



UNIVERSIDAD ESTATAL

PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA: INGENIERÍA CIVIL

**“ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL HORMIGÓN
CON ADICION DE POLVO DE VIDRIO RECICLADO”**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del título de:

INGENIERA CIVIL

AUTORA: FLORES DE LA ROSA VANESSA MARCELA

TUTOR: ING. JUAN GARCÉS VARGAS, Mgp.

LA LIBERTAD – ECUADOR

2015

UNIVERSIDAD ESTATAL

PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA: INGENIERÍA CIVIL

**“ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL HORMIGÓN
CON ADICION DE POLVO DE VIDRIO RECICLADO”**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERA CIVIL

AUTORA: FLORES DE LA ROSA VANESSA MARCELA

TUTOR: ING. JUAN GARCÉS VARGAS, Mgp.

LA LIBERTAD – ECUADOR

2015

Dedicatoria.

A mis Padres:

A mi padre Marcelo Flores Larrea, que me ayudó y fue el pilar fundamental en la ejecución del proyecto, estuvo ahí apoyándome durante todos estos años de estudios.

A mi madre Gloria De La Rosa De La Cruz, que estuvo pendiente de mí.

A mi pareja Bryan Barzola Ruperti, quién me apoyo y alentó para continuar, me ayudo cuando lo necesite y en momentos se preocupaba más que yo por mi proyecto.

A mis maestros y tutores quienes depositaron su esperanza en mí. En especial a la Ing. Lucrecia Moreno que estuvo pendiente en ayudarme y apoyarme en todo lo que necesité y que ella pudo facilitarme, fue un pilar fundamental en mi proyecto.

A ellos les dedico esta investigación por su apoyo incondicional.

Agradecimientos

A Dios, por otorgarme sabiduría, fe y fuerza necesaria para seguir y no desfallecer.

A mis padres Marcelo Flores y Gloria De La Rosa por su apoyo incondicional, por creer en mi capacidad y ayudarme a cumplir mis metas.

A mi pareja Bryan Barzola por su ayuda y aliento para lograr terminar este proyecto.

A la Ing. Lucrecia Moreno por ayudarme con sus conocimientos, por su apoyo, por abrirme las puertas de su laboratorio y muchas veces las de su casa para guiarme en mi proyecto. Por su amistad gracias.

A mis compañeros con los que muchas veces intercambiamos información valiosa, que nos ayudó a avanzar en conjunto nuestros proyectos.

A todos gracias.

La Libertad, 2 abril del 2015

APROBACION DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo de graduación **“ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL HORMIGÓN CON ADICION DE POLVO DE VIDRIO RECICLADO”** realizada por los señorita FLORES DE LA ROSA VANESSA MARCELA, egresada de la Carrera de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, me permito declarar que he orientado y revisado el trabajo de graduación certificando que la investigación reúne los requisitos para ser evaluado por parte del tribunal de grado que se le designe.

Atentamente

Ing. Juan Garcés Vargas,Mgp.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ingeniero Ramón Muñoz Suárez
DECANO DE LA FACULTAD

Ingeniero Juan Garcés Vargas
DIRECTOR DE LA CARRERA
TUTOR DE TESIS

Ing. Lucrecia Moreno
PROFESOR DE AREA

Abg. Joe Espinoza Ayala
SECRETARIO GENERAL

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS	VIII
ÍNDICE DE GRÁFICAS	IX
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	X
ÍNDICE DE ANEXOS	XIII
GLOSARIO.....	XV
RESUMEN EJECUTIVO	1
EXECUTIVE SUMMARY.....	3
CAPÍTULO I.....	5
1.- Marco de referencia o generalidades.	5
1.1.- Introducción.....	5
1.2.- Limitaciones.	7
1.3.- El problema.	7
1.4.- Objetivos.	8
1.5.- Hipótesis.....	8
1.6.- Variables.	9
1.7.- Metodología.....	9
1.8.- Historia del cemento.	10
CAPÍTULO II.....	13
2.- Marco teórico general.	13
2.1.-Materiales que se emplean en la fabricación del hormigón convencional.....	13
2.2.- Funciones de los materiales empleados en la fabricación de hormigón convencional.....	18
2.3.- Nuevo tipo de hormigón con adición de polvo de vidrio reciclado.....	21
CAPÍTULO III	31
3.- Etapa experimental	31
3.1.- Descripción de los materiales usados para la fabricación de cilindros de hormigón.	31
3.2.- Ensayos para determinar la aceptación del uso de áridos en el hormigón.....	32

3.2.1.1.- Ensayo para determinar el material más fino que el tamiz de 75 micras. ...	33
3.2.1.2.- Contenido de terrones de arcillas y partículas desmenuzables.	34
3.2.1.3.- Determinación de partículas livianas	35
3.2.1.4.- Partículas en suspensión después de una hora de sedimentación.	36
3.2.1.5.- Impurezas orgánicas.....	37
3.2.1.6.- Resistencia a la abrasión	38
3.2.1.7.- Determinación de la solidez del árido mediante el uso de sulfato de magnesio.	39
3.3.- Diseño de la mezcla de hormigón.....	40
3.3.1.- Información requerida para realizar la dosificación del diseño de la mezcla del cilindro patrón.....	41
3.3.2.-Pasos para el proporcionamiento.....	46
3.4.- Elaboración de las mezclas.	47
CAPÍTULO IV	57
4.- Resultados y análisis de los ensayos realizados.	57
4.1.- Sustancia perjudicial de los áridos.....	57
4.2.- Características físicas de los agregados utilizados en la mezcla de hormigón.....	58
4.3.- Diseño del cilindro patrón.	59
4.4.- Compresión simple.	60
4.5.- Densidades del hormigón endurecido.....	65
4.6.- Reacción álcali sílice	66
4.7.- Absorción.....	68
CAPÍTULO V	71
5.-Análisis de precio.	71
CAPÍTULO VI.....	73
5.- Conclusiones y recomendaciones.....	73
5.1.- Conclusiones.	73
5.2.- Recomendaciones.	75
Referencias Bibliográficas.	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Componentes mineralógicos.	14
Tabla 2.- Masa mínima de la muestra.	33
Tabla 3.- Masa mínima de la muestra.	34
Tabla 4.- Masa mínima de la muestra.	35
Tabla 5.- Masa mínima de la muestra.	38
Tabla 6.- Fracción de la muestra.	39
Tabla 7.- Masa mínima de la muestra de ensayo.....	42
Tabla 8.- Masa mínima de la muestra.	45
Tabla 9.- Cantidad de material necesario para el ensayo.	52
Tabla 10.- Sustancias perjudicial del árido fino para hormigón.....	57
Tabla 11.- Sustancias perjudicial del árido grueso para hormigón.....	57
Tabla 12.- Características físicas del agregado grueso.	58
Tabla 13.- Características físicas agregado fino.....	59
Tabla 14.- Dosificaciones para las mezclas de hormigón.	60
Tabla 15.- Dosificación para 3 barras con agregados 60-40.....	66
Tabla 16.- Dosificación para 3 barras 60-40 +5%-200.....	67
Tabla 17.- Selección del revenimiento.....	95
Tabla 18.- Selección de la cantidad de agua.	95
Tabla 19.- selección del volumen de agregado grueso.	96
Tabla 20.- Selección de a relación agua cemento.....	96

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1.- Granulometría agregado grueso.	58
Gráfica 2.- Granulometría agregado fino.	59
Gráfica 3.- Patrón y mezclas con polvo de vidrio 5%-100,10%-100.	61
Gráfica 4.- Patrón y mezclas con polvo de vidrio 5%-200,10%-200, 20%-200.	61
Gráfica 5.- Patrón con polvo de vidrio 5%-325,10%-325, 20%-325.....	63
Gráfica 6.-. Patrón y mezclas con polvo de vidrio 5%-100 ámbar, verde y transparente.	64
Gráfica 7.-Patrón y vidrio en reemplazo del 25% de arena.....	65
Gráfica 8.- Comparación de las densidades del hormigón endurecido.	66
Gráfica 9.- Deformación barras con agregados 60-40.	66
Gráfica 10.- Deformación barras 5%-200.	68
Gráfica 11.- Absorción del hormigón.	68
Gráfica 12.- Índice de actividad puzolánica-método del cemento.....	69
Gráfica 13.-Pérdida por calcinación del polvo de vidrio.....	69

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.- Requisitos de gradación agregado grueso.	20
Ilustración 2.- requisitos de gradación agregado fino.....	20
Ilustración 3.- Estructura Cristalina, Estructura vítrea	21
Ilustración 4.- Recolección de botellas de vidrio.	26
Ilustración 5.- Clasificación por color	26
Ilustración 6.- Botellas limpias.....	26
Ilustración 7.- Botellas de vidrio en almacenamiento antes de su rotura.....	27
Ilustración 8.- Molino de martillos fabricado por el autor	27
Ilustración 9.- Molino de rodillos fabricado por el autor.....	28
Ilustración 10.- Tamizado del material malla #100.	29
Ilustración 11.- Tamizado del material malla #200.	29
Ilustración 12.- Polvo de vidrio ámbar tamizado pasante malla #100.....	29
Ilustración 13.- Polvo de vidrio verde tamizado pasante malla #200.....	29
Ilustración 14.- Lavado del material sobre tamiz 200	33
Ilustración 15.- Tamizado húmedo	35
Ilustración 16.- Decantación	36
Ilustración 17.-Probeta en reposo.	37
Ilustración 18.- Agregado fino en la solución de hidróxido de sodio.....	37
Ilustración 19.- Muestras para realizar el ensayo de abrasión.....	39
Ilustración 20.-Muestra sumergida en la solución de sulfato de magnesio.	40
Ilustración 21.- Agregado saturado superficialmente seco	42
Ilustración 22.- Agregado fino saturado superficialmente seco	43
Ilustración 23.- peso del material	44
Ilustración 24.- Peso agregado grueso retenido.....	45
Ilustración 25.- Peso agregado fino retenido.....	46
Ilustración 26.- Medición del asentamiento	49
Ilustración 27.- Temperatura de la mezcla.....	50
Ilustración 28.- Problema causado por la reacción álcali sílice.	52
Ilustración 29.- Problema causado por la reacción álcali sílice, fisura en mapa.	52
Ilustración 30.- Llenado de las barras.	53

Ilustración 31.- Cilindros llenos de hormigón.....	54
Ilustración 32.- Peso de la muestra saturada superficialmente seca	55
Ilustración 33.- Agregado fino después del lavado.	78
Ilustración 34.- Agregado fino antes del lavado.....	78
Ilustración 35.- Lavado del material.	78
Ilustración 36.- Agregado fino en agua destilada.	80
Ilustración 37.- Lavado del agregado sobre el tamiz de 850 micras (N° 20).....	80
Ilustración 38.- Agregado grueso sumergido por 24 horas en agua destilada.....	80
Ilustración 39.- Apretando y rodando las con los dedos el agregado de forma individual.....	80
Ilustración 40.- Proceso de decantación.....	82
Ilustración 41.- Agregado fino sumergido en la solución de óxido de zinc.....	82
Ilustración 42.-Agregado grueso sumergido en la solución de óxido de zinc.....	82
Ilustración 43.- Peso del agregado grueso.....	82
Ilustración 44.- Muestra de ensayo en la probeta graduada.	84
Ilustración 45.- Muestra del agregado fino.	84
Ilustración 46.- Muestra en reposo.	84
Ilustración 47.- 130 cm ³ de agregado fino aproximadamente.	86
Ilustración 48.- Peso del agregado fino.....	86
Ilustración 49.- Muestra con la solución de hidróxido de sodio 1N.....	86
Ilustración 50.- Muestra con el comparador de color normalizado, corresponde al color 1.	86
Ilustración 51.- Tamices para determinar el tamaño de la muestra.	87
Ilustración 52.- Material lavado.	87
Ilustración 53.- Peso del material.	89
Ilustración 54.- Agregado grueso en la solución de sulfato de magnesio.....	89
Ilustración 55.- Gravedad específica.	91
Ilustración 56.- Peso volumétrico.	91
Ilustración 57.- Granulometría, peso del material retenido.....	91
Ilustración 58.- Absorción, peso seco.	91
Ilustración 59.- Gravedad específica.	92
Ilustración 60.- Peso volumétrico suelto.....	92
Ilustración 61.- Peso volumétrico varillado.	92
Ilustración 62.- Granulometría.	92

Ilustración 63.- Realizando la prueba de revenimiento.	98
Ilustración 64.- Realizando la mezcla con polvo de vidrio.	98
Ilustración 65.- Midiendo cuanto se asentó la mezcla.	98
Ilustración 66.- Tomando la temperatura de la mezcla.	98
Ilustración 67.- Probetas terminadas.	98
Ilustración 68.- Identificando los cilindros de hormigón.	98
Ilustración 69.- Cilindros de hormigón en la piscina de curado.	99
Ilustración 70.- Midiendo los cilindros, diámetro y altura.	100
Ilustración 71.- Pesando los cilindros antes de la rotura.	100
Ilustración 72.- Cilindros en la máquina de ensayo.	100
Ilustración 73.- Resultados del ensayo de compresión.	100
Ilustración 74.- Tipos de rotura de los cilindros.	100
Ilustración 75.- Mezclando.	122
Ilustración 76.- Moldes para realizar las barras.	122
Ilustración 77.- Llenando los moldes con la mezcla.	122
Ilustración 78.- Nivelando la superficie de las barras.	122
Ilustración 79.- Midiendo las barras.	122
Ilustración 80.- Desencofrando.	122
Ilustración 81.- barras en agua antes de llevar al horno a 80°C	122
Ilustración 82.- Barras en el cuarto de curado.	123
Ilustración 83.- Llenado las barras con la mezcla.	123
Ilustración 84.- Identificación de las barras.	123
Ilustración 85.- Barras sumergidas en la solución.	123
Ilustración 86.- Saturado superficialmente seco.	126
Ilustración 87.- Cilindros cortados.	126
Ilustración 88.- Cilindros en el horno.	126
Ilustración 89.- Peso del cilindro superficialmente seco.	126
Ilustración 90.- Llenado de los moldes cúbicos.	128
Ilustración 91.- Moldes en el cuarto de curado antes de desencofrar.	128
Ilustración 92.- Cubos en el cuarto de curado.	128
Ilustración 94.- Muestra en la mufla a 950°C	130
Ilustración 93.- Muestra en el crisol	130
Ilustración 95.- Muestra en el desecador	130
Ilustración 96.- Polvo calcinado	130

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.- Ensayo para determinar el material más fino que el tamiz de 75 micras.	78
Anexo 2.- Cálculos para determinar el material más fino que el tamiz de 75 micras.	79
Anexo 3.- Ensayos para determinar los terrones de arcilla y partículas desmenuzables.	80
Anexo 4.- Cálculos para determinar los terrones de arcilla y partículas desmenuzables.	81
Anexo 5.- Ensayo para determinar las partículas livianas.	82
Anexo 6.- Cálculo para determinar las partículas livianas.	83
Anexo 7.- Partículas en suspensión después de una hora de sedimentación.	84
Anexo 8.- Cálculo de las partículas en suspensión.	85
Anexo 9.- Ensayo para determinar las impurezas orgánicas.	86
Anexo 10.- Ensayo de resistencia a la abrasión.	87
Anexo 11.- Cálculo de la degradación del agregado grueso.	88
Anexo 12.- Solidez del árido mediante el uso de sulfato de magnesio.	89
Anexo 13.- Cálculo de solidez del árido mediante el uso de sulfato de magnesio.	90
Anexo 14.- Diseño de la mezcla de hormigón.	91
Anexo 15.- Cálculos propiedades físicas del agregado fino.	93
Anexo 16.- Cálculo propiedades físicas del agregado grueso.	94
Anexo 17.- Tablas para el diseño de hormigón normal norma ACI 211.1.	95
Anexo 18.- Diseño de mezcla.	97
Anexo 19.- Elaboración de las mezclas.	98
Anexo 20.- Ensayo de resistencia a la compresión.	100
Anexo 21.- Resultados de la resistencia a la compresión de cilindros de hormigón patrón y con polvo de vidrio #100 y #200.	104
Anexo 22.- 5% polvo de vidrio #100.	105
Anexo 23.- 10% polvo de vidrio #100.	106
Anexo 24.- 5% polvo de vidrio #200.	107
Anexo 25.- 10% polvo de vidrio #200.	108

Anexo 26.- 20% polvo de vidrio #200.....	109
Anexo 27.- Densidades del hormigón endurecido.....	110
Anexo 28.- Tipos de fractura.....	112
Anexo 30.- Resultados de la resistencia a la compresión de cilindros de hormigón patrón y con polvo de vidrio #325.....	114
Anexo 31.- 5%-325 MIX.	115
Anexo 32. - 10%-325 MIX.	116
Anexo 33.- 20%-325 MIX.	117
.Anexo 34.- Resultados de la resistencia a la compresión de cilindros de hormigón patrón y con polvo de vidrio #100 de acuerdo al color.....	118
Anexo 35.- 5% Transparente.....	119
Anexo 36.- 5% Verde.	120
Anexo 37.- 5% Ámbar.	121
Anexo 38.- Ensayo de reacción álcali sílice.....	122
Anexo 39.- Resultados del ensayo de reacción álcali sílice de las barras patrón. ...	124
Anexo 40.- Resultados del ensayo de reacción álcali sílice de las barras 5%-200..	125
Anexo 41.-Ensayo de absorción del hormigón.	126
Anexo 42.-Cálculo absorción del hormigón.	127
Anexo 43.-Índice de actividad puzolánica.	128
Anexo 44.-Cálculo del Índice de actividad puzolánica.	129
Anexo 45.-Pérdida por calcinación.....	130
Anexo 46.-Cálculo de pérdida por calcinación.	131

GLOSARIO

Conglomerante.- Es el material capaz de unir fragmentos de uno o varios materiales mediante transformaciones químicas, los conglomerantes más utilizados son el yeso, la cal, y el cemento.

Aglomerantes.- Material capaz de unir fragmentos de una o varias sustancias y dar cohesión al conjunto por efectos de tipo exclusivamente físico Ejemplo:barro,cola.

Clinker.- Piedra sintética con forma esférica, es el principal componente del cemento portland, esta se forma tras calcinar caliza (CaO) y arcilla (SiO₂, Al₂O₃ y Fe₂O₃) a temperatura entre 1350 y 1450 °C.

Yeso, aljez o Anhidrita (CaSO₄).- Es un mineral compuesto de sulfato de calcio hidratado; también es una roca sedimentaria de origen químico sirve para regular el fraguado (en ausencia del yeso l cemento tendría un fraguado muy rápido), este se agrega al Clinker en un porcentaje alrededor del 5% y se muele mediante un molino de bolas hasta convertirlo en un polvo fino, obteniendo como producto final el cemento Portland.

Puzolana.- La puzolana debe ser un material silíceo o sílico-aluminoso, el cual por sí mismo posee muy poco o ningún valor cementante pero que, en forma finamente dividida y en presencia de humedad, reacciona químicamente con el hidróxido de calcio a temperatura ambiente para formar compuestos que poseen propiedades cementantes.

Cemento compuesto ternario.- El cemento compuesto ternario debe ser un cemento hidráulico que consista en una mezcla íntima y uniforme, producido por 1) molienda conjunta de clinker de cemento portland con a) dos puzolanas diferentes, b) escoria granulada de altos hornos o cemento de escoria y una puzolana; o 2) por mezcla de cemento portland con a) dos puzolanas diferentes, b) cemento de escoria y una puzolana o 3) una combinación de molienda conjunta y mezcla de esos componentes.

Cemento portland puzolánico.- El cemento portland puzolánico debe ser un cemento hidráulico, en el cual el constituyente puzolana se encuentra hasta el 40% en masa del cemento compuesto.

Sostenible.- Capaz de mantenerse por sí mismo sin ayuda exterior ni merma de los recursos existentes.

PIB.- Producto Interno Bruto o Producto Bruto Interno.

PET.- Tereftalato de Polietileno, es un tipo de plástico usado generalmente en envases de bebidas y textiles, este se degrada por método químico o proceso natural, el químico es cuando se reúsa el material para formar otro producto, en el proceso natural puede tardar hasta 500 años en degradarse.

Coloide.- Proviene de la raíz griega colas que significa que puede pegarse.

RESUMEN EJECUTIVO

Los ensayos necesarios para cumplir con los objetivos expuestos se desarrollaron en el laboratorio Ingeotop, Holcim laboratorio de suelos hormigón y asfalto (UPSE) y laboratorio de química (UPSE) se realizaron los ensayos de los agregados para obtener el diseño de hormigón en el laboratorio Ingeotop ubicado en la vía Ballenita barrio los Caracoles, ensayos para determinar la aceptación de los agregados usados en el diseño de mezcla en el laboratorio de la carrera de ingeniería civil, los ensayos para determinar la reacción álcali sílice se efectuaron en el centro técnico del hormigón (Holcim) y ensayo de pérdida por calcinación en el laboratorio de química (UPSE).

Capítulo I

Se describe la metodología de la investigación: problemas, objetivos, hipótesis, metodología utilizada para efectuar el proyecto.

Capítulo II

Se habla sobre los materiales constituyentes del hormigón, las funciones que cumplen en la mezcla y la obtención de la materia prima.

Capítulo III

Se describe los ensayos realizados para obtener las propiedades físicas y químicas de los agregados y las propiedades mecánicas (resistencia a la compresión simple) del hormigón, para ello se realizaron mezclas del cilindro patrón en moldes cilíndricos de 15x30cm utilizando cemento Holcim tipo Gu, agregado grueso de la canteras calcáreas Huayco y arena gruesa de El Triunfo para luego proceder a realizar las mezclas que contenían polvo de vidrio en porcentajes variados, y finuras diferentes, todas estas mezclas se realizaron con una sola matriz de hormigón para que los resultados sean comparables.

El polvo de vidrio usado en los ensayos se lo obtuvo mediante la recolección, trituración, molienda y el posterior tamizado de las botellas de vidrio tipo sodocalcicas, los cilindros permanecieron en una piscina de agua hasta el día de su rotura (7, 21, 28, 56, 90 y 120 días).

Capítulo IV

Describe el análisis de los resultados obtenidos en los distintos ensayos realizados.

Capítulo V

Se realiza análisis de precio de la mezcla óptima

Capítulo VI

Determina las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

EXECUTIVE SUMMARY

The tests necessary to meet the exhibits were developed in the laboratory Ingeotop, soil laboratory Holcim concrete and asphalt (UPSE) and chemistry lab (UPSE) assays were performed aggregates for concrete design in the laboratory Ingeotop Ballenita located in the neighborhood via the Caracoles, tests for acceptance of the aggregates used in the mix design laboratory career civil engineering, testing to determine the alkali silica reaction technical center of the concrete (Holcim were made) and loss on ignition test in chemistry lab (UPSE).

Chapter I

Problems, objectives, assumptions, methodology for carrying out the project, the research methodology is described.

Chapter II

It discusses the constituent materials of concrete, the roles in the mixture and obtaining raw materials.

Chapter III

The tests performed to obtain the physical and chemical aggregates and mechanical properties (resistance to simple compression) of the concrete properties for that mixtures cylinder pattern is made into cylindrical molds of 15x30cm using Holcim cement type Gu, coarse aggregate described the limestone quarries and gravel Huayco El Triunfo and then proceed with mixtures containing glass powder in varying percentages, and different fineness, these mixtures were made with a single concrete matrix so that the results are comparable.

The assays used in the glass powder obtained by collecting, crushing, grinding and subsequent sieving type sodocalcicas glass bottles, cylinders remained in a pool of water until the day of rupture (7, 21, 28 , 56, 90 and 120 days).

Chapter IV

Describes the analysis of the results of all tests.

Chapter V

Price analysis is conducted the optimal mix

Chapter VI

Determines the conclusions and recommendations of the research.

CAPÍTULO I

1.- Marco de referencia o generalidades.

1.1.- Introducción.

El sector de la construcción es la principal contribución del Ecuador en el PIB, siendo el hormigón el material de construcción más empleado en el mundo, es el segundo compuesto con mayor volumen de consumo en el planeta (*MEYER*).

Un gran porcentaje de los impactos ambientales que el hormigón provoca es debido a la utilización del cemento Portland como conglomerante, por la extracción de la materia prima (caliza y arcilla) de las canteras, explotaciones a cielo abierto, altas temperaturas que se necesitan para obtener el Clinker y la gran cantidad de energía que se utiliza en la molienda del producto final, el impacto ambiental se da también por el uso de los agregados que se obtienen de las explotaciones mineras, canteras, bancos de arena, destruyendo hábitat, la reducción de estos materiales en la fabricación del hormigón es un gran paso para alcanzar lo que hoy se conoce como “hormigón verde”.

En la actualidad, se están tomando diferentes medidas para minimizar dichos impactos sobre el medio ambiente, como reducir la cantidad de cemento en la mezcla del hormigón con el uso de puzolanas y usando materiales reciclados para la sustitución de los agregados, sin que en la mezcla de hormigón se alteren sus propiedades físicas, químicas o mecánicas, entre los materiales generalmente usados se destaca:

- La sustitución del cemento por otros materiales, tales como las cenizas volantes, puzolanas naturales, escorias de altos hornos o el empleo de materiales reciclados,
- Sustitución del árido fino o grueso por pet (polyethylene terephthalate), residuos producto de la demolición de construcciones, arcillas expandidas, y materiales triturados,
- Adición de aditivos en la fabricación del hormigón para aumentar la resistencia a la compresión, evitando usar mayores cantidades de cemento.

Dentro de este marco se engloba el uso de vidrio reciclado en la mezcla de hormigón. El vidrio es un material que por sus características fisicoquímicas es fácilmente reciclable en un 100%. Este proceso conlleva un gran ahorro en cuanto al gasto de materias primas y energía, lo que supone una minimización de los impactos medioambientales generados en los procesos de fabricación, así como un beneficio económico, el uso de vidrio, en la mezcla de hormigón aumenta de manera considerable su resistencia a la compresión, esto se debe a la composición química de este desecho que está compuesto por sílice en mayor porcentaje actuando como puzolana.

El presente estudio muestra un análisis del comportamiento de la resistencia a la compresión simple del hormigón con adición de polvo de vidrio, para ello se procedió a realizar la caracterización física de los agregados utilizados para elaborar las siguientes mezclas:

- Hormigón con adición de polvo de vidrio que pase la malla N100 retenido en la malla N200, con porcentajes de 5%,10%, en con respecto al peso del cemento.
- Hormigón con adición de polvo de vidrio que pase la malla N200, con porcentajes de 5%,10% y 20%, con respecto al peso del cemento.

Todas las mezclas se hicieron con vidrio de color verde, se realizaron ensayos adicionales evaluados a hasta los 28 días con la mezcla que contiene polvo de vidrio 5%-100 en reemplazo en peso del cemento porque fue la mezcla que dio mayor resistencia en comparación con las mezclas que contienen vidrio pasante de la malla 200 hasta la edad especificada, para determinar si el color del vidrio influye en el comportamiento del hormigón, mezcla con polvo de vidrio #325 en porcentaje de reemplazo del 5%,10%,20% en peso del cemento para determinar si al usar polvo de vidrio similar a la finura del cemento la resistencia se igualaba al patrón a los 28 días de realizada las probetas de hormigón

También se evaluó la resistencia a la compresión de la mezcla con vidrio triturado y molido en reemplazo parcial del agregado fino a los 28 días de edad para determinar la influencia que tiene en la mezcla.

1.2.- Limitaciones.

Para la rotura a la compresión de los cilindros y la fabricación de la mezcla se contó con las siguientes limitaciones:

- Se usó polvo de vidrio pasante del tamiz 100, 200 evaluado hasta los 120 días, por factor tiempo no se pudo prolongar la edad de falla para analizar el comportamiento de la resistencia a mayor edad.
- Solo se consideró un tamaño máximo del agregado grueso.
- Se consideró un tipo de cemento para la realización de los ensayos.
- Polvo de vidrio pasante del tamiz 325 y pasante del tamiz 100, ambas mezclas evaluadas hasta los 28 días.
- Vidrio como reemplazo parcial del 25% en peso del agregado fino.

1.3.- El problema.

1.3.1.- Antecedentes.

La industria encargada de la fabricación de cemento es una de las fuentes de emisión de dióxido de carbono que causa el calentamiento global, además de la deforestación y la quema de combustibles fósiles, el calentamiento global es causado por la emisión de gases de efecto invernadero como el CO₂. La industria del cemento es causante de las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera alrededor del 7 %.

1.3.2.- Planteamiento del problema.

Los costos elevados de los materiales de construcción y de mano de obra actuales hacen que se investigue el uso de nuevos materiales que sean sustentables y que posean cualidades que puedan mejorar las propiedades mecánicas del hormigón, para de esta forma reducir la dosis de cemento en la mezcla, estos materiales deben de ser en lo posible desechos urbanos e industriales que requieren bajo gasto energético para su procesamiento y uso en la fabricación de hormigones logrando obtener la resistencia de diseño especificada (resistencia a la compresión) sin necesidad que se incorporen aditivos o dosis altas de cementos, pues esto causaría que los costos se eleven. Las estructuras de hormigón deben ser resistentes y durables a las acciones

del clima o cargas externas para asegurar que tengan un óptimo desempeño y que cumplan con la vida útil para la que fue diseñada, para que esto se dé es necesario que se utilicen materiales de buena calidad: piedra, arena, cemento y aditivos, sin perder de vista la rentabilidad de la obra.

1.3.3.- Formulación del problema.

El propósito de esta investigación es obtener la cantidad de polvo de vidrio reciclado adecuado que debe de tener la mezcla de hormigón.

1.4.- Objetivos.

1.4.1.- Objetivo general.

Analizar la influencia de la resistencia a la compresión del hormigón al adicionar a esta mezcla polvo de vidrio reciclado.

1.4.2.- Objetivos específicos.

- Dar a conocer los fundamentos de diseño de hormigón normal.
- Determinar las características físicas de los agregados.
- Obtener la finura adecuada que debe de tener el vidrio en polvo.
- Analizar la influencia que tiene la resistencia a la compresión del hormigón con respecto a la adición de polvo de vidrio de acuerdo al color.
- Obtener cantidad adecuada de polvo de vidrio reciclado para tener la máxima resistencia.

1.5.- Hipótesis.

La adición del polvo de vidrio al hormigón puede mejorar la resistencia a la compresión, esta resistencia depende de la finura que tenga el residuo de vidrio reciclado así como la cantidad de adición y el color.

1.6.- Variables.

1.6.1.- Variable independiente.

Cantidad, finura y color del vidrio.

1.6.2.- Variable dependiente.

Resistencia a la compresión del hormigón.

1.7.- Metodología.

Para alcanzar los objetivos expuestos, se ha establecido el siguiente proceso metodológico:

Se procedió a realizar una revisión bibliográfica sobre los estudios del uso de vidrio en el hormigón, en libros, normas, internet.

Se procedió a seleccionar de todas las investigaciones sobre el tema la información más puntual y específica, formando una base de datos, de esta información se extraerá una serie de datos de interés tales como porcentaje de adición y finura recomendada para de ahí partir en la realización del diseño de la mezcla.

Se hizo el diseño de la mezcla siguiendo la norma del ACI 211.1 con una resistencia de 280 kg/cm², para esto se procederá a la realización de los ensayos de laboratorio necesarios para obtener las propiedades físicas de los agregados tales como densidad saturada superficialmente seca, peso volumétrico suelto, peso volumétrico varillado, absorción, y granulometría se utilizara cemento: portland tipo GU de Holcim; agregado fino: arena gruesa de El Triunfo; agregado grueso: grava de tamaño máximo nominal 25 mm (1") de la cantera Calizas Huayco, agua potable para consumo humano.

Para la obtención del polvo de vidrio, primero se procedió a la recolección, reciclaje y clasificación general de las botellas la cual está dividida en tres grandes grupos según su color: verde, ámbar o café y transparente, para luego ser limpiadas de todo aquello que haya podido ser introducido, esto se hará con detergente y agua caliente, también se le quitará las etiquetas, tapas, plástico, que estos pudieran tener.

A continuación, el vidrio es triturado por un molino de martillo hasta obtener un tamaño menor, para luego ser molido por un molino de rodillos y proceder a tamizar. Para el triturado, molido de vidrio, y los ensayos de laboratorio se usó equipo de protección personal.

Obtenido el diseño de la mezcla, el siguiente paso fue la adición del polvo de vidrio a la mezcla en varios porcentajes con respecto a la masa total del cemento.

Se elaboró prototipos de mezcla de hormigón y se consideró como variable la cantidad de adición de polvo de vidrio de porcentaje en peso de cemento a la mezcla, la finura y el color, para todas las mezclas se trabajó con una misma matriz de cemento, se trabajó en varios porcentajes de adición de polvo de vidrio con finura que retiene la malla 200 y otra que pasa por la malla 200.

Para realizar los especímenes se usó moldes para cilindros de 30 x 15 cm que cumplen con los requisitos de la norma ASTM C-470, el llenado de los moldes se efectuó en tres capas, cada una compactada con la punta redondeada de la varilla 25 veces por capa con una varilla de 12mm de diámetro, luego que cada capa este compactada se da golpes fuera del molde de 10 a 15 veces para eliminar los vacíos dejado por la varilla se y cualquier burbuja de aire que haya quedado atrapado para realizar el ensayo se siguió la norma INEN 1576, para determinar la resistencia a la compresión se siguió la norma INEN 1573.

Todas las muestras cilíndricas permanecieron sumergidas en un tanque con agua hasta que cumplieron con la edad de ensayo para proceder a su rotura.

Al finalizar se realizó una comparación de los resultados de los diferentes ensayos realizados, para así determinar cuál es el diseño de mezcla óptimo.

1.8.- Historia del cemento.

Desde la antigüedad, el ser humano ha buscado establecerse, desde las cuevas hasta las grandes metrópolis, empleando materiales como roca y depósitos naturales, para unir estos materiales empleaban morteros a base de cal, arcilla o yeso.

En la antigua Grecia se dieron avances con la aparición del cemento utilizando tobas volcánicas estos fueron los primeros cementos naturales extraídas de la isla Santorini.

En el siglo I A.C. la antigua Roma empezó a usar el cemento natural a base de cenizas volcánicas que fueron obtenidas del Puzzuoli cerca del Vesubio un ejemplo de ello es la Bóveda del Panteón.

En el siglo XVIII con la revolución industrial John Smeaton descubre al reconstruir el faro de Eddynstone (torre o faro de Smeaton) entre el 1756-1759, ubicado en el acantilado de Eddystone, en la Costa de Cornwall, que empleando la mezcla de cal hidráulica con puzolana este se endurecía bajo el agua y a la vez es insoluble en el ambiente marino. Descubre que los morteros con puzolana y caliza con alto porcentaje de arcilla dan buenos resultados.

No fue hasta el siglo XVIII en que los morteros tomaron partida como los únicos conglomerantes empleados en la construcción, siendo el yeso y la cal hidráulica los componentes principales de esta mezcla. Cuando se optó por levantar edificaciones con materiales arcillosos o pétreos nació la necesidad de obtener pastas o morteros que permitieran unir dichos mampuestos para poder conformar estructuras estables.

Un siglo después surge el auge de la industria del cemento, puede decirse que el primer padre del cemento fue el gran investigador Lois Vicat, a él se debe el actual proceso de fabricación que propuso en 1817 (mezclas de calizas y arcillas molidas conjuntamente).

En el siglo XIX, Joseph Aspdin y James Parker patentaron en 1824 el cemento portland denominado así por su color gris verdoso oscuro similar a la piedra de portland.

En 1828 se lleva a cabo el primer uso de ingeniería de cemento portland en el túnel bajo el río Támesis, en Londres, Gran Bretaña.

Isaac Johnson, en 1845, obtiene el prototipo del cemento moderno, logra temperaturas suficientemente altas para Clinkerizar la materia prima (mezcla de caliza y arcilla calcinada).

En 1893 W. Michaelis y le Chatelier aportan investigaciones importantes para el desarrollo del cemento portland, con las teorías de la coloide y la cristaloide, Chatelier observa la importancia del silicato y aluminato tricálcicos en la resistencia del cemento hidratado, así como la baja hidraulicidad del silicato bicálcico, junto a la teoría de Michaelis (coloides) forman la base de las teorías actuales de hidratación.

Es a partir de 1900 cuando, los cementos portland se imponen en las obras de ingeniería y cuando empieza un descenso veloz del consumo de cemento naturales.

1.8.1.- Hormigón.

No se tiene certeza quien descubrió o utilizó por primera vez el hormigón, la historia del hormigón es un cúmulo de datos y hallazgos muy interesantes que nos transportan a épocas remotas de la civilización humana donde el hombre utilizaba diversos productos naturales como cementante para unir grandes bloques de piedra, sin embargo la identificación del primer hormigón se puede ubicar en la época de los romanos quienes utilizaron cal y puzolana para cementar pedazos de rocas de diferentes tamaños, así como para incrementar la dureza de algunos suelos.

CAPÍTULO II

2.- Marco teórico general.

2.1.- Materiales que se emplean en la fabricación del hormigón convencional.

2.1.1.- Cemento.

El cemento es un conglomerante hidráulico formado a partir de una mezcla de Clinker, yeso y caliza, este material es molido finamente, al estar mezclado con otros materiales y al contacto con el agua tiene la propiedad de endurecerse.

2.1.1.1.- Química del cemento.

Se entiende como química de cemento, la química de los silicatos y aluminatos cálcicos anhidros e hidratados.

El cemento portland contiene silicatos y aluminatos de calcio formados mediante una secuencia de procesos térmico y químicos incluyendo la descomposición de la caliza, la reacción con otros materiales de cantera tales como la arcilla, el mineral de hierro, y la arena, la fusión parcial de estos componentes, da origen a la formación de nódulos duros, redondeados denominados Clinker, todo esto ocurre a la temperatura de 1450 °C en un horno rotatorio de una planta de cemento, después del enfriamiento, el Clinker se muele junto con aproximadamente 5 % de yeso (sulfato de calcio dihidratado) hasta una finura tipo harina, produciendo el producto final, cemento portland (Kosmatka & Panarese, 1994). El yeso es el encargado de controlar el tiempo de fraguado.

La materia prima usada en la fabricación de cemento portland consiste principalmente de cal, sílice, alúmina y óxido de hierro, estos compuesto actúan en un horno rotatorio de producción para formar una serie de productos más complejos hasta alcanzar un estado de equilibrio químico.

Los componentes mineralógicos de la masa del cemento convencional se muestran en la tabla 1.

Tabla 1
Componentes mineralógicos.

Componente	Formula química
Silicato tricálcico	3CaO-SiO ₂
Silicato dicálcico	2CaO-SiO ₂
Aluminato tricálcico	3CaO-Al ₂ O ₃
Ferritoaluminato tetracálcico	4CaO-Al ₂ O ₃ -
Yeso	Fe ₂ O ₃
Álcalis	CaSO ₄ -2H ₂ O
Magnesita	Na ₂ O+K ₂ O
Cal libre	MgO
Residuo insoluble	CaO+Ca(OH) ₂ SiO ₂ +R ₂ O ₃

Fuente: El Cemento y El Agua para El Cemento.

Los cuatro componentes más importantes que ocupan más del 90% de la masa del cemento son: Silicato tricálcico, Silicato dicálcico, Aluminato tricálcico y Ferritoaluminato tetracalcico estos componentes son aportados por el Clinker, cada uno cumplen una función en el proceso de fraguado y endurecimiento de la pasta:

Silicato tricálcico.- Conocido también como Alita, tiene alta velocidad y alto calor de hidratación (120 cal/gr), se encarga de que el hormigón obtenga resistencias tempranas, desarrolla hasta los 28 días de edad,

Silicato dicálcico.- Conocido también como Belita, tiene lenta velocidad y bajo calor de hidratación (62 cal/gr), se encarga de que el hormigón tenga resistencias a largo plazo después de los 28 días de edad mientras se encuentre en curado.

Aluminato tricálcico.- Es el encargado de las resistencias iniciales (48 horas de edad del hormigón), su calor de hidratación es muy elevado (207 cal/gr), después de las álcalis los aluminatos son los primeros compuestos que reaccionan con el agua, su fraguado es muy rápido, por tal razón es necesaria la adición de yeso para controlar la velocidad de hidratación.

Ferroaluminato tetracálcico.- Conocida también como Celita clara o ferrito, aporta a la durabilidad del hormigón, no posee una reacción de fraguado instantáneo.

2.1.1.2.- Fabricación.

El cemento portland se fabrica generalmente a partir de materiales minerales calcáreos, tales como caliza, alúmina y sílice que se encuentran como arcilla en la

naturaleza, la arcilla aporta al proceso los óxidos de sílice (SiO_2), hierro (Fe_2O_3) y aluminio (Al_2O_3). En ocasiones es necesario utilizar otros productos para mejorar la composición química de las materias primas principales; el más común es el óxido de hierro.

Las calizas que afortunadamente se presentan con frecuencia en la naturaleza están compuestas en un alto porcentaje (más del 60%) de carbonato de calcio (CaCO_3), e impurezas tales como arcillas, sílice y dolomita, entre otras.

Hay diferentes tipos de calizas y prácticamente todas pueden servir para la producción de cemento, con la condición de que no tengan cantidades muy grandes de magnesio, pues si el cemento contiene más cantidad del límite permitido, el hormigón producido aumenta de volumen con el tiempo, generando fisuras y por lo tanto pérdidas de resistencias.

El yeso o sulfato de calcio hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) es un producto que se agrega al final del proceso de producción, con el fin de controlar el tiempo de fraguado del cemento.

El proceso de fabricación del cemento comprende las siguientes etapas principales:

- Explotación de materias primas
- Trituración preliminar de la materia prima
- Preparación y dosificación de materias primas
- Homogeneización
- Cocción o clinkerización
- Enfriamiento
- Adiciones finales y molienda
- Empaque y distribución

2.1.1.3.- Tipos de cementos.

Al cambiar la composición química y las propiedades físicas mecánicas de los cementos se obtiene características diferentes cuando se hidrata, clasificándolos de la manera siguiente:

- Cementos portland puros (INEN 152).

- Cementos hidráulicos compuestos (INEN 490).
- Cementos hidráulicos, uso por desempeño (INEN 2380).

2.1.1.3.1.- Cemento portland puros.

- Tipo I.- construcción general.
- Tipo IA.- incorporador de aire.
- Tipo II.- uso general, moderada resistencia a los sulfatos.
- Tipo IIA.- incorporador de aire.
- Tipo II (MH).- moderado calor de hidratación.
- Tipo II (MH)A.- incorporador de aire.
- Tipo III.- alta resistencia inicial.
- Tipo IIIA.- incorporador de aire.
- Tipo IV.- bajo calor de hidratación.
- Tipo V.- alta resistencia a los sulfatos.

2.1.1.3.2.- Cementos hidráulicos compuestos.

- Tipo IS.- cemento portland de escoria de altos hornos.
- Tipo IP.- cemento portland puzolanico.
- Tipo IT.- cemento compuesto ternario.
- Cemento compuesto binario.

2.1.1.3.2.- Cementos hidráulicos, uso por desempeño.

- Tipo Gu.- para construcción en general.
- Tipo HE.- alta resistencia inicial.
- Tipo MS.- moderada resistencia a los sulfatos.
- Tipo MH.- moderado calor de hidratación.
- Tipo LH.- bajo calor de hidratación.

2.1.1.4.- Industrias que fabrican los diferentes tipos de cemento en Ecuador.

En Ecuador existen algunas industrias encargadas de la fabricación de cemento portland, entre las que se destacan Holcim, Lafarge, Chimborazo y Guapan.

- Holcim.- fabrica cementos hidráulicos que cumplen con las normas (INEN 2380), HE (INEN 2380), HS (INEN 2380). MH (INEN 2380).
- Lafarge.- fabrica cementos hidráulicos compuestos tipo IP (INEN 490), alta resistencia a los sulfatos tipo HS (INEN 2380).
- Chimborazo.- fabrica cementos portland tipo II (INEN 152), puzolanicos IP (INEN 490).
- Guapán.- fabrica cementos hidráulicos compuestos tipo IP (INEN 490).

La fábrica de cemento Holcim y Lafarge se fusionaron creando el grupo Lafarge-Holcim, al igual que la fábrica de cemento Chimborazo C.A. y la industria Guapan S.A. creando la unión cementera nacional 'UCEM C.E.M.'

2.1.2.- Agregados.

2.1.2.1.- Agregado fino.

El agregado fino o árido fino, es un conjunto de materiales de composición mineral, natural o artificial, son partículas menores de 4.75 mm y mayores de 75 micras, tales como arena de río. Arena de mar, material triturado, o desechos previamente tratados.

2.1.2.2.- Agregado grueso.

Es una piedra o grava natural o artificial, esta puede ser grava de mina, grava triturada, canto rodado, residuos reciclados producto de la demolición de construcciones existentes, desechos u otros residuos previamente tratados que no afecten las propiedades mecánicas del hormigón.

2.1.3.- Agua.

El agua es el elemento importante en la fabricación del hormigón pues esta es la que participa en la reacción de hidratación del cemento reaccionando químicamente con este, la combinación de estos dos elementos forma la pasta que es el aglutinante, el medio de unión de las partículas de piedra que conocemos como ripio, grava, arena, agregados, áridos, entre otros. La cantidad de agua de amasado debe de limitarse al

mínimo, se deberá de usar agua de buena calidad, que no contenga impurezas, se recomienda agua de consumo humano (agua potable).

2.2.- Funciones de los materiales empleados en la fabricación de hormigón convencional.

2.2.1.- Cemento.

El cemento tiene la capacidad de aglutinar los agregados o áridos para conformar el hormigón, estas propiedades dependen de su composición química, grado de hidratación, finura de las partículas, velocidad del fraguado y la resistencia mecánica que es capaz de desarrollar.

2.2.2.- Agua.

La razón de que los cementos sean hidráulicos es que estos tienen la capacidad de fraguar y endurecer con el agua, en virtud de que experimentan una reacción química con ella, de tal manera que el agua como material dentro del hormigón es el elemento que hidrata las partículas de cemento y hace que estas desarrollen sus propiedades aglutinantes. Al mezclarse el agua con el cemento se produce la pasta la cual puede ser más o menos diluida, según la cantidad de agua que se la agregue. Al endurecerse la pasta, como consecuencia del fraguado, parte del agua queda fija (agua de hidratación) en la estructura rígida de la pasta y el resto queda como agua evaporable, el agua se clasifica en:

- agua de mezclado.
- agua de curado.

2.2.2.1.- Agua de mezclado.

El agua de mezclado está definida como la cantidad de agua por volumen unitario de hormigón que requiere el cemento, para producir un pasta eficientemente hidratada, con una fluidez tal, que permita la lubricación adecuado de los agregados cuando la mezcla se encuentra en estado plástico, en esta mezcla el agua se encuentra en dos formas básicas: agua de hidratación (no evaporable) y agua evaporable.

2.2.2.2.- Agua de curado.

El curado puede definirse como el conjunto de condiciones necesarias para que la hidratación de la pasta evolucione sin interrupción hasta que todo el cemento se hidrate y el hormigón alcance sus propiedades potenciales. Estas condiciones se refieren básicamente a la humedad y temperatura. El agua de curado es la cantidad de agua adicional que requiere el hormigón una vez endurecido a fin de que alcance los niveles de resistencia para los cuales fue diseñado.

2.2.3.- Agregados o áridos.

Como agregados o áridos para hormigón pueden tomarse en consideración todos aquellos materiales que poseyendo una resistencia propia suficiente no perturban ni afectan el proceso de endurecimiento del cemento hidráulico, es decir que son inertes y garantizan una adherencia suficiente con la pasta de cemento endurecida.

La razón principal de la utilización de agregados dentro de una mezcla de hormigón, es que estos actúan como material de relleno, haciendo más económica la mezcla, los agregados en combinación con la pasta fraguada, también proporcionan parte de la resistencia mecánica debido que estos tienen resistencia propia, cuando la mezcla de hormigón pasa del estado plástico al estado endurecido durante el proceso de fraguado, los agregados controlan los cambios volumétricos de la pasta evitando que se generen agrietamiento por retracción plástica, los agregados con malas propiedades, físicas, químicas o mecánicas afectan la resistencia del hormigón pero más frecuentemente afecta la durabilidad y comportamiento estructural.

Los agregados gruesos usados en la fabricación de hormigón deben de cumplir con gradación de la norma ASTM C33 que se muestran en ilustración 1 y con las especificaciones de la tabla 4 de la norma INEN 872, para asegurar una buena dosificación de la mezcla y diseño.

Requerimientos granulométrico de Agregados Gruesos

Tamaño No.	Tamaño Nominal (Tamices con Aberturas Cuadradas)	Cantidades de finos por cada tamiz de laboratorio (Aberturas Cuadradas) Porcentaje de Masa													
		100 mm (4in)	90 mm (3 1/2 in)	75 mm (3 in)	63 mm (2 1/2 in)	50 mm (2in)	37,5 mm (1 1/2 in)	25 mm (1in)	19 mm (3/4 in)	12,5 mm (1/2 in)	9,5 mm (3/8 in)	4,75 mm (No. 4)	2,36 mm (No. 8)	1,18 mm (No. 16)	300 µm (No. 50)
1	90 a 37,5 mm (3 1/2 a 1 1/2 in)	100	90 a 100		25 a 60		0 a 15		0 a 5						
2	63 a 37,5 mm (1/2 a 1 1/2 in)			100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5						
3	50 a 25,0 mm (2 a 1 in)				100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 15					
357	50 a 4,75 mm (a No. 4)				100	95 a 100		35 a 70		10 a 30		0 a 5			
4	37,5 a 4,75 mm (1 1/2 a 3/4)					100	90 a 100	20 a 55	0 a 15		0 a 5				
467	37,5 a 4,75 mm (1 a No. 4)					100	95 a 100		35 a 70		10 a 30	0 a 5			
5	25,0 a 9,5 mm (1 a 1/2 in)						100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5				
56	25,0 a 9,5 mm (1 a 3/8 in)						100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5			
57	25,0 a 4,75 mm (1 in. a No. 4)						100	95 a 100		25 a 60		0 a 10	0 a 5		
6	19,0 a 4,75 mm (3/4 a 3/8 in)							100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5			
67	19,00 a 4,75 mm (3/4 in a No. 4)							100	90 a 100		20 a 55	0 a 10	0 a 5		
7	12,5 a 4,75 mm (1/2 in a No. 4)								100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5		
8	9,5 a 2,36 mm (3/8 in a No. 8)									100	85 a 100	10 a 30	0 a 10		
89	9,5 a 1,18 mm (3/8 in a No. 16)									100	90 a 100	20 a 55	5 a 30		
9'A	4,75 a 1,18 mm (No. 4 a No. 16)									100	85 a 100	10 a 40			

Ilustración 1.- Requisitos de gradación agregado grueso.
Fuente.- Tabla 2 norma ASTM C33.

Los agregados finos usados en la fabricación de hormigón deben de cumplir con la gradación de la norma ASTM C33 que se muestran en la tabla 3 y las especificaciones de la tabla 2 de la norma INEN 872, para asegurar una buena dosificación de la mezcla y diseño.

Sieve (Specification E 11)	Percent Passing
9.5-mm (3/8-in.)	100
4.75-mm (No. 4)	95 to 100
2.36-mm (No. 8)	80 to 100
1.18-mm (No. 16)	50 to 85
600-µm (No. 30)	25 to 60
300-µm (No. 50)	5 to 30
150-µm (No. 100)	0 to 10

Ilustración 2.- requisitos de gradación agregado fino
Fuente.- tabla 2 ASTM C33.

2.3.- Nuevo tipo de hormigón con adición de polvo de vidrio reciclado.

2.3.1.- Vidrio.

2.3.1.1.- Definición del vidrio.

El vidrio es un material natural no tóxico, inorgánico, frágil y peligroso cuando sufre roturas, por este motivo debe evitarse su uso intuitivo o irresponsable, el vidrio es duro, y amorfo, es decir, que no presenta una estructura regular o bien determinada (Ver ilustración 3), no es un cristal es un sólido amorfo.

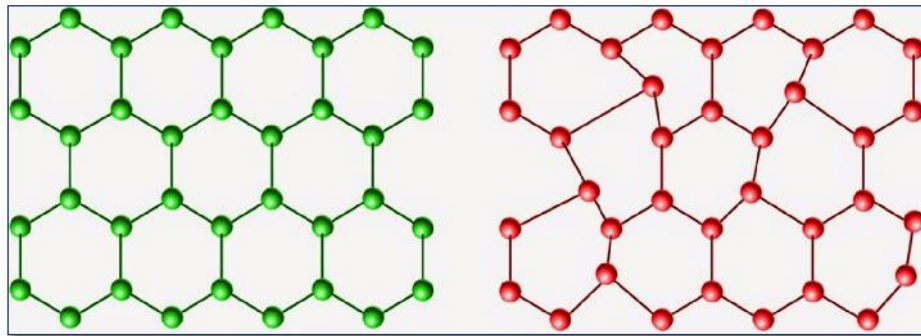


Ilustración 3.- Estructura Cristalina, Estructura vítrea
Fuente.- Diferencia entre vidrio y cristal.

El vidrio es resistente al ataque químico, pero sin embargo dependiendo de la composición química que este posea puede ser reactivo cuando se lo usa en combinación de otros materiales.

2.3.1.2 Breve historia.

Los hombres primitivos utilizaban la obsidiana (vidrio natural), esta es una roca ígnea volcánica, que no se recristaliza al enfriarse, este material era usado para la elaboración de cuchillos y puntas de flecha.

El vidrio se descubrió por casualidad por unos mercaderes que tenían como destino Egipto, donde comercializarían natrón (carbonato de sodio), se detuvieron a cenar a orillas del río Belus, en Fenicia, al no contar con piedras para apoyar sus ollas decidieron usar justamente el carbonato de sodio o natrón como apoyo, calentaron

sus alimentos, comieron y se dispusieron a dormir; a la mañana siguiente se asombraron gratamente al descubrir que el carbonato se fundió con la arena produciendo un material durísimo y muy brillante al que en la actualidad se denomina vidrio.

2.3.1.3.- Tipos de vidrio.

Los vidrios se clasifican por su composición química y por su uso.

Por su uso:

1. Vidrio de ventanas
2. Lunas laminadas
3. Vidrios de botellas
4. Vidrio para óptica
5. Vidrio para aparatos químicos.

Por su composición química:

1. Vidrios sodocálcico (Silicato de sodio y calcio)
2. Vidrios Potásicos (Silicato de potasio y calcio)
3. vidrios Plúmbicos (Silicato de potasio y plomo)
4. Vidrios Dóricos
5. Vidrios de Cuarzo

2.3.2.- Producción del vidrio en el Ecuador.

El mercado de vidrio en el país ha venido creciendo significativamente en los últimos años, la preferencia de los ecuatorianos por nuevas bebidas y productos envasados en vidrio, ha hecho que la producción de este material se realice cada vez en mayores proporciones.

La empresa productora de la mayor cantidad de envases para bebidas de vidrio 95% de la producción total que circulan en Ecuador es OI, cristalería del Ecuador (Cridesa S.A.), Guayaquil, que se ha adherido en los últimos años a la firma norteamericana Owens-Illinois (OI), es líder en el mundo de los envases de vidrio en el país;

aproximadamente 4800 millones de botellas de vidrio circulan en el país por año, contra los 1 300 millones de botellas plásticas, según el Ministerio del Ambiente.

2.3.3.- Problema de los residuos de vidrio.

Los residuos de materiales sólidos no reciclados, como el vidrio afecta el medio ambiente, ocasionado problemas de salubridad, incendios y accidentes por eso se hace necesario desarrollar nuevas técnicas de reutilización de dicho material con la finalidad de preservar los recursos naturales, mantener un equilibrio ambiental y generar desarrollo económico.

2.3.4.- Mercado del reciclaje y reutilización del vidrio en el Ecuador.

En Ecuador se generan alrededor de 11.341 toneladas diarias de residuos, es decir, un aproximado de 4'139.512 t/año, de los cuales 61,4% son orgánicos, 9,4% papel y cartón, 11% plástico, 2,6% vidrio, 2,2% chatarra y otros 13,3%.

Una de las particularidades del vidrio es que es un material totalmente reciclable, es decir, no hay límite de la cantidad de veces que el mismo puede ser reciclado. Y lo más importante: al reciclarse no pierde ni una sola propiedad y además, el ahorro de energía que supone, de un 30 % casi con respecto al vidrio nuevo, lo hacen inigualable. Elementos naturales como la arena, la soda, la caliza y el feldespatos se funden con el vidrio reciclado para dar vida a este material de empaque.

El vidrio es un material que no tiene una edad media de degradación, es decir una vez desechado no se degrada en su totalidad, por lo que es un contaminante pesado y no existe forma orgánica de descomponerlo.

Aquí se detalla el reciclaje y posterior reutilización de vidrio en algunos lugares de Ecuador:

Galápagos.- Se está utilizando los residuos de vidrio en la fabricación de bloques, adoquines y hormigón de 180 kg/cm².

Guayas.- En la provincia del Guayas se genera un promedio de 34748 toneladas de residuos de vidrio al año, de esta cantidad el 27,63% es reciclado por la empresa

RECYVIDRIO y CASCOVITRO, el cual se lo distribuye como casco a la empresa CRIDESA.

Manabí.- El reciclaje del vidrio en esta provincia se realiza de manera informal, se obtiene un promedio 30 toneladas de residuos de vidrio a la semana, que posteriormente son trasladadas a la ciudad de Guayaquil para ser vendidas a RECYVIDRIO esta a su vez es vendida a la empresa CRIDESA.

Loja.- Clasifica la basura desde sus hogares, los desechos no biodegradables son llevados a la planta de reciclaje la cual está equipada con prensa hidráulica, lavadoras y equipo adecuado para tratar, empacar y trasladar el material reciclado a las distintas industrias.

Cuenca.- EMAC Empresa Municipal de Aseo de Cuenca, se reciclan 3 toneladas semanales de vidrio aproximadamente, el cual es entregado a las asociaciones de recicladores de Cuenca, quienes posteriormente trasladan y negocian este material en Guayaquil.

Quito.- Se recicla de manera informal el vidrio, este desecho es llevado a la provincia del guayas para ser vendido a la empresa RECYVIDRIO y a su vez es comercializado a Cridesa.

Santa Elena.- En la provincia de Santa Elena se generan 1'959.065 t/año de residuos de vidrio, en la provincia de Santa Elena no existe un centro de acopio o recicladora de vidrio por lo que la disposición final de estos residuos está en los botaderos de basura existentes.

2.3.4.1.- Reciclaje en la Provincia de Santa Elena.

En la actualidad no existe reciclaje de vidrio en la provincia de Santa Elena, solo compran botellas vacías de vidrio por unidad, estas deben de estar enteras, sin ningún tipo de daño como rasgos o roturas, pues son vendidas a las fabrica donde procesan el Zhumir, de Gran Duval, en donde son lavadas, y esterilizadas para luego ser envasado de licor, y salir al mercado nuevamente, esto corresponde a un pequeño porcentaje, los otros tipos de botellas de diferentes bebidas como, cervezas, jugos, son desechados.

2.3.4.2.- Reutilización del residuo de vidrio.

Como el vidrio es 100% reciclable, este puede ser usado muchas veces sin que sus propiedades fisicoquímicas se vean afectadas, generalmente el vidrio es reciclado por fábricas que se encargan de producir botellas para bebidas, licores, alimentos, de las diferentes empresas, evitando así el consumo de materiales naturales no renovables para su producción con una reducción del 40% al 50% de este, disminuyendo a la vez la generación de impacto ambiental mayor; en síntesis la mayoría de vidrio reciclado es usado para hacer nuevamente una botella y regresar al ciclo.

2.3.5.- Alternativa de uso que se puede dar al residuo de vidrio en la construcción.

En la Provincia de Santa Elena no existe centros de acopio o lugares donde se recicle el vidrio, por tal razón se procedió a reciclar este desecho para fabricar hormigón adicionándole a la mezcla desecho de vidrio:

- Como polvo de vidrio para aumentar la resistencia a la compresión simple del hormigón utilizado como reemplazo parcial del cemento.

2.3.6.- Tipo de vidrio que se usará en la fabricación de cilindros de hormigón.

El vidrio que se utilizó en la fabricación de hormigón es el tipo sodocálcico, que es el vidrio de botellas de bebidas, el cual se encuentra clasificado en tres grandes grupos según el color: verde, café o ámbar y transparente.

2.3.6.1.- Obtención del vidrio sodocalcico.

Se obtuvo las botellas de vidrio (sodocálcico) mediante el reciclaje en diferentes sitios de la provincia de Santa Elena, para obtener el material utilizado en la fabricación de hormigón se hizo lo siguiente:

1.- Se recolecto una cantidad considerable de botellas de vidrio de bebidas tales como: gatorade, sunny, pilsener light, club verde, pony malta, biela y envases de licores. (Ver ilustración 4).



Ilustración 4.- Recolección de botellas de vidrio.

Fuente.- Autor.

2.- Se procedió a separar y clasificar manualmente los envases de vidrio de acuerdo al color: verde, ámbar o café y transparente. (Ver ilustración 5).

3.- Se eliminó los elementos extraños que suelen acompañar al vidrio como las etiquetas, tapas y objetos extraños dentro del envase, que pueda afectar el resultado de los ensayos, la separación se realizó manualmente; para eliminar la etiqueta del envase fácilmente se sumergieron las botellas de vidrio en un recipiente con agua limpia durante 24 a 48 horas, para luego retirar las etiquetas con una espátula.



Ilustración 5.- Clasificación por color

Fuente.- Autor

4.- Se procedió a lavar los envases, en el interior y exterior, con detergente y agua, para luego ser secado al ambiente. (Ver ilustración 6).



Ilustración 6.- Botellas limpias.

Fuente.- Autor.

5.- Se colocaron en bolsas de plástico para evitar que se contamine con polvo u otro elemento hasta el día de su rotura o trituración. (Ver ilustración 7).



Ilustración 7.- Botellas de vidrio en almacenamiento antes de su rotura.
Fuente.- Autor.

2.3.6.2.- Obtención del polvo de vidrio.

La obtención del polvo de vidrio luego del reciclaje de las botellas consta de tres etapas:

- 1) Triturado.- Proceso de reducción de tamaño de un sólido mediante fractura, corte o frotación,
- 2) Molienda.- Es un proceso en el cual se pulveriza el material sólido a tamaño de micras por impacto, compresión, desgaste.
- 3) Tamizado.- El tamizado es un método físico para separar mezclas, consiste en hacer pasar una mezcla de partículas de diferentes tamaños por un tamiz o criba, las partículas de menor tamaño pasan por la abertura del tamiz atravesándolo y las grandes quedan retenidas por el mismo, el tamizado se puede realizar manualmente o por medios mecánicos.

2.3.6.2.1.- Trituración.

Para obtener el material usado en la elaboración de cilindros de hormigón se procedió colocar las botellas clasificadas por color en la tolva que se encuentra en la parte superior del molino para que sean triturados, la trituración de las botellas se da inmediatamente después de que ingresa a la tolva el material.

Este molino tritura el material por impacto, el material ingresa por una tolva que se encuentra en la parte superior,



Ilustración 8.- Molino de martillos fabricado por el autor
Fuente: Autor

está constituido por un eje horizontal unido a 44 martillos pivotantes encajados en una carcasa, estos martillos son accionados por un motor eléctrico de 3HP (Ver ilustración 8), el molino se encargó de reducir las botellas de vidrio a un tamaño menor de 2mm en mayor porcentaje, esto se dio porque en la parte inferior de la carcasa de la máquina se colocó una lámina perforada de acero de 2 mm de abertura, el material resultante fue colocado en un molino de rodillos que se encargó de realizar la molienda fina.

2.3.6.2.2.- Molienda.

El vidrio que se trituró en el molino de martillos fue colocado en un molino de rodillos para efectuar la molienda fina, se colocó el material poco a poco mediante un recipiente para evitar que el material se acumule en un solo sitio y produzca que la máquina se detenga. El molino de rodillos (Ver ilustración 9) es una máquina usada para realizar molienda fina, está compuesto por dos cilindros metálicos



Ilustración 9.- Molino de rodillos fabricado por el autor
Fuente: Autor

horizontales rotatorios de superficie lisas que giran en sentido opuesto, este molino es accionado por un motor de $\frac{1}{4}$ HP, tiene una tolva por donde ingresa el vidrio triturado el cual es aprisionado por los rodillos, este se rompe por compresión y se descargan por la parte inferior del molino, el material resultante cae en un recipiente para luego ser tamizado.

2.3.6.2.3.- Tamizado

Al material resultante del molino de martillos se le realizó una tamización previa por el tamiz #100 (150 micras) (Ver ilustración 10) para evitar que al ser colocado en el molino de rodillos se expulse el polvo producto del triturado; finalizada la molienda fina se procedió a tamizar el material por el tamiz #100 y #200 (Ver ilustración 11) respectivamente, todo el material retenido se coloca nuevamente en la máquina de molienda fina para realizar nuevamente la molienda y tamizar, este procedimiento se repitió hasta que se obtuvo el material necesario para la fabricación de las probetas.



Ilustración 11.- Tamizado del material malla #100.
Fuente.- Autor.



Ilustración 10.- Tamizado del material malla #200.
Fuente.- Autor.

2.3.6.3.- Material resultante.

El material resultante fue el polvo de vidrio pasante de la malla N°100(150 micras) retenido en la malla N°200 (75 micras) y polvo de vidrio pasante de la malla N°200 (75 micras). (Ver ilustración 12 y 13).



Ilustración 12.- Polvo de vidrio ámbar tamizado pasante malla #100.
Fuente: Autor.



Ilustración 13.- Polvo de vidrio verde tamizado pasante malla #200.
Fuente.- Autor

2.3.6.4.- Protección

2.3.6.4.1.- Uso de equipo de protección

La exposición al polvo de vidrio durante las actividades de trituración y molienda puede causar daño a las vías respiratorias, al triturar el vidrio, se genera polvo que, si se inhala, puede causar heridas a los tejidos pulmonares, también puede causar irritación a la piel a corto plazo, la exposición al ruido en el triturado y molienda puede generar problemas al sistema auditivo, para evitar problemas futuros en la salud se implementó equipo de protección personal como:

- Protectores auditivos.
- Protectores de ojos.
- Mascarilla con filtro de carbono.
- Guantes de nitrilo o caucho.

CAPÍTULO III

3.- Etapa experimental

En este capítulo se procede a describir cada uno de los trabajos experimentales que se llevaron a cabo en el laboratorio Ingeotop, Holcim y en el Laboratorio de Suelos Hormigón y Asfalto de la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

3.1.- Descripción de los materiales usados para la fabricación de cilindros de hormigón.

Cemento.- el cemento más utilizado como conglomerante para la preparación del hormigón es el cemento portland.

El cemento usado en el estudio es el tipo Gu (para uso general) que lo fabrica la Compañía Holcim, por ser el cemento que más se consume en la provincia de Santa Elena.



Agregado fino.- El agregado fino natural que se uso es arena negra de El Triunfo, esta arena es comercializada por un proveedor local por el km1 (ingreso a la provincia de Santa Elena).



Agregado grueso.- El agregado grueso que se utilizó fue de la cantera calcárea Huayco de proveedor local, este agregado es de tamaño máximo nominal 1", nombre comercial piedra ¾".



Vidrio.- El vidrio utilizado es el de botellas de bebidas de gatorade, pony malta, club verde, pilsener, biela y jugos.



Agua.- El agua de amasado no debe de contener residuos, el agua que se usó fue agua potable, proveniente de la planta potabilizadora que se encuentra en la entrada a la parroquia de Atahualpa.

3.2.- Ensayos para determinar la aceptación del uso de áridos en el hormigón

Los áridos forman el componente inerte del hormigón, el árido está presente alrededor del 75% del volumen total de la mezcla, por tal razón es necesario determinar las sustancias perjudiciales que pueden afectar las propiedades mecánicas del hormigón, para evitar que la mezcla necesite aumentar la cantidad de agua haciendo disminuir la resistencia del hormigón, sustancias que perjudiquen la adherencia entre la pasta y el agregado, las sustancias que retrasan la hidratación del cemento o las que pueden impedir el endurecimiento del hormigón.

Los agregados finos y grueso son generalmente inertes, no reaccionan con los componentes del cemento.

3.2.1-Ensayos en el árido fino

- Material más fino que el tamiz de 75 micras (INEN 697).
- Terrones de arcillas y partículas desmenuzables (INEN 698).
- Partículas livianas (INEN 699).
- Partículas en suspensión después de una hora de sedimentación (INEN 864).
- Impurezas orgánicas (INEN 855).

3.2.2.- Ensayos en el árido grueso

- Material más fino que el tamiz de 75 micras (INEN 697).
- Terrones de arcillas y partículas desmenuzables (INEN 698).
- Partículas livianas (INEN 699).
- Resistencia a la abrasión (INEN 861).
- Solidez del árido mediante el uso de sulfato de magnesio (INEN 863).

3.2.1.1.- Ensayo para determinar el material más fino que el tamiz de 75 micras.

El material más fino que el tamiz de 75 micras son los limos, este material impide la adherencia de la pasta de cemento con los agregados de tal manera que hace que se disminuya la resistencia del hormigón.

El ensayo determina la cantidad total de material más fino que el tamiz N° 200 en los agregados, se realizó este ensayo al agregado grueso y fino. (Ver anexo 2).

La cantidad de muestra que se necesita en el ensayo está determinada en la tabla 2.

Tabla 2.-
Masa mínima de la muestra.

Tamaño máximo nominal	masa mínima (g)
4,74 mm o menor	300
mayor que 4,74mm hasta 9,5 mm	1000
mayos que 9,5 mm hasta 19 mm	2500
mayor que 19 mm	5000

Fuente: Masa mínima para la muestra de ensayo tabla 1 INEN 697.

Procedimiento

- 1) Se secó la muestra al horno hasta tener una masa constante a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- 2) Después del secado y determinación de la masa se procedió a colocar la muestra en un recipiente con agua, agitando la muestra vigorosamente para dar lugar a la separación de todas las partículas más finas que 75 micras.
- 3) Se vertió el agua en el tamiz (N°200), añadiendo una segunda carga de agua a la muestra en el recipiente (ver ilustración 14) para luego ser agitado y decantado como antes, repitiendo esta acción hasta que el agua salga clara.
- 4) Se pesó todo el material retenido en



Ilustración 14.- Lavado del material sobre tamiz 200

Fuente.- Autor

el tamiz de 75 micras, luego se secó a una temperatura de 110°C y se determinó la masa.

- 5) Calcular la cantidad de material que pasa el tamiz de 75 micras.

Este procedimiento tiene como referencia la norma INEN 697.

3.2.1.2.- Contenido de terrones de arcillas y partículas desmenuzables.

Los terrones de arcillas se presentan en forma de esfera que se deshacen con los dedos, es un material débil siendo peligroso en el árido grueso ya que debilita la resistencia y afecta la durabilidad del hormigón porque absorbe gran cantidad de agua, impide la adherencia entre la pasta de cemento y árido, las partículas blandas son fragmentos de rocas que suelen ser de color blanco y no se deshacen con los dedos, la presencia de arcilla reduce el efecto restrictivo en la contracción del hormigón, haciendo que este aumente.

El ensayo determina de forma aproximada el contenido de terrones de arcilla y partículas desmenuzables. (Ver anexo 4).

La cantidad de muestra que se necesita en el ensayo está determinada en la tabla 3.

Tabla 3.-
Masa mínima de la muestra.

Tamaño de las partículas que forman la muestra de ensayo	Masa de la muestra de ensayo mínimo (gr)	Tamizado húmedo sobre tamiz para remover residuos
Arena retenido tamiz 1,18 mm	25	850 micras (N°20)
4,74 mm a 9,5 mm	1000	2,36 mm (N°8)
9,5 mm a 19 mm	2000	4,75 mm (N°4)
19 mm a 37,5 mm	3000	4,75 mm (N°4)
Sobre 37,5 mm	5000	4,75 mm (N°4)

Fuente: Masa mínima para la muestra de ensayo tabla 1 y 2 INEN 698.

Procedimiento

- 1) Se colocó la muestra en un recipiente con agua destilada, formando una fina capa con la muestra, dejando sumergido el material por un periodo de 24 horas.

- 2) Se procedió a rodar y apretar las partículas de forma individual entre el pulgar y el dedo índice para intentar romper las partículas en tamaños más pequeños, clasificando como terrones de arcillas o partículas aquel agregado que se rompa con los dedos.
- 3) Se separó los residuos del resto de la muestra por tamizado húmedo sobre el tamiz indicado en la tabla 3.2, realizando el tamizado húmedo, pasando agua a través del tamiz que contiene la muestra mientras se agita manualmente el mismo hasta que todo el material más pequeño haya sido eliminado ver ilustración 15.
- 4) Se procedió a secar en el horno hasta una masa constante y luego a pesar todas las muestras retenidas.



Ilustración 15.- Tamizado húmedo
Fuente.- Autor

Este procedimiento tiene como referencia la norma INEN 698.

3.2.1.3.- Determinación de partículas livianas

Son partículas de carbón, madera, material vegetal, entre otros. Provocan resistencias menores, y anomalías en el fraguado.

El ensayo determina el porcentaje de partículas livianas en el árido, mediante la separación por decantación y flotación en un líquido denso de gravedad específica de 2,0 partículas como carbón o lignito. (Ver anexo 6).

La cantidad de muestra que se necesita en el ensayo está determinada en la tabla 4:

Tabla 4
Masa mínima de la muestra.

Tamaño máximo nominal	Masa mínima (g)
4,74 mm o menor	200
9,5 mm	1500
12,5 mm a 19 mm	3000
25 mm a 37,5 mm	5000
50 mm o mayores	10000

Fuente: Masa mínima para la muestra de ensayo tabla 1 INEN 699.

Se procedió a tamizar el árido fino en el tamiz de 300 micras, el material de ensayo fue el árido retenido.

Procedimiento

- 1) Se secó la muestra al horno hasta tener una masa constante a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.
- 2) Se llevó la muestra a la condición saturada superficialmente seca, para luego ser introducido en la solución de cloruro de zinc.

- 3) Se pasó todo el material a través de un colador de tal manera que las partículas flotantes acompañen al líquido evitando que ninguna partícula de árido fino se asiente sobre el colador, se mezcló nuevamente el líquido y la



muestra para luego ser agitada y pasarla nuevamente sobre el

Ilustración 16.- Decantación
Fuente.- Autor

colador, repitiendo el proceso de decantación hasta que la muestra quedo libre de partículas flotantes. (Ver ilustración 16).

- 4) Se lavó las partículas retenidas en agua y se dejó que se seque para luego poder determinar la masa.

Este procedimiento tiene como referencia la norma INEN 699.

3.2.1.4.- Partículas en suspensión después de una hora de sedimentación.

Son partículas finas o polvo que causa resistencia bajas en el hormigón o anomalías en el fraguado.

El ensayo determina de forma aproximada el contenido de partículas finas o polvorientas menores de 20 micras en el árido fino. (Ver anexo 7).

La muestra no debe lavarse ni secarse y la masa debe de ser aproximadamente de 500 g.

Procedimiento

- 1) Se colocó la muestra de ensayo en una probeta graduada y se añadió agua hasta llenar las tres cuartas partes de su capacidad.
- 2) Se tapó la probeta conteniendo la muestra para agitarla fuertemente por varias veces y quitar el aire atrapado para luego dejar que repose por una hora dejando que se produzca la sedimentación de las partículas finas o polvorientas del árido. (Ver ilustración 17).
- 3) Finalmente se procedió a leer la altura de la capa de partículas sedimentadas.



Ilustración 17.-
Probeta en
reposo.
Fuente.- Autor

Este procedimiento tiene como referencia la norma INEN 864.

3.2.1.5.- Impurezas orgánicas

Proviene de la descomposición de hojas, tallos y raíces, se manifiesta como humus, este material impide que el hormigón fragüe normalmente y reduce la resistencia del hormigón.

El ensayo determina aproximadamente la cantidad inapropiadas de impurezas orgánicas en el árido fino (Ver anexo 9).

La muestra de ensayo es de 450 g.

Procedimiento

- 1) Se vertió el árido fino en la botella de vidrio hasta un volumen de 130 cm³.
- 2) Se procedió a añadir la solución de hidróxido de sodio en la botella de vidrio hasta que el volumen ocupado por el árido fino y el líquido después de que se haya agitado sea de 200 cm³ aproximadamente.



Ilustración 18.- Agregado fino en la
solución de hidróxido de sodio
Fuente.- Autor

- 3) Posteriormente se tapó la botella y se agitó nuevamente para que el agregado fino se mezcle con la solución de hidróxido de sodio, se procedió a dejar el frasco con el contenido en reposo durante 24 horas. (Ver ilustración 18).
- 4) Pasada las 24 horas se procedió a comparar el color del líquido con el comparador de color normalizado para determinar si la cantidad de materia orgánica que contiene el agregado fino está dentro de los parámetros establecidos en la norma para ser aceptado como agregado fino en hormigón.

Este procedimiento tiene como referencia la norma INEN 855.

3.2.1.6.- Resistencia a la abrasión

Es el desgaste o dureza que tiene un agregado, este es un factor importante en la mezcla de hormigón porque de esta depende su resistencia o durabilidad.

El ensayo determinó el valor de la degradación del árido grueso mediante la pérdida de masa por desgaste e impacto utilizando la máquina de abrasión de los ángeles. (Ver anexo 11).

La cantidad de muestra que se necesita en el ensayo está determinada en la tabla 5.

Tabla 5
Masa mínima de la muestra.

Tamaño de la abertura del tamiz		Masa por tamaños indicada (gr) Gradación			
Pasante de	Retenido en	A	B	C	D
37,5 mm	25 mm	1250 +-25	-----	-----	-----
25 mm	19 mm	1250 +-25	-----	-----	-----
19 mm	12,5 mm	1250 +-10	2500+-10	-----	-----
12,5 mm	9,5 mm	1250 +-10	2500+-10	-----	-----
9,5 mm	6,3 mm	-----		2500+-10	-----
6,3 mm	4,75 mm	-----		2500+-10	-----
4,75 mm	2,36 mm	-----			5000+-10
Numero de esferas		12	11	8	6

Fuente: gradación de la muestra de ensayo tabla 2 INEN 860.

Se procedió a lavar la muestra y se secó al horno a una temperatura de 110 +-5°C hasta que tenga una masa constante, antes de proceder a pesar y lavar la cantidad de material usada en el ensayo, el agregado se separó en tamaños individuales según muestra la tabla 5 y se recombino.

Procedimiento

- Se colocó la muestra de ensayo de acuerdo al método A (ver tabla 5 e ilustración 19) junto con la carga de abrasiva de 12 esferas de acero en la máquina de abrasión de los ángeles, y se procedió a girar la máquina a una frecuencia de 500 revoluciones en un tiempo de media hora.
- Se descargó el material de la máquina y se tamizó en húmedo el material sobre el tamiz 1,7 mm (N°12) para eliminar el agregado más fino que 1,7mm.
- Se puso a secar el material retenido del tamiz 1,7 mm hasta obtener masa constante, se pesó y se realizó el respectivo cálculo para determinar el valor de la degradación del árido.



Ilustración 19.- Muestras para realizar el ensayo de abrasión
Fuente.- Autor

Este procedimiento tiene como referencia la norma INEN 860.

3.2.1.7.- Determinación de la solidez del árido mediante el uso de sulfato de magnesio.

Determinar el valor de la degradación del árido grueso mediante la pérdida de masa por desgaste e impacto utilizando la máquina de los ángeles. (Ver anexo 12).

La cantidad de muestra que se necesita en el ensayo está determinada por la tabla 6.

Tabla 6
Fracción de la muestra.

Fracción	Muestra de ensayo		Tamiz para determinar las pérdidas	
	Tamices	Masa	Tamaño árido	Tamiz determinar pérdida
1	9,5 mm a 4,75 mm	300+-5	100 mm a 90 mm	75 mm
	19,00 a 9,5 mm	1000+-10	90 mm a 75 mm	63 mm
2	12,5 a 9,5 mm	330+-5	75 mm a 63 mm	50 mm
	19,00 a 12,5 mm	670+-10	63 mm a 37,5 mm	31,5 mm
	37,5 a 19,00 mm	1500+-50	37,5 mm a 19 mm	16 mm
3	25 mm a 19 mm	500 +- 30	19 mm a 9,5 mm	8 mm
	37,5 mm a 25 mm	1000 +- 50	9,5 mm a 4,75 mm	4 mm
	63 mm a 37,5 mm	5000 +- 300		

Fuente: Fracciones de prueba y tamices para pérdida tabla 3 y 4 INEN 863.

Procedimiento

- Se sumergió la muestra en la solución de sulfato de magnesio (ver ilustración 20), por 16 horas, en unos recipientes con tapa para evitar que se evapore la solución o que le caiga alguna sustancia extraña que pueda alterar el resultado del ensayo.



Ilustración 20.-Muestra sumergida en la solución de sulfato de magnesio.

Fuente: Autor

- Luego de las 16 horas se retiró la solución de la muestra y se llevó al horno a una temperatura de 105 ± 5 °C. hasta que se obtuvo una masa constante.
- Se enfrió y se sumergió la muestra nuevamente en la solución, se repitió el proceso de inmersión y sacado durante 5 ciclos.
- Pasado los 5 ciclos se enfría la mezcla y se lava para retirar restos de la solución y nuevamente llevar al horno y secar la muestra para proceder a tamizar mediante los tamices indicados en la tabla 3,5.

Este procedimiento tiene como referencia la norma INEN 863.

3.3.- Diseño de la mezcla de hormigón.

Es necesario conocer las bondades y características del hormigón por tal razón se realizó el diseño de mezcla en el cual intervienen un gran número de variables que determinaron su comportamiento en servicio, existen algunos métodos para hacer el diseño de mezclas de hormigón entre las que se destaca:

- Método de la relación agua cemento
- Método del peso
- Método volumen absoluto
- Experiencia de campo
- Mezclas de prueba

El método que se escogió para realizar el diseño de mezcla fue el del volumen absoluto realizado por el comité del ACI 211.1 para hormigón normal, este método consiste en proporcionar las dosificaciones de los materiales que integra la unidad cúbica del hormigón basándose en tablas.

3.3.1.- Información requerida para realizar la dosificación del diseño de la mezcla del cilindro patrón.

Para poder determinar las dosificaciones del diseño de hormigón se necesita saber las propiedades físicas de los agregados por tal razón se procedió a realizar los siguientes ensayos:

- Gravedad específica del agregado fino (INEN 856).
- Gravedad específica del agregado grueso (INEN 857).
- Peso volumétrico suelto (INEN 858).
- Peso volumétrico varillado (INEN 858).
- Absorción (INEN 856, 857).
- Granulometría de los agregados finos y gruesos (INEN 696).
- Módulo de finura (INEN 696).

3.3.1.1.- Gravedad específica de los áridos.

La gravedad específica está definida como la relación del peso en aire de un volumen dado de material saturado superficialmente seco con el peso del mismo material sumergido en agua, este método es denominado como desplazamiento de agua o volúmenes (principio de Arquímedes) es determinada para saber el volumen que el agregado va a ocupar en la mezcla de hormigón.

El ensayo permitió determinar la gravedad específica y absorción del agregado grueso y el agregado fino. (Ver anexo 15 y 16).

La cantidad de muestra que se necesita en el ensayo está determinada en la tabla 7, se rechaza todo el material que pasa el tamiz N°4 por tamizado en seco.

Tabla 7
Masa mínima de la muestra de ensayo.

Tamaño máximo nominal	Masa mínima (g)
4,74 mm o menor	200
9,5 mm	1500
12,5 mm a 19 mm	3000
25 mm a 37,5 mm	5000
50 mm o mayores	10000

Fuente.- Tabla 1 INEN 857.

Procedimiento

Gravedad específica y absorción agregado grueso.

- Después de realizar el cuarteo se procedió a saturar la muestra del árido grueso por 24 horas, pasado ese tiempo se procedió a secar superficialmente (ver ilustración 21)



con una tela húmeda para quitar el agua superficial de la muestra para luego ser pesada (masa en aire).

Ilustración 21.- Agregado saturado superficialmente seco
Fuente.- Autor

- Se colocó una canasta de alambre de 3,35 mm de abertura dentro de un balde con agua, y se determinó su peso, se sumergió la muestra dentro de la canasta agitando mientras se colocaba el material para sacar el aire atrapado, y se determinó el peso de la muestra saturada (peso en agua).
- Para determinar la absorción se procedió a secar la muestra en el horno hasta obtener una masa constante, se enfrió el material y se pesó.

Este ensayo tiene como referencia la norma INEN 857.

Gravedad específica y absorción agregado fino.

- Para determinar la gravedad específica del agregado fino se usó el método volumétrico, se procede a saturar la muestra (500 gr) por 24 horas, después de secar superficialmente la arena (ver ilustración 22), se procede a colocar



el material con la ayuda de un embudo en el frasco de Chatelier y se llena con agua hasta la marca que tiene el instrumento.

Ilustración 22.- Agregado fino saturado superficialmente seco

Fuente.- Autor

- Se rodó el frasco ligeramente inclinado para desalojar todo el aire atrapado y que permitir que la muestra este totalmente mezclada, después que ya no subió más burbujas a la superficie se tomó la lectura del frasco con su contenido.
- Para determinar la absorción de la arena se procedió a pesar y secar la muestra que se utilizó en el ensayo de gravedad específica en el horno hasta obtener una masa constante, se dejó que enfrié el material y se pesó.

Este ensayo tiene como referencia la norma INEN 857.

3.3.1.2.- Peso volumétrico

El peso volumétrico es determinado para conocer el consumo de agregado por metro cubico. El ensayo determina el peso volumétrico suelto y varillado del árido grueso y peso volumétrico suelto del árido fino. (Ver anexo 15 y 16).

La muestra se obtuvo por el método de cuarteo del material determinada mediante la norma INEN 2566 método B.

Procedimiento

- Para determinar el peso volumétrico suelto del agregado grueso y fino se colocó la muestra poco a poco en un recipiente cilíndrico de metal que debe tener una altura igual a su diámetro o cumplir con las especificaciones de la norma INEN 858 tabla 1, este recipiente es diferente para el agregado grueso y fino, se llenó el recipiente hasta rebosar con un cucharón, y se niveló con una llana para luego pesar (ver ilustración 23).



Ilustración 23.- peso del material
Fuente.- Autor

- Para determinar el peso volumétrico varillado se llenó el recipiente en tres capas de igual volumen, cada capa varillada 25 veces y nivelada con los dedos al finalizar el procedimiento se enrasó para quitar el exceso de material y se procedió a pesar.

Este ensayo tiene como referencia la norma INEN 858.

3.3.1.3.- Granulometría.

Es la distribución del tamaño de partículas, la gradación adecuada de los agregados es importante porque el agregado constituye el esqueleto del hormigón ayuda a obtener una trabajabilidad conveniente en la utilización del cemento, por lo que se debe cumplir gradaciones especificadas en la norma ASTM C33, la granulometría tiene una gran influencia en la durabilidad del hormigón, resistencia a la compresión, cambios volumétricos, dosificación, trabajabilidad, bombeabilidad, acabado superficial, oclusión de aire, exudación.

La cantidad de muestra que se necesita en el ensayo está determinada en la tabla 8, los resultados obtenidos se muestran en el anexo 15 y 16.

Tabla 8
Masa mínima de la muestra.

Tamaño máximo nominal	masa mínima (kg)
9,5 mm	1
12,5 mm	2
19 mm	5
25 mm	10
37,5 mm	15
50 mm	20
63 mm	35
75 mm	60
90 mm	150

Fuente: Tamaño de la muestra para ensayo del árido grueso INEN 696.

Procedimiento

Granulometría agregado grueso.

- Se colocó los tamices en orden decreciente de tamaño de abertura, 4", 3.5", 3, 2.5", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N°4, N°8, N°16, para luego colocar la muestra sobre el arreglo de tamices y agitar manualmente de manera constante y vigorosa.
- Se pesó el material retenido en cada tamiz, se anotó el peso y luego se procedió a realizar los respectivos cálculos para clasificar el agregado grueso según la norma



ASTM C33 d. (Ver ilustración 24).

Ilustración 24.- Peso agregado grueso retenido

Fuente.- Autor

Granulometría agregado fino.

- Para la arena se verificó que cumpla con los límites que la norma específica, se determinó colocando el material (500 gr) en el arreglo de tamices 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 y se agito vigorosamente de forma manual.
- Se pesó el material retenido en cada tamiz (ver ilustración 25), luego de finalizar la granulometría de la arena se suman los pesos retenidos acumulados y se divide para 100 obteniendo de esta forma su finura.



Ilustración 25.- Peso agregado fino retenido
Fuente.- Autor

Este ensayo tiene como referencia la norma INEN 696.

3.3.2-Pasos para el proporcionamiento.

Con los datos de los ensayos que se realizaron a los agregados para determinar sus propiedades físicas se procedió a diseñar la mezcla.

Para la elaboración de la mezcla de hormigón se realizó el siguiente procedimiento descrito en la norma ACI 211.1, esto se realiza mediante tablas (Ver anexo 17) el diseño de mezcla se puede observar en el anexo 18.

1. Selección de la resistencia diseño.
2. Selección del asentamiento.
3. Selección del tamaño máximo del agregado.
4. Estimación del contenido de aire.
5. Estimación del contenido de agua.
6. Corrección del volumen de agua.
7. Determinación de la relación Agua Cemento.
8. Cálculo del contenido de cemento.
9. Estimación del contenido de agregado grueso.
10. Estimación del contenido de agregado fino.
11. Determinación de la proporción en peso.

3.4.- Elaboración de las mezclas.

Determinado el diseño por el método de la norma ACI 211.1, se procedió a fabricar el cilindro patrón con una resistencia de diseño de 280 kg/cm², después se procedió a realizar las diferentes mezclas con polvo de vidrio reciclado:

1. Polvo de vidrio en reemplazo parcial de cemento, porcentaje en peso del 5% del polvo de vidrio pasante del tamiz N° 100 (150 micras) retenido en el 200 (75 micras).
2. Polvo de vidrio en reemplazo parcial de cemento, porcentaje en peso del 10% del polvo de vidrio pasante del tamiz N° 100 (150 micras) retenido en el 200 (75 micras).
3. Polvo de vidrio en reemplazo parcial de cemento, porcentaje en peso del 5% del polvo de vidrio pasante del tamiz N° 200 (75 micras).
4. Polvo de vidrio en reemplazo parcial de cemento, porcentaje en peso del 10% del polvo de vidrio pasante del tamiz N° 200 (75 micras).
5. Polvo de vidrio en reemplazo parcial de cemento, porcentaje en peso del 20% del polvo de vidrio pasante del tamiz N° 200 (75 micras).

Para la realización de las diferentes mezclas de hormigón se usó algunas variables como es la cantidad de adición de polvo de vidrio a la mezcla y la finura; se usó un solo tipo de agregado fino, grueso, y un tipo de cemento. Se procedió a mezclar en el siguiente orden: agregado grueso, arena, cemento, vidrio y finalmente el agua, luego de efectuada la mezcla se procedió al llenado de los moldes cilíndricos estos fueron de 15x30cm y a su curado inicial esto se lo realizó colocando una funda plástica sobre el cilindro moldeado para evitar la pérdida de agua por evaporación, después de 24 horas se desencofraron y se colocaron en una piscina llena de agua para su curado final hasta el día de su rotura, a los 7, 21,28, 56, 90, 120 días.

Se realizaron mezclas adicionales:

- Polvo de vidrio pasante de la malla 325 (colores mezclados en igual cantidad) en reemplazo del peso del cemento en 5%, 10% y 20% para determinar la influencia del color en la resistencia a la compresión del hormigón.

- Polvo de vidrio 5%-100 en reemplazo en peso del cemento con respecto al color: ámbar, verde y transparente para determinar la influencia del color en la resistencia a la compresión del hormigón.
- Vidrio molido y triturado en reemplazo parcial del agregado fino.

La resistencia a la compresión de las mezclas descritas se evaluaron hasta los 28 días de realizada las probetas cilíndricas de hormigón.

3.5.- Propiedades del hormigón.

Las propiedades del hormigón son las propiedades físicas, químicas y mecánicas, estas propiedades no son las mismas cuando la mezcla se encuentra en estado fresco y en estado endurecido.

3.5.1.- Propiedades características del hormigón fresco.

Se denomina hormigón fresco al hormigón que por poseer plasticidad tiene la facultad de poder moldearse. El hormigón fresco tiene una vida que está comprendida entre el momento en el agua se mezcla con el cemento y cuando se inicia el fraguado, siendo esta vida variable en función del tipo de cemento empleado, de la dosificación del agua, de los agregados, de la temperatura ambiente, del empleo de aditivos.

Las propiedades más características del hormigón fresco son: la consistencia, la docilidad y la homogeneidad.

3.5.1.1.- Ensayos realizados para determinar las propiedades del hormigón fresco.

- Asentamiento.
- Temperatura.

3.5.1.1.1.- Ensayo de asentamiento.

El asentamiento es la propiedad que tiene el hormigón en estado fresco, se determina mediante el ensayo en el cono de Abrams, mide la trabajabilidad, la consistencia y

determina el tipo de compactación que se le debe de realizar a la mezcla de hormigón.

La muestra utilizada es una fracción de la mezcla de hormigón, que se adquiere en el momento que se finaliza el mezclado del cemento, agua y agregados.

Procedimiento

- Se humedeció el molde troncocónico y la placa base para evitar que la mezcla se adhiera a las paredes del cono o base.
- Se presionó firmemente los estribos del molde con los pies para evitar movimiento que resulten en pérdida de material.
- Se llenó el molde con la mezcla en tres capas, cada capa se varillo 25 veces para que quede compactada, distribuyendo las penetraciones en toda la superficie de cada capa.
- Llenado el molde se prosiguió a enrasar la superficie, para luego levantar el molde en un solo movimiento sin realizar giros.
- Se midió con un flexómetro el asentamiento que tuvo la mezcla al momento de quitar el molde (ver ilustración 26).



Ilustración 26.- Medición del asentamiento
Fuente.- Autor

Este ensayo tiene como referencia la norma INEN 1578.

3.5.1.1.4.- Temperatura

La temperatura influye en la disminución de la trabajabilidad, inicio del fraguado del hormigón, cuando más alta es la temperatura más rápido empieza a fraguar la mezcla, también hay pérdida de agua por evaporación, esto produce que el hormigón se agriete, haya mayor permeabilidad y baje la resistencia, los componentes que constituyen la masa de hormigón pueden afectar la temperatura por el calor específico que éstos poseen.

El hormigón con agregado superior o igual a 3” necesitará de al menos 20 minutos para que el agregado transfiera su calor al mortero.

Este ensayo mide la temperatura de las mezclas verificando que el hormigón satisfaga los requerimientos específicos de temperatura.

Procedimiento

- El hormigón utilizado en el ensayo de temperatura debe cubrir al menos 3” del medidor de temperatura en todas sus direcciones para evitar que la temperatura del ambiente influya en la toma de lectura del ensayo.
- Se sumergió el medidor de temperatura en el hormigón (ver ilustración 27) recién mezclado, presionando la superficie de hormigón que se encuentra alrededor del termómetro para evitar que la temperatura del ambiente afecte la lectura en el instrumento.
- Se tomó la temperatura de la mezcla cuando la lectura del termómetro se estabilizó.



Ilustración 27.- Temperatura de la mezcla.
Fuente.- Autor.

Este ensayo tiene como referencia la norma ASTM C 1064.

3.5.2.- Propiedades características del hormigón endurecido.

El hormigón es capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión, la resistencia a la compresión depende de las propiedades físicas, químicas y mecánicas de sus componentes y de la interacción de cada uno de ellos. Para que un hormigón sea durable debe tener la capacidad de resistir la acción de la meteorización, ataques químicos, abrasión o cualquier otro proceso de deterioro, se clasifica en agentes físicos, químicos, biológicos y mecánicos. Descritos en la norma ACI 201.

3.5.2.1.- Ensayos realizados para determinar las propiedades del hormigón endurecido.

- Alkali sílice.
- Resistencia a la compresión.
- Absorción.

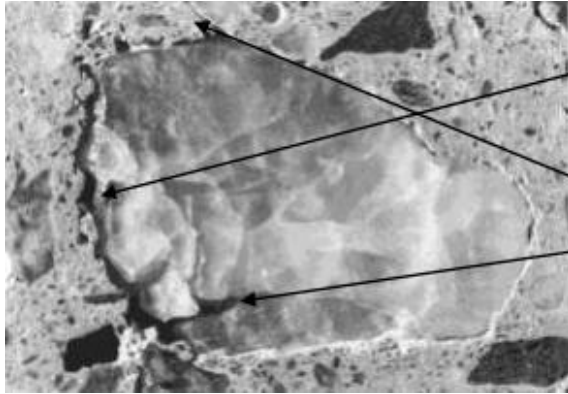
3.5.2.1.1.- Reacción álcali sílice.

El polvo de vidrio de botella usado en la fabricación de hormigón contiene alto contenido de sílice amorfa (entre 70% - 75%) que puede reaccionar con los álcalis del cemento, produciendo expansiones dañinas al contacto con el agua por tal razón se efectuó el ensayo de la reacción álcali sílice, para determinar si el polvo de vidrio utilizado en los ensayos es reactivo o inocuo, también se le realizó el ensayo a los agregados usados en el diseño de hormigón.

Para ello se siguió el procedimiento de la norma ASTM 1567.

Ensayo reacción álcali sílice método acelerado.

La reacción álcali sílice fue la primera en ser reconocida y estudiado por *STATON* (1940) denominándose primero como álcali agregado, se da en materiales que involucran sílice amorfa, sílice de pobre cristalización o meta estables y que se caracterizan por su relativamente corto tiempo para el inicio y manifestación de la fisuración y resquebrajamiento del hormigón debido a la reacción álcali sílice con limitada duración. La fisuración ocurre generalmente dentro de los 5 a 10 años y la reacción se agota en lapso de 10 a 20 años, según datos de M.D.A Thomas et al. En el interior del hormigón se presenta una serie de presiones osmóticas que rompen la interface pasta granulado y fracturan las mismas piedras, presencia de agua es imprescindible para el desarrollo de los geles y estos, por imbibición e hinchamiento aumentan de volumen y la presión ejercida puede llegar a causar efectos disruptivos.



La pasta se ha desprendido de la piedra.

Las partículas están fracturadas.

Ilustración 28.- Problema causado por la reacción álcali sílice.

Fuente: Folleto técnico Lafarge.

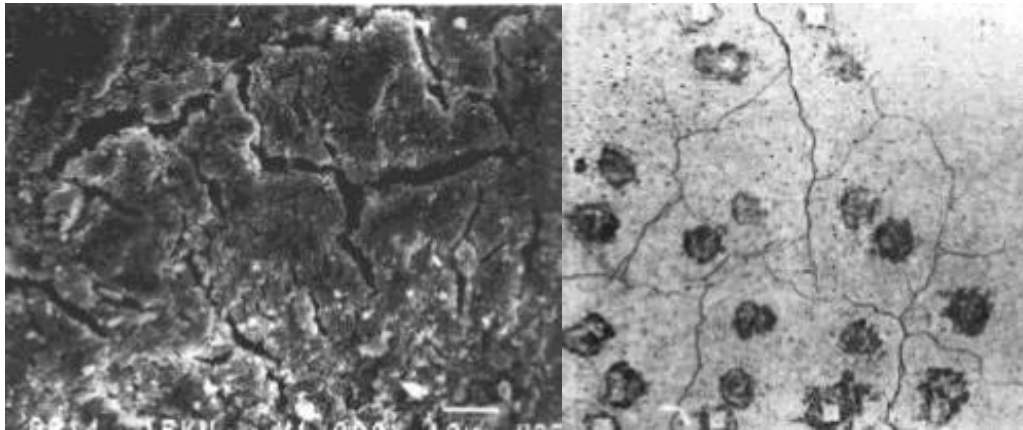


Ilustración 29.- Problema causado por la reacción álcali sílice, fisura en mapa.

Fuente: Folleto técnico Lafarge.

En la superficie aparecen una serie de fisuras orientadas aleatoriamente en forma de mapa y el deterioro avanza rápidamente. El proceso de deterioro del hormigón por la reactividad álcali sílice se debe a la formación de geles sílico alcalinos, por disolución de la sílice reactiva en un medio de alcalinidad elevada (PH superior a 12) como el que proporciona la pasta de cemento.

Este ensayo determina la expansión de la barra de mortero expuesto a un ambiente agresivo (hidróxido de sodio).

La cantidad de muestra que se necesita en el ensayo está determinada de la en la tabla 9, los resultados de los ensayo se muestran en el anexo 25.

Tabla 9
Cantidad de material necesario para el ensayo.

Pasante	Retenido	Masa %
4,75mm	2,36 mm	10
2,36 mm	1,18 mm	25
1,19 mm	600 micras	25
600 micras	300 micras	25
300 micras	150 micras	15

Fuente: Requisitos de gradación Tabla 1 ASTM C1567.

Si el árido no está compuesto por los tamaños descritos en la tabla se procede a la trituración, luego de que el agregado fue separado por los diversos tamaños se lavó el material sobre cada tamiz para eliminar partículas que puedan alterar el resultado del ensayo, se secó durante 24 horas y se procedió a pesar, el porcentaje en peso de cada material dependió de la densidad del agregado, se realizó la mezcla del material tamizado.

Procedimiento

- Para realizar las barras (tres) se colocó el material en la mezcladora en el orden siguiente: agua, agregados y cemento esto se lo realizó en tiempos fijos con un total de 4 minutos para realizar la mezcla.
- Se realizó el llenado de las barras, en dos capas cada una compactado con un pisón hasta que la muestra quedo homogénea, se enraso y se colocó las barras en el cuarto de curado durante 24 horas. (Ver ilustración 30).



Ilustración 30.- Llenado de las barras.

Fuente.- Autor

- Pasado ese tiempo se procedió a desencofrar, y a colocar las barras en un balde de polietileno de alta densidad (HDEP) lleno de agua, este balde se colocó en un horno a 80°C durante 24 horas junto a la solución de hidróxido de sodio que se colocó en un balde diferente para que ambas soluciones tengan la misma temperatura al momento de sumergir las barras a la solución de hidróxido sodio.

- Se retiraron los baldes del horno y se procedió a efectuar la primera lectura de comparación de las barras, para luego ir las sumergiendo en la solución de hidróxido de sodio, en donde permanecieron durante 14 días a 80 °C, tiempo en el cual se tomaron varias lecturas de expansión.

3.5.2.1.2.- Resistencia a la compresión.

Es la resistencia máxima a carga axial que puede soportar el hormigón, se realiza en probetas moldeadas de muestras de hormigón fresco, especímenes extraídos o aserrados, cilindros colados en sitio, esta resistencia se ve afectada por la relación agua cemento, mala elaboración y moldeado de la mezcla, curado insuficiente y la edad del hormigón.

Para el ensayo de resistencia a la compresión se usó probetas cilíndricas de hormigón, previamente medidas (2 diámetros, 2 alturas, peso).

Procedimiento

- Para obtener la resistencia que tiene la mezcla de hormigón se llenaron moldes de 15 cm x30 cm con la mezcla a estudiar.
- Se realizó el llenado en tres capas de igual volumen (Ver ilustración 31), cada capa varillada 25 veces y se procedió a dar pequeños golpes alrededor del cilindro para eliminar el aire atrapado y llenar los agujeros dejado por el varillado esto se hizo por cada capa, al finalizar el llenado de los cilindros se colocó un plástico encima para evitar la pérdida de humedad de la mezcla, realizándose el curado inicial.



Ilustración 31.- Cilindros llenos de hormigón.
Fuente.- Autor

- Se desencofro después de 24 horas del moldeo, y se colocó en una piscina llena de agua para su curado final, hasta el día de su rotura.
- Para cada rotura se retiró los cilindros a ensayar de la piscina para que se sequen superficialmente, se tomó las respectivas medidas (2 diámetros y 2 alturas) y se pesó, se procedió a colocar los neoprenos y la probeta cilíndrica en la cara de contacto de los bloques de carga.
- Se realizó el centrado de los cilindros de hormigón a ser ensayados en la maquina con respecto al bloque esférico superior, y se procedió a la rotura.

Este ensayo tiene como referencia la norma INEN 1573.

3.5.2.1.3.- Absorción.

La durabilidad de los hormigones depende de la capacidad que estos tengan para soportar las agentes externos agresivos físicos y químicos, que pueden agredir al hormigón en el interior de su masa esto se puede dar por la cantidad de canales capilares conectados producido por el fenómeno de exudación, por la relación agua cemento mientras más agua tenga la mezcla mayor es la porosidad que tiene el hormigón y la permeabilidad.

La muestra de ensayo está constituida de una porción de cilindro de hormigón de 800 g de peso mínimo, el cual no debe de tener fisuras, rajaduras, cortes, entre otros, se la obtuvo mediante el corte de un cilindro de hormigón mediante un disco de diamante.

Procedimiento

- Se secó la porción de hormigón hasta una masa constante y se determina su peso.
- Se procedió a saturar las muestras de hormigón por un periodo de 96 horas.
- Se seca las muestras superficialmente y se determina su masa. (Ver ilustración 32).
- Se procedió a realizar los respectivos cálculos. (Ver anexo 34).



Ilustración 32.- Peso de la muestra saturada superficialmente seca
Fuente.- Autor

Este ensayo tiene como referencia la norma ASTM C642.

CAPÍTULO IV

4.- Resultados y análisis de los ensayos realizados.

4.1.- Sustancia perjudicial de los áridos.

Los resultados obtenidos de los ensayos realizados para determinar la aceptación de los áridos utilizados para fabricar hormigón se muestran a continuación:

Tabla 10
Sustancias perjudicial del árido fino para hormigón.

Sustancia perjudicial	Porcentaje máximo en masa	Porcentaje de ensayo	Norma de ensayo	Aceptación
Material más fino	5	1,023	697 INEN	Si cumple
Terrones de arcilla	3	1,020	698 INEN	Si cumple
Partículas livianas	1	0,055	699 INEN	Si cumple
Partículas en suspensión	3	0,12	864 INEN	Si cumple
Impurezas orgánicas	3 comparador	1	855 INEN	Si cumple

Fuente: Tabla 2 INEN 872.

Tabla 11
Sustancias perjudicial del árido grueso para hormigón.

Sustancia perjudicial	Porcentaje máximo en masa	Porcentaje de ensayo	Norma de ensayo	Aceptación
Material más fino	1	0,76	697 INEN	Si cumple
Terrones de arcilla	10	1,73	698 INEN	Si cumple
Partículas livianas	1	0	699 INEN	Si cumple
Resistencia a la abrasión	50	29,24	860 INEN	Si cumple
Resistencia a la disgregación	18	1,2	863 INEN	Si cumple

Fuente: Tabla 4 INEN 872.

Con los resultados obtenidos se determinó que las sustancias perjudiciales del árido fino y árido grueso están dentro de los límites permitidos por la norma INEN 872.

4.2.- Características físicas de los agregados utilizados en la mezcla de hormigón.

La piedra de la cantera calcárea Huayco tiene las siguientes características:

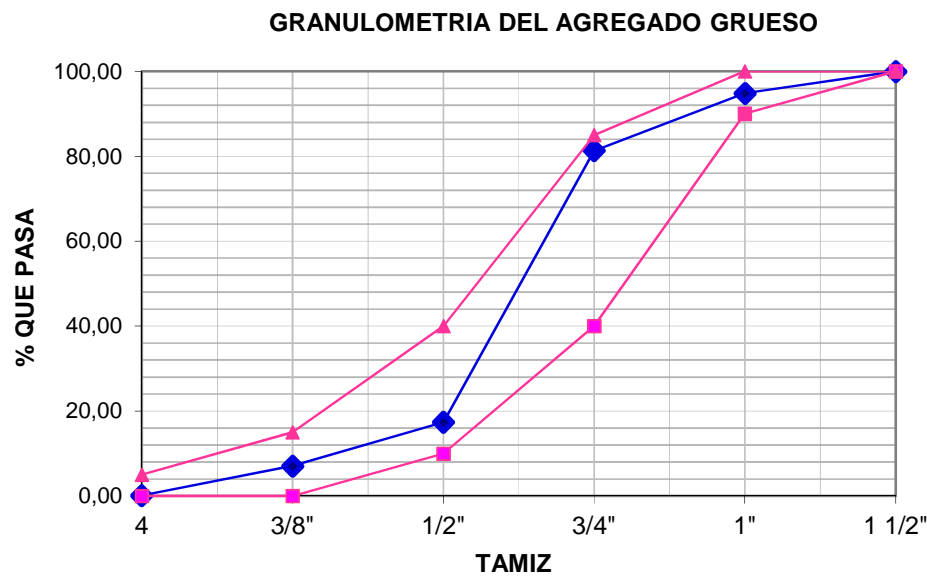
Tabla 12
Características físicas del agregado grueso.

Características físicas		Norma de ensayo
Tamaño máximo nominal	1"	INEN 858
Peso unitario compactado	1422 kg/m ³	INEN 858
Peso unitario suelto	1310 kg/m ³	INEN 858
Densidad	1594 kg/cm ³	INEN 857
Absorción	1,79 %	INEN 857

Fuente: Autor.

En la granulometría cumple con las especificaciones de la norma ASTM C33 (Ver gráfica 1) como agregado número 56, nombre comercial piedra 3/4".

Gráfica 1
Granulometría agregado grueso.



Fuente: Autor.

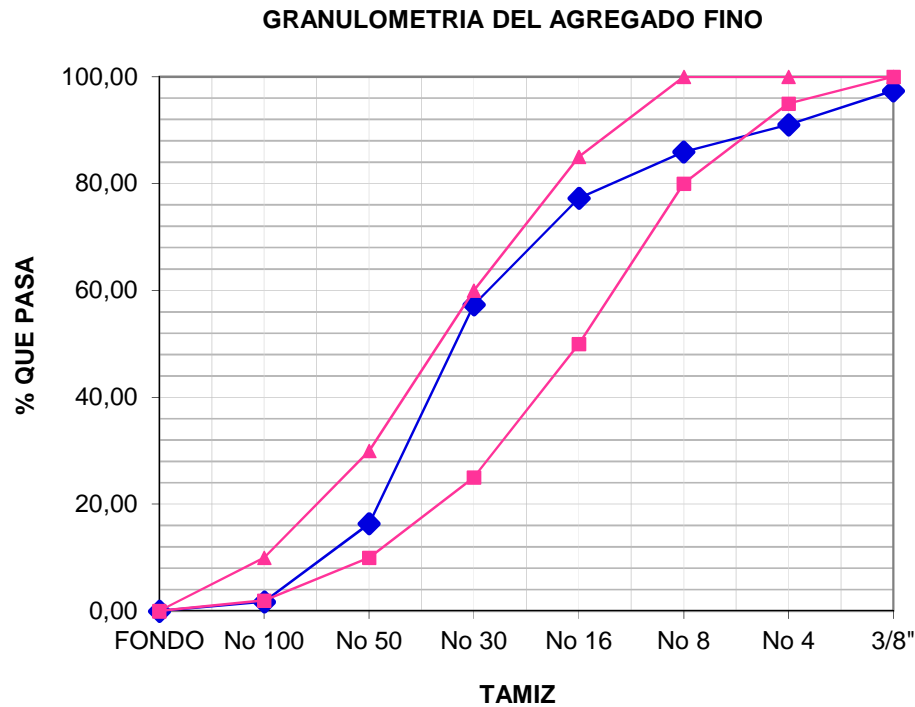
La arena negra de El Triunfo tiene las siguientes características:

Tabla 13
Características físicas agregado fino.

Características físicas		Norma de ensayo
Peso unitario suelto	1520 kg/m ³	INEN 858
Densidad	2488 kg/cm ³	INEN 857
Absorción	18,89 %	INEN 857
Módulo de finura	2,73	INEN 696

Fuente: Autor.

Gráfica 2
Granulometría agregado fino.



Fuente: Autor.

4.3.- Diseño del cilindro patrón.

La dosificación se realizó por el método de volúmenes de la norma ACI 211.1 (Ver anexo 18). Para el diseño de la mezcla que contiene polvo de vidrio reciclado se usó la misma matriz del cilindro patrón con una resistencia de diseño de 280 kg/cm², para que los resultados puedan ser comparables, las mezclas se realizaron con polvo

de vidrio color verde porque este se había reciclado en mayor cantidad, la dosificación de cada una de las mezclas se detalla en la tabla 14.

Tabla 14
Dosificaciones para las mezclas de hormigón.

Dosificación para 1 m3					
	Cemento Kg	A.G. Kg	A.F. Kg	Agua Ltrs	Vdrio Kg
Patrón	452,44	970,99	560,61	232,43	0
5% -100	429,82	970,99	560,61	232,43	22,622
10%-100	407,2	970,99	560,61	232,43	45,244
5%-200	429,82	970,99	560,61	232,43	22,622
10%-200	407,2	970,99	560,61	232,43	45,244
20%-200	361,952	970,99	560,61	232,43	90,488

Fuente: Autor.

Para distinguir los diferentes tipos de mezclas realizadas, se eligió la terminología que se detalla a continuación:

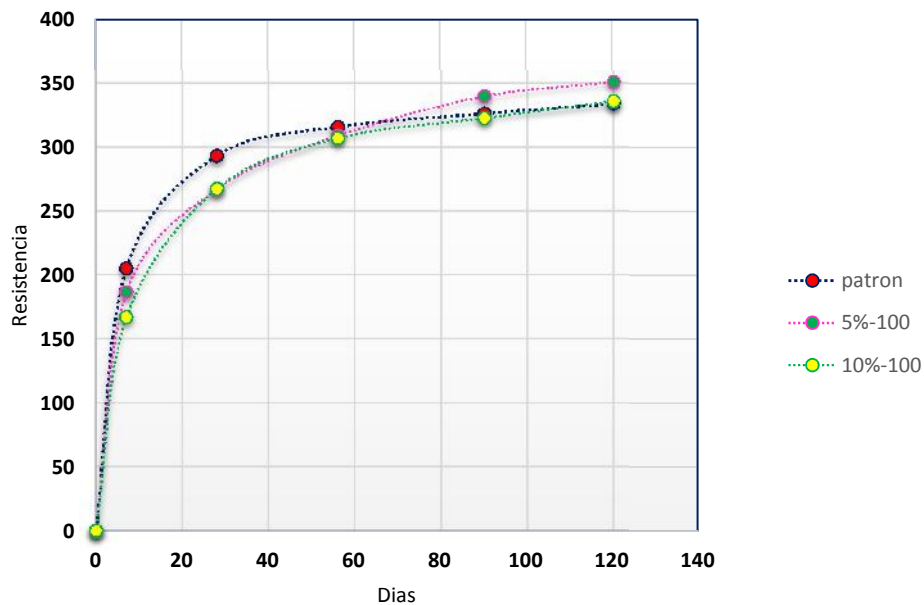
1. **Patrón.-** No contiene polvo de vidrio.
2. **5%-100.-** La mezcla está constituida por 5% de polvo de vidrio pasante de la malla 100 retenido en la malla 200, como reemplazo en peso del cemento.
3. **10%-100.-** La mezcla está constituida por 10% de polvo de vidrio pasante de la malla 100 retenido en la malla 200, como reemplazo en peso del cemento.
4. **5%-200.-** La mezcla está constituida por 5% de polvo de vidrio pasante de la malla 200, como reemplazo en peso del cemento.
5. **10%-200.-** La mezcla está constituida por 10% de polvo de vidrio pasante de la malla 200, como reemplazo en peso del cemento.
6. **20%-200.-** La mezcla está constituida por 5% de polvo de vidrio pasante de la malla 200, como reemplazo en peso del cemento.

4.4.- Compresión simple.

Con los resultados obtenidos de las roturas a la compresión simple (Ver anexos 21-27) se realizaron las diferentes gráficas, para comparar la resistencia del cilindro

patrón con las resistencias de las mezclas que contienen polvo de vidrio reciclado en diferentes porcentajes de adición y finura.

Gráfica 3
Patrón y mezclas con polvo de vidrio 5%-100,10%-100.



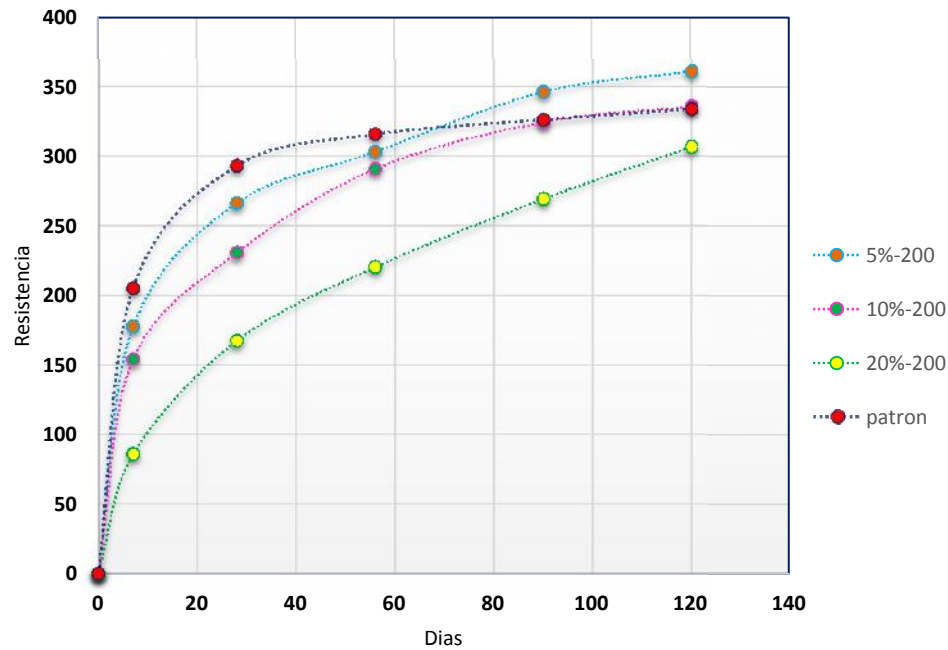
Fuente: Autor.

En la gráfica 3 se puede apreciar que la resistencia del cilindro patrón después de los 28 días de edad es casi lineal, incrementándose a partir de esta edad un promedio de 4,67% de resistencia por mes (56, 90 y 120 días). La resistencia de la mezcla que contiene vidrio 5%-100 en reemplazo parcial en peso de cemento (-22,62 kg), baja por la disminución de cemento aproximadamente en 10% a los 28 días de ensayada las probetas de hormigón, incrementando su resistencia a partir de esta edad en 10.33% hasta igualarse al patrón aproximadamente a los 70 días y a edades posteriores la resistencia sobrepasa el patrón en 1.715 Mpa.

La resistencia de la mezcla que contiene vidrio 10%-100 en reemplazo parcial en peso de cemento (-45,24 kg), disminuye aproximadamente en 18% a los 28 días de ensayada las probetas de hormigón, incrementando su resistencia a partir de esta edad en 8.33% hasta igualarse al patrón aproximadamente a los 110 días y a edades posteriores la resistencia sobrepasa el patrón en 0,13 Mpa.

Gráfica 4

Patrón y mezclas con polvo de vidrio 5%-200,10%-200, 20%-200.



Fuente: Autor.

En la gráfica 4 se puede apreciar que la resistencia de la mezcla que contiene vidrio 5%-200 en reemplazo parcial en peso de cemento (-31,31 kg), baja por la disminución de cemento aproximadamente en 17% a los 28 días de ensayada las probetas de hormigón, incrementando su resistencia a partir de esta edad en 15,67% hasta igualarse al patrón aproximadamente a los 65 días y a edades posteriores la resistencia sobrepasa el patrón en 2,71 Mpa.

La resistencia de la mezcla que contiene vidrio 10%-200 en reemplazo parcial en peso de cemento (-62,62 kg), disminuye aproximadamente en 24% a los 28 días de ensayada las probetas de hormigón, incrementando su resistencia a partir de esta edad en 19,33% hasta igualarse al patrón aproximadamente a los 90 días y a edades posteriores la resistencia sobrepasa el patrón en 0,171 Mpa.

La resistencia de la mezcla que contiene vidrio 20%-200 en reemplazo parcial en peso de cemento (-90,48 kg), disminuye aproximadamente en 47% a los 28 días de ensayada las probetas de hormigón, incrementando su resistencia a partir de esta edad en 27,67%, hasta la edad de 120 días se determina que la mezcla 20%-200 no alcanza la resistencia del cilindro patrón, existiendo una diferencia de 2,733 Mpa.

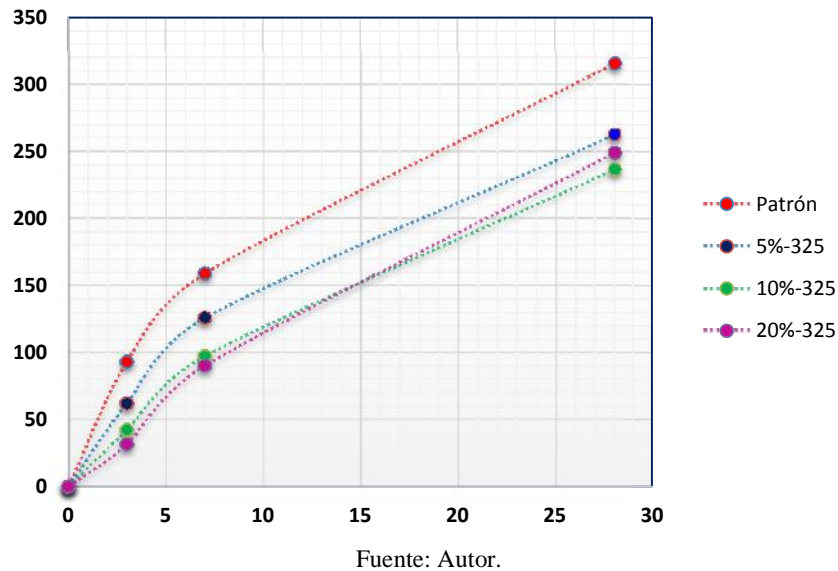
Se hizo la evaluación para determinar cómo actuaba la resistencia del hormigón al usar polvo vidrio más fino #325, polvo de vidrio #100 de acuerdo al color, vidrio triturado y molido en reemplazo parcial de la arena.

Para distinguir los diferentes tipos de mezclas realizadas se eligió la terminología que se detalla a continuación:

1. **5%-325 mix.-** La mezcla está constituida por 5% de polvo de vidrio pasante de la malla 325 con la mezcla de los colores ámbar, verde y transparente (cantidades iguales) como reemplazo en peso del cemento.
2. **10%-325 mix.-** La mezcla está constituida por 10% de polvo de vidrio pasante de la malla 325 con la mezcla de los colores ámbar, verde y transparente (cantidades iguales) como reemplazo en peso del cemento.
3. **20%-325 mix.-** La mezcla está constituida por 20% de polvo de vidrio pasante de la malla 325 con la mezcla de los colores ámbar, verde y transparente (cantidades iguales) como reemplazo en peso del cemento.
4. **5%-100 ámbar.-** La mezcla está constituida por 5% de polvo de vidrio color ámbar pasante de la malla 100 retenido en la malla 200, como reemplazo en peso del cemento.
5. **5%-100 verde.-** La mezcla está constituida por 5% de polvo de vidrio color verde pasante de la malla 100 retenido en la malla 200, como reemplazo en peso del cemento.
6. **5%-100 transparente.-** La mezcla está constituida por 5% de polvo de vidrio color transparente pasante de la malla 100 retenido en la malla 200, como reemplazo en peso del cemento.
7. **25% arena (fino).-** La mezcla está constituida por 25% de vidrio molido como reemplazo parcial en peso del agregado fino.
8. **25% arena (grueso).-** La mezcla está constituida por 25% de vidrio triturado como reemplazo parcial en peso del agregado fino.

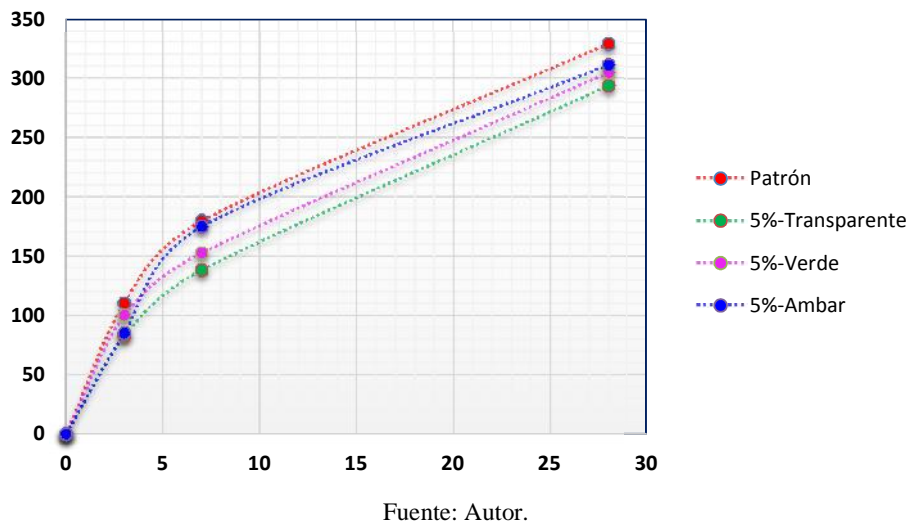
Con los resultados obtenidos (Ver anexos 29-36) se realizaron las diferentes gráficas, para relacionar los resultados de las roturas a la compresión del cilindro patrón con las mezclas que contienen polvo de vidrio reciclado.

Gráfica 5
Patrón y mezclas con polvo de vidrio 5%-325,10%-325, 20%-325.



En la gráfica 5 se puede apreciar que la resistencia del cilindro patrón es mayor que la resistencia que contienen polvo de vidrio (colores mezclados) #325 por la disminución de cemento, teniendo una reducción de resistencias 5%-325 de 19,013% (5,32 Mpa), 10%-325 de 28,24% (7,91 Mpa), 20%-325 de 23,88% (6,69 Mpa) en comparación con el cilindro patrón a los 28 días de rotura.

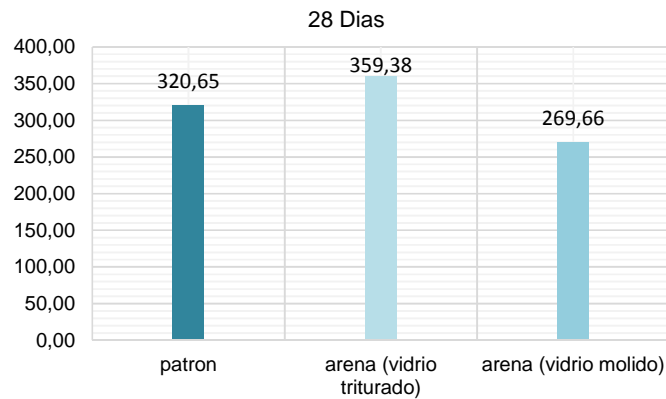
Gráfica 6
Patrón y mezclas con polvo de vidrio 5%-100 ámbar, verde y transparente.



En la gráfica 6 se puede apreciar que la resistencia del cilindro patrón es mayor que la resistencia que contienen polvo de vidrio 5%-100 con respecto al color (ámbar,

verde, transparente), por la disminución de cemento, teniendo una reducción de resistencias 5%-100 ámbra de 6,36 (1,78 Mpa); 5%-100 verde de 8,67% (2,43 Mpa); 5%-100 transparente de 12,68% (3,55 Mpa) en comparación con el cilindro patrón a los 28 días de rotura.

Gráfica 7
Patrón y vidrio en reemplazo del 25% de arena.



Fuente: Autor.

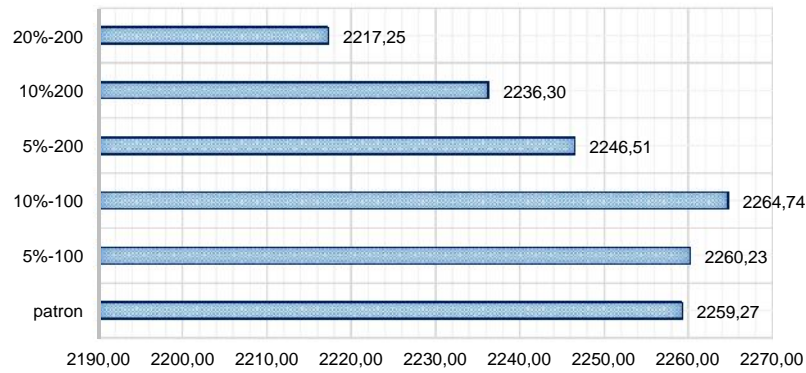
En la gráfica 7 se observa la influencia de la resistencia de las mezclas que contienen vidrio triturado y vidrio molido, se determinó que al usar vidrio triturado en reemplazo del 25% de árido fino la resistencia aumenta en un 12,08% (3,37 Mpa) con respecto al patrón y al utilizar vidrio molido en reemplazo del 25% del árido fino la resistencia baja en un 15,90% (5,1 Mpa), esto se da porque el vidrio triturado contiene polvo (pasante de la malla 100), mientras que al vidrio molido usado para sustitución de la arena se le había realizado un tamizado previo, por tal razón se determinó que el polvo de vidrio si tiene influencia en la resistencia a la compresión del hormigón.

4.5.- Densidades del hormigón endurecido.

Las densidades del hormigón normal se encuentran entre 2200 kg/m³ y 2400 kg/cm³; en los resultados obtenidos de las mezclas realizadas (Ver anexo 27) se observa que las densidades del cilindro patrón no difiere significativamente con las densidades de las mezclas que contienen polvo de vidrio, pero se determina que las densidades de las mezclas que contiene polvo de vidrio pasante del tamiz 100 son mayores que el patrón a medida que se aumenta el porcentaje de adición de vidrio, mientras que a las mezclas que contienen polvo de vidrio pasante del tamiz 200 las densidades

disminuyen a medida que aumenta el porcentaje de adición como se muestra en la gráfica 8.

Gráfica 8
Comparación de las densidades del hormigón endurecido.



Fuente: Autor.

4.6.- Reacción álcali sílice.

El ensayo de la reacción álcali sílice (Ver anexo 38 y 39) para las barras con agregado Huayco y arena de El Triunfo se realizó con la siguiente dosificación (Ver tabla 15) con una relación agua cemento de 0,47 (440 gr de cemento).

Tabla 15
Dosificación para 3 barras con agregados 60-40.

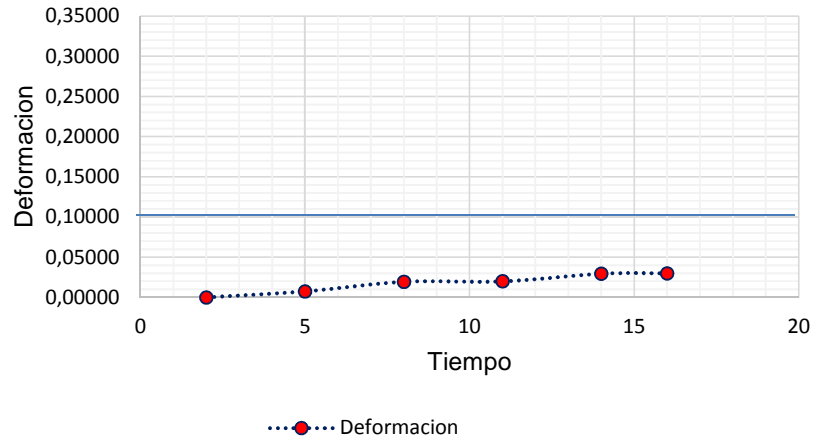
Mezcla de los diferentes tamaños de áridos		Arena 40%	Piedra 60%
Pasante Retenido			
4,75 mm 2,36 mm	10%	39,6 gr	59,4 gr
2,36 mm 1,18 mm	25%	99 gr	148,5
1,19 mm 600 micras	25%	99 gr	148,5
600 micras 300 micras	25%	99 gr	148,5
300 micras 150 micras	15%	59,4 gr	89,1
total	100%	396 gr	594 gr

Fuente: Autor.

Solución para 3 barras: Agua destilada (0,2208), agua potable (1,9872), hidróxido de sodio (88,32 gr).

La deformación después de 14 días que las barras estuvieran sumergidas en la solución de hidróxido de sodio a 80°C se muestra en la gráfica 9:

Gráfica 9
Deformación barras con agregados 60-40.



Fuente: Autor.

Se observa que la deformación de las barras patrón es 0,034, este valor está dentro del límite permitido por la norma en el cual la deformación debe de ser $<0,1$ esto quiere decir que no existe riesgo que los áridos reaccionen con los álcalis (iones Na^+ y K^+) de cemento y se produzca expansión, en síntesis es potencialmente no reactivo (inocuo).

El ensayo de la reacción álcali sílice para las barras con agregado Huayco, arena de El Triunfo y polvo de vidrio 5%-200 se realizó con la siguiente dosificación (Ver tabla 16) con una relación agua material cementante (418 gr de cemento y 22 gr de polvo de vidrio) de 0,47.

Tabla 16
Dosificación para 3 barras 60-40 +5%-200.

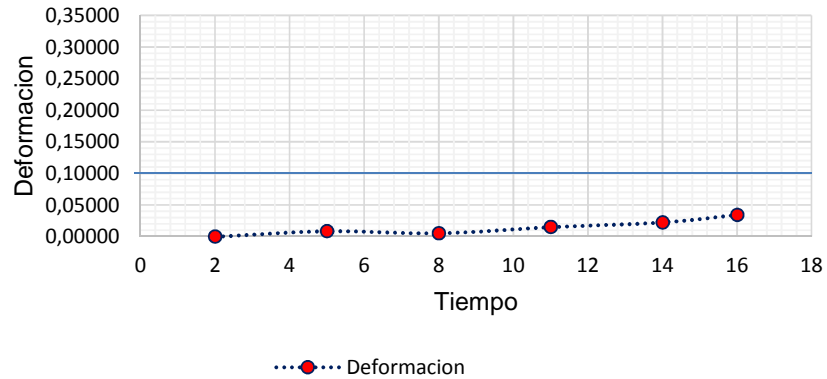
Mezcla de los diferentes tamaños de áridos Pasante Retenido		Arena 40%	Piedra 60%
4,75 mm 2,36 mm	10%	39,6 gr	59,4 gr
2,36 mm 1,18 mm	25%	99 gr	148,5
1,19 mm 600 micras	25%	99 gr	148,5
600 micras 300 micras	25%	99 gr	148,5
300 micras 150 micras	15%	59,4 gr	89,1
total	100%	396 gr	594 gr

Fuente: Autor.

Solución para 3 barras: Agua destilada (0,2208), agua potable (1,9872), hidróxido de sodio (88,32 gr).

La deformación después de 14 días que las barras estuvieran sumergidas en la solución de hidróxido de sodio a 80°C se muestra en la gráfica 10:

Gráfica 10
Deformación barras 5%-200.

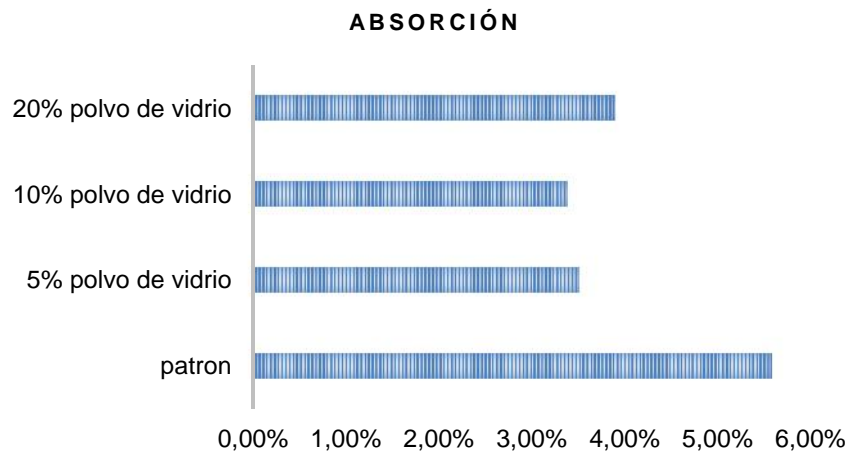


Se observa que la deformación de las barras 5%-200 es 0,038, este valor está dentro del límite permitido por la norma en el cual la deformación debe de ser $<0,1$ esto quiere decir que no existe riesgo que el polvo de vidrio reaccione con los álcalis (iones Na^+ y K^+) de cemento y se produzca expansión, en síntesis es potencialmente no reactivo (inocuo) a pesar que contiene 5% de polvo de vidrio que es sílice amorfo.

4.7.- Absorción

Se determina que el polvo de vidrio si influye en la absorción (Ver anexo 41) del hormigón como se denota en la gráfica 11.

Gráfica 11
Absorción del hormigón.



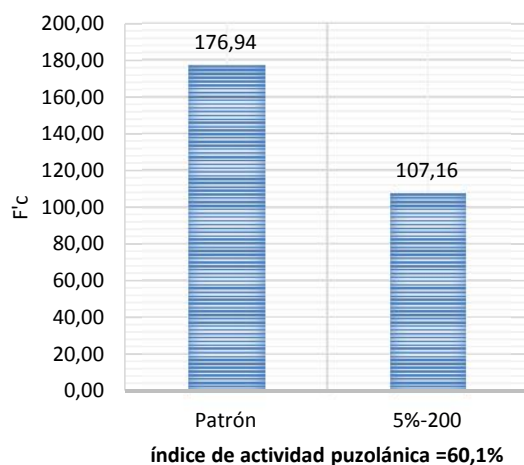
Fuente.- Autor.

Se realizaron dos ensayos principales al polvo de vidrio para determinar si cumple con uno de los requisitos que deben tener las puzolanas.

- Índice de actividad puzolánica (Ver anexo 43)
- Pérdida por calcinación (Ver anexo 45)

Al realizar el índice de actividad puzolánica se determinó que el polvo de vidrio no cumple con el porcentaje mínimo descrito en la norma INEN 494 (Ver gráfica 12) que establece un porcentaje mínimo del 75%.

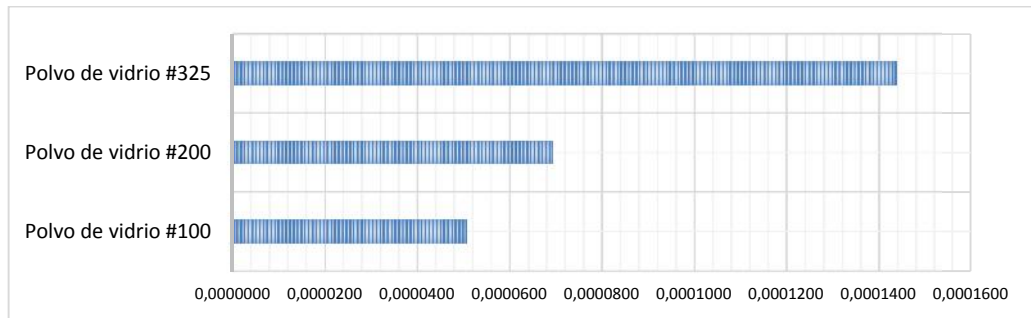
Gráfica 12
Índice de actividad puzolánica-método del cemento.



Fuente.-Autor

Se determinó que la pérdida de calcinación del polvo de vidrio es mínimo (Ver gráfica 13) cumpliendo con lo descrito en la norma INEN 494 que establece un porcentaje mínimo de pérdida del 10%.

Gráfica 13
Pérdida por calcinación del polvo de vidrio.



Fuente.-Autor.

CAPÍTULO V

5.-Análisis de precio.

Del análisis de la resistencia a la compresión del hormigón se determinó que el beneficio económico se da en el mayor porcentaje de reemplazo de cemento que no influya negativamente en la resistencia a la compresión simple del hormigón esta mezcla es el 10%-200, dicho reemplazo en la mezcla es ligeramente mayor al cilindro patrón como se lo determino en el análisis realizado en el capítulo IV.

Para comprobar que existe un beneficio económico en el uso de polvo de vidrio 10%-200 en la fabricación de hormigón se realizó el cálculo del costo del polvo de vidrio usado en 1m³ de hormigón, como reemplazo del 10% en peso del cemento.

Costo por la obtención de las botellas de vidrio.

Botellas de vidrio			
Cantidad	Total Kg	Precio por Kg	Total
210,38	45,24	\$ 0,04	\$ 1,81

Costo de energía eléctrica al realizar el triturado de las botellas de vidrio.

Triturado (2'' x saco)-molino de martillo				
Botellas de vidrio Unidad	Sacos 120 botellas	Tiempo Horas	Motor 3 HP 2,238 Kw/H	Valor total por Trituración \$10 ctv/KwH
210,38	1,753	0,0584	0,131	\$ 0,013

Costo de energía eléctrica al realizar la molienda fina.

Molienda fina-molino de bolas			
Botellas trituradas Kg.	Tiempo Horas	Motor 1/2 HP 0,73 Kw/H	Valor total por Molienda \$10 ctv/KwH
45,24	1	0,73	\$ 0,073

Costo mano de obra (salario básico \$354)

	Tiempo Hora	Valor Hora	Total
Triturado	0,058	\$ 2,7	\$ 0,156
Molienda	1	\$ 2,7	\$ 2,7
			\$ 2,86

Costo del polvo (45,24 kg) para 1 m3 de hormigón.

Botellas de vidrio	\$ 1,81
Triturado	\$ 0,013
Molienda	\$ 0,07
Mano de obra	\$ 2,86
Total	\$ 4,75

El costo del saco de cemento de 50 kg es de \$7,5; en 1 m3 para una resistencia de 280 kg/m3 se necesitarían 9,05 sacos de cemento al usarse polvo de vidrio 10%-200 se ahorrarían 0,90 sacos de cemento que corresponden a \$6,79, si a eso le restamos los \$4,75 correspondiente al costo del polvo de vidrio significaría que el ahorro por m3 de hormigón de resistencia 280 kg/cm2 es \$2,02.

CAPÍTULO VI

5.- Conclusiones y recomendaciones.

5.1.- Conclusiones.

- En el presente trabajo se determinó el diseño de mezcla mediante el método del volumen absoluto que se describe en la norma del comité ACI 211.1.
- De los resultados obtenidos de los ensayos para determinar las características físicas de los agregados (agregado grueso de la cantera calcáreos Huayco y arena gruesa de El Triunfo), se estableció de acuerdo a la norma INEN que los agregados son óptimos para ser usados en el diseño de hormigón normal.
- Se observó que a medida que se reemplaza mayor cantidad de polvo de vidrio la resistencia fue menor que la del patrón hasta una edad determinada. La mezcla que contiene polvo de vidrio pasante de la malla 100 retenido en la malla 200 en edades hasta antes de los 70 días tiene mayor resistencia que la mezcla que contiene polvo de vidrio pasante de la malla 200, lo contrario ocurre en edades posteriores a 70 días en donde la resistencia del polvo de vidrio pasante de la malla 200 es mayor el 100, queda constatado que el grado de finura del polvo de vidrio tiene influencia en la resistencia a la compresión de los cilindros ensayados cuanto más fino es el polvo de vidrio mayor resistencia se obtiene a edades posteriores o los 70 días.
- Se determinó que el color de la botella de vidrio reciclado si influye en la resistencia del hormigón ya que el uso de polvo de vidrio de color ámbar en la mezcla de hormigón da mayor resistencia a la compresión que al usar el polvo de vidrio color verde y este a su vez es mayor que el polvo de vidrio transparente.
- La dosificación de hormigón que da mayor resistencia es la que tiene una adición de polvo de vidrio al 5% (malla 200), la resistencia de la dosificación de hormigón al 10% (malla 200) de polvo de vidrio es igual a la resistencia a la compresión del hormigón patrón
- De acuerdo a costos la mezcla óptima es la que contiene 10% de polvo de vidrio en remplazo en peso de cemento, para una resistencia de 280 kg/cm², se disminuiría \$2,02 por cada m³ de hormigón producido.

- El polvo de vidrio finamente molido no tiene problema con la reacción álcali sílice porque la reacción se da en los materiales activos de mayor área
- El vidrio triturado usado como agregado fino aumenta la resistencia a la compresión del hormigón sin embargo por poseer mayor tamaño puede tener problemas de expansión (reacción álcali sílice).
- Desde el punto de vista ambiental cada tonelada de cemento producido genera una tonelada de CO₂ que afecta al medio ambiente, al usar polvo de vidrio en reemplazo parcial del cemento se reduciría la cantidad de CO₂ enviado a la atmosfera.
- El polvo de vidrio en la mezcla de hormigón influye en la absorción, la mezcla que no contiene polvo de vidrio absorbe más que la mezcla constituida con polvo en diferentes porcentajes y finura.
- El resultado del ensayo de índice de actividad puzolánica para determinar si el polvo de vidrio cumple con uno de los requisitos para ser usado como puzolana no fueron los esperados.

5.2.- Recomendaciones.

- Realizar ensayos con polvo de vidrio pasante de la malla 325 evaluado hasta la edad de 1 año y compáralos con el polvo pasante de la malla 200 para saber si su resistencia alcanza al patrón en menos tiempo de lo establecido en esta investigación.
- Evaluar la resistencia a la compresión del hormigón con respecto al color a más edad (56, 90, 120 y 365 días).
- Realizar el ensayo de reacción álcali sílice al vidrio utilizado como reemplazo parcial de la arena para determinar si es reactivo.
- Analizar el polvo de vidrio para determinar si este cumple con los requisitos físicos y químicos de la norma INEN 494 para ser usado como puzolana artificial: superficie específica, trióxido de azufre, óxido de magnesio soluble total.
- Para realizar la molienda fina es necesario la utilización de un molino de bolas para poder obtener más cantidad de polvo sin que sea necesario tamizar ahorrando tiempo y mano de obra en la obtención del polvo de vidrio.

Referencias Bibliográficas.

- 1.- Vicente Martínez Pastor, Introducción a los conglomerantes recuperado de: <http://es.wikipedia.org/wiki/Conglomerante>.
- 2.- Recuperado de <http://definicion.de/disruptivo>.
- 3.- Norma INEN 490 pág. 4 Cemento compuesto ternario.
- 4.- Recuperado de <http://es.wikipedia.org/wiki/Cemento>.
- 5.- Recuperado de http://www.canacem.org.mx/la_industria_historia.htm.
- 6.- Tecnología del hormigón y el mortero de Diego Sánchez de Guzmán.
- 7.- Recuperado de www.icpa.org.ar/publico/files/aciquim.pdf (pág. 4-5).
- 8.- Recuperado de <http://es.slideshare.net/chris183/el-cemento-y-el-agua-para-el-cemento> (pág. 3).
- 9.- Recuperado de <http://es.slideshare.net/Carlos0601/tamizado>.
- 10.- Mandujano, W & Quintana, W reactividad sílice/agregado en el hormigón; evaluación y método de ensayo, pág. (3).
- 11.- Folleto técnico Lafarge “el cemento portland puzolánico: solución para la reactividad álcali-sílice y otros agentes agresivos al hormigón.” pág. 3.
- 12.- Recuperado de: [http://www.youblisher.com/p/393369-Please-Add-a Title](http://www.youblisher.com/p/393369-Please-Add-a-Title).
- 13.- Recuperado de: <http://www.icpa.org.ar/publico/files/aciquim.pdf>.
- 14.- <http://www.ambiente.gob.ec/precios-de-mercado-referenciales-para-materiales-reciclables>.
- 15.- <http://www.ambiente.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2014/10/Precios-materiales-reciclables-10-09-2014-PRECIOS.pdf>.

ANEXOS.

Anexo 1.- Ensayo para determinar el material más fino que el tamiz de 75 micras.

Agregado fino.



Ilustración 34.- Agregado fino antes del lavado.
Fuente: Autor.





Ilustración 33.- Agregado fino después del lavado.
Fuente: Autor.

Agregado grueso.



Ilustración 35.- Lavado del material.
Fuente.- Autor.

Anexo 2.- Cálculos para determinar el material más fino que el tamiz de 75 micras.

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 						
Tema:	<i>"Estudio de la resistencia a la compresión del hormigón con adición de polvo de vidrio reciclado"</i>					
Tesista:	<i>Flores De La Rosa Vanessa Marcela</i>					
Tutor:	<i>Ingeniero Juan Garcés Vargas</i>					
Laboratorio:	<i>Laboratorio de Suelos, Hormigón y Asfalto UPSE</i>					
Límites para las sustancias perjudiciales en el árido fino para hormigón Material más fino que el tamiz 75 micras (N°200)-INEN 697						
Árido a ensayar	Características				Nombre	
Grueso	x	T.M.N.	1"	ASTM	56	Huayco
Fino	x	Módulo de finura			2,73	Arena de El Triunfo
Densidades		A.G.	2597 kg/m ³	A.F.		2488 kg/m ³
Árido fino						
Datos:						
	B=	300	gr			
	C=	297	gr			
Cálculos						
	A=	$\frac{B-C}{B}$	=	$\frac{3,07}{300}$	=	1,02% Si cumple
Árido grueso						
Datos:						
	B=	5000	gr			
	C=	4962	gr			
Cálculos						
	A=	$\frac{B-C}{B}$	=	$\frac{38}{5000}$	=	0,76% Si cumple
Donde:						
	A=	% del material mas fino que pasa por el tamiz de abertura de 75 micras				
	B=	masa seca original de la muestra gr				
	C=	masa seca de la muestra luego del lavado				
Observación:	Se realizó el procedimiento A "lavado utilizando agua potable"					
Fecha de ensayo	feb-15	Realizado por:	Flores Vanessa			
Revisado por:	Ing. Juan Garcés					

Anexo 3.- Ensayos para determinar los terrones de arcilla y partículas desmenuzables.

Agregado fino.



Ilustración 36.- Agregado fino en agua destilada.
Fuente.- Autor).



Ilustración 37.- Lavado del agregado sobre el tamiz de 850 micras (N° 20).
Fuente.- Autor.

Agregado grueso.





Ilustración 38.- Agregado grueso sumergido por 24 horas en agua destilada.
Fuente.- Autor.



Ilustración 39.- Apretando y rodando las con los dedos el agregado de forma individual.
Fuente.- Autor.

Anexo 4.- Cálculos para determinar los terrones de arcilla y partículas desmenuzables.

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 						
Tema:	<i>"Estudio de la resistencia a la compresión del hormigón con adición de polvo de vidrio reciclado"</i>					
Tesista:	<i>Flores De La Rosa Vanessa Marcela</i>					
Tutor:	<i>Ingeniero Juan Garcés Vargas</i>					
Laboratorio:	<i>Laboratorio de Suelos, Hormigón y Asfalto UPSE</i>					
Límites para las sustancias perjudiciales en el árido fino para hormigón						
Terrones de arcillas y partículas desmenuzables-INEN 698						
Árido a ensayar		Características				Nombre
Grueso	x	T.M.N.	1"	ASTM	56	Huayco
Fino	x	Módulo de finura			2,73	Arena de El Triunfo
Densidades		A.G.	2597 kg/m3	A.F.	2488 kg/m3	
Árido fino						
Datos:						
	B=	200	gr			
	C=	198	gr			
Cálculos						
	A=	$\frac{B-C}{B}$	=	$\frac{2,04}{200}$	=	1,02% <i>Si cumple</i>
Árido grueso						
Datos:						
	B1=	1000	gr			
	C1=	973	gr			
	B2=	2000	gr			
	C2=	1970	gr			
	B3=	3000	gr			
	C3=	2970	gr			
Cálculos						
	M1=N°4 a 3/8"		M2=3/8" a 3/4"		M3=3/4" a 1 1/2"	
	A=	2,7%	A=	1,5%	A=	1,0%
			A=	1,73%	<i>Si cumple</i>	
Donde:						
	<i>A= % de terrones de arcilla y partículas desmenuzables</i>					
	<i>B= masa de la muestra de ensayo</i>					
	<i>C= masa de la partículas retenidas</i>					
Observación:						
Fecha de ensayo	feb-15	Realizado por:	Flores Vanessa			
Revisado por:	Ing. Juan Garcés					

Anexo 5.- Ensayo para determinar las partículas livianas.

Agregado fino.



Ilustración 41.- Agregado fino sumergido en la solución de óxido de zinc.
Fuente.- Autor.



Ilustración 40.- Proceso de decantación.
Fuente.- Autor.

Agregado grueso.





Ilustración 43.- Peso del agregado grueso.
Fuente.- Autor.



Ilustración 42.- Agregado grueso sumergido en la solución de óxido de zinc.
Fuente.- Autor.

Anexo 6.- Cálculo para determinar las partículas livianas.

 	
UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
Tema:	<i>"Estudio de la resistencia a la compresión del hormigón con adición de polvo de vidrio reciclado"</i>
Tesista:	<i>Flores De La Rosa Vanessa Marcela</i>
Tutor:	<i>Ingeniero Juan Garcés Vargas</i>
Laboratorio:	<i>Laboratorio de Suelos, Hormigón y Asfalto UPSE</i>
Límites para las sustancias perjudiciales en el árido fino para hormigón Determinación de partículas livianas-INEN 699	
<i>Árido a ensayar</i>	<i>Características</i>
<i>Grueso</i>	<i>x T.M.N. 1" ASTM 56</i>
<i>Fino</i>	<i>x Módulo de finura 2,73</i>
<i>Densidades</i>	<i>A.G. 2597 kg/m3 A.F. 2488 kg/m3</i>
Árido fino	
Datos:	
A=	0,11 gr
B=	200 gr
Cálculos	
P=	$\frac{A}{B} = \frac{0,11}{200} = 0,055\%$ <i>Si cumple</i>
Árido grueso	
Datos:	
A=	0 gr
b=	5000 gr
Cálculos	
P=	$\frac{A}{B} = \frac{0}{5000} = 0,00\%$ <i>Si cumple</i>
Donde:	
	<i>P= % en masa de partículas livianas</i>
	<i>A= masa seca de las partículas que flotan</i>
	<i>B= masa seca de la porción de muestra</i>
Observación:	
Fecha de ensayo	feb-15
Realizado por:	Flores Vanessa
Revisado por:	Ing. Juan Garcés

Anexo 7.- Partículas en suspensión después de una hora de sedimentación.

Agregado fino.



Ilustración 45.- Muestra del agregado fino.
Fuente.- Autor.





Ilustración 44.- Muestra de ensayo en la probeta graduada.
Fuente.- Autor.



Ilustración 46.- Muestra en reposo.
Fuente.- Autor.

Anexo 8.- Cálculo de las partículas en suspensión.

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 						
Tema:	<i>"Estudio de la resistencia a la compresión del hormigón con adición de polvo de vidrio reciclado"</i>					
Tesista:	<i>Flores De La Rosa Vanessa Marcela</i>					
Tutor:	<i>Ingeniero Juan Garcés Vargas</i>					
Laboratorio:	<i>Laboratorio de Suelos, Hormigón y Asfalto UPSE</i>					
Límites para las sustancias perjudiciales en el árido fino para hormigón						
partículas en suspensión después de una hora de sedimentación-INEN 86						
Árido a ensayar		Características			Nombre	
Grueso		T.M.N.	1"	ASTM	56	Huayco
Fino	x	Módulo de finura			2,73	Arena de El Triunfo
Densidades		A.G.	2597 kg/m ³	A.F.	2488 kg/m ³	
Árido fino						
Datos:						
	H=	1	cm ³			
	A=	500	gr			
Cálculos						
			P=	$\frac{H \times 0.6}{A}$		
			P=	0,120%		Si cumple
Donde:						
	P=	% en masa de partículas finas				
	A=	volumen de capa de material de partículas finas cm ³				
	B=	masa de muestra de ensayo				
Observación:						
Fecha de ensayo	feb-15	Realizado por:	Flores Vanessa			
Revisado por:	Ing. Juan Garcés					

Anexo 9.- Ensayo para determinar las impurezas orgánicas.

Agregado fino.



Ilustración 48.- Peso del agregado fino.
Fuente.- Autor.



Ilustración 47.- 130 cm³ de agregado fino aproximadamente.
Fuente.- Autor.



Ilustración 49.- Muestra con la solución de hidróxido de sodio 1N.
Fuente.- Autor.



Ilustración 50.- Muestra con el comparador de color normalizado, corresponde al color 1.
Fuente.- Autor.

Anexo 10.- Ensayo de resistencia a la abrasión.

Agregado grueso.



Ilustración 51.- Tamices para determinar el tamaño de la muestra.



Fuente.- Autor.



Ilustración 52.- Material lavado.

Fuente.- Autor.

Anexo 11.- Cálculo de la degradación del agregado grueso.

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 						
Tema:	<i>"Estudio de la resistencia a la compresión del hormigón con adición de polvo de vidrio reciclado"</i>					
Tesista:	<i>Flores De La Rosa Vanessa Marcela</i>					
Tutor:	<i>Ingeniero Juan Garcés Vargas</i>					
Laboratorio:	<i>Laboratorio de Suelos, Hormigón y Asfalto UPSE</i>					
Límites para las sustancias perjudiciales en el árido fino para hormigón						
Determinación del valor de degradación del árido grueso-INEN 860						
Árido a ensayar		Características				Nombre
Grueso	x	T.M.N.	1"	ASTM	56	Huayco
Fino		Módulo de finura			2,73	Arena de El Triunfo
Densidades		A.G.	2597 kg/m ³	A.F.	2488 kg/m ³	
Árido grueso						
Datos:						
	B=	5000	gr			
	C=	3538	gr			
				A=	$\frac{B-C}{B}$	
				A=	29,24%	Si cumple
Donde:						
	D=	% del valor de degradación				
	B=	masa inicial de la muestra de ensayo gr				
	C=	masa de la muestra retenida en el tamiz de 1,7 mm después del ensayo				
Observación:						
Fecha de ensayo	feb-15	Realizado por:		Flores Vanessa		
Revisado por:	Ing. Juan Garcés					

Anexo 12.- Solidez del árido mediante el uso de sulfato de magnesio.

Agregado grueso.



Ilustración 53.- Peso del material.
Fuente.- Autor.



Ilustración 54.- Agregado grueso en la solución de sulfato de magnesio.
Fuente.- Autor.

Anexo 13.- Cálculo de solidez del árido mediante el uso de sulfato de magnesio.

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 						
Tema:	<i>"Estudio de la resistencia a la compresión del hormigón con adición de polvo de vidrio reciclado"</i>					
Tesista:	<i>Flores De La Rosa Vanessa Marcela</i>					
Tutor:	<i>Ingeniero Juan Garcés Vargas</i>					
Laboratorio:	<i>Laboratorio de Suelos, Hormigón y Asfalto UPSE</i>					
Límites para las sustancias perjudiciales en el árido fino para hormigón						
Solidez del agregado grueso por sulfato de magnesio-INEN863						
Árido a ensayar		Características				Nombre
Grueso	x	T.M.N.	1"	ASTM	56	Huayco
Fino		Módulo de finura			2,73	Arena de El Triunfo
Densidades		A.G.	2597 kg/m ³	A.F.	2488 kg/m ³	
Árido grueso						
<i>Fracción</i>	<i>Tamaño</i>		<i>Masa inicial</i>		<i>Masa final</i>	
1	19,0 a 9,5 mm		1000		980	
2	12,5 a 9,5 mm		330		323	
	19,0 a 12,5 mm		670		663	
	37,5 a 19,0 mm		1500		1492	
	total		3500		3458	
			Solidez	1,2%	<i>Si cumple</i>	
Observación:						
Fecha de ensayo	feb-15	Realizado por:		Flores Vanessa		
Revisado por:	Ing. Juan Garcés					

Anexo 14.- Diseño de la mezcla de hormigón.

Agregado fino.



Ilustración 56.- Peso volumétrico.
Fuente.- Autor.



Ilustración 55.- Gravedad específica.
Fuente.- Autor.



Ilustración 57.- Granulometría, peso del material retenido.
Fuente.- Autor.



Ilustración 58.- Absorción, peso seco.
Fuente.- Autor.

Agregado grueso.



Ilustración 60.- Peso volumétrico suelto.
Fuente.- Autor.



Ilustración 59.- Gravedad específica.
Fuente.- Autor.



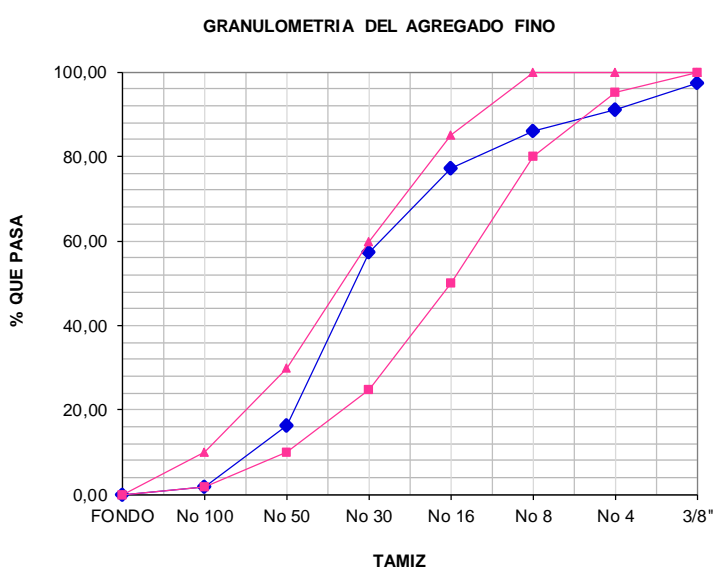


Ilustración 62.- Granulometría.
Fuente.- Autor.



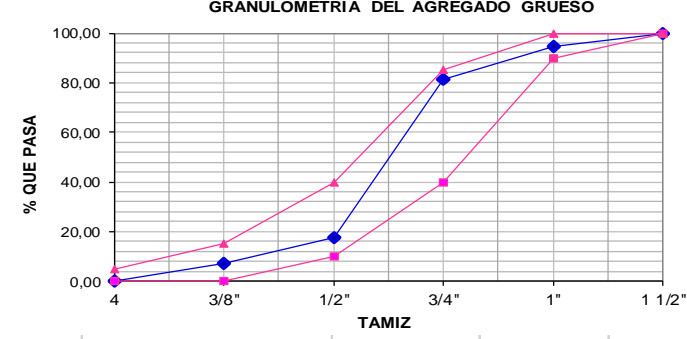


Ilustración 61.- Peso volumétrico varillado.
Fuente.- Autor.

Anexo 15.- Cálculos propiedades físicas del agregado fino.

		UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
AGREGADO FINO						
PESO VOLUMETRICO SUELTO			DENSIDAD SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA			
VOLUMEN	0,002707	m ³	D.S.S.S.	500	gr	
P.V.S+RECIP.	5865	gr	LECTURA INICIAL	200	gr	
RECIP.	1750	gr	LECTURA FINAL	401	gr	
PESO	4115	gr	W _{desalojado} (L.final- L.inicial)	201	gr	
P.V.S.	1520	Kg/m ³	V _{desalojado} (cm ³)	201	gr	
			D.S.S.S		2,488	gr/cm ³
					2488	Kg/m ³
PESO ARENA SATURADA			PESO ARENA SECA		% DE ABSORCION	
258			217		18,89	
ENSAYO GRANULOMETRICO - AGREGADO FINO						
TAMIZ	W PARCIAL	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFICACION A . S . T . M.	
3/8"	25,4	2,61	2,61	97,39	100	
No 4	61,91	6,36	8,98	91,02	95 - 100	
No 8	49,3	5,07	14,04	85,96	80 - 100	
No 16	84,46	8,68	22,73	77,27	50 - 85	
No 30	193,71	19,91	42,64	57,36	25 - 60	
No 50	398,83	41,00	83,64	16,36	10 - 30.	
No 100	142,02	14,60	98,25	1,75	2 - 10.	
FONDO	17,07	1,75	100,00	0,00	0	
TOTAL	972,7	100,00				
GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO						
						
D.S.S.S.		P.V.S		MODULO DE FINURA		
2488 Kg/cm ²		1520 Kg/m ²		2,73		

Anexo 16.- Cálculo propiedades físicas del agregado grueso.

 UNIVERSIDAD ESTADAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 					
AGREGADO GRUESO					
PESO VOLUMETRICO SUELTO			PESO VOLUMETRICO VARILLADO		
VOLUMEN	0,0128	m ³	VOLUMEN	0,0128	m ³
P.V.S+RECIP.	24190	gr	P.V.S+RECIP.	25625	gr
RECIP.	7425	gr	RECIP.	7425	gr
PESO	16765	gr	PESO	18200	gr
P.V.S.	1310	Kg/m ³	P.V.V.	1422	Kg/m ³
DENSIDAD SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (D.S.S.S)					
VOLUMEN DESALOJADO	770	cm ³	P.S.S.S. (gr)	2000	
D.S.S.S.	2000	gr	$W_{(ca+mat)} - W_{(ca+mat.sumer.)}$	1230	
PESO DE CANASTILLA SUMERGIDA + MATERIA	1230	gr	$W_{desalojado}(gr)$	770	
PESO DE CANASTILLA SUMERGIDO	0	gr	$V_{desalojado}(cm^3)$	770	
$W_{(canastilla+material)} - W_{(canastilla\ material\ sumergido)}$	1230	gr			
D.S.S.S.	2,597	gr/cm ³		2597	Kg/m ³
PESO GRAVA SATURADA		PESO GRAVA SECA		% DE ABSORCION	
626	gr	615	gr	1,79	
ENSAYO GRANULOMETRICO - AGREGADO GRUESO					
TAMIZ	W PARCIAL	% RETENIDO	% QUE PASA	ESPECIFICACION A.S.T.M.	
				56	
4"				0	
3.5"				0	
3"				0	
2.5"				0	
2"				0	
1 1/2"		0,00	100,00	100	
1"	360	5,19	94,81	90-100	
3/4"	935	13,48	81,33	40-85	
1/2"	4435	63,95	17,38	10-40	
3/8"	715	10,31	7,07	0-15	
No 4	480	6,92	0,14	0-5	
No 8				0	
No 16				0	
FONDO	10	0,14	6,92		
TOTAL	6935	100,00			
<p style="text-align: center;">GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO</p> 					
D.S.S.S.	P.V.S.	P.V.V.			
2597	1310	1421,88			

Anexo 17.- Tablas para el diseño de hormigón normal norma ACI 211.1.

Tabla 17.- Selección del revenimiento.

Consistencia para distintos tipos de construcciones		
Tipo de construcción	Máximo cm	Mínimo cm
Muros armados de cimentación y zapatas	7,5	2,5
Zapatas, cajones de cimentación y muros de sub estructura sencillos	7,5	2,5
Vigas y muros reforzados	10	2,5
Columnas para edificios	10	2,5
Pavimentos y losas	7,5	2,5
Concreto masivo	5	2,5

Tabla 18.- Selección de la cantidad de agua.

Agua de mezclado para distintos revenimiento % tamaños de agregados								
Agua en ltrs. por m ³ de hormigón para tamaños de agregados indicados.								
Tamaño del agregado.								
Revenimiento. cms	9,5 mm	13 mm	19 mm	25 mm	38 mm	51 mm	76 mm	152 mm
	3/8 "	1/2 "	3/4 "	1 "	1 1/2 "	2 "	3 "	6 "
Hormigón sin aire incluido ltrs/m ³ .								
2,5 a 5	207,5	197,6	182,8	177,8	163,0	153,1	143,3	123,5
7.5 a 10	227,2	217,3	202,5	192,6	177,8	168,0	158,0	138,3
14-17.5	242,0	227,2	212,4	202,5	187,7	177,8	168,0	148,2
mas 17.5*	-	-	-	-	-	-	-	-
Cantidad aproximada de aire entrampado en el hormigón.	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,3	0,2
Hormigón con aire incluido.								
2,5 a 5	183	177,8	163,0	153,1	143,3	133,4	123,5	108,7
7.5-10	202,5	192,6	177,8	168,0	158,0	148,2	138,3	118,6
14-17.5	212,4	202,5	187,7	177,6	168,0	158,0	148,2	128,4
mas 17.5*	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 19.- selección del volumen de agregado grueso.

Volumen de agregado grueso por unidad de concreto.					
Volumen de agregado grueso compactado, por unidad de concreto para diferentes módulos de finura de la arena.					
Tamaño máximo del agregado.		Módulo de finura.			
		2,40	2,60	2,80	3,00
pulgadas	mm				
3/8 "	9,80	0,5	0,48	0,46	0,44
1/2 "	12,70	0,59	0,57	0,55	0,53
3/4 "	19,00	0,66	0,64	0,62	0,6
1 "	25,40	0,71	0,69	0,67	0,65
1 1/2 "	38,10	0,75	0,73	0,71	0,69
2 "	58,80	0,78	0,76	0,74	0,72
3 "	76,20	0,82	0,8	0,78	0,76
6 "	152,40	0,87	0,85	0,83	0,81

Tabla 20.- Selección de a relación agua cemento.

Relación agua cemento.	
A / C	Kg / cm ²
0,65	190
0,60	210
0,55	250
0,50	290
0,45	310
0,40	350
0,35	390
0,30	410

Anexo 18.- Diseño de mezcla.

UNIVERSIDAD ESTADAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL									
DISEÑO DE HORMIGÓN									
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS									
TIPO DE ESTRUCTURA				TIPO DE CEMENTO			RESISTENCIA		
ones de cimentacion y muros de sub estruct				TIPO GU (uso general)			280		
REVENIMIENTO/DESCENSO				CONSISTENCIA		TRABAJABILIDAD		COMPACTACION	
MAX	MIN	RECOMENDADO	DESEADO	plastica		Trabajable		vibracion normal	
7,5	2,5	5	10						
<small>Nota: el descenso se puede incrementar cuando se emplean aditivos quimicos. Se debe considerar que el hormigon tratados con aditivos tiene una relacion agua/materiales cementan igual o menor sin que potencialmente se tenga una segregacion o sangrado excesivo. aumentar o disminuir el contenido de agua 2kg/m3 para aumento o disminucion de to 10mm en el asentamiento. Se puede incrementar en 2.5 cm cuando los metodos de compactacion no sean mediante vibrado</small>									
CARACTERISTICA FISICA DE LOS AGREGADOS									
AGREGADO GRUESO			AGREGADO FINO				PESO ESPECIFICO		
TAMAÑO	1"								
D.S.S.S.	2597	Kg/m ³	D.S.S.S.	2488	Kg/m ³	δ CEMENTO	2950	Kg/m ³	
P.V.S.	1310	Kg/m ³	P.V.S.	1520	Kg/m ³	δ AGUA	1000	Kg/m ³	
P.V.V.	1422	Kg/m ³	M.F.	2,73		δ ARENA	2488	Kg/m ³	
% DE ABSORCION	1,79		% DE ABSORCION	18,89		δ PIEDRA	2597	Kg/m ³	
CÁLCULOS DE CANTIDADES DE MATERIAL									
CANTIDAD DE AGUA									
ADITIVO INCORPORADORES DE AIRE				VOLUMEN DE AGUA TABULADO			VOL. AGUA CORREGIDO		
Sin aire incorporado				192,6			232,43		
AIRE OCLUIDO EN HUECOS EN LA MASA %									
1,5									
CANTIDAD DE CEMENTO									
A/C	VOL. AGUA CORREGIDO		CEMENTO POR M3						
0,514	232,435		452,44						
AGREGADOS POR M3 DE HORMIGÓN									
MATERIAL	VOLUMEN		PESO		SACO DE CEMENTO DE 50		POR 1 CILINDRO		
CEMENTO	0,153	m3	452,44	kg	1,00	sacos	2,86	kg	
PIEDRA	0,374	m3	970,99	kg	107,31	kg	6,14	kg	
AGUA	0,232	m3	232,43	kg	25,69	kg	1,47	ltrs	
AIRE	0,015	m3					0		
ARENA	0,225	m3	560,61	kg	61,95	kg	3,54	kg	
CORRECIÓN DEL ACI-NO NECESITA CORRECIÓN									
				PIEDRA		ARENA		TOTAL	
VOLUMEN CALCULADO				0,374	m3	0,225	m3	0,599	m3
VOLUMEN CORREGIDO				0,360	m3	0,240	m3	0,599	m3
PESO EN KILO POR M3 DE HORMIGÓN									
CEMENTO	2950	Kg/m ³	*	0,15	m3	=	452,44	kg	
AGUA	1000	Kg/m ³	*	0,23	m3	=	232,43	ltrs	
ARENA	2488	Kg/m ³	*	0,23	m3	=	560,61	kg	
PIEDRA	2597	Kg/m ³	*	0,37	m3	=	970,99	kg	
TOTAL				0,985			2216,47		

Anexo 19.- Elaboración de las mezclas.



Ilustración 64.- Realizando la mezcla con polvo de vidrio.
Fuente.- Autor.



Ilustración 63.- Realizando la prueba de revenimiento.
Fuente.- Autor.



Ilustración 65.- Midiendo cuanto se asentó la mezcla.
Fuente.- Autor.



Ilustración 66.- Tomando la temperatura de la mezcla.
Fuente.- Autor.



Ilustración 67.- Probetas terminadas.
Fuente.- Autor.



Ilustración 68.- Identificando los cilindros de hormigón.
Fuente.- Autor.



Ilustración 69.- Cilindros de hormigón en la piscina de curado.
Fuente.- Autor.

Anexo 20.- Ensayo de resistencia a la compresión.



Ilustración 71.- Pesando los cilindros antes de la rotura.
Fuente.- Autor.



Ilustración 70.- Midiendo los cilindros, diámetro y altura.
Fuente.- Autor.



Ilustración 72.- Cilindros en la máquina de ensayo.
Fuente.- Autor.



Ilustración 73.- Resultados del ensayo de compresión.
Fuente.- Autor.



Ilustración 74.- Tipos de rotura de los cilindros.
Fuente.- Autor.

Anexo 21.- Resultados de la resistencia a la compresión de cilindros de hormigón patrón y con polvo de vidrio #100 y #200.

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA																			
FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA																			
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL																			
ENSAYO A LA COMPRESIÓN SIMPLE																			
TEMA:		"Estudio de la resistencia a la compresión del hormigón con adición de polvo de vidrio reciclado"																	
TIPO DE AGREGADO GRUESO		Calizas Huayco										TIPO DE CEMENTO		USO GENERAL GU					
TIPO DE AGREGADO FINO		Arena negra de El Triunfo										LABORATORIO:		Ingeotop					
IDENTIFICACIÓN DEL CILINDRO	TEMPERATURA (°C)	REVENIMIENTO (cm)	FECHA DE VACIADO	DIMENSIONES DEL CILINDRO (cm)						PESO Kg	ROTURA				EFICIENCIA				
				D1	D2	PROMEDIO	LONGITUD (cm)	AREA (cm)²	RELACION L/D		FECHA	EDAD (DIAS)	CARGA	RESISTENCIA		%	PROMEDIO		
														kg/cm²	Promedio				
PATRÓN	27	8,8	04/10/2014	15,14	15,20	15,17	30,49	181	2,01	12,5	11/10/2014	7	369,1	208	74%	73%			
			04/10/2014	15,06	15,22	15,14	30,44	180	2,01	12,4	11/10/2014	7	356,7	202	205,14		72%		
			04/10/2014	15,55	15,25	15,40	30,40	186	1,97	12,8	25/10/2014	21	490,3	268	276,05	96%	99%		
			04/10/2014	15,10	15,10	15,10	30,60	179	2,03	12,4	25/10/2014	21	498,2	284	101%				
			04/10/2014	15,05	15,30	15,18	30,23	181	1,99	12,4	01/11/2014	28	528,9	298	293,02	106%	105%		
			04/10/2014	15,00	15,05	15,03	30,55	177	2,03	12,0	01/11/2014	28	500,5	288	103%				
			04/10/2014	15,50	15,10	15,30	30,30	184	1,98	12,4	29/11/2014	56	552,8	307	315,65	110%	113%		
			04/10/2014	14,80	15,00	14,90	30,08	174	2,02	11,9	29/11/2014	56	555,2	325	116%				
			04/10/2014	15,20	15,10	15,15	30,55	180	2,02	12,3	02/01/2015	90	571,2	323	326,14	115%	116%		
			04/10/2014	15,20	15,10	15,15	29,80	180	1,97	11,9	02/01/2015	90	581,9	329	118%				
ESFUERZO DE DISEÑO	280	kg/cm²	04/10/2014	15,00	15,00	15,00	29,70	177	1,98	12,2	01/02/2015	120	578,5	334	333,82	119%	119%		

Anexo 22.- 5% polvo de vidrio #100.

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 																		
ENSAYO A LA COMPRESIÓN SIMPLE																		
TEMA:			"Estudio de la resistencia a la compresion del hormigon con adición de polvo de vidrio reciclado"															
TIPO DE AGREGADO GRUESO			Calizas Huayco								TIPO DE CEMENTO	USO GENERAL GU						
TIPO DE AGREGADO FINO			Arena negra de El Triunfo															
LABORATORIO:			Ingeotop															
IDENTIFICACIÓN DEL CILINDRO	TEMPERATURA (°C)	REVENIMIENTO (cm)	FECHA DE VACIADO	DIMENSIONES DEL CILINDRO (cm)						PESO Kg	ROTURA				EFICIENCIA			
				D1	D2	PROMEDIO	LONGITUD (cm)	AREA (cm)²	RELACION L/D		FECHA	EDAD (DIAS)	CARGA	RESISTENCIA		%	PROMEDIO	
														kg/cm²	Promedio			
5% DE POLVO DE VIDRIO #100	27	6,0	18/10/2014	15,28	15,10	15,19	30,50	181	2,01	12,4	25/10/2014	7	362,9	204	186,54	73%	67%	
			18/10/2014	15,25	15,15	15,20	29,83	181	1,96	12,2	25/10/2014	7	300,5	169		60%		
			18/10/2014	15,10	15,05	15,08	29,85	178	1,98	11,9	08/11/2014	21	380,2	217	218,90	78%	78%	
			18/10/2014	15,05	15,10	15,08	29,65	178	1,97	12,1	08/11/2014	21	386,1	221		79%		
			18/10/2014	15,11	15,20	15,16	30,45	180	2,01	12,3	15/11/2014	28	479,5	271	267,17	97%	95%	
			18/10/2014	14,90	14,90	14,90	30,58	174	2,05	12,0	15/11/2014	28	450,2	263		94%		
			18/10/2014	15,10	15,10	15,10	30,31	179	2,01	12,3	13/12/2014	56	542,3	309	308,80	110%	110%	
			18/10/2014	14,75	14,85	14,80	30,00	172	2,03	11,8	16/01/2015	90	573,0	340	339,64	121%	121%	
			18/10/2014	15,10	15,15	15,13	30,00	180	1,98	12,2	15/02/2015	120	618,4	351	350,97	125%	125%	
			ESFUERZO DE DISEÑO	280	kg/cm²													

Anexo 23.- 10% polvo de vidrio #100.

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA																				
FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA																				
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL																				
ENSAYO A LA COMPRESIÓN SIMPLE																				
TEMA:			"Estudio de la resistencia a la compresion del hormigon con adición de polvo de vidrio reciclado"																	
TIPO DE AGREGADO GRUESO			Calizas Huayco							TIPO DE CEMENTO		USO GENERAL GU								
TIPO DE AGREGADO FINO			Arena negra de El Triunfo							LABORATORIO:		Ingeotop								
IDENTIFICACIÓN DEL CILINDRO	TEMPERATURA (°C)	REVENIMIENTO (cm)	FECHA DE VACIADO	DIMENSIONES DEL CILINDRO (cm)						PESO Kg	ROTURA					EFICIENCIA				
				D1	D2	PROMEDIO	LONGITUD (cm)	AREA (cm)²	RELACION L/D		FECHA	EDAD (DIAS)	CARGA	RESISTENCIA		%	PROMEDIO			
														kg/cm 2	Promedio					
10% DE POLVO DE VIDRIO #100	29	5,0	18/10/2014	15,20	15,10	15,15	30,43	180	2,01	12,5	25/10/2014	7	299,1	169	167,0	60%	60%			
			18/10/2014	15,05	15,10	15,08	30,23	178	2,00	12,2	25/10/2014	7	288,3	165		59%				
			18/10/2014	14,95	14,89	14,92	30,55	175	2,05	12,1	08/11/2014	21	334,5	195	190,4	70%	68%			
			18/10/2014	14,85	14,90	14,88	29,87	174	2,01	11,7	08/11/2014	21	316,4	186	66%					
			18/10/2014	15,10	15,00	15,05	29,98	178	1,99	11,9	15/11/2014	28	477,5	274	267,4	98%	96%			
			18/10/2014	15,20	15,11	15,16	30,08	180	1,98	12,3	15/11/2014	28	461,9	261	93%					
			18/10/2014	15,00	14,99	15,00	29,78	177	1,99	11,9	13/12/2014	56	531,5	307	306,9	110%	110%			
			18/10/2014	15,20	15,25	15,23	30,51	182	2,00	12,7	16/01/2015	90	576,0	323	322,6	115%				
			ESFUERZO DE DISEÑO	280	kg/cm2	18/10/2014	15,10	15,20	15,15	29,98	180	1,98	12,3	15/02/2015	120	589,9	334	333,7	119%	119%

Anexo 24.- 5% polvo de vidrio #200.

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA																			
FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA																			
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL																			
ENSAYO A LA COMPRESIÓN SIMPLE																			
TEMA:		"Estudio de la resistencia a la compresión del hormigón con adición de polvo de vidrio reciclado"																	
TIPO DE AGREGADO GRUESO		Calizas Huayco										TIPO DE CEMENTO		USO GENERAL GU					
TIPO DE AGREGADO FINO		Arena negra de El Triunfo																	
LABORATORIO:		Ingeotop																	
IDENTIFICACIÓN DEL CILINDRO		TEMPERATURA (°C)	REVENIMIENTO (cm)	FECHA DE VACIADO	DIMENSIONES DEL CILINDRO (cm)					PESO Kg	ROTURA				EFICIENCIA				
					D1	D2	PROMEDIO	LONGITUD (cm)	AREA (cm ²)		RELACION L/D	FECHA	EDAD (DIAS)	CARGA	RESISTENCIA		%	PROMEDIO	
5% DE POLVO DE VIDRIO #200	280	kg/cm ²	27	6,0	11/10/2014	15,20	15,15	15,18	30,15	181	1,99	12,3	18/10/2014	7	318,4	180	177,58	64%	63%
					11/10/2014	15,25	15,20	15,23	30,00	182	1,97	12,2	18/10/2014	7	313,6	176		63%	
					11/10/2014	15,05	15,15	15,10	29,90	179	1,98	11,9	01/11/2014	21	365,2	208	210,86	74%	
					11/10/2014	15,05	14,85	14,95	30,55	176	2,04	12,1	01/11/2014	21	368,0	214	210,86	76%	
					11/10/2014	15,10	15,00	15,05	29,98	178	1,99	12,0	08/11/2014	28	412,8	237	246,30	85%	
					11/10/2014	15,20	15,15	15,18	30,03	181	1,98	12,3	08/11/2014	28	454,0	256	246,30	91%	
					11/10/2014	15,20	15,20	15,20	30,45	181	2,00	12,3	06/12/2014	56	539,5	303	303,18	108%	
					11/10/2014	15,10	15,05	15,08	30,20	178	2,00	12,1	09/01/2015	90	605,9	346	346,16	124%	
					11/10/2014	14,75	14,85	14,80	30,53	172	2,06	11,8	08/02/2015	120	608,9	361	360,92	129%	

Anexo 25.- 10% polvo de vidrio #200.

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA																			
FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA																			
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL																			
ENSAYO A LA COMPRESIÓN SIMPLE																			
TEMA:		"Estudio de la resistencia a la compresion del hormigon con adición de polvo de vidrio reciclado"																	
TIPO DE AGREGADO GRUESO		Calizas Huayco										TIPO DE CEMENTO		USO GENERAL GU					
TIPO DE AGREGADO FINO		Arena negra de El Triunfo										LABORATORIO:		Ingeotop					
IDENTIFICACIÓN DEL CILINDRO	TEMPERATURA (°C)	REVENIMIENTO (cm)	FECHA DE VACIADO	DIMENSIONES DEL CILINDRO (cm)						PESO Kg	ROTURA				EFICIENCIA				
				D1	D2	PROMEDIO	LONGITUD (cm)	AREA (cm)²	RELACION L/D		FECHA	EDAD (DIAS)	CARGA	RESISTENCIA		%	PROMEDIO		
														kg/cm²	Promedio				
10% DE POLVO DE VIDRIO #200	27	5,5	11/10/2014	15,30	15,20	15,25	30,60	183	2,01	12,4	18/10/2014	7	268,0	150	154,12	53%	55%		
			11/10/2014	15,20	15,10	15,15	30,30	180	2,00	12,3	18/10/2014	7	280,4	159		57%			
			11/10/2014	14,95	15,15	15,05	30,15	178	2,00	11,7	01/11/2014	21	356,4	204	207,35	73%	74%		
			11/10/2014	15,20	15,15	15,18	30,10	181	1,98	12,2	01/11/2014	21	373,2	210	75%				
			11/10/2014	15,35	15,31	15,33	30,55	185	1,99	12,6	08/11/2014	28	374,9	207	212,39	74%	76%		
			11/10/2014	14,76	14,90	14,83	29,96	173	2,02	11,5	08/11/2014	28	368,7	218	78%				
			11/10/2014	15,20	15,10	15,15	30,21	180	1,99	12,3	06/12/2014	56	514,1	291	290,81	104%	104%		
			11/10/2014	15,10	15,05	15,08	30,50	178	2,02	12,4	09/01/2015	90	567,6	324	324,28	116%	116%		
			11/10/2014	15,20	15,05	15,13	29,95	180	1,98	11,9	08/02/2015	120	591,2	336	335,53	120%	120%		
ESFUERZO DE DISEÑO	280	kg/cm²																	

Anexo 26.- 20% polvo de vidrio #200.

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 																		
ENSAYO A LA COMPRESIÓN SIMPLE																		
TEMA:			"Estudio de la resistencia a la compresión del hormigón con adición de polvo de vidrio reciclado"															
TIPO DE AGREGADO GRUESO			Calizas Huayco							TIPO DE CEMENTO	USO GENERAL GU							
TIPO DE AGREGADO FINO			Arena negra de El Triunfo															
LABORATORIO:			Ingeotop															
IDENTIFICACIÓN DEL CILINDRO	TEMPERATURA (°C)	REVENIMIENTO (cm)	FECHA DE VACIADO	DIMENSIONES DEL CILINDRO (cm)						PESO Kg	ROTURA					EFICIENCIA		
				D1	D2	PROMEDIO	LONGITUD (cm)	AREA (cm)²	RELACION L/D		FECHA	EDAD (DIAS)	CARGA	RESISTENCIA		%	PROMEDIO	
				kg/cm²	Promedio													
20% DE POLVO DE VIDRIO #200	27	7.0	28/10/2014	15,05	15,05	15,05	30,50	178	2,03	11,7	04/11/2014	7	182,6	105	85,89	37%	31%	
			28/10/2014	15,05	14,95	15,00	29,88	177	1,99	11,9	04/11/2014	7	116,3	67	24%			
			28/10/2014	15,00	15,10	15,05	30,41	178	2,02	12,0	18/11/2014	21	286,8	164	130,49	59%	47%	
			28/10/2014	14,95	14,79	14,87	29,88	174	2,01	11,5	18/11/2014	21	164,5	97	34%			
			28/10/2014	15,05	15,10	15,08	29,94	178	1,99	11,9	25/11/2014	28	304,1	174	167,34	62%	60%	
			28/10/2014	15,20	15,10	15,15	29,83	180	1,97	11,8	25/11/2014	28	284,5	161	57%			
			28/10/2014	15,05	15,05	15,05	29,98	178	1,99	11,8	23/12/2014	56	384,1	220	220,20	79%	79%	
			28/10/2014	15,00	14,90	14,95	29,65	176	1,98	11,7	26/01/2015	90	463,2	269	269,08	96%	96%	
			28/10/2014	15,25	15,10	15,18	30,10	181	1,98	12,2	25/02/2015	120	543,6	306	306,49	109%	109%	
ESFUERZO DE DISEÑO	280	kg/cm²																

Anexo 27.- Densidades del hormigón endurecido.

DISEÑO		MUESTRA	EDAD	DENSIDAD DEL HORMIGÓN ENDURECIDO					GRÁFICA		
				DIMENSIONES			DENSIDAD				
				kg/cm ²	VOLUMEN	PESO	INDIVIDUAL	PROMEDIO			
f _c = 280	PATRON	7	208,24	5510,86	12,48	2264,619	2259,12				
			202,04	5480,09	12,35	2253,615					
		21	268,42	5662,47	12,83	2265,796	2265,23				
			283,69	5479,82	12,41	2264,673					
		28	298,20	5467,47	12,35	2258,814	2240,79				
			287,85	5416,65	12,04	2222,775					
		56	306,60	5570,78	12,40	2225,898	2247,37				
			324,69	5244,95	11,90	2268,850					
		90	323,11	5507,16	12,28	2229,826	2226,24				
			329,17	5371,96	11,94	2222,654					
		120	333,82	5248,44	12,16	2316,881	2316,88				
		5%-100	7	204,20	5527,21	12,44	2250,68		2252,46		
	168,87			5412,01	12,20	2254,25					
	21		217,21	5327,82	11,92	2237,31	2260,92				
			220,59	5292,13	12,09	2284,53					
	28		271,06	5492,75	12,27	2233,85	2239,55				
			263,28	5331,26	11,97	2245,25					
	56		308,80	5426,99	12,28	2262,76	2262,76				
			339,64	5161,02	11,80	2286,37					
	90		339,64	5161,02	11,80	2286,37	2286,37				
	120		350,97	5390,18	12,16	2255,96	2255,96				
	10%-100		7	169,19	5484,62	12,50	2278,19		2272,14		
				164,71	5394,76	12,23	2266,09				
		21	195,10	5341,21	12,11	2266,34	2258,70				
185,66			5190,87	11,69	2251,07						
28		273,71	5332,40	11,86	2223,20	2244,76					
		261,11	5425,11	12,30	2266,31						
56		306,90	5259,06	11,87	2257,06	2257,06					
		322,63	5553,62	12,68	2283,19						
90		322,63	5553,62	12,68	2283,19	2283,19					
120		333,69	5403,50	12,28	2272,60	2272,60					



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA



CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



TEMA: "Estudio de la resistencia a la compresión del hormigón con adición de polvo de vidrio reciclado"

DISEÑO	MUESTRA	EDAD	DENSIDAD DEL HORMIGÓN ENDURECIDO					GRÁFICA	
			DIMENSIONES			DENSIDAD			
			kg/cm ²	VOLUMEN	PESO	INDIVIDUAL	PROMEDIO		
f'c = 280	5%-200	7	180	5453,00	12,32	2258,76	2250,46		
			176	5461,69	12,25	2242,16			
		21	208	5354,46	11,91	2224,31	2240,78		
			214	5362,71	12,11	2257,25			
		28	237	5332,40	12,01	2252,27	2255,89		
			256	5430,39	12,27	2259,50			
	56	303	5525,42	12,31	2227,88	2227,88			
	90	346	5390,29	12,13	2250,34	2250,34			
	120	361	5251,34	11,84	2253,71	2253,71			
	10%-200	7	150	5589,23	12,44	2225,35	2236,97		
			159	5462,09	12,28	2248,59			
		21	204	5363,54	11,70	2180,46	2210,74		
			210	5443,96	12,20	2241,02			
		28	207	5638,80	12,64	2241,61	2233,36		
			218	5175,06	11,52	2225,10			
		56	291	5445,87	12,31	2259,51	2259,51		
		90	324	5443,84	12,35	2268,62	2268,62		
	120	336	5381,19	11,89	2208,62	2208,62			
	20%-200	7	105	5425,80	11,65	2147,15	2199,47		
			67	5280,24	11,89	2251,79			
		21	164	5409,79	11,98	2214,50	2213,41		
97			5189,12	11,48	2212,32				
28		174	5343,89	11,93	2232,46	2213,60			
		161	5376,46	11,80	2194,75				
56		220	5333,29	11,76	2205,02	2205,02			
90		269	5204,73	11,65	2238,35	2238,35			
120	306	5443,96	12,16	2233,67	2233,67				

Anexo 28.- Tipos de fractura.

DISEÑO		MUESTRA	EDAD (DÍAS)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN-TIPO DE FRACTURA			IMAGEN
				ESFUERZO			
				kg/cm ²	carga	TIPO DE ROTURA	
PATRÓN	f'c = 280	5%-100	7	208,24	369,10	TIPO V	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">FRACTURA TIPO I</div> 
				202,04	356,70	TIPO V	
			21	268,42	490,30	TIPO V	
				283,69	498,20	TIPO V	
			28	298,20	528,90	TIPO V	
				287,85	500,50	TIPO V	
			56	306,60	552,80	TIPO I	
			56	324,69	555,20	TIPO V	
			90	323,11	571,20	TIPO V	
			90	329,17	581,90	TIPO V	
120	333,82	578,50	TIPO V				
PATRÓN	f'c = 280	5%-100	7	204,20	362,90	TIPO V	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">FRACTURA TIPO I</div> 
				168,87	300,50	TIPO V	
			21	217,21	380,20	TIPO I	
				220,59	386,10	TIPO V	
			28	271,06	479,50	TIPO I	
				263,28	450,20	TIPO I	
			56	308,80	542,30	TIPO V	
			90	339,64	573,00	TIPO V	
			120	350,97	618,40	TIPO V	
			PATRÓN	f'c = 280	10%-100	7	
164,71	288,30	TIPO I					
21	195,10	334,50				TIPO I	
	185,66	316,40				TIPO I	
28	273,71	477,50				TIPO I	
	261,11	461,90				TIPO V	
56	306,90	531,50				TIPO I	
90	322,63	576,00				TIPO V	
120	333,69	589,90				TIPO I	






UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



TEMA: "Estudio de la resistencia a la compresión del hormigón con adición de polvo de vidrio reciclado"

DISEÑO	MUESTRA	EDAD (DIAS)	RESISTENCIA A LA COMPRESION-TIPOS DE FRACTURA			IMAGEN
			ESFUERZO			
			kg/cm ²	CARGA	TIPO DE ROTURA	
f'c = 280	5%-200	7	179,52	318,40	TIPO V	<p>FRACTURA TIPO I</p> 
			175,65	313,60	TIPO V	
		21	207,95	365,20	TIPO I	
			213,77	368,00	TIPO I	
		28	236,62	412,80	TIPO I	
			255,97	454,00	TIPO I	
		56	303,18	539,50	TIPO I	
		90	346,16	605,90	TIPO I	
	120	360,92	608,90	TIPO I		
	10%-200	7	149,62	268,00	TIPO V	<p>FRACTURA TIPO I</p> 
			158,61	280,40	TIPO I	
		21	204,29	356,40	TIPO I	
			210,41	373,20	TIPO I	
		28	207,12	374,90	TIPO I	
			217,66	368,70	TIPO I	
		56	290,81	514,10	TIPO I	
		90	324,28	567,60	TIPO I	
	120	335,53	591,20	TIPO I		
	20%-200	7	104,67	182,60	TIPO V	<p>FRACTURA TIPO V</p> 
			67,11	116,30	TIPO I	
		21	164,40	286,80	TIPO V	
			96,59	164,50	TIPO V	
		28	173,74	304,10	TIPO I	
			160,93	284,50	TIPO V	
56		220,20	384,14	TIPO I		
90		269,08	463,20	TIPO I		
120	306,49	543,60	TIPO I			

Anexo 29.- Resultados de la resistencia a la compresión de cilindros de hormigón patrón y con polvo de vidrio #325.

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 																			
ENSAYO A LA COMPRESION SIMPLE																			
TEMA:		"Estudio de la resistencia a la compresión del hormigón con adición de polvo de vidrio reciclado"																	
TIPO DE AGREGADO GRUESO		Calcáreos Huayco										TIPO DE CEMENTO	USO GENERAL GU						
TIPO DE AGREGADO FINO		Arena negra de El Triunfo																	
LABORATORIO:		Hormigón, suelo y asfalto UPSE																	
IDENTIFICACIÓN DEL CILINDRO	TEMPERATURA (°C)	REVENIMIENTO (cm)	FECHA DE VACIADO	DIMENSIONES DEL CILINDRO (cm)						PESO Kg	ROTURA				EFICIENCIA				
				D1	D2	PROMEDIO	LONGITUD (cm)	AREA (cm)²	RELACION L/D		FECHA	EDAD (DIAS)	CARGA	RESISTENCIA		%	PROMEDIO		
PATRON	280	kg/cm²	27	3,0	06/03/2015	10,30	10,20	10,25	20,45	83	2,00	3,8	09/03/2015	3	76,6	95	93,27	34%	33%
					06/03/2015	10,35	10,35	10,35	20,35	84	1,97	3,9	09/03/2015	3	75,8	92		33%	
					06/03/2015	10,35	10,30	10,33	20,45	84	1,98	3,8	13/03/2015	7	129,6	158	159,08	56%	57%
					06/03/2015	10,30	10,30	10,30	20,45	83	1,99	3,9	13/03/2015	7	131,0	160		57%	
					06/03/2015	10,30	10,30	10,30	20,48	83	1,99	3,9	03/04/2015	28	259,5	318	315,81	113%	113%
					06/03/2015	10,30	10,30	10,30	20,58	83	2,00	4,0	03/04/2015	28	256,6	314		112%	

Anexo 30.- 5%-325 MIX.

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 																		
ENSAYO A LA COMPRESION SIMPLE																		
TEMA:			"Estudio de la resistencia a la compresión del hormigón con adición de polvo de vidrio reciclado"															
TIPO DE AGREGADO GRUESO			Calcáreos Huayco							TIPO DE CEMENTO	USO GENERAL GU							
TIPO DE AGREGADO FINO			Arena negra de El Triunfo															
LABORATORIO:			Hormigón, suelo y asfalto UPSE															
IDENTIFICACIÓN DEL CILINDRO	TEMPERATURA (°C)	REVENIMIENTO (cm)	FECHA DE VACIADO	DIMENSIONES DEL CILINDRO (cm)						PESO Kg	ROTURA				EFICIENCIA			
				D1	D2	PROMEDIO	LONGITUD (cm)	AREA (cm)²	RELACION L/D		FECHA	EDAD (DIAS)	CARGA	RESISTENCIA		%	PROMEDIO	
5% DE POLVO DE VIDRIO #325 MIX ESFUERZO DE DISEÑO 280 kg/cm2	27	3,0	02/03/2015	10,35	10,30	10,33	20,50	84	1,99	3,8	05/03/2015	3	49,8	61	62,17	22%	22%	
			02/03/2015	10,35	10,30	10,33	20,40	84	1,98	3,8	05/03/2015	3	52,3	64		23%		
			02/03/2015	10,30	10,30	10,30	20,43	83	1,98	3,9	09/03/2015	7	106,2	130	126,07	46%	45%	
			02/03/2015	10,20	10,20	10,20	20,40	82	2,00	3,8	09/03/2015	7	97,9	122		44%		
			02/03/2015	10,30	10,30	10,30	20,45	83	1,99	3,9	30/03/2015	28	217,0	266	262,57	95%	94%	
			02/03/2015	10,30	10,30	10,30	20,53	83	1,99	4,0	30/03/2015	28	212,1	260		93%		

Anexo 31. - 10%-325 MIX.

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 																				
ENSAYO A LA COMPRESION SIMPLE																				
TEMA:			"Estudio de la resistencia a la compresión del hormigón con adición de polvo de vidrio reciclado"																	
TIPO DE AGREGADO GRUESO			Calcáneos Huayco							TIPO DE CEMENTO	USO GENERAL GU									
TIPO DE AGREGADO FINO			Arena negra de El Triunfo																	
LABORATORIO:			Hormigón, suelo y asfalto UPSE																	
IDENTIFICACIÓN DEL CILINDRO	TEMPERATURA (°C)	REVENIMIENTO (cm)	FECHA DE VACIADO	DIMENSIONES DEL CILINDRO (cm)						PESO Kg	ROTURA				EFICIENCIA					
				D1	D2	PROMEDIO	LONGITUD (cm)	AREA (cm)2	RELACION L/D		FECHA	EDAD (DIAS)	CARGA	RESISTENCIA		%	PROMEDIO			
10% DE POLVICO DE VIDRIO #325 MIX	29	3,0	06/03/2015	10,20	10,30	10,25	20,40	83	1,99	3,8	09/03/2015	3	33,9	42	42,5	15%	15%			
			06/03/2015	10,30	10,30	10,30	20,40	83	1,98	3,8	09/03/2015	3	35,3	43		15%				
			06/03/2015	10,33	10,33	10,33	20,35	84	1,97	3,8	13/03/2015	7	82,1	100	97,5	36%	35%			
			06/03/2015	10,30	10,30	10,30	20,48	83	1,99	3,8	13/03/2015	7	77,7	95	34%					
			ESFUERZO DE DISEÑO	280	kg/cm2	06/03/2015	10,25	10,20	10,23	20,43	82	2,00	3,8	03/04/2015	28	193,5	240	236,7	86%	85%
						06/03/2015	10,25	10,25	10,25	20,48	83	2,00	3,8	03/04/2015	28	188,7	233		83%	

Anexo 32.- 20%-325 MIX.

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA																					
FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA																					
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL																					
ENSAYO A LA COMPRESION SIMPLE																					
TEMA:		"Estudio de la resistencia a la compresión del hormigón con adición de polvo de vidrio reciclado"																			
TIPO DE AGREGADO GRUESO		Calcáreos Huayco										TIPO DE CEMENTO		USO GENERAL GU							
TIPO DE AGREGADO FINO		Arena negra de El Triunfo																			
LABORATORIO:		Hormigón, suelo y asfalto UPSE																			
IDENTIFICACIÓN DEL CILINDRO		TEMPERATURA (°C)	REVENIMIENTO (cm)	FECHA DE VACIADO	DIMENSIONES DEL CILINDRO (cm)					PESO Kg	ROTURA				EFICIENCIA						
					D1	D2	PROMEDIO	LONGITUD (cm)	AREA (cm ²)		RELACION L/D	FECHA	EDAD (DIAS)	CARGA	RESISTENCIA		%	PROMEDIO			
20% DE POLVO DE VIDRIO #325 MIX	280	27	3,0	11/10/2014	10,35	10,30	10,33	20,40	84	1,98	3,8	14/10/2014	3	25,2	31	31,61	11%	11%			
				11/10/2014	10,25	10,20	10,23	20,40	82	2,00	3,8	14/10/2014	3	26,2	33						
				11/10/2014	10,30	10,30	10,30	20,40	83	1,98	3,8	18/10/2014	7	71,9	88	90,34	31%	32%			
				11/10/2014	10,25	10,25	10,25	20,40	83	1,99	3,8	18/10/2014	7	75,0	93						
				ESFUERZO DE DISEÑO	280	kg/cm ²	11/10/2014	10,25	10,25	10,25	20,50	83	2,00	3,8	08/11/2014	28	194,7	241	248,94	86%	89%
							11/10/2014	10,25	10,30	10,28	20,18	83	1,96	3,8	08/11/2014	28	209,2	257			

.Anexo 33.- Resultados de la resistencia a la compresión de cilindros de hormigón patrón y con polvo de vidrio #100 de acuerdo al color.

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 																			
ENSAYO A LA COMPRESION SIMPLE																			
TEMA:			"Estudio de la resistencia a la compresión del hormigón con adición de polvo de vidrio reciclado"																
TIPO DE AGREGADO GRUESO			Calcáreos Huayco						TIPO DE CEMENTO	USO GENERAL GU									
TIPO DE AGREGADO FINO			Arena negra de El Triunfo																
LABORATORIO:			Hormigón, suelo y asfalto UPSE																
IDENTIFICACIÓN DEL CILINDRO	TEMPERATURA (°C)	REVENIMIENTO (cm)	FECHA DE VACIADO	DIMENSIONES DEL CILINDRO (cm)						PESO Kg	ROTURA				EFICIENCIA				
				D1	D2	PROMEDIO	LONGITUD (cm)	AREA (cm)²	RELACION L/D		FECHA	EDAD (DIAS)	CARGA	RESISTENCIA		%	PROMEDIO		
				kg/cm²	Promedio														
PATRON	280	kg/cm²	27	2.0	06/03/2015	15,25	15,25	15,25	29,75	183	1,95	12,5	09/03/2015	3	202,3	113	110,25	40%	39%
					06/03/2015	15,30	15,25	15,28	30,10	183	1,97	12,5	09/03/2015	3	193,3	108		38%	
					06/03/2015	15,20	15,20	15,20	30,00	181	1,97	12,4	13/03/2015	7	311,7	175	179,67	63%	64%
					06/03/2015	15,15	15,15	15,15	30,00	180	1,98	12,6	13/03/2015	7	325,6	184		66%	
					06/03/2015	15,20	15,20	15,20	30,00	181	1,97	12,5	03/04/2015	28	566,6	318	328,92	114%	117%
					06/03/2015	15,10	15,35	15,23	30,05	182	1,97	12,6	03/04/2015	28	606,0	339		121%	

Anexo 34.- 5% Transparente.

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA																				
FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA																				
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL																				
ENSAYO A LA COMPRESION SIMPLE																				
TEMA:		"Estudio de la resistencia a la compresión del hormigón con adición de polvo de vidrio reciclado"																		
TIPO DE AGREGADO GRUESO		Calcáneos Huayco										TIPO DE CEMENTO		USO GENERAL GU						
TIPO DE AGREGADO FINO		Arena negra de El Triunfo										LABORATORIO:		Hormigón, suelo y asfalto UPSE						
IDENTIFICACIÓN DEL CILINDRO		TEMPERATURA (°C)	REVENIMIENTO (cm)	FECHA DE VACIADO	DIMENSIONES DEL CILINDRO (cm)					PESO Kg	ROTURA				EFICIENCIA					
					D1	D2	PROMEDIO	LONGITUD (cm)	AREA (cm)²		RELACION L/D	FECHA	EDAD (DIAS)	CARGA	RESISTENCIA		%	PROMEDIO		
5% DE POLVO DE VIDRIO #100 TRANSPARENTE		27	2.0	02/03/2015	15,05	15,15	15,10	29,85	179	1,98	12,1	05/03/2015	3	140,7	80	82,52	29%	29%		
ESFUERZO DE DISEÑO				280	kg/cm²	02/03/2015	15,20	15,25	15,23	30,08	182	1,98	12,5	05/03/2015	3		151,6		85	30%
						02/03/2015	15,25	15,20	15,23	30,10	182	1,98	12,3	09/03/2015	7	248,3	139	138,21	50%	49%
						02/03/2015	15,20	15,20	15,20	30,20	181	1,99	12,3	09/03/2015	7	244,4	137	138,21	49%	
						02/03/2015	15,10	15,20	15,15	30,13	180	1,99	12,6	30/03/2015	28	521,3	295	293,41	105%	105%
						02/03/2015	15,20	15,20	15,20	30,18	181	1,99	12,6	30/03/2015	28	519,5	292	293,41	104%	

Anexo 35.- 5% Verde.

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA																				
FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA																				
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL																				
ENSAYO A LA COMPRESION SIMPLE																				
TEMA:		"Estudio de la resistencia a la compresión del hormigón con adición de polvo de vidrio reciclado"																		
TIPO DE AGREGADO GRUESO		Calcáreos Huayco										TIPO DE CEMENTO		USO GENERAL GU						
TIPO DE AGREGADO FINO		Arena negra de El Triunfo																		
LABORATORIO:		Hormigón, suelo y asfalto UPSE																		
IDENTIFICACIÓN DEL CILINDRO		TEMPERATURA (°C)	REVENIMIENTO (cm)	FECHA DE VACIADO	DIMENSIONES DEL CILINDRO (cm)					PESO Kg	ROTURA				EFICIENCIA					
					D1	D2	PROMEDIO	LONGITUD (cm)	AREA (cm)²		RELACION L/D	FECHA	EDAD (DIAS)	CARGA	RESISTENCIA		%	PROMEDIO		
5% DE POLVO DE VIDRIO #100 VERDE		29	5,0	06/03/2015	15,20	15,30	15,25	30,13	183	1,98	12,44	09/03/2015	3	178,9	100	100,2	36%	36%		
ESFUERZO DE DISEÑO				280	kg/cm2	06/03/2015	15,25	15,20	15,23	30,10	182	1,98	12,42	09/03/2015	3		179,3		100	36%
						06/03/2015	15,25	15,25	15,25	30,10	183	1,97	12,38	13/03/2015	7	281,7	157	152,6	56%	54%
						06/03/2015	15,35	15,35	15,35	30,15	185	1,96	12,54	13/03/2015	7	268,3	148	53%		
						06/03/2015	15,10	15,10	15,10	30,00	179	1,99	12,38	03/04/2015	28	537,1	306	304,6	109%	109%
						06/03/2015	15,10	15,05	15,08	30,10	178	2,00	12,40	03/04/2015	28	531,1	303	108%		

Anexo 36.- 5% Ámbar.

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA		FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL													
ENSAYO A LA COMPRESION SIMPLE																	
TEMA:		"Estudio de la resistencia a la compresión del hormigón con adición de polvo de vidrio reciclado"															
TIPO DE AGREGADO GRUESO		Calcáreos Huayco						TIPO DE CEMENTO		USO GENERAL GU							
TIPO DE AGREGADO FINO		Arena negra de El Triunfo															
LABORATORIO:		Hormigón, suelo y asfalto UPSE															
IDENTIFICACIÓN DEL CILINDRO	TEMPERATURA (°C)	REVENIMIENTO (cm)	FECHA DE VACIADO	DIMENSIONES DEL CILINDRO (cm)					PESO Kg	ROTURA				EFICIENCIA			
				D1	D2	PROMEDIO	LONGITUD (cm)	AREA (cm)²		RELACION L/D	FECHA	EDAD (DIAS)	CARGA	RESISTENCIA		%	PROMEDIO
5% DE POLVO DE VIDRIO #100 CAFÉ	27	5,0	06/03/2015	15,20	15,35	15,28	30,03	183	1,97	12,5	09/03/2015	3	150,1	84	84,83	30%	30%
			06/03/2015	15,30	15,25	15,28	30,10	183	1,97	12,5	09/03/2015	3	154,8	86		31%	
			06/03/2015	15,15	15,15	15,15	30,10	180	1,99	12,5	13/03/2015	7	298,6	169	174,85	60%	62%
			06/03/2015	15,10	15,10	15,10	30,05	179	1,99	12,5	13/03/2015	7	317,5	181		65%	
			06/03/2015	15,00	15,10	15,05	30,10	178	2,00	12,3	03/04/2015	28	542,1	311	311,11	111%	111%
			06/03/2015	15,10	15,05	15,08	30,00	178	1,99	12,2	03/04/2015	28	545,2	311		111%	
ESFUERZO DE DISEÑO	280	kg/cm²															

Anexo 37.- Ensayo de reacción álcali sílice.

Barras patrón.



Ilustración 76.- Moldes para realizar las barras.
Fuente.- Autor.



Ilustración 75.- Mezclando.
Fuente.- Autor.



Ilustración 77.- Llenando los moldes con la mezcla.
Fuente.- Autor.



Ilustración 78.- Nivelando la superficie de las barras.
Fuente.- Autor.



Ilustración 80.- Desencofrando.
Fuente.- Autor.



Ilustración 79.- Midiendo las barras.
Fuente.- Autor.

Barras con 5%-200.



Ilustración 83.- Llenado las barras con la mezcla.
Fuente.- Autor.



Ilustración 82.- Barras en el cuarto de curado.
Fuente.- Autor.

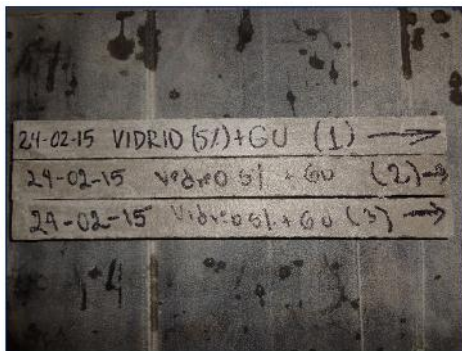


Ilustración 84.- Identificación de las barras.
Fuente.- Autor.



Ilustración 85.- Barras sumergidas en la solución.
Fuente.- Autor.

CENTRO TÉCNICO DEL HORMIGÓN

Av. Barcelona y Calle José Rodríguez Bonín, Téf.: 3709000, Guayaquil

DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE REACTIVIDAD ÁLCALI - SÍLICE DE COMBINACIONES DE MATERIALES CEMENTICIOS Y AGREGADOS METODO ACELERADO DE BARRAS DE MORTERO (ASTM C1567-11)

Fecha de inicio del ensayo: 2014-12-15
Fecha de finalización del ensayo: 2014-12-31

Proyecto: Tesis de grado Vannesa Flores- UPSE

Agregado: Piedra

Tipo: Triturada

Fuente: Calcáreos Huayco

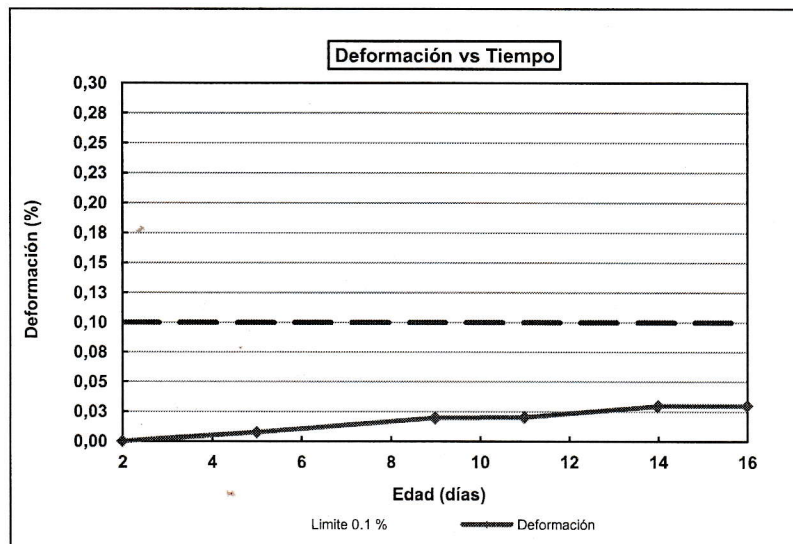
Cemento: Tipo GU - INEN 2380 (ASTM C 1157)

Fuente: Planta Guayaquil

Especimen	Deformación (%)					
	Lo	L1	L2	L3	L4	L5
	2 días	5 días	8 días	11 días	14 días	16 días
1	0,0000	0,0112	0,0184	0,0160	0,0240	0,0280
2	0,0000	0,0064	0,0152	0,0192	0,0312	0,0288
3	0,0000	0,0048	0,0248	0,0248	0,0336	0,0328
Promedio	0,0000	0,0075	0,0195	0,0200	0,0296	0,0299

Observaciones durante el ensayo: Ninguna

Relación Agua Cemento empleada: 0,47



Ing. Cristian Velasco Ochoa

Holcim

Ing. Cristian A. Velasco O.
CENTRO TÉCNICO DEL HORMIGÓN

CENTRO TÉCNICO DEL HORMIGÓN

Av. Barcelona y Calle José Rodríguez Bonín, Téf.: 3709000, Guayaquil

DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE REACTIVIDAD ÁLCALI - SÍLICE DE COMBINACIONES DE MATERIALES CEMENTICIOS Y AGREGADOS METODO ACELERADO DE BARRAS DE MORTERO (ASTM C1567-11)

Fecha de inicio del ensayo: 2014-02-23

Fecha de finalización del ensayo: 2014-03-11

Proyecto: Tesis de grado - UPSE

Agregado: . Vidrio

Tipo: Molido, Pasante del tamiz No.200

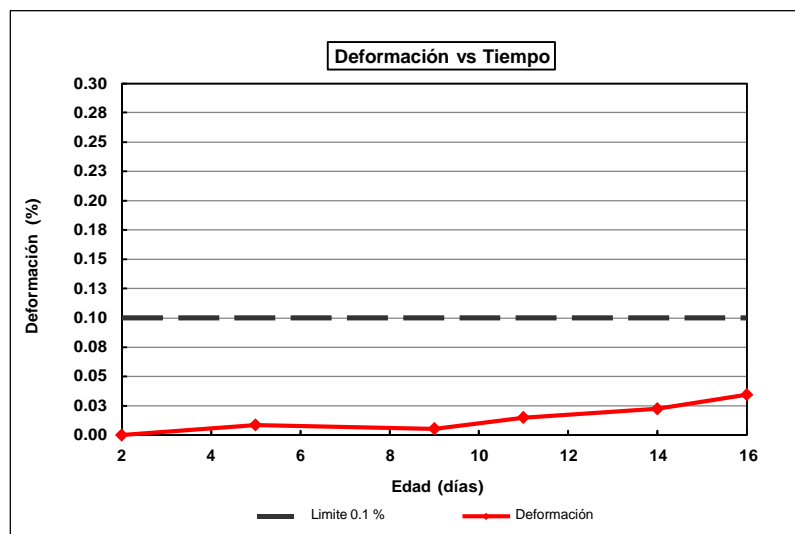
Cemento: Tipo GU - INEN 2380 (ASTM C 1157)

Fuente: Planta Guayaquil

Especimen	Deformación (%)					
	Lo	L1	L2	L3	L4	L5
	2 días	5 días	8 días	11 días	14 días	16 días
1	0.0000	0.0076	0.0052	0.0148	0.0228	0.0276
2	0.0000	0.0056	0.0016	0.0096	0.0176	0.0344
3	0.0000	0.0128	0.0096	0.0208	0.0272	0.0416
Promedio	0.0000	0.0087	0.0055	0.0151	0.0225	0.0345

Observaciones durante el ensayo: Ninguna

Relación Agua Cemento empleada: 0,47



Anexo 40.-Ensayo de absorción del hormigón.



Ilustración 87.-Cilindros cortados.
Fuente.-Autor.



Ilustración 86.-Saturado superficialmente seco.
Fuente.-Autor.



Ilustración 89.-Peso del cilindro superficialmente seco.
Fuente.-Autor.



Ilustración 88.-Cilindros en el horno.
Fuente.-Autor.

Anexo 41.-Cálculo absorción del hormigón.

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 						
Tema:	<i>"Estudio de la resistencia a la compresión del hormigón con adición de polvo de vidrio reciclado"</i>					
Tesista:	<i>Flores De La Rosa Vanessa Marcela</i>					
Tutor:	<i>Ingeniero Juan Garcés Vargas</i>					
Laboratorio:	<i>Laboratorio de Suelos, Hormigón y Asfalto UPSE</i>					
Absorción de hormigón-ASTM C642						
Arido a ensayar		Características			Nombre	
<i>Grueso</i>		<i>T.M.N.</i>	<i>1"</i>	<i>ASTM</i>	<i>56</i>	<i>Huayco</i>
<i>Fino</i>		<i>Módulo de finura</i>			<i>2,73</i>	<i>Arena de El Triunfo</i>
<i>Densidades</i>		<i>A.G.</i>	<i>2597 kg/m3</i>	<i>A.F.</i>		<i>2488 kg/m3</i>
		<i>Peso seco</i>	<i>Peso saturado</i>	<i>Absorción</i>		
	<i>Patrón</i>	<i>1,805</i>	<i>1,901</i>	<i>5,32%</i>		
	<i>5%</i>	<i>2,079</i>	<i>2,159</i>	<i>3,85%</i>		
	<i>10%</i>	<i>1,8875</i>	<i>1,958</i>	<i>3,74%</i>		
	<i>20%</i>	<i>1,96</i>	<i>2,0435</i>	<i>4,31%</i>		
Observación:						
Fecha de ensayo	<i>feb-15</i>	Realizado por:		<i>Flores Vanessa</i>		
Revisado por:	<i>Ing. Juan Garcés</i>					

Anexo 42.-Índice de actividad puzolánica.



Ilustración 90.-Llenado de los moldes cúbicos.
Fuente.-Autor.



Ilustración 91.-Moldes en el cuarto de curado antes de desencofrar.
Fuente.-Autor.

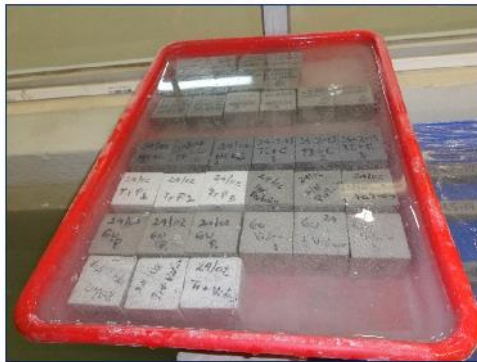


Ilustración 92.-Cubos en el cuarto de curado.
Fuente.-Autor.

Anexo 43.-Cálculo del Índice de actividad puzolánica.

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 														
ENSAYO A LA COMPRESIÓN SIMPLE-INDICE DE ACTIVIDAD PUZOLANICA (MÉTODO DEL CEMENTO)														
TEMA:	"Estudio de la resistencia a la compresion del hormigon con adición de polvo de vidrio reciclado"													
TIPO DE AGREGADO FINO	Arena graduada- arena de Otawa							TIPO DE CEMENTO	USO GENERAL GU	Agua	250 cm3			
LABORATORIO:	Holcin													
IDENTIFICACIÓN DEL CILINDRO	FECHA DE VACIADO	DIMENSIONES DEL CUBO						PESO Kg	ROTURA					
		LADO 1	LADO 2	PROMEDIO	LONGITUD (cm)	AREA (cm)2	RELACION L/D		FECHA	EDAD (DIAS)	CARGA	RESISTENCIA		
PATRO N	06/03/2015	5,10	5,10	5,10	5,10	26	1,00	0,3	03/04/2015	28	42,7	167	176,94	
	06/03/2015	5,10	5,10	5,10	5,10	26	1,00	0,3	03/04/2015	28	45,0	176		
	06/03/2015	5,10	5,10	5,10	5,10	26	1,00	0,3	03/04/2015	28	47,7	187		
5%-200	06/03/2015	5,10	5,10	5,10	5,10	26	1,00	0,3	03/04/2015	28	30,2	118	107,16	
	06/03/2015	5,10	5,10	5,10	5,10	26	1,00	0,3	03/04/2015	28	28,7	113		
	06/03/2015	5,10	5,10	5,10	5,10	26	1,00	0,3	03/04/2015	28	23,1	91		

Anexo 44.-Pérdida por calcinación.



Ilustración 94.-Muestra en el crisol
Fuente.-Autor.



Ilustración 93.-Muestra en la mufla a 950°C
Fuente.-Autor.





Ilustración 95.-Muestra en el desecador
Fuente.-Autor.



Ilustración 96.-Polvo calcinado
Fuente.-Autor.

Anexo 45.-Cálculo de pérdida por calcinación.

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 	
Tema:	<i>"Estudio de la resistencia a la compresión del hormigón con adición de polvo de vidrio reciclado"</i>
Tesista:	<i>Flores De La Rosa Vanessa Marcela</i>
Tutor:	<i>Ingeniero Juan Garcés Vargas</i>
Laboratorio:	<i>Laboratorio de química UPSE</i>
Pérdida por calcinación INEN-498	
Polvo de vidrio pasante de la malla #100	
Datos	
G=	33,479 g
G1=	33,477 g
Pc=	$\frac{G-G1}{G} \times 100 = \frac{0,0017}{33,4789} \times 100 = 0,0051\%$ Si cumple
Polvo de vidrio pasante de la malla #200	
Datos	
G=	34,546 g
G1=	34,544 g
Pc=	$\frac{G-G1}{G} \times 100 = \frac{0,0024}{34,5464} \times 100 = 0,0069\%$ Si cumple
Polvo de vidrio pasante de la malla #325	
Datos	
G=	32,683 g
G1=	32,678 g
Pc=	$\frac{G-G1}{G} \times 100 = \frac{0,0047}{32,6828} \times 100 = 0,0144\%$ Si cumple
Donde:	Pc= pérdida por calcinación % G= masa de la muestra empleada, g G1= masa de la muestra calcinada, g
Observación:	
Fecha de ensayo	feb-15
Realizado por:	Flores Vanessa
Revisado por:	Ing. Juan Garcés