovables y crear nuevas fuentes energéticas y económicas, es aquí donde el reciclaje del vidrio toma importancia para este trabajo.

El vidrio como material reciclado tiene varias aplicaciones desde decorativas hasta constructivas, con esta última, toneladas de botellas pueden ser empleadas disminuyendo residuos, costos en la construcción y colaborando al cuidado del ambiente.

El estudio de las propiedades mecánicas al incorporar vidrio para elaborar muestras de hormigón se ejecutaría empleando agregados de la provincia de Pastaza, la fuente para la obtención del vidrio es la cabecera del cantón Mera, cuya extensión geográfica es 36115.06 Ha [7], su población es de 1521 habitantes [8] y aproximadamente el 7.35% de esta se dedica a la construcción [9], la producción diaria de desechos sólidos en el cantón Mera se encuentra alrededor de 7.75 ton/día [10]. Estos datos ratifican que se contará con la materia base para la experimentación.

La finalidad de la investigación es elaborar probetas de hormigón reusando un recurso en este caso el vidrio el cual no tiene límite en la cantidad de veces que puede ser procesado sin perder sus propiedades (Resistencia a la compresión alrededor de 10000 kg/cm^2) en reemplazo parcial de la arena, disminuyendo así la explotación de un recurso no renovable, considerándose una alternativa sustentable al obtener un hormigón con características adecuadas de resistencia mecánica, trabajabilidad y sin esponjamiento, esto gracias a que el vidrio está constituido por arena o cuarzo que mantendrían inalterables las características principales del hormigón (resistencia y densidad), la capacidad de absorción del vidrio es prácticamente cero, a la vez se obtiene un mejor acabado estético y puede ser apreciado en sitios de poca visibilidad debido a que refleja los rayos solares.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Analizar la resistencia a compresión de probetas cilíndricas de hormigón dosificadas para un f_c de 210 kg/cm^2 empleando en su composición vidrio reciclado molido en granulometrías adecuadas remplazando parcialmente al agregado fino.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Determinar la variación en la resistencia a compresión del hormigón al incrementar el porcentaje de vidrio reciclado molido en la mezcla.
- Establecer el porcentaje adecuado de vidrio en la composición de la mezcla, que permita mantener adecuadas características de resistencia a la compresión en el hormigón.
- Comparar los resultados conseguidos del ensayo de probetas con adición de vidrio molido en reemplazo parcial de la arena y los que se obtiene de una probeta elaborada con hormigón común.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

La investigación se basa en el estudio de la resistencia a compresión de probetas cilíndricas de hormigón con adición de vidrio molido, sustituyendo parcialmente el agregado fino. Para el desarrollo del tema se requiere conocer conceptos sobre el hormigón, sus componentes y propiedades, el vidrio y sus diferentes características, entre otros aspectos descritos a continuación.

2.1.1 Hormigón

El hormigón es una mezcla homogénea de áridos finos, gruesos, un aglomerante y agua en las debidas proporciones para que fragüe y endurezca. [11]

Aglomerantes

Material que en estado de pasta (polvo fino más agua) puede ser moldeado y mezclado con otros materiales, gracias a su adherencia permite unirlos, endureciéndolos y formando un solo cuerpo con adecuada resistencia mecánica. Estos pueden ser:

Hidráulicos.- Como el cemento y cal hidráulica, que endurecen en presencia del agua, incluso bajo esta. [12]

Aéreos.- En este grupo encontramos a la cal, el yeso, la magnesia, que son aglomerantes que fraguan en presencia del aire, no son adecuados en exposición al agua.

Hidrocarbonatados.- Formado por hidrocarburos en estado líquido o viscoso, como el alquitrán y el betún que adquieren dureza al evaporarse sus disolventes. [13]

Para modificar ciertas características del hormigón [14] se añade durante el proceso de amasado productos o materiales específicos denominados aditivos, los que permiten impermeabilizar, dar color al hormigón, fluidificar, variar la ductilidad, tiempo de fraguado, durabilidad, otros reducen apreciablemente el contenido de agua como los superplastificantes generando hormigones manejables y resistentes.

El hormigón simple tiene una elevada resistencia a la compresión pero su comportamiento a tensión, flexión y corte no es considerablemente eficiente, motivo por el cual en la mayoría de obras civiles se lo emplea en combinación con acero de refuerzo, conformando el denominado hormigón armado.

En el campo de la ingeniería civil el hormigón constituye una de los materiales más versátiles para construir, tiene la capacidad de adaptarse a la forma del encofrado ofreciendo gran resistencia y durabilidad. Sus usos van desde cimientos y pilotes, muros de cimentación, muros de contención, losas, elementos estructurales como vigas y columnas, carreteras, aceras, etc. Constituyendo caminos, edificaciones, puentes, obras hidráulicas, entre muchas otras.

Componentes del hormigón

Cemento

Conglomerante formado a partir de una mezcla de caliza y arcillas calcinadas, con adición de yeso, que tiene la propiedad de fraguar y endurecer al contacto con el agua, adquiriendo resistencias considerables. Para la elaboración de probetas de hormigón este debe cumplir las especificaciones de la norma INEN 152. Se clasifica según su:

Composición Química.- Forman parte de esta categoría los cementos portland, puzolánicos, con cenizas volantes, sideropuzolanicos, naturales, escorias, siderúrgicos, aluminosos sulfatados. [12]

Utilización.- Empleados para propósitos especiales en obras características están los cementos resistentes a los sulfatos, de alta resistencia inicial, de bajo calor de hidratación, resistentes al agua de mar, de albañilería, cementos blancos. [15]

Resistencia.- Acorde a la resistencia a la compresión del hormigón a una edad determinada, a los 28 días de edad para hormigones de uso normal, y a los 90 días para uso especial.

Fraguado.- Se considera en base al tiempo de su fraguado como lentos o rápidos, tomando como base 1 hora reloj.

El tipo de cemento más comúnmente empleado es el cemento hidráulico portland constituido por aproximadamente 60% de caliza y 40% de arcilla que es mezclado, llevado a hornos con grandes temperaturas y finalmente mediante pulverización se obtiene el denominado clinker que en conjunto con el yeso y demás aditivos constituyen los distintos tipos de cemento portland.

En la norma ecuatoriana INEN 152 [16] se denomina al cemento portland como cemento hidráulico producido por pulverización de clinker, consistente esencialmente de silicatos de calcio hidráulicos cristalinos, conteniendo usualmente uno o más de los siguientes elementos: agua, sulfato de calcio, hasta 5% de piedra caliza y adiciones de proceso.

La norma mencionada anteriormente clasifica a este tipo de cemento en cinco categorías, cuya base de materiales es la misma pero con la dosificación se varían algunas de las propiedades, formando cemento para determinados fines dependiendo la aplicación.

Tipo I.- Cemento de uso común utilizado en la construcción en general, donde el hormigón no se encontrará expuesto a sulfatos. Dentro de esta categoría se tiene [17] al cemento Tipo IA con aditivo incorporador de aire, Tipo IE que contiene alrededor del 20% de puzolana, y el Tipo IP con un 40% de puzolana. En el Ecuador se usa cemento Tipo IP o IE, cuyos beneficios son la resistencia a aguas con sulfatos y generar menor calor de hidratación.

Tipo II.- Cemento con menor calor de hidratación que el anterior y que resiste el ataque de sulfatos moderadamente.

Tipo III.- Cemento de fraguado rápido y que alcanza una resistencia elevada en poco tiempo (aproximadamente 24 horas) empleado en obras que se encuentran en contacto con el agua, su inconveniente es el elevado calor de hidratación que se genera. [18]

Tipo IV.- Cemento de fraguado lento, empleado en obras civiles de gran tamaño debido a su bajo calor de hidratación. [18]

Tipo V.- Cemento usado en ambientes expuestos a sulfatos, gracias a la resistencia que presenta ante estos. [18]

El cemento portland debe ser lo suficientemente fino para hidratarse correctamente y lo suficientemente grueso para emitir menos calor de hidratación y proporcionar la resistencia requerida. Este es distribuido en sacos, los mismos que deben ser almacenados en un lugar seco y deben ser usados preferentemente antes del mes de suministrado.

La densidad real del cemento esta alrededor de los 3 kg/dm^3 , valor que para dosificaciones es determinado mediante ensayos de laboratorio en el que se emplea el método del picnómetro con gasolina.

Áridos

Para la norma INEN 694 [19] es el material granular como arena, grava, piedra triturada o escoria de altos hornos de hierro, que se usa con un cementante para elaborar hormigón o mortero de cemento hidráulico.

Estos se clasifican según el tamaño en áridos gruesos (grava) y áridos finos (arena), para la elaboración de morteros deben cumplir con la norma INEN 872, que indica las granulometrías adecuadas. Los agregados tanto grueso como fino conforman cerca de las $\frac{3}{4}$ partes del volumen total de hormigón elaborado, al ser más económicos que el cemento se propicia emplear la cantidad adecuada de áridos que minimice el costo global del hormigón.

Una de las principales funciones de los agregados es transmitir su resistencia a la compresión y abrasión al concreto elaborado con ellos, motivo por el cual se recomienda que estos sean fuertes, durables y limpios, este último aspecto garantiza la adherencia con la pasta de cemento.

El contenido de humedad de los agregados se basa en la norma INEN 862, factor que interviene al momento del fraguado debido a que el cemento reduce su volumen los agregados actúan disminuyendo los cambios volumétricos en el conjunto.

Árido Fino (Arena)

Material que pasa la malla número 4, es decir agregados con tamaños menores a los 5mm. Los áridos recomendados son aquellos de tipo silíceo, calizas solidas y densas, las mejores arenas son las de rio, las rocas sedimentadas o volcánicas son motivo de análisis, no se deben emplear gravas originadas de calizas blandas, feldespatos, piritas, yesos o rocas porosas, las provenientes de minas deben lavarse por contener arcilla.

Una condición de la arena para aceptarse como material constituyente del hormigón es que esté limpia y crujiente al apretar en los dedos, su función es la de llenante por

lo cual debe estar bien graduada y proporcionar manejabilidad al hormigón. Si su textura tiende a ser suave y la forma es redondeada se necesitara menos cantidad de agua para el amasado.

Árido Grueso (Grava-Ripio)

El material cuyo tamaño es mayor a 5mm (Tamiz N° 4) [20]. En lo que se refiere al agregado grueso es preferible que sean triturados, estos mejoran la adherencia con la pasta proporcionando una mayor resistencia.

Es preferible que sean agregados cúbicos o esféricos ya que necesitan menor cantidad de pasta para cubrir su superficie, al ser angulosos dificultan la trabajabilidad, también deben evitarse el uso de gravas alargadas porque están no proporcionan resistencias adecuadas además de que acumulan agua bajo su superficie.

Los agregados fino y grueso deben tener densidades reales mayores a 2.6 g/cm^3 para considerarse válidos en dosificaciones de hormigón.

Propiedades de los áridos grueso y fino

Densidad Aparente Suelta

Es la relación entre la masa del agregado suelto para el volumen del recipiente que lo contiene. La norma INEN 858 determina el procedimiento para determinar este parámetro.

Densidad Aparente Compactada

Definido como la división de la masa del agregado compactado en un molde cilíndrico en tres capas con 25 golpes de varilla, para el volumen del recipiente. El proceso de determinación de este valor se rige a la norma INEN 858.

Densidad Real de los Agregados

Esta es igual a la masa de material en condición de humedad saturado superficie seca es decir cuando no tiene humedad superficial, pero los poros de las partículas están saturados de agua, dividido para el volumen de material.

En el caso del agregado fino se determina mediante el uso del método del picnómetro siguiendo la norma INEN 856, donde la densidad real es la masa en el aire de un volumen de arena para la masa en el aire de un volumen igual de agua.

Para el agregado grueso se ejecuta el ensayo con la norma INEN 857, empleando el método de la canastilla.

Capacidad de Absorción de los Agregados

Es la cantidad de agua que se necesita para que el material alcance la condición saturada superficie seca, este estado indica que el agregado se encuentra en equilibrio. El material árido será de mejor calidad cuando este parámetro tenga un menor valor.

Relaciona la masa de agua en el material en estado natural y la masa cuando el material es secado al horno, denominada también Contenido de Humedad cuyo ensayo se basa en la norma INEN 862.

Granulometría de los Agregados

Es el ensayo que permite obtener las distribuciones adecuadas de material granular en cuando a tamaño según varios tamices que responden a la Serie de Tyler, ensayo correspondiente a la norma INEN 872. Con este proceso se consigue una mezcla de agregados finos y gruesos en proporciones óptimas para elaborar hormigón.

Acorde a la norma ASTM E11 los tamices para el agregado grueso son 2", 1½", 1", ¾", ½", 3/8", N°4 y para el agregado fino la serie de tamices son 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100.

Curva Granulométrica de los Agregados

La norma ASTM C33 determina límites para la curva granulométrica dentro de los cuales se verifica si el árido empleado es apto para elaborar hormigón, si la curva esta bajo la de la norma el agregado es muy grueso, y si esta por sobre la curva de la norma el agregado es muy fino.

Tabla N°1. Límites de Granulometría Agregado Grueso

Tamiz		Limite (% que pasa)	
ASTM C33	Abertura (mm)	Inferior	Superior
2"	50.8	100	100
1 1/2"	38.0	95	100
1"	25.4	-	-
¾"	19.0	35	70
½"	12.5	-	-
3/8"	9.5	10	30
N°4	4.76	0	5

Fuente.- ASTM C-33. Especificación Normalizada para Agregados en el Concreto

Tabla N°2. Límites de Granulometría Agregado Fino.

Tamiz		Limite (% que pasa)	
ASTM C33	Abertura (mm)	Inferior	Superior
3/8"	9.50	100	100
N°4	4.75	95	100
N°8	2.38	80	100
N°16	1.19	50	85
N°30	0.60	25	60
N°50	0.30	10	30
N°100	0.15	2	10

Fuente.- ASTM C-33. Especificación Normalizada para Agregados en el Concreto

Módulo de Finura del Agregado Fino

Denominado también como módulo granulométrico, se obtiene mediante la suma de los porcentajes retenidos en los tamices de la Serie de Tyler, hasta el tamiz N°100, esto dividido para 100, conforme el módulo de finura disminuye se tiene un agregado más fino, este valor debe estar entre 2.3 y 3.1 para aceptarse apta el arena en la elaboración de hormigón. [21]

Tamaño Nominal Máximo del Agregado Grueso

Denominado como el tamaño del tamiz comercial anterior al tamiz en el que se retuvo 15% o más de agregado grueso.

Agua de Amasado

Agua empleada para conseguir la mezcla entre el cemento y los áridos, formando un material trabajable, plástico y moldeable [22]. La cantidad estará determinada por la dosificación calculada, el exceso cuando es evaporado provoca huecos en el hormigón reduciendo la resistencia, en contraparte al emplear menos agua de la necesaria se reduce la trabajabilidad dificultando la colocación en obra.

Se debe tener en cuenta no emplear agua con contenido de grasas, aceites, hidratos de carbono, materia orgánica, sulfatos, debido a que disminuyen la resistencia en el hormigón, el agua para amasado debe ser agua que se pueda beber. Esta debe cumplir requisitos expuestos en la norma INEN 2617.

Agua de Curado

Actúa durante el proceso de fraguado y primer endurecimiento del concreto, evitando reacciones prematuras, mejorando la hidratación del cemento e impidiendo desecación.

Relación Agua -Cemento

El agua en exceso debilita al hormigón, por tal circunstancia este parámetro es de gran importancia en cuanto al control de calidad del concreto. Cuando se tiene una mayor relación agua cemento (A/C) la resistencia del hormigón disminuye, de esta relación también depende la durabilidad, la fluencia y la retracción.

Proceso de elaboración de probetas de hormigón

La elaboración de las probetas con los diferentes porcentajes de vidrio seguirá un mismo procedimiento descrito en la norma INEN 1576. Cuyo proceso se implica:

Dosificación

Consiste en el diseño de la mezcla estableciendo las cantidades de cada uno de los materiales que conformaran el hormigón, elaborada en base a las características de granulometría, propiedades físico químicas de los agregados y tipo de cemento, con el propósito de obtener propiedades adecuadas en el hormigón.

Se puede elaborar una dosificación al peso o al volumen.

Dosificación Método de la Universidad Central

La dosificación se basa en las características de los materiales a emplearse, y se sustenta en las tablas presentadas a continuación:

Tabla N°3. Relación A/C según resistencia a la compresión del hormigón

f`c a los 28 días de edad (kg/cm²)	A/C
450	0.37
420	0.40
400	0.42
350	0.47
320	0.51
300	0.52
280	0.53
250	0.56
240	0.57
210	0.58
180	0.62
150	0.70

Fuente.- GARZÓN M., “Seminario de Graduación, Investigación sobre el Modulo de Elasticidad del Hormigón”, Universidad Central del Ecuador, p.47, Quito (2010).

Tabla N°4. Cantidad de pasta según asentamiento en el hormigón

Asentamiento (cm)	Cantidad de Pasta CP
0 – 3	POV + 2% + 3%(POV)
3 – 6	POV + 2% + 6%(POV)
6 – 9	POV + 2% + 8%(POV)
9 – 12	POV + 2% + 11%(POV)
12 – 15	POV + 2% + 13%(POV)

Fuente.- GARZÓN M., “Seminario de Graduación, Investigación sobre el Modulo de Elasticidad del Hormigón”, Universidad Central del Ecuador, p.47, Quito. (2010).

Tabla N°5. Datos requeridos para dosificar

Datos	Nomenclatura
Resistencia del Hormigón a los 28 días	f`c
Asentamiento en el Cono de Abrams	
Densidad real del cemento	DRC
Densidad real de la arena	DRA
Densidad real del ripio	DRR
Porcentaje optimo de ripio	POR
Porcentaje optimo de arena	POA
Densidad optima del agregado	DOAg
Densidad aparente suelta de la arena	DASA
Densidad aparente suelta del ripio	DASR
Densidad aparente compactada de la arena	DACA
Densidad aparente compactada del ripio	DACR

Mezcla

La incorporación y mezcla se ejecuta cuidadosamente para obtener homogeneidad. Este puede ser manual o mecánico.

Prueba del Cono de Abrams

La consistencia es una propiedad verificada con esta prueba, que consiste en llenar un molde metálico con tres capas de mezcla apisonadas con 25 golpes de varilla, una vez retirado el molde se mide el asentamiento que se da en la masa de hormigón con respecto a la altura inicial dada por el molde.

Llenado de moldes

Este proceso se ejecuta conforme a la norma mencionada anteriormente, básicamente consiste en el llenado de cilindros normalizados, con tres capas compactándolas cada

una con 25 golpes de espiral con la varilla compactadora, para sacar el exceso de aire se emplea un martillo de goma con el que se dan golpes laterales que van de nueve a doce.

Fraguado

Reacción química producida entre el cemento y el agua que provoca el endurecimiento del hormigón, motivo por el cual las probetas deben almacenarse en un lugar aislado del sol para evitar evaporación prematura del agua de amasado, esto durante 24 horas.

Entre los factores que intervienen en la duración del fraguado esta la finura del cemento, mientras más fino el proceso es más rápido, lo mismo sucede al emplear menos agua, en cuanto a los agregados estos deben estar libres de materia orgánica ya que eso retrasaría el fraguado, las elevadas temperaturas minimizan este tiempo.

Curado

Transcurridas 24 horas las probetas son desmoldadas e introducidas en una cámara de curado que mantiene la humedad del hormigón, consiguiendo que la reacción química del cemento continúe. La continuidad en el proceso de hidratación del cemento mejora la durabilidad, resistencia mecánica, estabilidad volumétrica, resistencia al desgaste e impermeabilidad. La temperatura adecuada para el curado oscila entre los 22 a 24 °C, y el agua a usarse para este procedimiento debe ser potable.

Ensayo de Compresión

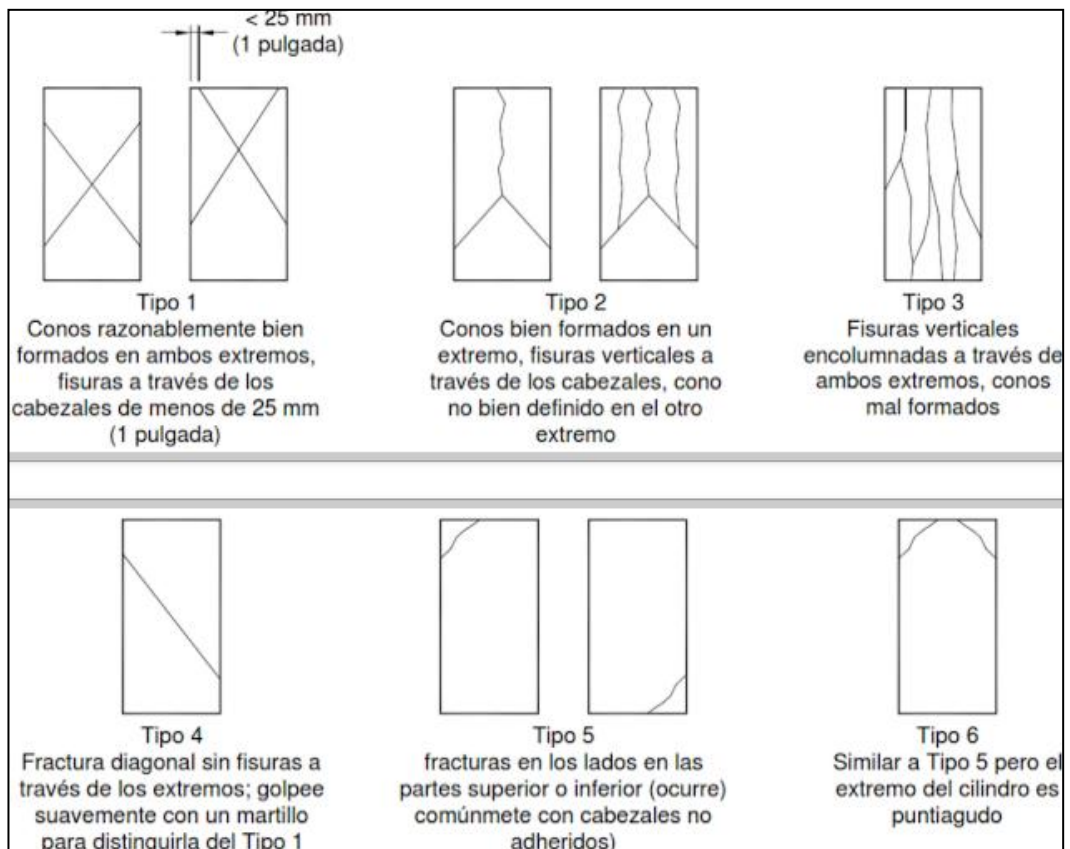
Consiste en aplicar una carga axial de compresión a los cilindros de hormigón a una velocidad entre 3.53 a 5.30 kN/S hasta que ocurra la falla, la resistencia a compresión de la probeta se obtiene dividiendo la carga máxima alcanzada para el área de la sección transversal de la muestra ensayada. INEN 1573

Tipos de Falla en Cilindros de Hormigón Ensayados a Compresión

Las probetas cilíndricas de hormigón presentan ligeras fisuras de adherencia producto de la retracción del fraguado, una vez que se aplica la carga de compresión estas fisuras aumentan en número y longitud de manera lineal, al alcanzar el 90% del esfuerzo de rotura las fisuras incrementan exponencialmente hasta convertirse en rajaduras que provocan la rotura del hormigón. [23]

La norma INEN 1573 indica que el cilindro de hormigón debe ser sometido a compresión hasta que se haya alcanzado la capacidad máxima y se observe que la carga disminuye constantemente, a la vez en la probeta se identifique un patrón de falla específico. Los Tipos de falla se encuentran en el Anexo A de la norma mencionada.

Gráfico N°1. Tipos de Fallas en Probetas de Hormigón a Compresión



Fuente.- Tipos de fallas en probetas de hormigón a compresión. NTE INEN 1573

Propiedades del hormigón fresco

Las propiedades que se estudiarán en esta investigación serán la Consistencia medida con el ensayo del Cono de Abrams, Trabajabilidad, Homogeneidad, y Peso Específico.

Propiedades del hormigón endurecido

Para el ensayo previsto se requerirán conocer dos propiedades del hormigón endurecido:

Densidad

Se define como el peso por unidad de volumen, depende generalmente de cada uno de los materiales empleados y de la densidad real. Esta puede modificar su valor hasta en un 7% con respecto al inicial, con el tiempo debido a la evaporación del agua de amasado. Generalmente el valor de la densidad oscila entre 2.35 y 2.55 kg/dm³.

Resistencia a la Compresión

Es la máxima carga axial de compresión que alcanza una determina sección de hormigón antes de la falla, este valor es la medida más común de desempeño empleada por los ingenieros civiles al momento de diseñar estructuras de todo tipo.

Normalmente se adopta como patrón la resistencia a la edad de 28 días, donde el hormigón alcanza gran parte de la resistencia total.

2.1.2 Vidrio

El vidrio se atribuye como descubrimiento de los fenicios o egipcios 3000 años A.C. teniendo conciencia de que en esa época carecían de equipos necesarios para la fabricación como son los hornos de fusión a altas temperaturas. [24]

La ASTM define al vidrio como un producto inorgánico de fusión, el cual se enfría hasta un estado rígido pero sin llegar a la cristalización.

Este material se presenta como sólido, pero es un fluido de alta viscosidad, su aspecto es duro y por lo general de color transparente. Es un material frágil, de subestructura amorfa. Se diferencia del cristal debido a que este no presenta una subestructura amorfa, sus moléculas están ordenadas, por lo general y en forma simplificada para tener una idea clara podríamos decir que vidrio son las botellas y contenedores de alimentos, y cristal son los ventanales y vajilla.

Este componente conforma la base de la investigación conjuntamente con el hormigón, sus propiedades y proporción determinarán los resultados al ensayar las probetas.

Componentes del Vidrio

Esta constituido primordialmente por sílice derivado de arena, cuarzo o pedernal, constituye alrededor de las $\frac{3}{4}$ partes. Otros componentes son el óxido de sodio como fundente, óxido de calcio como estabilizante químico – mecánico, óxido de aluminio que mejora la resistencia mecánica, al coque térmico, eleva la refractariedad, disminuye la dilatación térmica. Además se usa materiales como descolorantes, colorantes, fluidificantes, opacificantes, etc.

Fabricación del Vidrio

Las materias constituyentes del vidrio son molidas y almacenadas, mediante sistemas de transportación a gravedad son pesados y dosificados para proceder a la mezcla,

una vez homogeneizado es introducida en hornos de fusión a temperaturas alrededor de los 1500°C, una vez fundido en su totalidad se lleva al refinador, para proceder finalmente a la tarea de figurado mediante estirado, soplado, presión, etc.

Propiedades del Vidrio

Este puede ser empleado en una variedad de aplicaciones que va desde botellas, vasos, ventanas, adornos, etc. Las propiedades de los mismos dependerán de su composición, forma del envase, grado de recocido, entre otras.

El color original del vidrio es verde, y es el menos perjudicial al momento de usarlo como reemplazo de la arena en el hormigón, ya que reduce la reacción álcali-sílice. Otra propiedad del vidrio la mala conductividad del calor y electricidad, resultando conveniente en cuanto al aislamiento térmico y eléctrico.

Sus propiedades se mantienen inalterables luego de ser reciclado.

Propiedades Físicas – Mecánicas

Fragilidad

Ocasionado debido a tensiones localizadas generadas por fisuras imperceptibles en la superficie, induciendo a la disminución de su resistencia mecánica.

Dureza

Su dureza se considera alrededor de 6 a 7 en las escala de Mohs, se usa el mismo valor tanto para vidrio recocido, crudo o templado. [25]

Elasticidad

Al ser frágil solo presenta un comportamiento plástico cuando esta a altas temperaturas, se deforma plásticamente desde los 600 °C y se funde a los 1000°C.

Peso Específico

Para el vidrio comercial se una generalmente 2.59 g/cm^3 .

Resistencia

Resistencia a la Tracción

Está en función de las micro fisuras presentes en la superficie, teóricamente se considera cinco veces más resistente que el acero 70000 kg/cm^2 , en la práctica está estimada en alrededor de 1000 kg/cm^2 para vidrio templado y 400 kg/cm^2 para vidrio recocido. [26]

Resistencia a la Flexión

Es similar a la resistencia a la tracción. Las fuerzas aplicadas en el vidrio se concentran en los defectos superficiales y pueden propagarse efectivamente debido a que es un material homogéneo.

Resistencia a la Compresión

Esta alrededor de los 10000 kg/cm^2 . Lo que indica su alta resistencia a fuerzas que tienden a comprimirlo. [25]

Tipos de Vidrio

Vidrio Templado

Vidrio con propiedades mejoradas debido a un proceso de cambio súbito de temperatura que mejora su resistencia a la flexión y choque térmico, en caso de fragmentarse lo hará en pedazos pequeños siendo más seguro para evitar accidentes.

Vidrio Laminado

Formado por la unión de dos o más laminas de vidrio con una de PVB en el centro, lamina elástica y adherente, esto permite mantener al vidrio unido cuando sufre un impacto, permitiéndolo ser más resistente.

Vidrio Armado

Vidrio armado con malla metálica en su interior que permite mantener juntos los pedazos en caso de rotura. Inadecuado a altas temperaturas. [27]

Vidrio Resistente a altas temperaturas

Se obtiene este vidrio añadiendo a su composición boro silicato de sodio el cual reduce el coeficiente de dilatación térmica. El resultado es un material con propiedades de aislación térmica sin modificaciones en su resistencia.

Reacción Álcali – Sílice

Se genera por la presencia simultánea de ciertas condiciones, el agregado de vidrio reciclado molido debe contener gran cantidad de sílice amorfo no cristalino que reacciona con la pasta de cemento que contiene álcalis, en presencia de la humedad que provoca la reacción, formando un gel viscoso que esta propenso a la expansión que genera grietas superficiales en el hormigón.

Este problema es solucionado empleando cementos de bajo contenido alcalino, adicionando sales de litio como neutralizador, usar vidrio menos expansivo preferentemente de color verde, etc.

Propiedades Medioambientales

Por cada tonelada de vidrio reciclado se puede reducir el consumo de energía en 1200kg de materias primas. [28]

Reciclaje del Vidrio

El reciclaje del vidrio debe ser complementado con la reutilización de este recurso, permitiendo de esta manera reducir el empleo de materias no renovables, disminución en el consumo de energía y combustibles empleados al momento de producir nuevos productos de vidrio, reducción en la emisión de gases dañinos para el medio ambiente, no tiene límite en la cantidad de veces que puede ser reprocesado. Este material puede formar parte de la elaboración del hormigón al presentar inalterables sus características una vez triturado.

2.2 HIPÓTESIS

El hormigón con vidrio reciclado molido en reemplazo parcial del agregado fino permite mantener o mejorar su resistencia a la compresión.

2.3 SEÑALAMIENTO DE LAS VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

2.3.1 Variable Independiente

El hormigón con vidrio reciclado molido en reemplazo parcial del agregado fino.

2.3.2 Variable Dependiente

Resistencia a la compresión del hormigón.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

INVESTIGACIÓN APLICADA

El estudio en cuestión tiene como propósito determinar una característica importante en el hormigón simple empleando un material de reciclaje en su composición, de tal manera que permita establecer la finalidad práctica y factible de su uso, considerándolo como material alternativo para futuras obras civiles.

INVESTIGACIÓN DE LABORATORIO

Para el desarrollo de la investigación y la obtención de resultados se requiere elaborar probetas de hormigón simple y probetas con adición de vidrio reciclado molido en diferentes porcentajes en reemplazo parcial del árido fino, dosificadas y ensayadas en un laboratorio que preste las facilidades y equipo necesario para este fin.

INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

La investigación es experimental debido a que se necesita ejecutar ensayos de compresión en diversas probetas de hormigón simple dosificadas cuidadosamente en laboratorio con varios porcentajes de vidrio reciclado molido en reemplazo parcial del agregado fino, determinando el porcentaje óptimo de vidrio cuya influencia en la resistencia del hormigón a varias edades sea el admisible. Estos son estudios poco analizados en el medio actualmente y con este informe se da paso a posibles perfeccionamientos y aplicaciones futuras.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

En esta investigación el objeto de estudio son probetas cilíndricas de hormigón, por lo cual no se puede cuantificar el universo. Con la finalidad de obtener los mejores resultados que aporten confiabilidad y basado en la norma ASTM C192 se elaboran y ensayan a compresión tres probetas para el espécimen de hormigón sin vidrio y tres probetas por cada porcentaje de vidrio reciclado molido adicionado a la mezcla como reemplazo parcial del agregado fino, esto para las edades de 7, 14 y 28 días respectivamente, teniendo un total de 45 muestras. Esto permitirá determinar la influencia de cada porcentaje de vidrio en la resistencia a compresión del hormigón.

3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.3.1 Variable Independiente

El hormigón con vidrio reciclado molido en reemplazo parcial del agregado fino.

Concepto	Categoría	Indicador	Ítems	Técnicas e instrumentos
El hormigón con adición de vidrio reciclado molido es una mezcla de agua, cemento hidráulico, áridos, y un porcentaje de vidrio molido en reemplazo parcial de la arena, con el objeto de analizar su influencia en la resistencia a la compresión.	Hormigón	Resistencia a la compresión ($f'c$)	¿Qué dosificación nos garantiza un hormigón con adecuada resistencia a la compresión?	Ensayos de laboratorio. Normas INEN, ASTM.
	Vidrio	Calidad	¿Cuáles son las características del vidrio para ser empleado en mezclas de hormigón?	Investigación bibliográfica y experimental.
		Cantidad	¿Cuál es el porcentaje óptimo para elaborar hormigón?	Ensayos de laboratorio. Análisis y comparación de resultados.

Cuadro 1. Operacionalización de la Variable Independiente.

3.3.2 Variable Dependiente

Resistencia a la compresión del hormigón.

Concepto	Categoría	Indicador	Ítems	Técnicas e instrumentos
La resistencia a la compresión de una probeta de hormigón es la carga axial de compresión máxima alcanzada por la sección de hormigón antes de la falla.	Calidad del hormigón	Calidad	¿Cuál será la calidad de la probeta de hormigón?	Observación Norma INEN, ASTM
		Muestreo	¿Cuál es el asentamiento mínimo en el cono de Abrams?	Norma INEN 1763
	Ensayo de compresión	Volumen Peso	¿Cuál es el tamaño nominal de la probeta?	Normas INEN, ASTM.
		Equipo Materiales	¿Qué equipo y materiales se debe usar para elaborar y ensayar la probeta de hormigón?	Norma INEN 1 576

Cuadro 2. Operacionalización de la Variable Dependiente.

3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Preguntas Básicas	Explicación
1. ¿Para qué?	Analizar la resistencia a compresión del hormigón al emplear vidrio reciclado molido en reemplazo parcial del agregado fino.
2. ¿De qué personas u objetos?	De probetas de hormigón simple elaboradas con diversos porcentajes de vidrio molido.
3. ¿Sobre qué aspectos?	Influencia en la resistencia a la compresión de probetas de hormigón.
4. ¿Quién?	Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo
5. ¿Dónde?	Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Técnica de Ambato.
6. ¿Cómo?	Mediante pruebas y ensayos de laboratorio.

Cuadro 3. Recolección de Información

3.5 PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

3.5.1 Plan de Procesamiento de la Información

- Revisión crítica, técnica y detallada de la información recolectada.
- Tabulación de datos acorde a las variables de la hipótesis, manejo de la información.
- Representación gráfica de resultados.

3.5.2 Plan de Análisis

- Analizar e interpretar los resultados obtenidos, haciendo referencia a los objetivos e hipótesis.
- Verificación de la hipótesis, determinación de conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 RECOLECCIÓN DE DATOS

Previa elaboración de la dosificación de las probetas de hormigón que permita obtener una adecuada resistencia a la compresión a cada edad de ensayo 7, 14 y 28 días respectivamente, se procede a realizar ensayos a los agregados procedentes de la Provincia Pastaza y al cemento a ser usado en este estudio, tales como la granulometría, densidad aparente suelta y compactada del agregado grueso y fino, densidad real del cemento, densidad aparente compactada de la mezcla de agregados, densidad real de los agregados y la capacidad de absorción.

Se realizó cada ensayo siguiendo la respectiva norma Inen, para obtener resultados idóneos, los datos recolectados son:

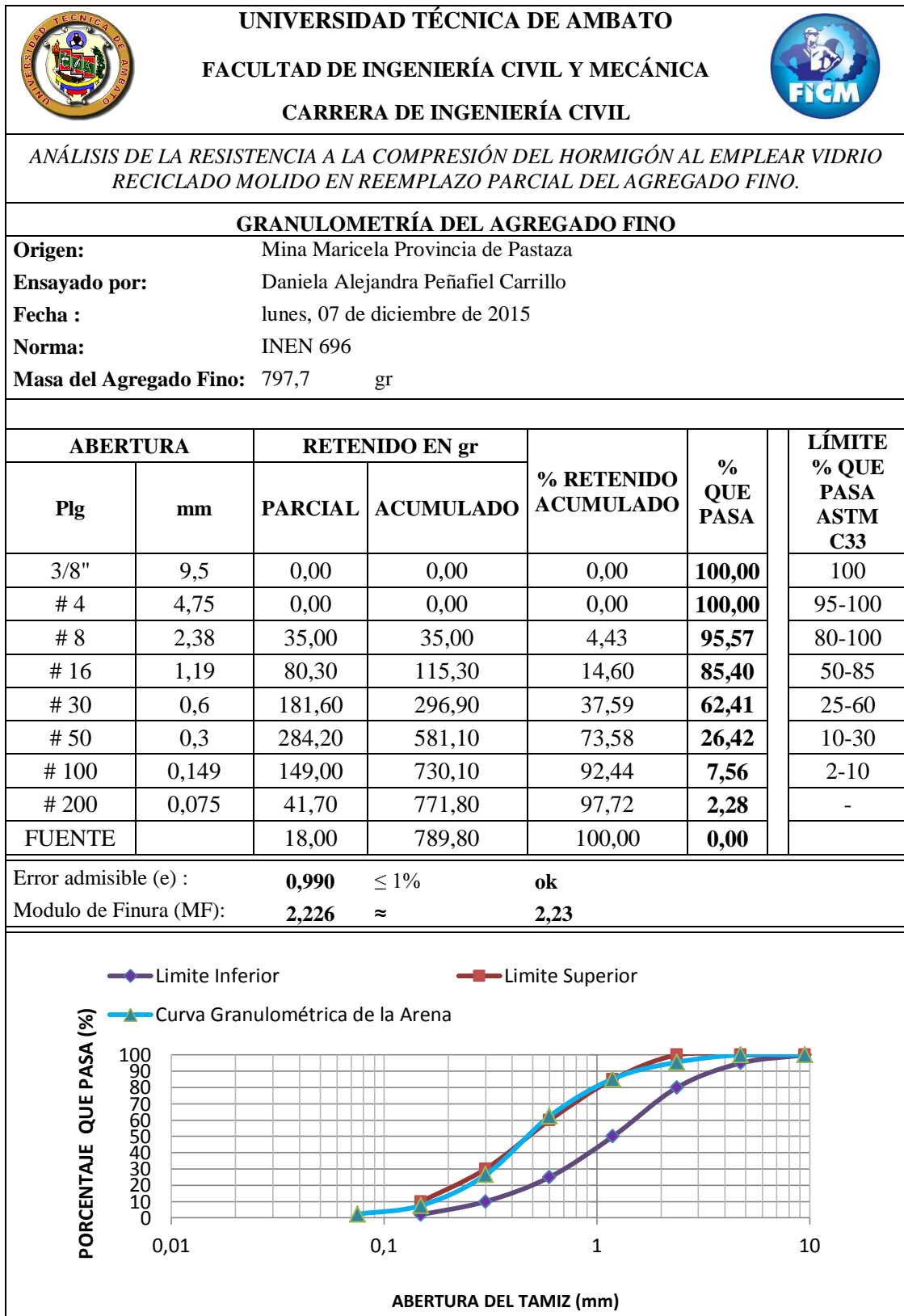
4.1.1 Ensayos Realizados a los Agregados

Los ensayos realizados a los agregados a ser empleados en la elaboración de las probetas de hormigón, son ejecutados en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato.

Ensayo N°1.- Análisis Granulométrico

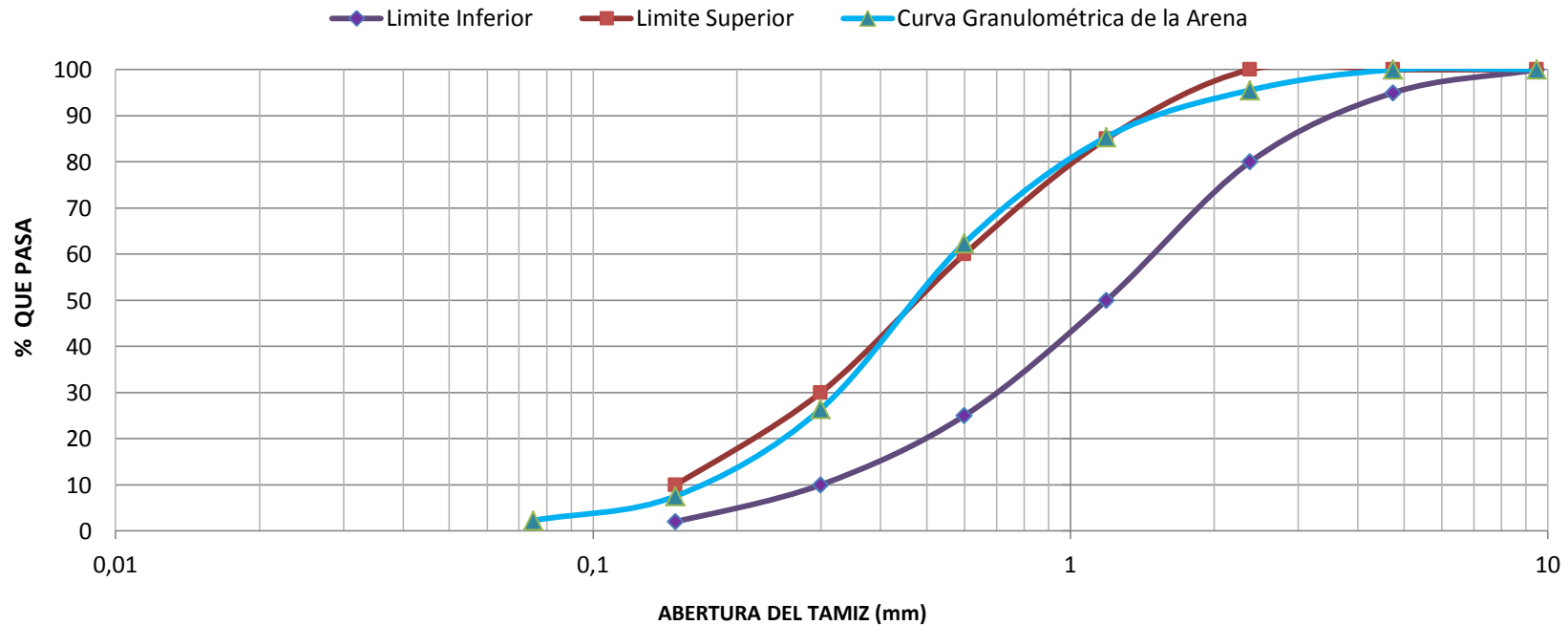
Se procede a ensayar tanto el agregado fino como grueso haciéndolos pasar por los tamices que determina la norma Inen 696, con el objeto de verificar si estos son aptos para la elaboración de hormigón.

Tabla N°6. Granulometría del Agregado Fino (Arena)



Fuente.- Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo

Gráfico N°2. Curva Granulométrica de la Arena



Fuente: Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo

Interpretación: Ejecutado el ensayo de granulometría a la muestra de arena procedente de la Mina Maricela en el Cantón Mera podemos observar en la gráfica que la curva granulométrica se encuentra dentro de los límites permisibles por la norma, tendiendo al límite superior que corresponde a arenas finas, el ensayo da como resultado una arena con módulo de finura igual a 2.23 constituyéndose apta para elaboración de hormigón al estar cerca del límite de arenas finas cuyo modulo de finura es 2.3.

Tabla N°7. Granulometría del Agregado Grueso (Ripio)

ABERTURA		RETENIDO EN gr		% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	LÍMITE % QUE PASA ASTM C33
Plg	mm	PARCIAL	ACUMULADO			
2"	50,80	0,00	0,00	0,00	100,00	100
1 1/2"	38,00	337,77	337,77	4,52	95,48	95 - 100
1"	25,40	1941,76	2279,53	30,48	69,52	
3/4"	19,00	1076,00	3355,53	44,86	55,14	35 - 70
1/2"	12,50	1381,98	4737,51	63,34	36,66	
3/8"	9,50	1108,76	5846,27	78,16	21,84	10 - 30
# 4	4,76	1402,19	7248,46	96,90	3,10	0 - 5
FUENTE		231,52	7479,98	100,00	0,00	

Origen:	Concesión Minera Santa Isabel Provincia de Pastaza
Ensayado por:	Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo
Fecha :	lunes, 07 de diciembre de 2015
Norma:	INEN 696
Masa del Agregado Grueso:	7500 gr

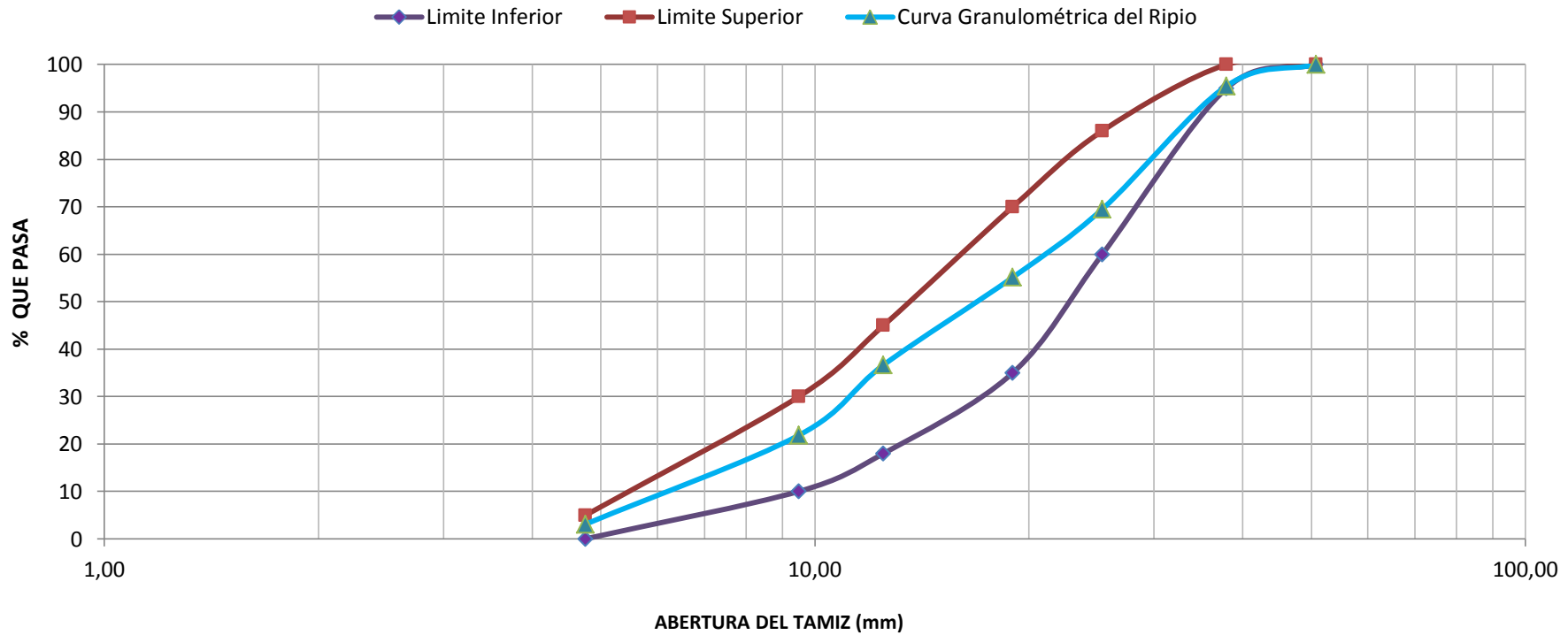
Error admisible (e) :	0,267	≤ 1%	ok
Tamaño Nominal Máximo (TNM):	1" ≤	1 1/2"	≤ 2"

◆ Limite Inferior ■ Limite Superior
▲ Curva Granulométrica del Ripio

ABERTURA DEL TAMIZ (mm)

Fuente.- Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo

Gráfico N°3. Curva Granulométrica del Ripio





Fuente: Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo

Interpretación: El ensayo granulométrico al agregado grueso de la Mina Santa Isabel en la Provincia de Pastaza presenta una curva dentro de los límites dados por la norma ASTM-C33, cuyo tamaño nominal máximo (TNM) corresponde a 1 1/2" (38mm) estando dentro del rango de material apto para elaboración de hormigón. El tamaño nominal máximo debe estar entre los tamices 1" \leq TNM \leq 2".

Ensayo N°2.- Densidad Aparente Suelta de la Arena y del Ripio

Para determinar la densidad aparente suelta de los agregados procedemos con cada uno a llenar un molde de dimensiones establecidas únicamente con una pala hasta el borde, se enrasa y se pesa, la densidad se obtiene dividiendo este peso para el volumen del molde.

Tabla N°8. Densidad Aparente Suelta de los Agregados

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 				
ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN AL EMPLEAR VIDRIO RECICLADO MOLIDO EN REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO.				
DENSIDAD APARENTE SUELTA DE LOS AGREGADOS				
Origen:	Mina Maricela – Mina Santa Isabel Provincia de Pastaza			
Ensayado por:	Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo			
Fecha :	viernes, 11 de diciembre de 2015			
Norma:	INEN 858			
Masa del Recipiente:	9,90	Kg		
Volumen Recipiente:	20,29	dm ³		
AGREGADO	MASA RECIPIENTE + AGREGADO Kg	MASA AGREGADO Kg	DENSIDAD APARENTE SUELTA Kg/dm³	DAS Kg/dm³
FINO	43,60	33,70	1,661	1,658
	43,50	33,60	1,656	
GRUESO	37,80	27,90	1,375	1,376
	37,85	27,95	1,378	

Fuente.- Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo

Ensayo N°3.- Densidad Aparente Compactada de la Arena y del Ripio



Esta densidad se obtiene llenando un molde de dimensiones específicas en tercios compactados cada uno con 25 golpes en espiral de adentro para afuera sin tocar la capa anterior, una vez lleno enrasamos y pesamos. La densidad se calcula dividiendo el peso para el volumen del recipiente.

Tabla N°9. Densidad Aparente Compactada de los Agregados

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 				
<i>ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN AL EMPLEAR VIDRIO RECICLADO MOLIDO EN REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO.</i>				
DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DE LOS AGREGADOS				
Origen:	Mina Maricela – Mina Santa Isabel Provincia de Pastaza			
Ensayado por:	Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo			
Fecha :	viernes, 11 de diciembre de 2015			
Norma:	INEN 858			
Masa del Recipiente:	9,90 Kg			
Volumen del Recipiente:	20,29 dm ³			
AGREGADO	MASA RECIPIENTE + AGREGADO Kg	MASA AGREGADO Kg	DENSIDAD APARENTE COMPACTADA Kg/dm ³	DAS Kg/dm ³
FINO	45,00	35,10	1,730	1,730
	45,00	35,10	1,730	
GRUESO	40,40	30,50	1,503	1,506
	40,50	30,60	1,508	

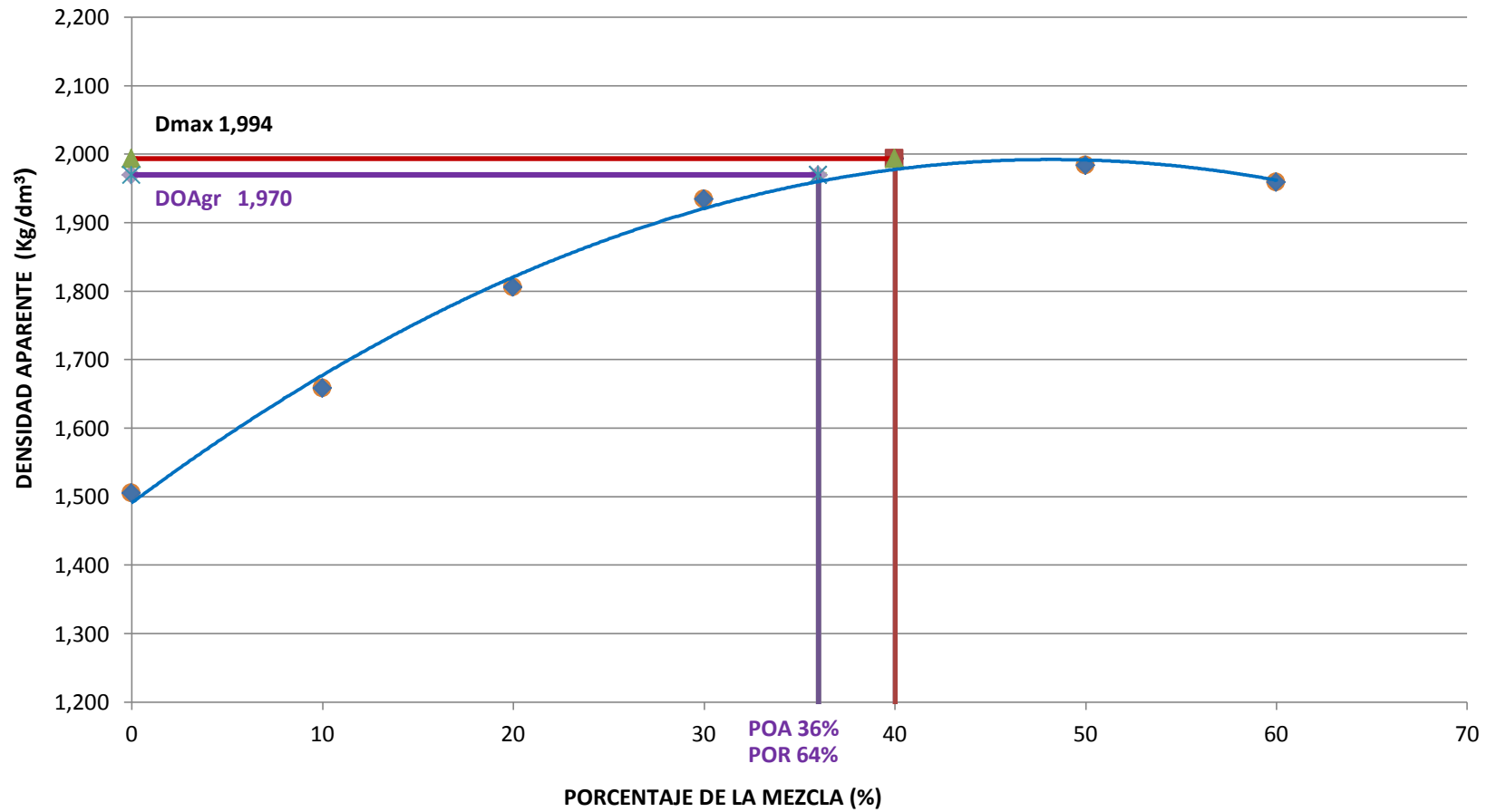
Fuente.- Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo

Tabla N°10. Densidad Aparente Compactada de una Mezcla de Agregados

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 								
ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN AL EMPLEAR VIDRIO RECICLADO MOLIDO EN REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO.								
DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DE LA MEZCLA DE AGREGADOS								
Origen:	Mina Maricela – Mina Santa Isabel Provincia de Pastaza							
Ensayado por:	Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo							
Fecha :	viernes, 11 de diciembre de 2015							
Norma:	INEN 858							
Masa del Recipiente:	9,90 Kg							
Volumen Recipiente:	20,29 dm ³							
MEZCLA REQUERIDA		CANTIDAD CALCULADA		AÑADIDO	MASA REC + AGREG.	MASA DE AGREG.	DENSIDAD	DAC
%		Kg		Kg	Kg	Kg	Kg/dm ³	Kg/dm ³
RIPIO	ARENA	RIPIO	ARENA	ARENA				
100	0	40	0	0	40,50	30,60	1,508	1,506
					40,40	30,50	1,503	
90	10	40	4,44	4,44	43,60	33,70	1,661	1,658
					43,50	33,60	1,656	
80	20	40	10	5,56	46,60	36,70	1,809	1,806
					46,50	36,60	1,804	
70	30	40	17,14	7,14	49,20	39,30	1,937	1,934
					49,10	39,20	1,932	
60	40	40	26,67	9,53	50,60	40,70	2,006	1,994
					50,10	40,20	1,981	
50	50	40	40	13,33	50,20	40,30	1,986	1,984
					50,10	40,20	1,981	
40	60	40	60	20	49,70	39,80	1,962	1,959
					49,60	39,70	1,957	
PORCENTAJE MÁXIMO DEL AGREGADO FINO =							40	%
PORCENTAJE MÁXIMO DEL AGREGADO GRUESO =							60	%
PORCENTAJE ÓPTIMO DEL AGREGADO FINO =							36	%
PORCENTAJE ÓPTIMO DEL AGREGADO GRUESO =							64	%
DENSIDAD MÁXIMA DE LOS AGREGADOS =							1,994	Kg/dm ³
DENSIDAD ÓPTIMA DE LOS AGREGADOS =							1,970	Kg/dm ³

Fuente.- Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo

Gráfico N°4. Densidad Óptima del Agregado – Porcentaje Óptimo de la Mezcla



Fuente.- Daniela Alejandra Peñañiel Carrillo

Ensayo N°4.- Densidad Real de los Agregados

La densidad real de los agregados se determina con la arena y ripio en estado saturado superficie seca, para la arena usamos el método del picnómetro y para el ripio el método de la canastilla.

Tabla N°11. Densidad Real de la Arena

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN AL EMPLEAR VIDRIO RECICLADO MOLIDO EN REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO.			
DENSIDAD REAL DE LA ARENA			
Origen:	Mina Maricela Provincia de Pastaza		
Ensayado por:	Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo		
Fecha :	lunes, 14 de diciembre de 2015		
Norma:	INEN 856		
DESCRIPCIÓN	NOMENC.	U	VALOR
Masa del frasco (picnómetro)	m1	gr	152,80
Masa del frasco + agregado sss	m2	gr	457,50
Masa del frasco + agregado sss + agua	m3	gr	843,40
Masa del agua añadida (m3-m2)	m4	gr	385,90
Masa del frasco + 500cc de agua	m5	gr	650,50
Masa de 500cc de agua (m5-m1)	m6	gr	497,70
Densidad del agua (m6/500cc)	da	gr/cc	1,00
Masa del agua desalojada por el agregado (m6-m4)	m7	gr	111,80
Masa del agregado (m2-m1)	Mss	gr	304,70
Volumen de agua desalojada = volumen de agregado añadido (m7/da)	Vss	cc	112,32
DENSIDAD REAL DE LA ARENA EN Kg/dm³ = (Msss/Vsss)	DRA	gr/cc	2,713

Fuente.- Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo

Tabla N°12. Densidad Real del Ripio


 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p> 																																							
<p><i>ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN AL EMPLEAR VIDRIO RECICLADO MOLIDO EN REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO.</i></p>																																							
<p>DENSIDAD REAL DEL RIPIO</p>																																							
Origen:	Concesión Minera Santa Isabel Provincia de Pastaza																																						
Ensayado por:	Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo																																						
Fecha :	lunes, 14 de diciembre de 2015																																						
Norma:	INEN 857																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">DESCRIPCIÓN</th> <th style="text-align: center;">NOMENC.</th> <th style="text-align: center;">UNIDAD</th> <th style="text-align: center;">VALOR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Masa de la canastilla en el aire</td> <td style="text-align: center;">m1</td> <td style="text-align: center;">gr</td> <td style="text-align: center;">1248</td> </tr> <tr> <td>Masa de la canastilla + agregado sss en el aire</td> <td style="text-align: center;">m2</td> <td style="text-align: center;">gr</td> <td style="text-align: center;">5956</td> </tr> <tr> <td>Masa del agregado sss en el aire (m2-m1)</td> <td style="text-align: center;">Mss</td> <td style="text-align: center;">gr</td> <td style="text-align: center;">4708</td> </tr> <tr> <td>Masa canastilla + agregado sss en el agua</td> <td style="text-align: center;">m3</td> <td style="text-align: center;">gr</td> <td style="text-align: center;">4031</td> </tr> <tr> <td>Masa de la canastilla en el agua</td> <td style="text-align: center;">m4</td> <td style="text-align: center;">gr</td> <td style="text-align: center;">1083</td> </tr> <tr> <td>Masa del agregado en el agua (m3-m4)</td> <td style="text-align: center;">Ma</td> <td style="text-align: center;">gr</td> <td style="text-align: center;">2948</td> </tr> <tr> <td>Volumen del agregado (Msss - Men el agua)/dagua</td> <td style="text-align: center;">Vss</td> <td style="text-align: center;">cc</td> <td style="text-align: center;">1760</td> </tr> <tr> <td>DENSIDAD REAL DEL RIPIO EN Kg/dm³ = (Msss/Vsss)</td> <td style="text-align: center;">DRR</td> <td style="text-align: center;">gr/cc</td> <td style="text-align: center;">2,675</td> </tr> </tbody> </table>				DESCRIPCIÓN	NOMENC.	UNIDAD	VALOR	Masa de la canastilla en el aire	m1	gr	1248	Masa de la canastilla + agregado sss en el aire	m2	gr	5956	Masa del agregado sss en el aire (m2-m1)	Mss	gr	4708	Masa canastilla + agregado sss en el agua	m3	gr	4031	Masa de la canastilla en el agua	m4	gr	1083	Masa del agregado en el agua (m3-m4)	Ma	gr	2948	Volumen del agregado (Msss - Men el agua)/dagua	Vss	cc	1760	DENSIDAD REAL DEL RIPIO EN Kg/dm³ = (Msss/Vsss)	DRR	gr/cc	2,675
DESCRIPCIÓN	NOMENC.	UNIDAD	VALOR																																				
Masa de la canastilla en el aire	m1	gr	1248																																				
Masa de la canastilla + agregado sss en el aire	m2	gr	5956																																				
Masa del agregado sss en el aire (m2-m1)	Mss	gr	4708																																				
Masa canastilla + agregado sss en el agua	m3	gr	4031																																				
Masa de la canastilla en el agua	m4	gr	1083																																				
Masa del agregado en el agua (m3-m4)	Ma	gr	2948																																				
Volumen del agregado (Msss - Men el agua)/dagua	Vss	cc	1760																																				
DENSIDAD REAL DEL RIPIO EN Kg/dm³ = (Msss/Vsss)	DRR	gr/cc	2,675																																				

Fuente.- Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo

Ensayo N°5.- Capacidad de Absorción de los Agregados.

La capacidad de absorción se determina con los agregados en estado SSS (Saturado superficie seca) en donde no puede absorber más agua ni liberarla, para calcularla se requiere pesar una muestra en estado sss y luego la misma seca al horno.

Tabla N°13.- Capacidad de Absorción de la Arena y Ripio

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 					
ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN AL EMPLEAR VIDRIO RECICLADO MOLIDO EN REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO.					
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS					
Origen:	Mina Maricela – Mina Santa Isabel Provincia de Pastaza				
Ensayado por:	Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo				
Fecha :	lunes, 14 de diciembre de 2015				
Norma:	INEN 856 - 857				
DESCRIPCIÓN	NOMENC.	ARENA		RIPIO	
		1	2	1	2
Masa del recipiente (gr)	m1	22,9	23,8	24,3	23,3
Masa del recipiente + agregado sss (gr)	m2	163,2	186,8	141,9	159,1
Masa del recipiente + agregado seco (gr)	m3	163,0	186,5	141,2	158,3
Masa del agregado sss (gr)	Mss (m2-m1)	140,3	163,0	117,6	135,8
Masa del agregado seco (gr)	Mseca (m3-m1)	140,1	162,7	116,9	135,0
Capacidad de absorción (%)	CA (Msss-Mseca)/Mseca	0,00143	0,00184	0,00599	0,00593
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN (%)	CA%	0,164		0,596	

Fuente.- Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo

4.1.2 Ensayo Realizado al Cemento

Ensayo N°6.- Densidad Real del Cemento

Se ejecuta de la misma manera que el ensayo para la densidad real de la arena, usando el método del picnómetro.

Tabla N°14. Densidad Real del Cemento

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
<i>ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN AL EMPLEAR VIDRIO RECICLADO MOLIDO EN REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO.</i>			
DENSIDAD REAL DEL CEMENTO			
Cemento:	Holcim Rocafuerte		
Ensayado por:	Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo		
Fecha :	lunes, 07 de diciembre de 2015		
Norma:	INEN 156		
DESCRIPCIÓN	NOMENC.	U	VALOR
Masa del frasco (picnómetro)	m1	gr	157,70
Masa del frasco + cemento	m2	gr	315,80
Masa del frasco + cemento + gasolina	m3	gr	638,10
Masa de la gasolina añadida (m3-m2)	m4	gr	322,30
Masa del frasco + 500cc de gasolina	m5	gr	519,50
Masa de 500cc de gasolina (m5-m1)	m6	gr	361,80
Densidad de la gasolina (m6/500cc)	dg	gr/cc	0,72
Masa de la gasolina desalojada por el cemento (m6-m4)	m7	gr	39,50
Masa del cemento (m2-m1)	mc	gr	158,10
Volumen de gasolina desalojada = volumen de cemento añadido (m7/dg)	vc	cc	54,59
Densidad Real del Cemento = (mc/vx)	drc	gr/cc	2,896
DENSIDAD REAL PROMEDIO DEL CEMENTO	DRC	gr/cc	2,896

Fuente.- Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo

4.1.3 Obtención Del Vidrio Reciclado Molido

Para determinar el vidrio que reemplazará parcialmente a la arena en la fabricación de probetas de hormigón con una resistencia a la compresión a los 28 días de edad igual a 210 kg/cm^2 a las que se añadirá vidrio en porcentajes que varían del 10% al 40% para las edades de ensayo de compresión de 7, 14 y 28 días, se inicia con:

- Recolección de botellas procedentes de reciclaje, las mismas que son lavadas con la ayuda de una esponja de lustre, detergente y agua tibia con el propósito de remover impurezas, etiquetas y residuos no aptos en la elaboración del hormigón.

Gráfico N°5. Reciclaje de Botellas de Vidrio



Gráfico N°6. Remoción de impurezas de las botellas de vidrio



- Una vez desinfectadas se las almacena en un contenedor con aireación para facilitar su secado.

Gráfico N°7. Almacenaje de botellas para su secado.



- Posteriormente se traslada el material al sitio donde se encuentra la máquina trituradora de mandíbula, se introduce en la boca del triturador las botellas y se obtiene un material de tamaño adecuado para ser considerado en el reemplazo parcial de la arena, para descartar cualquier inconveniente se tamiza el vidrio molido. Para el proceso de molienda del vidrio es importante usar equipo mínimo de seguridad.

Tabla N°15. Datos de la Máquina Trituradora y Molienda del Vidrio

MÁQUINA TRITURADORA	
Descripción:	Trituradora de Mandíbula
Motor:	140 Revoluciones, 220V
Propietario:	Prefabricados Olalla Olalla Sr. Ramiro Carvajal y Arq. Angélica Olalla
Molienda:	Domingo 17/Enero/2016. De 10:20 a 11:00

Fuente.- Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo

Gráfico N°8. Molienda del Vidrio en la Trituradora de Mandíbula

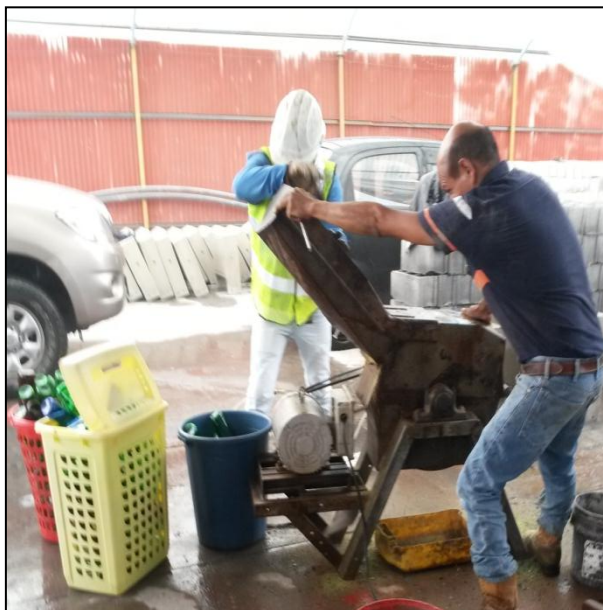
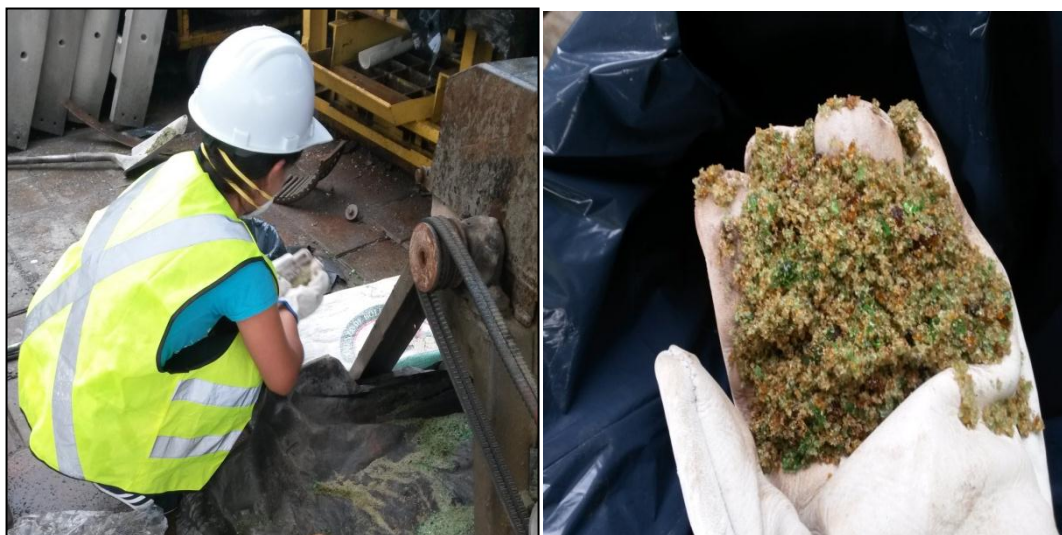




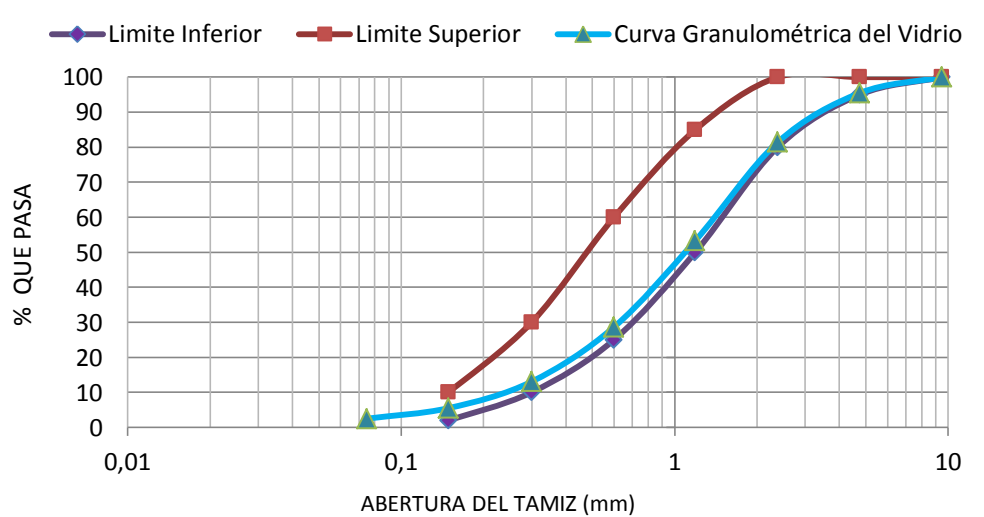
Gráfico N°9. Obtención del Vidrio Reciclado Molido



- Una vez molido el vidrio es almacenado para determinar su granulometría y ser empleado posteriormente en la elaboración de probetas de hormigón.

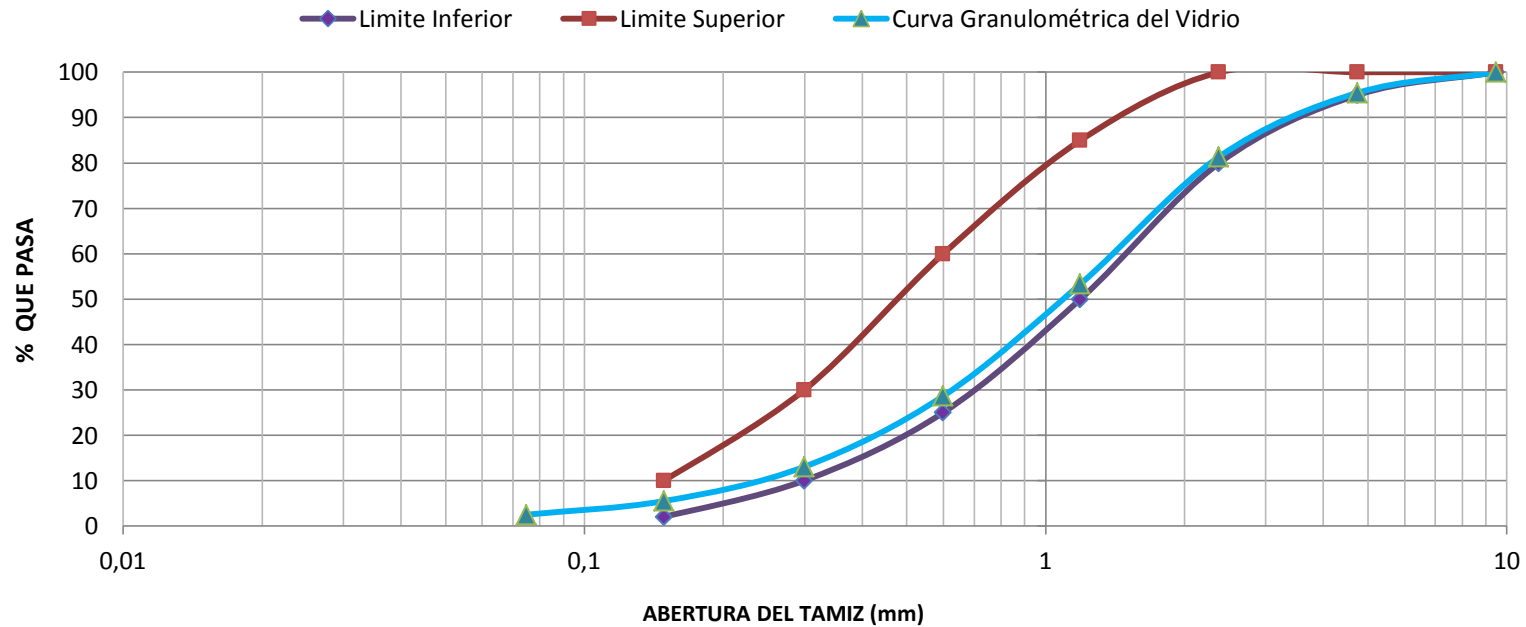
Ensayo N°7.- Granulometría del Vidrio Reciclado Molido

Tabla N°16. Granulometría del Vidrio Molido

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL </div>  </div>						
ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN AL EMPLEAR VIDRIO RECICLADO MOLIDO EN REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO.						
Origen:		Reciclaje de Botellas				
Ensayado por:		Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo				
Fecha :		lunes, 18 de enero de 2016			Norma: INEN 696	
Masa del Agregado Fino:		720 gr				
ABERTURA		RETENIDO EN gr		% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	LÍMITE % QUE PASA ASTM C33
Plg	mm	PARCIAL	ACUMULADO			
3/8"	9,5	3,80	0,00	0,00	100,00	100
# 4	4,75	32,40	32,40	4,54	95,46	95-100
# 8	2,38	100,40	132,80	18,59	81,41	80-100
# 16	1,19	200,50	333,30	46,67	53,33	50-85
# 30	0,6	176,30	509,60	71,35	28,65	25-60
# 50	0,3	111,40	621,00	86,95	13,05	10-30
# 100	0,149	54,10	675,10	94,53	5,47	2-10
# 200	0,075	21,50	696,60	97,54	2,46	-
FUENTE		17,60	714,20	100,00	0,00	
Error admisible (e) :		0,806	≤ 1%	ok		
Módulo de Finura (MF):		3,226				
						

Fuente.- Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo

Gráfico N°10. Curva Granulométrica del Vidrio Reciclado Molido





Fuente.- Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo

Interpretación: El vidrio reciclado molido fue tamizado según el ensayo Inen 696 para determinar la granulometría del agregado fino, en la gráfica se presenta la curva granulométrica correspondiente a la muestra la misma que está dentro de los límites permisibles, tiende al límite inferior de arenas gruesas, el vidrio en este ensayo tiene un módulo de finura (MF) de 3.23 considerándose apto para la dosificación de hormigón al estar cerca del rango establecido $2.3 \leq MF \leq 3.1$.

4.1.4 Dosificación del Hormigón – Método de la Densidad Máxima de la Universidad Central del Ecuador

Ejecutados los ensayos previos a la dosificación se ratifica que los agregados tanto grueso como fino de la Mina Santa Isabel en la Vía a Madre Tierra y Mina Maricela en el Cantón Mera, Provincia de Pastaza, son aptos para usarse en dosificación de hormigón, al cumplir con los parámetros y valores especificados en las normas correspondientes; El cemento a emplearse es Holcim Rocafuerte, cuya densidad esta dentro del parámetro deseado; y en lo que respecta al vidrio el proceso de trituración permite obtener un material con partículas de tamaño idóneo para reemplazar parcialmente a la arena, para la determinación de la dosificación a usarse se emplea la densidad real de la arena 2.713 kg/dm^3 , no se determinó la densidad real del vidrio debido a que en laboratorio no se cuenta con el equipo apropiado para este fin. Con esto se procede a determinar la dosificación para un hormigón de resistencia a la compresión 210 kg/cm^2 a los 28 días de edad:

Tabla N°17. Datos para Dosificar Hormigón

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 	
<i>ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN AL EMPLEAR VIDRIO RECICLADO MOLIDO EN REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO.</i>	
Realizado por:	Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo
REQUERIMIENTOS:	
Resistencia a la compresión del Hormigón a los 28 días de edad f'c	210 Kg/cm²
Volumen de Hormigón	1000 dm³
Asentamiento	7 cm
Contenido de Aire	2 %
DATOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS:	
Densidad Real del Cemento (DRC)	2,896 kg/dm³
Densidad Real de la Arena (DRA)	2,713 kg/dm³
Densidad Real del Ripio (DRR)	2,675 kg/dm³
Porcentaje Óptimo Arena (POA)	36 %
Porcentaje Óptimo Ripio (POR)	64 %
Densidad Óptima del Agregado (DOAg)	1,97 kg/dm³
Densidad Aparente Suelta de la Arena (DASA)	1,658 kg/dm³
Densidad Aparente Suelta del Ripio (DASR)	1,376 kg/dm³

Fuente.- Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo

Procedimiento:

1) Densidad Real de los Agregados (DRAg)

$$DRAg = DRA * POA + DRR * POR$$

$$DRAg = 2.713kg/dm^3 * 0.36 + 2.675kg/dm^3 * 0.64$$

$$DRAg = 2.689 kg/dm^3$$

2) Porcentaje Optimo de Vacios (POV)

$$POV = \frac{DRAg - DOAg}{DRAg} * 100 = \frac{2.689 - 1.97}{2.689} kg/dm^3 * 100 = 26.730\%$$

3) Cantidad de Pasta (CP)

El valor de la cantidad de pasta se determina en porcentaje acorde a la Tabla N°4 según el asentamiento requerido en el hormigón.

Asentamiento (cm)	Cantidad de Pasta CP
0 – 3	POV + 2% + 3%(POV)
3 – 6	POV + 2% + 6%(POV)
6 – 9	POV + 2% + 8%(POV)
9 – 12	POV + 2% + 11%(POV)
12 – 15	POV + 2% + 13%(POV)

$$CP\% = POV + 2\% + 8\%(POV)$$

$$CP\% = 26.730\% + 2\% + 8\%(26.730)$$

$$CP\% = 30.868\%$$

$$CP = \frac{CP\%}{100} * 1000dm^3$$

$$CP = \frac{30.868}{100} * 1000$$

$$CP = 308.682 dm^3$$

4) Relación Agua/Cemento (W/C)

Se toma de la Tabla N°3 la relación Agua/Cemento correspondiente a la resistencia de 210 kg/cm³.

f`c a los 28 días de edad (kg/cm²)	W/C
210	0.58

5) Cantidad de Cemento (C)

$$C = \frac{CP}{W/C + \frac{1}{DRC}} = \frac{308.682 \text{ dm}^3}{0.58 + \frac{1}{2.896 \text{ kg/dm}^3}}$$

$$C = 333.601 \text{ kg para } 1\text{m}^3 \text{ de } H^\circ$$

6) Cantidad de Agua (W)

$$W = W/C * C = 0.58 * 333.601 \text{ kg}$$

$$W = 193.489 \text{ Lt para } 1\text{m}^3 \text{ de } H^\circ$$

7) Cantidad de Arena (A)

$$A = (VH^\circ - CP) * DRA * POA$$

$$A = (1000 - 308.682) \text{ dm}^3 * 2.713 \text{ kg/dm}^3 * 0.36$$

$$A = 675.196 \text{ kg para } 1\text{m}^3 \text{ de } H^\circ$$

8) Cantidad de Ripio

$$R = (VH^\circ - CP) * DRR * POR$$

$$A = (1000 - 308.682) \text{ dm}^3 * 2.675 \text{ kg/dm}^3 * 0.64$$

$$A = 1183.536 \text{ kg para } 1\text{m}^3 \text{ de } H^\circ$$

9) Dosificación

Para obtener una dosificación al peso que proporcione los factores de cada material con los que se puede obtener los pesos respectivos para cualquier volumen a dosificar se procede de la siguiente manera:

$$\text{Dosificación al Peso} = \frac{\text{Cantidad de Material}}{\text{Cantidad de Cemento}}$$

Dosificación al Peso

$$W = \frac{193.489}{333.601} = \mathbf{0.58}$$

$$C = \frac{333.601}{333.601} = \mathbf{1}$$

$$A = \frac{675.196}{333.601} = \mathbf{2.02}$$

$$R = \frac{1183.536}{333.601} = \mathbf{3.55}$$

Estos valores permiten obtener rápidamente una dosificación al peso para cualquier volumen de hormigón a preparar.

Dosificación para tres probetas cilíndricas de hormigón

Gráfico N°11. Medidas de Cilindros



Se toman las medidas de cada cilindro para elaboración de probetas de hormigón, tanto de su altura como diámetro. En este caso vamos a realizar la dosificación para tres cilindros debido a que este es el número de especímenes que solicita la norma para emplearlos en el ensayo de compresión.

Datos:

$$\varnothing = \text{Diámetro del cilindro} = 0.15\text{cm}$$

$$h = \text{Altura del cilindro} = 0.30\text{cm}$$

$$n^{\circ} = \text{Número de cilindros} = 3$$

Volumen para 3 cilindros:

$$V = \frac{\pi * \varnothing^2}{4} * h * n^{\circ} = \frac{\pi * 0.15^2}{4} * 0.30 * 3$$

$$V = \mathbf{0.016m^3 \text{ de Hormigon}}$$

$$\text{Para } 1\text{m}^3 \text{ de Hormigón} \text{ ---} \rightarrow 333.301 \text{ kg de cemento}$$

$$0.016 \text{ m}^3 \text{ de Hormigón} \text{ ---} \rightarrow \mathbf{5.31 \text{ kg de cemento}}$$

Para determinar la cantidad de W (agua), A (arena) y R (ripio), se multiplica la cantidad de cemento calculada por el factor de cada material:

$$C = \mathbf{5.31 \text{ kg de cemento}}$$

$$W = 5.31 * 0.58 = \mathbf{3.08 \text{ Lt de agua}}$$

$$A = 5.31 * 2.02 = \mathbf{10.72 \text{ kg de arena}}$$

$$R = 5.31 * 3.55 = \mathbf{18.83 \text{ kg de ripio}}$$

Estas cantidades serán las empleadas para elaborar las probetas sin contenido de vidrio. Para las probetas de hormigón en las que se empleará el vidrio reciclado molido la cantidad de arena calculada se reemplaza en peso por vidrio en los porcentajes de 10, 20, 30 y 40% respectivamente.

Tabla N°18. Dosificación del Hormigón con una resistencia de 210 kg/cm²

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 					
<i>ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN AL EMPLEAR VIDRIO RECICLADO MOLIDO EN REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO.</i>					
Elaborado por:		Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo			
Método:		Universidad Central del Ecuador			
CANTIDAD PARA HORMIGÓN DE 210 Kg/cm²					
MATERIAL	CANTIDAD EN KG PARA 1 M ³ DE H ^o	DOSIFICACIÓN AL PESO	CANTIDAD EN KG PARA 1 SACO DE CEMENTO (50KG)	DOSIFICACIÓN AL VOLUMEN (PARIHUELAS DE 30 CM DE LADO)	DOSIFICACIÓN PARA TRES CILINDROS
AGUA (W)	193,489	0,58	29	29 Lts	3,08 Lt
CEMENTO (C)	333,601	1	50	1 saco	5,31 kg
ARENA (A)	675,196	2,02	101	2,3 parihuelas	10,72 kg
RIPIO (R)	1183,536	3,55	177,50	4,8 parihuelas	18,83 kg

Fuente.- Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo

La cantidad de material está calculada en base a 3 cilindros por cada ensayo, los porcentajes de vidrio que reemplazarán en peso parcialmente a la arena son 10, 20, 30 y 40% para las edades de 7, 14 y 28 días, se tiene un total de 45 probetas. La dosificación se puede hacer tanto en volumen como en peso, al volumen es útil cuando el trabajo se lo realiza en obra, mientras que al contar con un laboratorio la dosificación al peso resulta mucho más precisa.

Tabla N°19. Dosificación para tres cilindros de hormigón de 210 kg/cm² considerando el reemplazo de la arena por vidrio reciclado molido en distintos porcentajes.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO 						
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
<i>ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN AL EMPLEAR VIDRIO RECICLADO MOLIDO EN REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO.</i>						
DOSIFICACIÓN INCLUYENDO LOS DISTINTOS % DE VIDRIO						
Elaborado por:		Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo				
Método:		Universidad Central del Ecuador				
CANTIDAD PARA 0,016 M³ DE HORMIGÓN DE 210 Kg/cm²						
MATERIAL		PORCENTAJE DE VIDRIO				
DENOMINACIÓN	UNIDAD	0%	10%	20%	30%	40%
AGUA (W)	Lt	3,08	3,08	3,08	3,08	3,08
CEMENTO (C)	Kg	5,31	5,31	5,31	5,31	5,31
ARENA (A)	Kg	10,72	9,65	8,58	7,50	6,43
VIDRIO (V)	Kg	0,00	1,07	2,14	3,22	4,29
RIPIO (R)	Kg	18,83	18,83	18,83	18,83	18,83

Fuente.- Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo

4.1.5 Elaboración De Probetas Cilíndricas De Hormigón

Con la dosificación calculada tenemos la cantidad de material a emplear para cada grupo de probetas con los diferentes porcentajes de vidrio que reemplazan a la arena, una vez comprobada la veracidad de la dosificación determinada con la elaboración de tres cilindros ensayados a los siete días de edad y en presencia del tutor para dar credibilidad a los resultados procedemos a elaborar las muestras.

- *Materiales y Equipo a usarse en la elaboración y ensayo del hormigón.*

Materiales:

Gráfico N°12. Materiales para preparar Hormigón



Se observa los materiales empleados en la elaboración de hormigón tales como el agua, arena, ripio, cemento, vidrio.

- **Cemento.-** Se emplea cemento Holcim Rocafuerte IP Tipo I, cuya densidad real es igual a 2.896 kg/dm^3 .
- **Agua.-** El agua potable será la empleada en el amasado y curado.
- **Arena.-** Arena proveniente de lecho de río de la Mina Maricela en el Cantón Mera, Provincia de Pastaza, con una densidad real de 2.713 kg/dm^3 y densidad aparente suelta de 1.658 kg/dm^3 .
- **Ripio.-** Agregado grueso originado mediante triturado en la Concesión Minera Santa Isabel en la Vía a Madre Tierra, Cantón Mera, Provincia de Pastaza, con una densidad real igual a 2.675 kg/dm^3 y densidad aparente suelta de 1.376 kg/dm^3 .
- **Vidrio.-** Reciclado de botellas, limpio, desinfectado, molido en una trituradora de mandíbula y seco para ser empleado en la elaboración del hormigón.

Equipo:

Gráfico N°13. Equipo empleado en la elaboración del hormigón.



Equipo para prueba de Asentamiento y Llenado de moldes



Pesaje del Ripio



Cilindros para Hormigón

- Bandejas metálicas para la mezcla de hormigón y prueba de asentamiento.
- Pala y palustre para facilitar la mezcla y adición de materiales.
- Recipientes para pesar los distintos materiales y transportarlos.
- Balanza electrónica de precisión.
- Probeta graduada para la medición de la cantidad de agua a usarse.
- Cono de Abrams para la medición de la Consistencia, varilla de punta redonda y flexómetro.
- Moldes cilíndricos con altura de 30cm y diámetro de 15cm, varilla compactadora de punta redonda y mazo de goma para la confección de las probetas de hormigón.

- *Preparación del Hormigón.*

La preparación del hormigón comienza colocando en una bandeja amplia las cantidades de arena, vidrio y cemento previamente pesadas acorde a la dosificación calculada, esto se mezcla adecuadamente para luego incorporar el ripio, una vez mezclado se va añadiendo el agua poco a poco, dando homogeneidad a la mezcla de materiales que conforman en concreto en estado fresco.

Gráfico N°14. Mezclado del hormigón

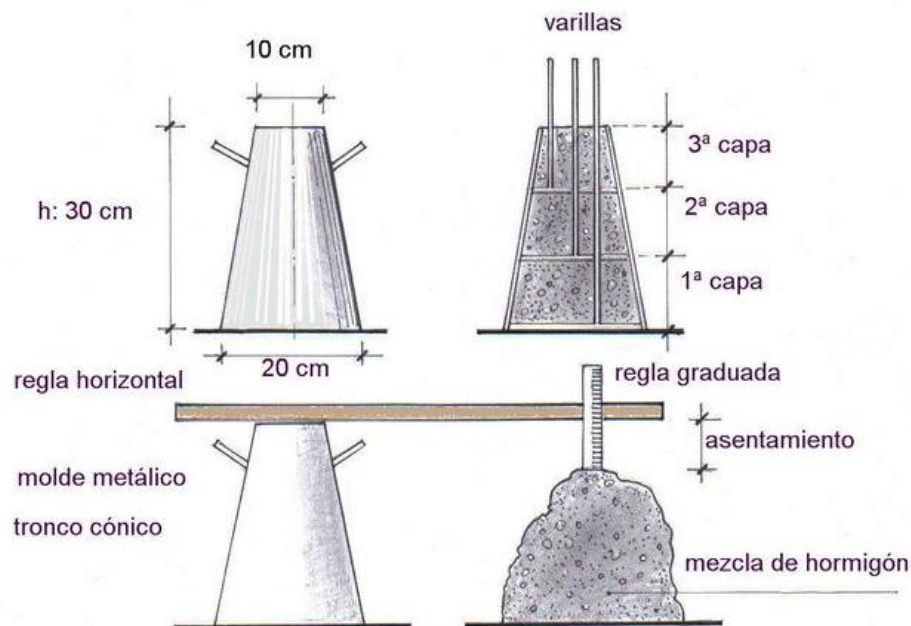


- *Propiedades del Hormigón en estado fresco.*
- **Trabajabilidad.-** Se mide en base a la facilidad que presenta la mezcla a ser amasada y manejada, se identifica con las siglas MB (muy buena), B (buena), R (regular) y M (mala). Se obtienen una docilidad para cada hormigón, acorde a los porcentajes de vidrio empleados en reemplazo de la arena.

- **Consistencia.-** Antes del llenado de los cilindros se determina la docilidad del hormigón para deformarse o adaptarse a ciertas formas, empleando el Cono de Abrams se mide el asentamiento producido en la mezcla.

Este procedimiento sigue la norma Inen 1578, donde se especifica que el molde debe ser colocado en una superficie rígida, en este caso se usa una bandeja metálica, para impedir el movimiento se para sobre las pisaderas del cono, se procede a llenarlo con tres capas apisonadas cada una con 25 golpes en espiral mediante una varilla metálica lisa y de punta redonda, siempre cuidando no tocar la capa anterior, finalmente se enrasa la superficie del cono rotando la varilla, se toma el cono de las agarradas para poder retirar los pies sin peligro de mover el molde, se retira el cono verticalmente y con cuidado, se coloca el cono junto al hormigón y se mide la diferencia de altura entre los dos como se indica en la imagen. Esta medida debe redondearse al medio centímetro más cercano, este valor corresponde al asentamiento. El ensayo debe durar máximo 2.5 minutos.



Gráfico N°15. Medición del asentamiento en el Cono de Abrams.



Fuente: http://www.construmatica.com/construpedia/Cono_de_Abrams

- **Homogeneidad.-** Demuestra la regularidad de la mezcla, es decir la adecuada distribución de los materiales dentro del hormigón.
- **Peso Especifico.-** Representa una medida de la uniformidad del concreto, es la relación de la masa de hormigón para el volumen que ocupa en el molde cilíndrico.

Tabla N°20. Propiedades del Hormigón en estado Fresco.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 					
ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN AL EMPLEAR VIDRIO RECICLADO MOLIDO EN REEMPLAZO PARCIAL DEL AGREGADO FINO.					
PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO					
Elaborado por:		Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo			
PROPIEDAD	PORCENTAJE DE VIDRIO				
DENOMINACIÓN	0%	10%	20%	30%	40%
Trabajabilidad	B	B	B	B	MB
Asentamiento (cm)	6,9	7,4	7,6	7	7
Homogeneidad	MB	MB	MB	MB	MB

Fuente.- Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo



Nomenclatura:

B = Buena

MB = Muy Buena



Con los datos recolectados se puede deducir que el aumento de porcentaje de vidrio mejora ligeramente la trabajabilidad, la homogeneidad se mantiene debido a un adecuado amasado, y el asentamiento esta dentro del rango para hormigón de 210 kg/cm² (6 - 9cm).

Tabla N°21. Peso Especifico del Hormigón Fresco en las Muestras a Ensayarse a los 7 Días de Edad

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 									
Elaborado por: Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo			Edad de Ensayo: Probetas para ensayarse a los 7 Días de edad				Fecha de Elab.: 11/02/2016		
MUESTRAS		DATOS							
Probetas	% De Vidrio	Masa del molde Vacío kg	Masa del molde Lleno kg	Masa de H° kg	Ø cm	Altura cm	Volumen m³	Densidad del H° kg/m³	Densidad Promedio kg/m³
1	0%	11,42	24,50	13,08	15,20	30	0,0054	2402,39	2396,53
2		11,59	24,60	13,02	15,30	30	0,0055	2359,66	
3		6,74	20,00	13,26	15,10	30,5	0,0055	2427,54	
4	10%	6,03	19,30	13,28	15,30	30,4	0,0056	2375,13	2388,40
5		6,22	19,30	13,08	15,20	30,5	0,0055	2363,18	
6		11,36	24,40	13,04	15,10	30	0,0054	2426,87	
7	20%	8,79	22,70	13,91	15,60	30	0,0057	2425,69	2430,35
8		11,33	24,40	13,07	15,05	30	0,0053	2449,58	
9		11,38	24,49	13,11	15,20	29,9	0,0054	2415,77	
10	30%	11,46	24,30	12,84	15,10	29,9	0,0054	2398,75	2402,26
11		6,14	19,40	13,26	15,10	30,5	0,0055	2427,18	
12		5,75	18,75	13,00	15,10	30,5	0,0055	2380,86	
13	40%	11,38	24,25	12,87	15,00	30	0,0053	2428,02	2409,35
14		11,44	24,40	12,96	15,10	30	0,0054	2412,53	
15		11,35	24,35	13,00	15,20	30	0,0054	2387,51	

Fuente.- Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo

Tabla N°22. Peso Especifico del Hormigón Fresco en las Muestras a Ensayarse a los 14 Días de Edad

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 									
Elaborado por: Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo			Edad de Ensayo: Probetas para ensayarse a los 14 Días de edad				Fecha de Elab.: 10/02/2016		
MUESTRAS		DATOS							
Probetas	% De Vidrio	Masa del molde Vacío kg	Masa del molde Lleno kg	Masa de H° kg	Ø cm	Altura cm	Volumen m³	Densidad del H° kg/m³	Densidad Promedio kg/m³
1	0%	11,42	24,50	13,08	15,20	30	0,0054	2402,02	2383,96
2		11,59	24,60	13,01	15,30	30	0,0055	2359,48	
3		6,74	19,80	13,06	15,10	30,5	0,0055	2390,38	
4	10%	6,03	19,20	13,17	15,30	30,4	0,0056	2355,63	2383,81
5		6,23	19,35	13,12	15,20	30,5	0,0055	2370,23	
6		11,37	24,40	13,03	15,10	30	0,0054	2425,56	
7	20%	8,81	22,50	13,69	15,60	30	0,0057	2388,02	2408,85
8		11,33	24,25	12,92	15,05	30	0,0053	2420,72	
9		11,38	24,50	13,12	15,20	29,9	0,0054	2417,79	
10	30%	11,46	24,25	12,79	15,10	29,9	0,0054	2389,41	2392,01
11		5,76	18,95	13,19	15,10	30,5	0,0055	2414,91	
12		6,15	19,10	12,95	15,10	30,5	0,0055	2371,70	
13	40%	11,38	24,30	12,92	15,00	30	0,0053	2437,26	2405,94
14		11,44	24,40	12,96	15,10	30	0,0054	2411,79	
15		11,36	24,25	12,90	15,20	30	0,0054	2368,77	

Fuente. - Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo

Tabla N°23. Peso Específico del Hormigón Fresco en las Muestras a Ensayarse a los 28 Días de Edad

MUESTRAS		DATOS							
Probetas	% De Vidrio	Masa del molde Vacío kg	Masa del molde Lleno kg	Masa de H° kg	Ø cm	Altura cm	Volumen m³	Densidad del H° kg/m³	Densidad Promedio kg/m³
1	0%	5,74	19,10	13,36	15,40	30,5	0,0057	2351,49	2400,19
2		5,77	19,20	13,43	15,30	30,5	0,0056	2395,17	
3		6,75	20,15	13,40	15,10	30,5	0,0055	2453,91	
4	10%	6,03	19,40	13,37	15,20	30,4	0,0055	2423,71	2428,65
5		6,20	19,60	13,40	15,10	30,5	0,0055	2452,63	
6		5,64	18,80	13,16	15,10	30,5	0,0055	2409,60	
7	20%	8,81	22,80	13,99	15,60	30	0,0057	2440,34	2407,67
8		11,33	24,40	13,07	15,20	30	0,0054	2400,37	
9		11,30	24,40	13,10	15,30	29,9	0,0055	2382,29	
10	30%	11,46	24,50	13,57	15,50	30	0,0057	2397,21	2402,98
11		6,26	19,55	13,29	15,15	30,6	0,0055	2409,10	
12		6,13	19,30	13,17	15,10	30,6	0,0055	2402,64	
13	40%	11,38	24,30	12,92	15,20	30	0,0054	2373,00	2407,84
14		11,51	24,50	12,99	15,20	29,9	0,0054	2394,20	
15		11,38	24,40	13,02	15,00	30	0,0053	2456,31	

Fuente. - Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo

- *Llenado de las Probetas Cilíndricas de Hormigón*

La norma Inen 1855 describe el llenado de los moldes, los cilindros deben ser previamente limpiados y engrasados, estos se llenan en tres capas que son compactadas con 25 golpes en espiral con una varilla lisa de punta redonda de diámetro 16mm, consecuentemente en cada capa se da de 10 a 15 golpes con un martillo de goma alrededor del molde con el objeto de eliminar el aire acumulado debido al varillado, finalmente se enrasa la superficie para eliminar el exceso de hormigón. Una vez llenado los moldes estos son pesados cuidadosamente y almacenados durante 24 horas, en un sitio donde no exista exceso de luz solar para evitar la evaporación prematura del agua de amasado.

Gráfico N°16. Llenado de Moldes de Hormigón



- *Desmolde y Curado de las Probetas de Hormigón*

Las probetas cilíndricas se desmoldan luego de 24 horas de elaboradas, se identifican y sumergen en agua para curarlas durante los días requeridos antes del ensayo de compresión.

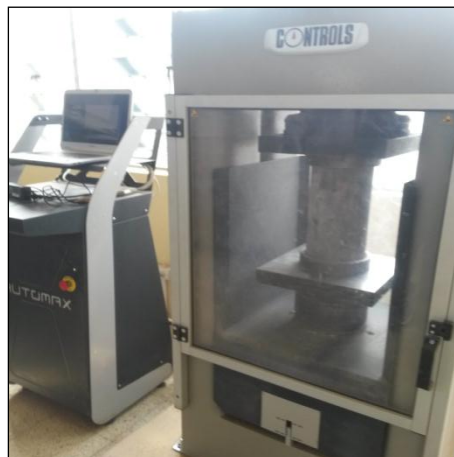
Gráfico N°17. Curado de Probetas Cilíndricas de Hormigón



4.1.6 Ensayo de Compresión de las Probetas Cilíndricas de Hormigón

Transcurridos los días necesarios de curado de las probetas de hormigón con los diferentes porcentajes de vidrio molido adicionado por reemplazo de la arena, los cilindros son extraídos de la cámara de curado, secados al aire durante una hora (media hora a un lado y media hora al otro lado), pesados y medidos para proceder al ensayo de compresión según la norma Inen 1573 donde se aplica una carga axial de compresión a la probeta a una velocidad determinada hasta que se produzca la falla en el espécimen. La resistencia del hormigón se calcula dividiendo la carga máxima soportada para el área de aplicación.

Gráfico N°18. Ensayo de Compresión en los Cilindros de Hormigón



- *Peso Específico del Hormigón Endurecido*

Se determina dividiendo la masa del cilindro de hormigón para su volumen, para esto se debe pesar y medir antes del ensayo de compresión. Los datos referentes a este apartado se encuentran en las Tablas N° 24-25-26.

- *Tipos de Fallas en los Cilindros de Hormigón Ensayados a Compresión*

Las fallas más representativas son los desprendimientos en los extremos superior e inferior de las probetas, debidas a errores en el tratamiento de las caras de los cilindros, estas deben ser tratadas con mortero de azufre (norma ASTM C 617) o colocando almohadillas no adherentes de neopreno (norma ASTM C 1231). Otras fallas visibles son fisuras verticales debidas al mismo proceso de compresión y fisuras de adherencia entre el agregado grueso y el mortero, un factor importante para minimizar lo mencionado es el correcto llenado de los cilindros y proporcionar un curado que de continuidad al proceso de hidratación del cemento mejorando la durabilidad, resistencia y estabilidad volumétrica.








En las Tablas N° 24-25-26 se detallan las fallas visualizadas en los cilindros ensayados a diferentes edades acorde al porcentaje de vidrio añadido en reemplazo parcial de la arena, referenciándonos al Gráfico N° 1.

Tabla N°24. Descripción de los Principales Tipos de Fallas en Cilindros de Hormigón Ensayados a Compresión a los 7 Días de Edad

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
Elaborado por: Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo		Fecha de Ensayo.: 17/02/2016	
Fotografía	% Vidrio	Falla	Descripción
	0	Tipo 5	Desprendimiento inferior generalmente causado porque en el ensayo se usan almohadillas de neopreno no adherentes, generando que los extremos de las cabecezas del cilindro se despostillen
	10	Tipo 5	Pequeños desprendimientos en la parte superior del cilindro por cabezales no adheridos y fisuras verticales debido a compresión.
	20	Tipo 2	Cono bien formado donde se fracciona el cilindro ya que a edades tempranas el vidrio por su superficie lisa no alcanza la adherencia suficiente con los materiales que conforman el concreto
	30	Tipo 5	Fisura en la parte interior por cabezales de neopreno no adheridos correctamente.
	40	Tipo 2	Fisura de mortero en forma de cono en la parte inferior, posiblemente debido a una compactación inadecuada.







Fuente.- Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo

Tabla N°25. Descripción de los Principales Tipos de Fallas en Cilindros de Hormigón Ensayados a Compresión a los 14 Días de Edad

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
Elaborado por: Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo		Fecha de Ensayo.: 23/02/2016	
Fotografía	% Vidrio	Falla	Descripción
	0	Tipo 2 - 5	Cono mal formado con desprendimiento de hormigón a causa de una concentración de esfuerzos por cambio de sección
	10	Tipo 2 - 5	Fractura lateral superior generada por carencia de compactación entre capas, que reduce la adherencia.
	20	Tipo 3	Fisuras verticales y cono mal formado con desprendimiento por la combinación de compresión y corte, otra causa es la ejecución del ensayo con placas
	30	Tipo 3	Fisuras verticales encolumnadas por compresión y ligero desprendimiento inferior
	40	Tipo 3	Fisuras verticales por compresión

Fuente.- Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo

Tabla N°26. Descripción de los Principales Tipos de Fallas en Cilindros de Hormigón Ensayados a Compresión a los 28 Días de Edad



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
Elaborado por: Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo		Fecha de Ensayo.: 02/03/2016	
Fotografía	% Vidrio	Falla	Descripción
	0	Tipo 3	Tenues fisuras verticales acompañadas de un cono mal formado en la parte inferior, se da por falta de adherencia entre los componentes del hormigón y por los esfuerzos de compresión
	10	Tipo 3	Fisuras verticales e inclinadas, originadas por la combinación de esfuerzos de compresión y corte
	20	Tipo 3 - 5	Fisuras verticales y cono mal formado combinación de compresión y corte, carencia de adherencia por una inadecuado varillado durante la conformación de la probeta.
	30	Tipo 3 - 5	Pocas fisuras verticales y cono mal formado debido la carga de compresión, se presenta desprendimiento de una esquina por falta de capeo
	40	Tipo 3	Fisuras verticales leves en la mitad inferior del cilindro, originadas por los esfuerzos de compresión.

Fuente.- Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo

4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS



Los resultados obtenidos del ensayo de compresión a las distintas edades en las probetas elaboradas se presentan en las siguientes tablas de acuerdo al porcentaje de vidrio en reemplazo parcial de la arena adicionado en la mezcla. La comparación entre los diversos resultados permitirá emitir las deducciones del estudio en cuestión.

Tabla N°27. Resistencia a la Compresión del Hormigón a los 7 Días de Edad

 <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL </div> 												
Elaborado por: Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo				Fecha de Elab.: 11/02/2016				Fecha de Ensayo.: 17/02/2016			Norma: INEN 1573	
Nº	% De Vidrio	Ø cm	h cm	V m³	Peso kg	Densidad del Hº kg/m³	Densidad Promedio kg/m³	Área cm²	Carga (P) KN	Carga (P) KG	Esfuerzo de Compresión kg/cm²	f`c kg/cm²
1	0%	15,20	30	0,0054	12,772	2346,18	2375,53	181,46	279,80	28531,65	157,24	157,26
2		15,30	30	0,0055	13,028	2362,02		183,85	281,30	28684,61	156,02	
3		15,10	30,5	0,0055	13,209	2418,39		179,08	278,41	28389,91	158,53	
4	10%	15,30	30,4	0,0056	13,195	2360,82	2380,11	183,85	274,30	27970,81	152,14	157,24
5		15,20	30,5	0,0055	13,065	2360,65		181,46	292,60	29836,89	164,43	
6		15,10	30	0,0054	12,995	2418,86		179,08	272,48	27785,22	155,16	
7	20%	15,60	30	0,0057	13,903	2424,65	2421,50	191,13	281,00	28654,02	149,92	156,86
8		15,05	30	0,0053	12,999	2435,71		177,89	270,00	27532,33	154,77	
9		15,20	29,9	0,0054	13,044	2404,16		181,46	295,20	30102,02	165,89	
10	30%	15,10	29,9	0,0054	12,826	2395,39	2388,88	179,08	273,60	27899,43	155,79	155,97
11		15,10	30,5	0,0055	13,142	2406,12		179,08	273,50	27889,23	155,74	
12		15,10	30,5	0,0055	12,918	2365,11		179,08	274,60	28001,40	156,36	
13	40%	15,00	30	0,0053	12,833	2420,66	2401,59	176,71	266,40	27165,23	153,72	155,58
14		15,10	30	0,0054	12,909	2402,86		179,08	275,57	28100,31	156,92	
15		15,20	30	0,0054	12,963	2381,26		181,46	277,80	28327,71	156,11	



Fuente.- Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo

Tabla N°28. Resistencia a la Compresión del Hormigón a los 14 Días de Edad

 <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL </div> 												
Elaborado por: Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo				Fecha de Elab.: 10/02/2016				Fecha de Ensayo.: 23/02/2016				Norma: INEN 1573
N°	% De Vidrio	Ø cm	h cm	V m ³	Peso kg	Densidad del H° kg/m ³	Densidad Promedio kg/m ³	Área cm ²	Carga (P) KN	Carga (P) KG	Esfuerzo de Compresión kg/cm ²	f'c kg/cm ²
1	0%	15,10	30	0,0054	13,042	2427,61	2399,87	179,08	331,50	33803,59	188,76	192,47
2		15,20	30	0,0054	12,955	2379,79		181,46	324,80	33120,38	182,52	
3		15,10	30,5	0,0055	13,066	2392,21		179,08	362,00	36913,72	206,13	
4	10%	15,20	30,4	0,0055	12,989	2354,64	2376,48	181,46	329,80	33630,23	185,33	175,77
5		15,20	30,5	0,0055	13,008	2350,36		181,46	292,80	29857,28	164,54	
6		15,10	30	0,0054	13,025	2424,45		179,08	311,60	31774,35	177,43	
8	20%	15,05	30	0,0053	12,881	2413,60	2405,41	177,89	285,40	29102,69	163,60	164,48
9		15,10	29,9	0,0054	12,942	2417,05		179,08	290,40	29612,55	165,36	
10	30%	15,10	29,9	0,0054	12,749	2381,01	2403,32	179,08	339,70	34639,75	193,43	192,66
11		15,10	30,5	0,0055	13,142	2406,12		179,08	335,60	34221,67	191,10	
12		14,90	30,5	0,0053	12,885	2422,83		174,37	330,80	33732,21	193,46	
13	40%	15,00	30	0,0053	12,869	2427,45	2398,02	176,71	392,80	40054,44	226,66	215,23
14		15,10	30	0,0054	12,889	2399,13		179,08	342,20	34894,68	194,86	
15		15,20	30	0,0054	12,888	2367,48		181,46	398,90	40676,47	224,16	

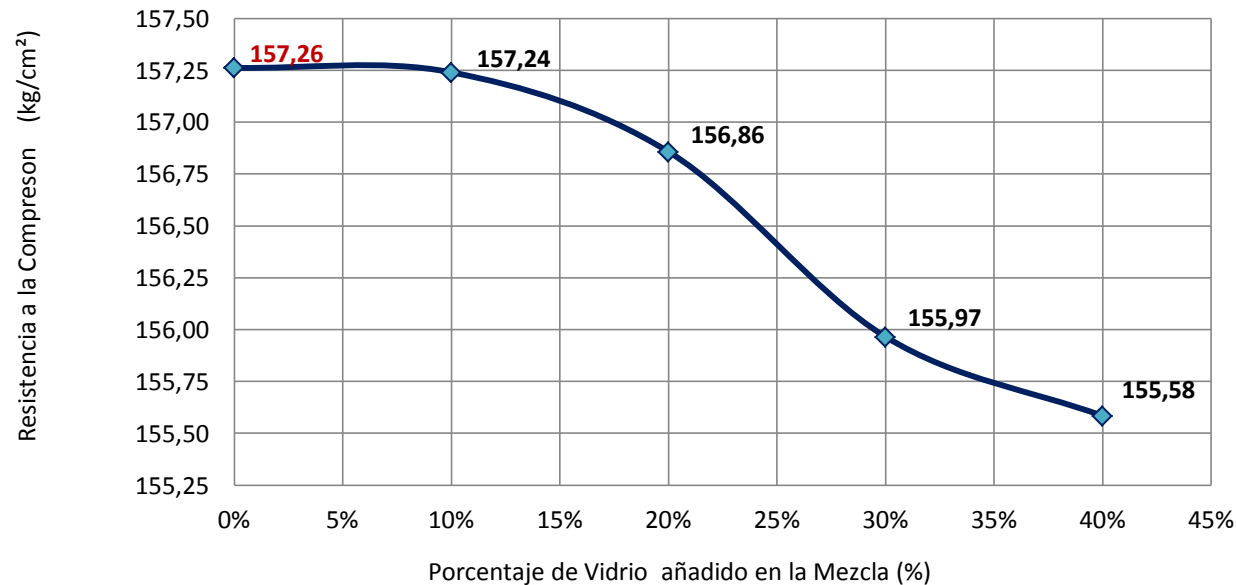
Fuente.- Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo

Tabla N°29. Resistencia a la Compresión del Hormigón a los 28 Días de Edad

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 												
Elaborado por: Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo			Fecha de Elab.: 04/02/2016				Fecha de Ensayo.: 02/03/2016				Norma: INEN 1573	
N°	% De Vidrio	Ø cm	h cm	V m³	Peso kg	Densidad del H° kg/m³	Densidad Promedio kg/m³	Área cm²	Carga (P) 400	Carga (P) KG	Esfuerzo de Compresión kg/cm²	f`c kg/cm²
1	0%	15,30	30,4	0,0056	13,241	2369,05	2389,40	183,85	440,80	44949,08	244,48	227,73
2		15,30	30,5	0,0056	13,304	2372,52		183,85	402,60	41053,77	223,30	
3		15,10	30,5	0,0055	13,254	2426,63		179,08	378,30	38575,86	215,41	
4	10%	15,20	30,4	0,0055	13,183	2389,81	2411,29	181,46	402,10	41002,78	225,96	224,09
5		15,10	30,4	0,0054	13,324	2447,47		179,08	391,20	39891,29	222,76	
6		15,10	30,4	0,0054	13,047	2396,59		179,08	392,60	40034,05	223,56	
7	20%	15,60	30	0,0057	13,961	2434,76	2397,58	191,13	400,70	40860,02	213,78	223,66
8		15,20	30	0,0054	12,993	2386,77		181,46	364,50	37168,65	204,83	
9		15,30	29,9	0,0055	13,035	2371,19		183,85	455,00	46397,08	252,36	
11	30%	15,15	30,5	0,0055	13,186	2398,27	2385,82	180,27	391,80	39952,47	221,63	221,68
12		15,10	30,5	0,0055	12,989	2378,11		179,08	389,40	39707,74	221,73	
13	40%	15,20	30	0,0054	12,957	2380,16	2405,63	181,46	405,70	41369,88	227,99	234,76
14		15,20	29,9	0,0054	12,948	2386,46		181,46	432,90	44143,51	243,27	
15		15,00	30	0,0053	12,990	2450,28		176,71	403,80	41176,13	233,01	

Fuente.- Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo

Gráfico N°19. Curva de Resistencia a la Compresión del Hormigón a los 7 Días de Edad vs. Porcentaje de Vidrio Molido

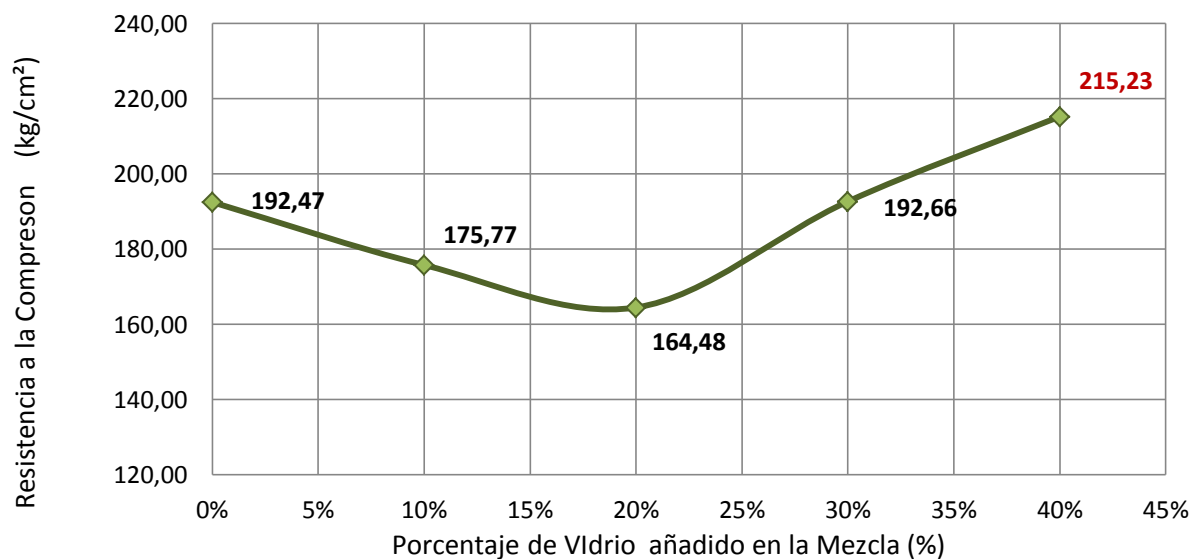


Fuente.- Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo

Interpretación: El ensayo a compresión de las probetas de hormigón a los 7 días de edad permite identificar que las muestras de hormigón común alcanzan una mayor resistencia (157.26 kg/cm²), a la vez se observa que conforme incrementa el porcentaje de adición de vidrio en reemplazo parcial de la arena la resistencia disminuye ligeramente, sin embargo todas las muestras adquieren una resistencia a la compresión dentro de los límites admisibles para los siete días.

Límite Inferior = 65% (136.5 kg/cm²); Promedio = 70% (147 kg/cm²); Límite Superior = 75% (157.5 kg/cm²)

Gráfico N°20. Curva de Resistencia a la Compresión del Hormigón a los 14 Días de Edad vs. Porcentaje de Vidrio Molido



Fuente.- Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo

Interpretación: Se visualiza que a los 14 días de edad el aumento de vidrio en reemplazo parcial de la arena para elaboración de hormigón va reduciendo la resistencia a la compresión hasta las mezclas con un 20% de vidrio, a partir de ahí las mezclas de hormigón con 30% y 40% de vidrio empiezan a ganar resistencia. A esta edad la mayor resistencia se obtuvo en los cilindros elaborados con 40% de vidrio (215.23 kg/cm²) pasando el límite superior establecido de resistencia.

Límite Inferior = 80% (168 kg/cm²); Promedio = 85% (178.5 kg/cm²); Límite Superior = 90% (189 kg/cm²)

Gráfico N°21. Curva de Resistencia a la Compresión del Hormigón a los 28 Días de Edad vs. Porcentaje de Vidrio Molido

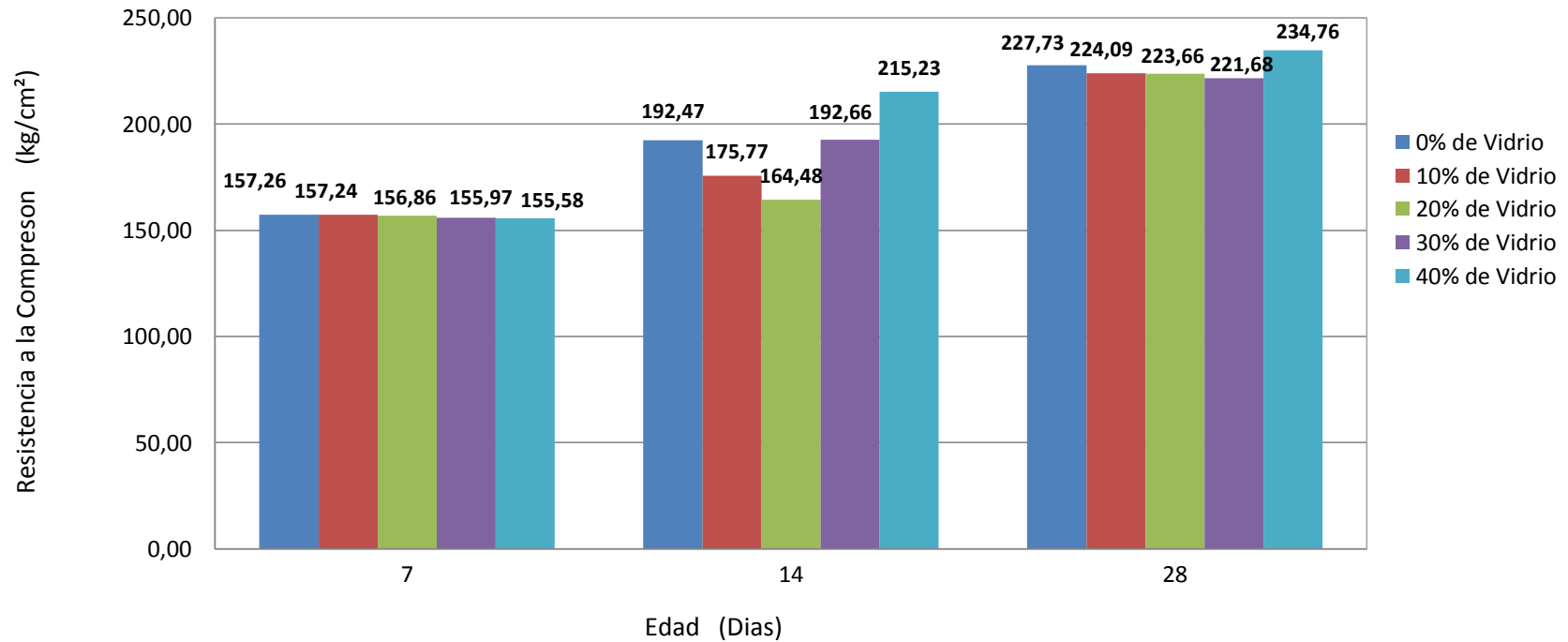


Fuente.- Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo

Interpretación: A los 28 días de edad el hormigón ensayado a compresión muestra que a mayor contenido de vidrio la resistencia disminuye sutilmente hasta la mezcla con 30% de vidrio por arena, con 40% de vidrio reciclado usado en reemplazo parcial de la arena el concreto adquiere una resistencia mayor a las alcanzadas por las demás mezclas (234.76 kg/cm²). Todas las probetas alcanzan resistencias adecuadas.

Límite Inferior = 95% (199.5 kg/cm²); Promedio = 100% (210 kg/cm²); Límite Superior = 105% (220.5 kg/cm²).

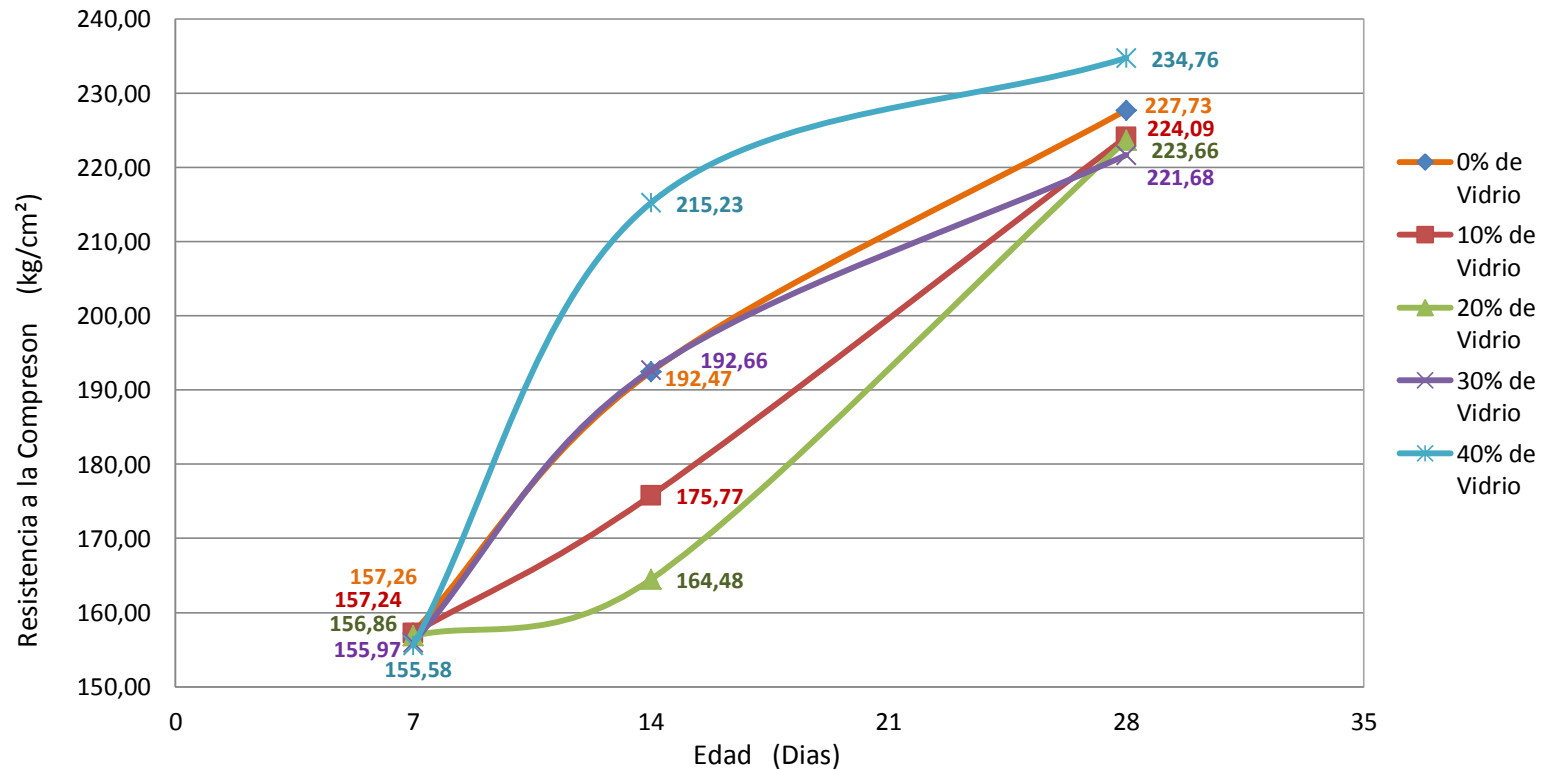
Gráfico N°22. Resistencia a la Compresión del Hormigón vs. Edad del Hormigón.



Fuente.- Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo

Interpretación: Los ensayos de compresión ejecutados a las probetas en las diferentes edades muestran que a los siete días la mayor resistencia se da en el hormigón sin contenido de vidrio, a los 14 y 28 días un 40% de vidrio presenta la mayor resistencia en los cilindros.

Gráfico N°23. Curva de Resistencia a la Compresión del Hormigón vs. Edad del Hormigón.



Fuente.- Daniela Alejandra Peñafiel Carrillo

Interpretación: Podemos observar el comportamiento que tuvo cada mezcla a través del tiempo hasta alcanzar la resistencia máxima a los 28 días de edad. Las mezclas de hormigón común, las que contienen 30% y 40% de vidrio presentan una curva de crecimiento rápida de la resistencia a la compresión, mientras que el concreto elaborado con 10% y 20% de vidrio tiene un ascenso ralentizado de resistencia.

4.2.1 Interpretación de Resultados

- Ensayos Realizados a los Agregados

Con los ensayos ejecutados al agregado grueso de la Mina Santa Isabel y al agregado fino de la Mina Maricela del Cantón Mera, Provincia de Pastaza se verifica en cada ensayo que estos son aptos para la elaboración de hormigón al estar dentro los límites permisibles y establecidos por las normas Inen correspondientes.

- Ensayo Realizado al Cemento

El ensayo de la densidad real del cemento aplicado a una muestra de cemento Holcim Rocafuerte nos permite obtener el valor real y necesario de la densidad para emplearlo en la dosificación.

- Ensayo Realizado al Vidrio Reciclado

El vidrio reciclado en forma de botellas es lavado, desinfectado y triturado, consecuentemente se realizó el ensayo de granulometría determinando que el tamaño de la muestra obtenida es apto para reemplazar a la arena en la elaboración de hormigón. El vidrio con un modulo de finura de 3.226 y la arena con 2.23 se complementan de manera idónea.

- Ensayo de Compresión de Probetas Cilíndricas de Hormigón

Las muestras elaboradas para cada porcentaje de vidrio añadido en reemplazo parcial de la arena y ensayadas a compresión a las distintas edades alcanzaron las resistencias requeridas incluso llegando a sobrepasar el límite superior de resistencia común en el hormigón, el único caso en el que no se llegó al límite inferior de resistencia son las probetas elaboradas con 20% de vidrio molido ensayadas a los 14 días de edad, esto a causa del proceso de ensayo.

4.3 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

El análisis de los resultados obtenidos en los diferentes ensayos ejecutados permite dar veracidad a la hipótesis planteada. Comprobando que el empleo de vidrio molido proveniente de reciclaje de botellas en reemplazo parcial del agregado fino en la elaboración de hormigón de $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ permite mantener la resistencia a la compresión dentro de un rango considerable y en algunos casos mejorarla.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Al procesar el vidrio reciclado de botellas previamente desinfectadas, mediante una máquina trituradora de mandíbula, se obtuvo un material cuya curva granulométrica permitió aceptarlo como material adecuado para la elaboración de hormigón en reemplazo parcial de la arena, debido a que la curva se encuentra dentro de los parámetros establecidos por la norma Inen 872, ajustándose a los límites mejor que la arena proveniente de la Mina Maricela en el Cantón Mera, esto se debe a que el vidrio al ser procesado de acuerdo a ciertos requerimientos permite obtener una adecuada distribución granulométrica.
- Se obtuvo un Modulo de Finura (MF) del vidrio molido de 3.226 correspondiente al límite inferior de arenas gruesas, mientras que en la arena se determinó un Modulo de 2.226 tendiendo al límite superior de arenas finas. Con esto el vidrio molido y la arena de la Mina en cuestión se complementaron adecuadamente para conformar el agregado fino en el hormigón.
- El aumento del porcentaje de vidrio que reemplaza a la arena en la mezcla puede permitir disminuir la cantidad de cemento a emplear, debido a que el vidrio al tener mayor tamaño de partícula, su superficie específica disminuye requiriendo menor cantidad de cemento para cubrirla.
- Durante la elaboración del hormigón con los diferentes porcentajes de vidrio añadidos en reemplazo de la arena se visualizó que al incrementar el porcentaje de vidrio la trabajabilidad mejora levemente, debido a la impermeabilidad en el vidrio que deja agua, que en el caso de la arena seria mayormente absorbida. La homogeneidad se mantiene en todos los casos.

- La dosificación del hormigón fue elaborada en base a los datos obtenidos de los ensayos a los agregados como arena (Mina Maricela) y ripio (Mina Santa Isabel), donde la cantidad de agua determinada fue 193.489 Lts por cada m³ de hormigón, esta cantidad se ve obligada a reducirse cuando se emplea vidrio en reemplazo de la arena, gracias a su impermeabilidad.
- La consistencia no presenta una variación significativa, sin embargo se produce un ligero aumento del asentamiento conforme incrementa el contenido de vidrio, esto debido al agua no absorbida por el material de reciclaje. En todas las mezclas se obtuvo asentamientos dentro del rango para hormigón de 210 kg/cm² (6 a 9 cm).
- La determinación del peso específico del hormigón tanto en estado fresco como endurecido en el hormigón común y con los distintos contenidos de vidrio no mostró variaciones importantes, todos los valores se encuentran dentro del rango de 2000 a 3000 kg/m³. En cuanto al peso de las probetas no existe una diferencia al incrementar el porcentaje de vidrio, ligeramente las muestras con 40% de vidrio molido reducen su peso.
- Al analizar los resultados del ensayo de compresión a los 7 días de edad de probetas cilíndricas de hormigón (f_c 210kg/cm²), se obtuvo resistencias de 157.26kg/cm² para el hormigón común, 157.24kg/cm², 156.86kg/cm², 155.97kg/cm² y 155.58kg/cm² al reemplazar parcialmente a la arena por vidrio molido en 10%, 20%, 30% y 40% respectivamente; La mezcla de hormigón común logró una mayor resistencia en comparación con las que contenían vidrio alcanzando un 74.89% de la resistencia de diseño.
- En el ensayo de las probetas a los 7 días de edad se determinó que conforme se incrementa el porcentaje de vidrio la resistencia a la compresión se ve disminuida sutilmente, esto debido a que el vidrio es un material totalmente impermeable dando lugar a que la acción de adherencia con los demás componentes del hormigón se de de forma tardía y a edades tempranas por su fragilidad ocasione falla en el hormigón, sin embargo todas las muestras alcanzaron resistencias dentro de los límites establecidos.

- Las muestras cilíndricas de hormigón ensayadas a los 14 días de edad presentaron resistencias de 192.47kg/cm^2 para el hormigón común, mientras que en las que contenían vidrio se obtuvo 175.77kg/cm^2 , 164.48kg/cm^2 , 192.66kg/cm^2 y 215.23kg/cm^2 , para los porcentajes de 10% - 20% - 30% y 40% de vidrio molido respectivamente. Todas las probetas adquirieron la resistencia requerida, con excepción del hormigón elaborado con 20% de arena que obtuvo un 1.68% de error en cuanto a la resistencia requerida a esta edad; esto debido a que durante el ensayo existió un cilindro cuyo diámetro sobrepasaba la capacidad de los cabezales de neopreno, por lo cual se lo ensayo usando placas, esto dio como resultado un valor considerado absurdo, que para efecto de análisis fue descartado.
- Las muestras ensayadas a los 14 días manifiestan que mientras se aumenta el contenido de vidrio molido como reemplazo de la arena la resistencia se reduce ligeramente hasta la mezcla que contiene 20% de vidrio, a partir de aquí se produce un aumento de la resistencia hasta alcanzar el 102.5% de la resistencia de diseño con un 40% de vidrio añadido.
- El ensayo de compresión a los 28 días de edad arrojó los siguientes resultados de resistencia 227.73kg/cm^2 , 224.09kg/cm^2 , 223.66kg/cm^2 , 221.68kg/cm^2 y 234.76kg/cm^2 , para adición de vidrio molido del 0% - 10% - 20% - 30% y 40% respectivamente. Verificando así que todas alcanzaron la resistencia de diseño.
- A los 28 días las muestras ensayadas permiten determinar que las mezclas cuyo porcentaje de vidrio añadido en reemplazo parcial de la arena es de 10, 20 y 30% alcanzan una resistencia ligeramente menor a la resistencia obtenida con las probetas de hormigón común, mientras que en el hormigón elaborado con 40% de vidrio en reemplazo de la arena se obtuvo una resistencia mayor a la del hormigón patrón, logrando 111.8% de la resistencia de diseño.
- Como se presenta en la Gráfica N°23, las curvas de las mezclas con un 30% y 40% de vidrio molido añadido en reemplazo parcial de la arena tienen la forma característica de la curva Edad vs Resistencia Relativa a la Compresión del Hormigón común, donde el incremento de resistencia es mayor en las primeras

edades y va ralentizándose con el paso del tiempo hasta estabilizarse. Para las curvas correspondientes a las mezclas con 10% y 20% de vidrio el proceso de incremento de resistencia con la edad es relativamente lento; sin embargo cabe mencionar que todas las mezclas sobrepasaron el f_c de diseño, alcanzado a los 28 días de edad.

- Se evidencia tras los análisis que el porcentaje óptimo que mejora la resistencia al interactuar químicamente con el cemento es el 40% de vidrio molido en peso reemplazando a la arena, siendo éste el que permite obtener mayores resistencias a edades a partir de los 14 días donde se empiezan a dar las reacciones. Esto ocurre debido a que llega un punto donde el vidrio molido cumple la función de reemplazar parcialmente a la arena y adicionalmente como lo menciona Parviz Soroushian, profesor de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad Estatal de Michigan en las investigaciones sobre un hormigón con aproximadamente 20% del cemento sustituido con vidrio reciclado molido, “El vidrio molido entra en una reacción beneficiosa con los hidratos del cemento, así que básicamente la química del cemento se mejora con el vidrio” “Se hace más fuerte y más durable y no absorbe el agua tan rápido como el cemento” [29], de aquello se deduce que el 40% de vidrio contenido en la mezcla es el punto de partida para mejorar las características del hormigón, con considerables incrementos de resistencia debidos a las propiedades mecánicas, al tamaño, a la composición (propiedades puzolánicas) y geometría del vidrio.
- El incremento de resistencia se da con la edad debido a que al usar el vidrio molido este sigue el mismo fenómeno físico de endurecimiento que el cemento, sus partículas se hidratan progresivamente. Inicialmente de manera superficial, y desde ahí el endurecimiento continúa hasta llegar al núcleo de las partículas.
- El empleo de vidrio molido en la elaboración de hormigón ofrece algunas ventajas y beneficios como reducir la materia orgánica, que en el caso de la arena empleada en el estudio está presente al ser un material proveniente del lecho del río Pastaza, las impurezas se pueden reducir en el vidrio reciclado al darle un adecuado tratamiento de desinfección, proporcionando mejor reacción con los

distintos componentes como el cemento y el agua; Mejora la resistencia a la humedad otorgándole al hormigón mayor durabilidad.

- Se observó las características físicas de las probetas cilíndricas luego de ser curadas y antes de ensayarlas, las mismas que presentaron una mínima porosidad, el color se mantuvo similar para todas las muestras con los distintos porcentajes de vidrio añadido. En cuanto al peso se obtuvo una mínima diferencia con el incremento de vidrio, notándose que al incorporar 40% de vidrio molido por arena en peso, se obtiene un menor peso respecto a los demás porcentajes, demostrando que a mayor cantidad de vidrio existe un mejor secado en las muestras.
- Una vez ensayados los cilindros se pudo identificar las fallas más características, generalmente se dan desprendimientos en los extremos superior e inferior a causa de un inadecuado tratamiento de las caras de los cilindros, lo señalado se puede evitar realizando un cabeceo con mortero de azufre siguiendo la norma ASTM C 617 o colocando almohadillas no adherentes de neopreno según la norma ASTM C 1231; Otra falla frecuente se da por los esfuerzos de compresión debidos al ensayo, los que provocan fisuras verticales y de adherencia entre el agregado grueso y el mortero, para disminuir lo mencionado es necesario un correcto llenado de los moldes cilíndricos, los mismos que deben ser normalizados, y proporcionar un curado que de continuidad al proceso de hidratación del cemento mejorando la durabilidad, resistencia y estabilidad volumétrica; En algunos casos se presentaron fisuras inclinadas originadas por esfuerzos de corte.
- Se identificó luego de ensayadas las probetas que la adherencia entre los componentes pasta – ripio – arena – vidrio se ve incrementada con la edad del hormigón.
- Se concluye que la elaboración de hormigón simple con $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ empleando vidrio reciclado molido en reemplazo parcial del agregado fino es una posibilidad viable tanto estructuralmente como para beneficio del medio ambiente.

5.2 RECOMENDACIONES

- Emplear agregados que se encuentren en las mismas condiciones de humedad para la elaboración de todas las muestras, garantizando así obtener resultados que son comparables para cada porcentaje de vidrio añadido.
- Establecer el medio más apropiado durante el proceso de molienda del vidrio, considerando siempre el uso de equipo de protección personal como guantes, mascarilla y gafas, para evitar aspirar el polvo proveniente del triturado el mismo que es nocivo para la salud. Durante la elaboración de las probetas es importante usar guantes, debido a que existe manipulación de la mezcla.
- Realizar el llenado, varillado y compactación de los cilindros siguiendo lo establecido en las normas, para conseguir mejores resultados evitando porosidad, acumulación de aire y deficiencia al enrasar, esta última provoca una concentración de carga no uniforme durante el ensayo de compresión.
- Dar un curado propicio a las probetas, procurando que la temperatura se encuentre entre los 10°C y los 30°C, este proceso favorece el desarrollo de las propiedades en el hormigón.
- Movilizar las probetas cilíndricas de tal manera que se las proteja de golpes, fisuración o daños que conlleven a pérdidas de su capacidad de resistencia.
- Secar los cilindros antes de ensayarlos, es factible hacerlo media hora descansado el cilindro sobre la una cara y media hora sobre la otra, así se impide que el agua proveniente del curado se concentre en una zona y provoque falla anticipada del cilindro.
- Reducir la cantidad de agua empleada en la mezcla que contiene vidrio molido, para conseguir asentamientos similares a los de una mezcla común. Esto es debido a la impermeabilidad en el vidrio.

- El estudio ejecutado analiza la resistencia a compresión del hormigón al adicionar vidrio molido en reemplazo de la arena hasta en un 40%, es recomendable continuar con estudios en el tema con el motivo de conocer la influencia que pueda tener en la resistencia la adición de porcentajes mayores.
- La utilización de un material proveniente de reciclaje favorecería a la disminución en la explotación de materias no renovables.
- Utilizar cilindros metálicos normalizados, con el objeto de obtener muestras cilíndricas de hormigón que puedan ser ensayadas usando los cabezales con almohadillas de neopreno como indica la norma ASTM C617, caso contrario se requiere realizar un cabeceo con mortero de azufre siguiendo la norma ASTM C1231, para evitar resultados erróneos.

C. MATERIALES DE REFERENCIA

1 BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. Catalan. “Estudio de la Influencia del Vidrio Molido en Hormigones Grado H15, H20 y H30.” Tesis de título, Ingeniero Civil en Obras Civiles, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile, 2013. [Online]. Disponible: [doi:http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2013/bmfic357e/doc/bmfic357e.pdf](http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2013/bmfic357e/doc/bmfic357e.pdf) [Nov. 15, 2015].
- [2] Roz-Ud-Din Nassar and Parviz Soroushian. (2011, Oct.). “Strength and durability of recycled aggregate concrete containing milled glass as partial replacement for cement.” *Construction and Building Materials J.* [Online]. Vol. 29, pp. 368-377. Disponible: <http://news.msu.edu/media/documents/2012/02/2bebe2ce-4e0a-49ce-a450-a142a112bde4.pdf> [Marzo 12, 2016].
- [3] Parviz Soroushian. “Towards Broad use of Recycled Glass Concrete on MSU Campus.” Internet: <http://www.blackbeautyabrasives.com/admin/resources/msu-study-recycled-glass-as-a-cement-replacement.pdf> [Marzo 12, 2016]
- [4] “En Galápagos se Recicla el Vidrio.” *La Hora* (Dic. 27, 2013), sec. B9 p. 15.
- [5] Marcelo Castillo, “Investigación de la Utilización del Vidrio Molido como Material de Construcción y Técnicas Constructivas.”, World Wildlife Fund (WWF), Isla Santa Cruz, Galápagos Ecuador, Informe 2, 21 Junio. 2010. Disponible: http://awsassets.panda.org/downloads/fz08_producto_2_marcelo_castillo_corregido___anexo.pdf
- [6] D. Hidalgo y R. Calderón. “Obtención de Adoquines Fabricados Con Vidrio Reciclado como Agregado.” Tesis de Título, Ing. Mecánico, Facultad de Ingeniería Mecánica, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2013. [Online]. Disponible: doi: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/6104>

- [7] J. Jiménez y C. Núñez. “Plan de Desarrollo Ambiental de la Provincia de Pastaza.” Centro de Ingeniería y Geoinformación Ambiental, GADP de Pastaza, Puyo, Ecuador, Consultoría, Marzo. 2014.
- [8] Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC), “Población y Tasas de Crecimiento Intercensal de 2010-2001-1190 por sexo, según parroquias”. Internet: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/?s=poblaci%C3%B3n> [Nov. 15, 2015]
- [9] Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC), “Población de 10 años y más años por condición de actividad, según provincia, cantón y parroquia de empadronamiento y sexo”. Internet:<http://www.ecuadorencifras.gob.ec/?s=poblaci%C3%B3n>[Nov. 15,2015]
- [10] J. Jiménez y C. Núñez. “Plan de Desarrollo Ambiental de la Provincia de Pastaza.” Centro de Ingeniería Y Geoinformación Ambiental, GADP de Pastaza, Puyo, Ecuador, Consultoría, Marzo. 2014.
- [11] “Hormigones Ingeniería de Edificación.” Internet: <http://ocw.usal.es/enseñanzas-tecnicas/materiales-ii/contenidos/HORMIGON%20IE.pdf> [Nov. 22, 2015]
- [12] S. Medina. *Ensayo de Materiales II*. Ambato, Ecuador, 2013, p. 8.
- [13] S. Medina. *Ensayo de Materiales II*. Ambato, Ecuador, 2013, p. 3.
- [14] Jack C. MacCormac. *Diseño de Concreto Reforzado*, 5ta ed. México, D. F.: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V., Abril 2005, pp. 1-11.
- [15] Jack C. MacCormac. *Diseño de Concreto Reforzado*, 5ta ed. México, D. F.: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V., Abril 2005, p. 9.

- [16] Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). “Cemento Portland. Requisitos.” Ecuador. NTE INEN 152, Sep. 2012.
- [17] S. Medina. *Ensayo de Materiales II*. Ambato, Ecuador, 2013, p.11.
- [18] Jack C. MacCormac. *Diseño de Concreto Reforzado*, 5ta ed. México, D. F.: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V., Abril 2005, p. 10.
- [19] Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). “Hormigón y Áridos para Elaborar Hormigón. Terminología.” Ecuador. NTE INEN 694, Junio 2010.
- [20] José M. Igoa. *Manual del Constructor*, 1º ed. Barcelona, España: Ediciones CEAC, S.A., Octubre 1981, p. 46.
- [21] S. Medina. *Ensayo de Materiales II*. Ambato, Ecuador, 2013, p. 26.
- [22] C. Catalan. “Estudio de la Influencia del Vidrio Molido en Hormigones Grado H15, H20 y H30.” Tesis de título, Ingeniero Civil en Obras Civiles, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile, 2013. [Online]. Disponible: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2013/bmfcic357e/doc/bmfcic357e.pdf> [Nov. 15, 2015].
- [23] Marcelo R. Proaño. (2008). *Temas de Hormigón Armado. (1^{era} edición)*. [Online]. Disponible: <http://publiespe.espe.edu.ec/librosvirtuales/hormigon/indice-00-00-00-00.htm> [Abril 26, 2016].
- [24] José M. Igoa. *Manual del Constructor*, 1º ed. Barcelona, España: Ediciones CEAC, S.A., Octubre 1981, p. 267.

- [25] “Propiedades Generales del Vidrio.” Internet: http://www.centrocristal.com.ar/Productos/propiedades_generales_del_vidrio.htm [Abril. 21, 2016]
- [26] Marcelo Castillo, “Investigación de la Utilización del Vidrio Molido como Material de Construcción y Técnicas Constructivas.” World Wildlife Fund (WWF), Isla Santa Cruz, Galápagos, Ecuador, Informe 2, 21 Junio 2010. Pp 3-4. Disponible:http://awsassets.panda.org/downloads/fz08_producto_2_marcelo_castillo_corregido___anexo.pdf
- [27] José M. Igoa. *Manual del Constructor*, 1º ed. Barcelona, España: Ediciones CEAC, S.A., Octubre 1981, p. 268.
- [28] J. Espinas y N. Mateu. “El Vidrio I.” Internet: <http://www.salleurl.edu/tecnologia/pdf/teoria/primerC/14.pdf>, [Nov. 22, 2015]
- [29] Roz-Ud-Din Nassar and Parviz Soroushian. (2011, Oct.). “Strength and durability of recycled aggregate concrete containing milled glass as partial replacement for cement.” *Construction and Building Materials J.* [Online]. Vol. 29, pp. 368. Disponible: <http://news.msu.edu/media/documents/2012/02/2bebe2ce-4e0a-49ce-a450-a142a112bde4.pdf> [Abril 26, 2016].

2 ANEXOS

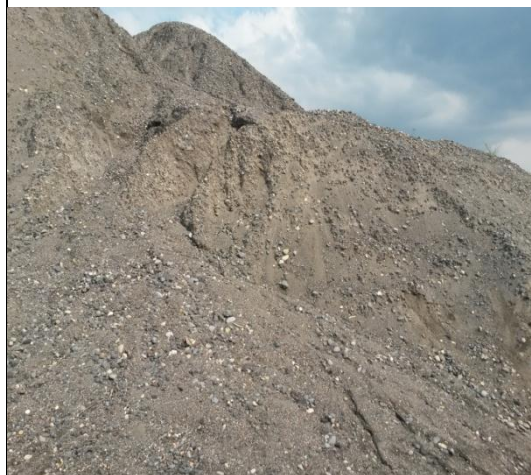
2.1 ANEXO FOTOGRÁFICO



Concesión Minera Santa Isabel – Ripio



Proceso de Trituración – Obtención



Mina Maricela – Agregado Fino (Arena)



Recolección de Material Árido



Materiales - Densidad Real del Cemento



Ensayo Densidad Real del Cemento



Granulometría del Ripio – Tamices



Ensayo Granulométrico del Ripio



Granulometría de la Arena - Tamizado



Ensayo Granulométrico de la Arena



Densidad Aparente Suelta Ripio (DASR)



Enrase del molde para la DASR



Densidad Aparente Suelta Arena (DASA)



Enrase del Molde para la DASA



Densidad Ap. Compactada Arena (DACA)



Masa Recipiente mas arena para DACA



Densidad Ap. Compactada Ripio (DACR)



Enrase del Molde para la DACR



Mezcla de Agregados



DAC de una Mezcla de Agregados



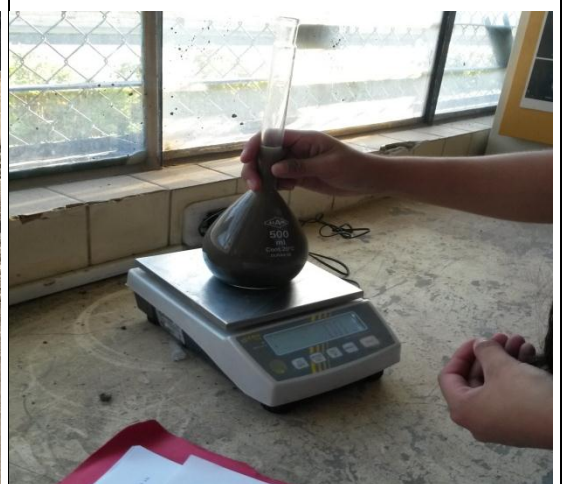
Agregado Grueso en Condición SSS



Densidad Real del Ripio



Condición de Humedad de la Arena



Densidad Real de la Arena



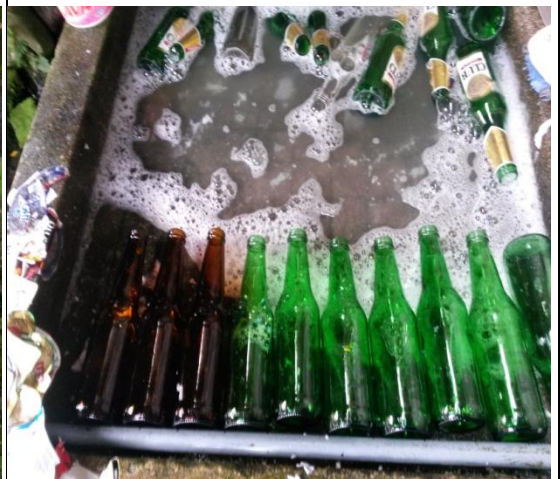
Capacidad de Absorción de los Agregados



Secado al Horno de los Agregados



Recolección de Botellas de Vidrio



Limpeza de Botellas de Vidrio



Máquina Trituradora de Mandíbula



Molienda del Vidrio



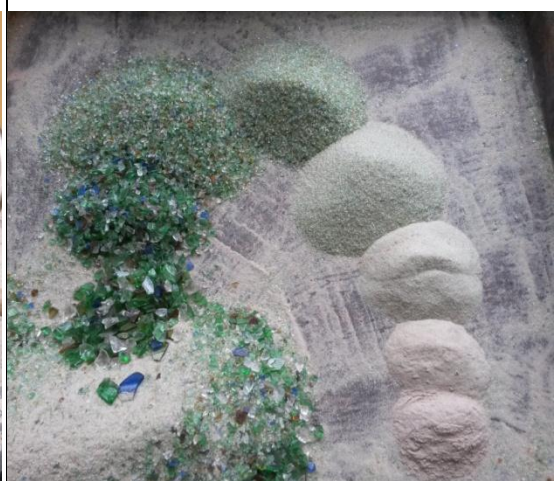
Material obtenido de la molienda



Vidrio reciclado molido



Análisis Granulométrico del Vidrio



Distribución Granulométrica del Vidrio



Medición de altura y \varnothing de los cilindros



Masa de los cilindros vacíos



Equipo empleado en la elaboración de H°



Moldes metálicos engrasados



Pesaje de los materiales



Pesaje del porcentaje en peso de vidrio



Agua - Cemento - Ripio - Arena - Vidrio



Mezcla de materiales



Mezcla de Hormigón fresco



Determinación de la Consistencia



Elaboración de Probetas Cilíndricas de H^o



Compactación de capas de hormigón



Masa de hormigón en estado fresco



Probetas Cilíndricas Elaboradas



Curado de las Probetas de Hormigón



Transporte de Cilindros de Hormigón



Secado de las Muestras de Hormigón



Ensayo a Compresión de los Cilindros



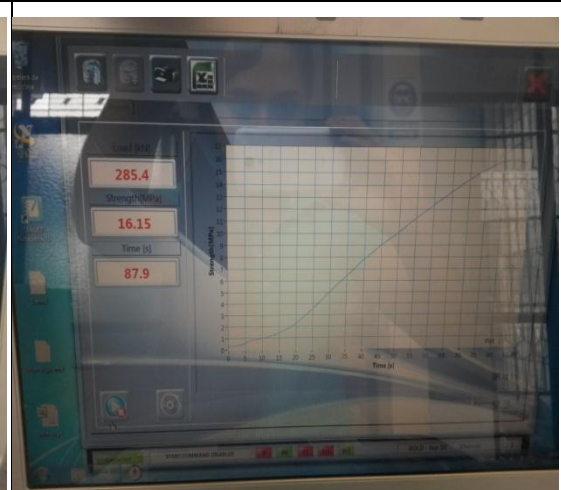
Ensayo de Cilindros a Compresión



Ensayo a Compresión de Cilindros



Resistencia a los 7 Días – 10% de Vidrio



Resistencia a los 14 Días - 20% de Vidrio



Resistencia a los 28 Días – 20% de Vidrio



Cilindro de Composición Normal



Cilindro con 10% de Vidrio



Cilindro con 20% de Vidrio molido



Probeta con 30% de Vidrio



Probeta Cilíndrica con 40% de Vidrio



Adherencia: Ripio – Arena – Vidrio Molido – Pasta