

Universidad Latina de Costa Rica

Facultad de Ingeniería y Arquitectura

Escuela de Ingeniería Civil

*Propuesta de trabajo final de graduación para optar por el grado académico
de Licenciado en Ingeniería Civil*

-Proyecto Final de Graduación-

**Elaboración de un concreto auto compactable utilizando vidrio
molido como agregado**

Autor: Manuel Emilio Miranda Marín

Tutor: Ing. José Joaquín Rodríguez Rodríguez

Lector: Ing. Ronald Jiménez Castro

Lector: Ing. Erick Cruz Padilla

San Pedro, Montes de Oca

Abril, 2023



**UNIVERSIDAD LATINA
DE COSTA RICA**

POWERED BY **Arizona State University**

TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto titulado: Elaboración de un concreto auto compactable utilizando vidrio molido como agregado, por el (la) estudiante: MIRANDA MARIN MANUEL EMILIO, fue aprobado por el Tribunal Examinador de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Latina, Sede San Pedro, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil:

JOSE JOAQUIN
RODRIGUEZ
RODRIGUEZ (FIRMA)

Firmado digitalmente
por JOSE JOAQUIN
RODRIGUEZ
RODRIGUEZ (FIRMA)
Fecha: 2023.04.30
12:02:35 -06'00'

José Joaquín Rodríguez Rodríguez
Tutor

RONALD
EUGENIO
JIMENEZ
CASTRO (FIRMA)

Firmado digitalmente
por RONALD
EUGENIO JIMENEZ
CASTRO (FIRMA)
Fecha: 2023.04.28
14:30:45 -06'00'

Ronald Jiménez Castro
Lector

ERICK
GUSTAVO
CRUZ
PADILLA
(FIRMA)

Firmado
digitalmente por
ERICK GUSTAVO
CRUZ PADILLA
(FIRMA)
Fecha: 2023.04.28
21:41:52 -06'00'

Erick Cruz Padilla
Lector


DECLARACIÓN JURADA

Yo, Manuel Emilio Miranda Marín estudiante de la Universidad Latina de Costa Rica, declaro bajo la fe de juramento y consciente de las responsabilidades penales de este acto, que soy Autor Intelectual del Proyecto de Graduación titulado:

Elaboración de un concreto auto compactable utilizando vidrio molido como agregado

Por lo que libero a la Universidad de cualquier responsabilidad en caso de que mi declaración sea falsa.

Firmo en San José, 1 de Mayo del 2023



Manuel Emilio Miranda Marín

Licencia De Distribución No Exclusiva (carta de la persona autora para uso didáctico)

Universidad Latina de Costa Rica

Yo (Nosotros):	
De la Carrera / Programa:	
Modalidad de TFG:	
Titulado:	

Al firmar y enviar esta licencia, usted, el autor (es) y/o propietario (en adelante el “**AUTOR**”), declara lo siguiente: **PRIMERO:** Ser titular de todos los derechos patrimoniales de autor, o contar con todas las autorizaciones pertinentes de los titulares de los derechos patrimoniales de autor, en su caso, necesarias para la cesión del trabajo original del presente TFG (en adelante la “**OBRA**”). **SEGUNDO:** El **AUTOR** autoriza y cede a favor de la **UNIVERSIDAD U LATINA S.R.L.** con cédula jurídica número 3-102-177510 (en adelante la “**UNIVERSIDAD**”), quien adquiere la totalidad de los derechos patrimoniales de la **OBRA** necesarios para usar y reusar, publicar y republicar y modificar o alterar la **OBRA** con el propósito de divulgar de manera digital, de forma perpetua en la comunidad universitaria. **TERCERO:** El **AUTOR** acepta que la cesión se realiza a título gratuito, por lo que la **UNIVERSIDAD** no deberá abonar al autor retribución económica y/o patrimonial de ninguna especie. **CUARTO:** El **AUTOR** garantiza la originalidad de la **OBRA**, así como el hecho de que goza de la libre disponibilidad de los derechos que cede. En caso de impugnación de los derechos autorales o reclamaciones instadas por terceros relacionadas con el contenido o la autoría de la **OBRA**, la responsabilidad que pudiera derivarse será exclusivamente de cargo del **AUTOR** y este garantiza mantener indemne a la **UNIVERSIDAD** ante cualquier reclamo de algún tercero. **QUINTO:** El **AUTOR** se compromete a guardar confidencialidad sobre los alcances de la presente cesión, incluyendo todos aquellos temas que sean de orden meramente institucional o de organización interna de la **UNIVERSIDAD** **SEXTO:** La presente autorización y cesión se registrará por las leyes de la República de Costa Rica. Todas las controversias, diferencias, disputas o reclamos que pudieran derivarse de la presente cesión y la materia a la que este se refiere, su ejecución, incumplimiento, liquidación, interpretación o validez, se resolverán por medio de los Tribunales de Justicia de la República de Costa Rica, a cuyas normas se someten el **AUTOR** y la **UNIVERSIDAD**, en forma voluntaria e incondicional. **SÉPTIMO:** El **AUTOR** acepta que la **UNIVERSIDAD**, no se hace responsable del uso, reproducciones, venta y distribuciones de todo tipo de fotografías, audios, imágenes, grabaciones, o cualquier otro tipo de

presentación relacionado con la **OBRA**, y el **AUTOR**, está consciente de que no recibirá ningún tipo de compensación económica por parte de la **UNIVERSIDAD**, por lo que el **AUTOR** haya realizado antes de la firma de la presente autorización y cesión. **OCTAVO:** El **AUTOR** concede a **UNIVERSIDAD.**, el derecho no exclusivo de reproducción, traducción y/o distribuir su envío (incluyendo el resumen) en todo el mundo en formato impreso y electrónico y en cualquier medio, incluyendo, pero no limitado a audio o video. El **AUTOR** acepta que **UNIVERSIDAD.** puede, sin cambiar el contenido, traducir la **OBRA** a cualquier lenguaje, medio o formato con fines de conservación. **NOVENO:** El **AUTOR** acepta que **UNIVERSIDAD** puede conservar más de una copia de este envío de la **OBRA** por fines de seguridad, respaldo y preservación. El **AUTOR** declara que el envío de la **OBRA** es su trabajo original y que tiene el derecho a otorgar los derechos contenidos en esta licencia. **DÉCIMO:** El **AUTOR** manifiesta que la **OBRA** y/o trabajo original no infringe derechos de autor de cualquier persona. Si el envío de la **OBRA** contiene material del que no posee los derechos de autor, el **AUTOR** declara que ha obtenido el permiso irrestricto del propietario de los derechos de autor para otorgar a **UNIVERSIDAD** los derechos requeridos por esta licencia, y que dicho material de propiedad de terceros está claramente identificado y reconocido dentro del texto o contenido de la presentación. Asimismo, el **AUTOR** autoriza a que en caso de que no sea posible, en algunos casos la **UNIVERSIDAD** utiliza la **OBRA** sin incluir algunos o todos los derechos morales de autor de esta. **SI AL ENVÍO DE LA OBRA SE BASA EN UN TRABAJO QUE HA SIDO PATROCINADO O APOYADO POR UNA AGENCIA U ORGANIZACIÓN QUE NO SEA UNIVERSIDAD U LATINA, S.R.L., EL AUTOR DECLARA QUE HA CUMPLIDO CUALQUIER DERECHO DE REVISIÓN U OTRAS OBLIGACIONES REQUERIDAS POR DICHO CONTRATO O ACUERDO.** La presente autorización se extiende el día de de a las

Firma del estudiante(s):

M E Muranda M

Agradecimientos y Dedicatorias

Inicialmente quiero dar gracias a Dios y a mi familia por ayudarme durante los años de mi vida universitaria. Por la sabiduría obtenida durante este proceso. Así como las gracias que le doy a los profesores que nos enseñaron todos sus conocimientos durante la carrera de ingeniería civil.

Quiero dar también dar agradecimientos y dedicatorias a mi madre, a mi padre y mi abuela por siempre apoyarme durante este proceso, así como el proceso de esta investigación. También le agradezco a mis dos hermanos por estar a mi disposición siempre que los necesite durante estos años universitarios y ayudándome a seguir luchando por llegar a este momento en donde realizo la defensa de trabajos finales.

Le doy las gracias a todos mis amigos y compañeros de la carrera que conocí durante este proceso en la Universidad. Especialmente le doy gracias a María Jesús Cordero por ayudarme a superar todos los problemas y expectativas durante este proceso, sin dudar una de las mejores amistades que me pudo dejar la Universidad y una ingeniera con un gran futuro por delante. También quiero agradecer a Fabian Mora, Ji Feng, Adelaida Escobar, Gina Valverde, Gonzalo Delgado, Ignacio de la hormaza y Damark Beale por ser unos compañeros de carrera increíbles tanto en conocimientos como amistades.

Por último le agradezco a todos mis amigos y amigas que me acompañaron estos años por fuera de la Universidad y carrera. No sería posible haber llegado donde estoy hoy en día de no haber recibido el apoyo constante durante todos estos años.

Resumen

El propósito de esta investigación es realizar y comprobar la factibilidad de un concreto auto compactable utilizando vidrio molido como agregado. Lo que se quiere lograr a lo largo de esta investigación es determinar si es posible realizar un concreto que utilice 25% de vidrio molido como sustituto para sus agregados gruesos y finos. En este caso 12.5% de agregado fino, 12.5% de agregado grueso.

Durante esta investigación se plantea obtener el diseño de mezcla adecuado para poder realizar una mezcla de concreto para que sus resultados sean repetibles. Se realizará también la comparación de las resistencias entre un concreto de fabricación “regular” el cual cuenta únicamente con agregados finos, grueso, cemento y agua y uno modificado que va a contener vidrio molido como sustituto de estos agregados.

También se realizaron distintos ensayos de laboratorio para comparar los resultados entre una mezcla de concreto sin vidrio molido y una que contiene vidrio molido, mediante estos ensayos se busca la obtención de factibilidad de esta mezcla de concreto modificada y en caso de que los resultados de laboratorio estén por fuera de lo esperado se buscara determinar el porque es este el caso.

TABLA DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I - PROBLEMA Y PROPÓSITO	1
1.1 Antecedentes del problema	2
1.2. Planteamiento del problema de estudio	3
1.3. Justificación del problema de estudio	4
1.4. Objetivos	5
1.4.1 Objetivo general	5
1.4.2 Objetivos específicos	5
1.5. Alcances y limitaciones	6
1.5.1 Alcances.....	6
1.5.2 Limitaciones	6
1.6. Delimitaciones	7
1.6.1 Delimitación espacial.....	7
1.6.2 Delimitación temporal	7
CAPITULO II – FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	8
2. Concreto	9
2.1 Concreto en estado plástico.....	10
2.1.1 Cohesividad	10
2.1.2 Trabajabilidad	10
2.1.3 Exudación.....	10
2.1.4 Segregación.....	11
2.2 Componentes del Concreto	11
2.2.1 Cemento.....	11

2.2.2 Agregados.....	13
2.2.3 Granulometría	14
2.2.4. Módulo de Finura.	18
2.2.5 Agua.....	19
2.3 Características del Concreto	21
2.3.1 Concreto Seco	21
2.3.2 Resistencia.....	21
2.3.2 Concreto en estado de fraguado/húmedo	22
2.3.4 Curado del Concreto.....	22
2.4 Concreto Auto-compactable	23
3. Vidrio	24
3.1 Vidrio en Costa Rica	24
3.2 Características del vidrio.....	24
4. Ensayos de laboratorio	26
CAPITULO III - MARCO METODOLÓGICO	27
3. Definición del enfoque y método de investigación	28
3.1 Definición de Variables.....	30
3.2. Sujetos de información.....	30
3.3. Fuentes de información	31
3.4 Definición de variables.....	32
3.4.1 Población.....	32
3.4.2 Muestra	32
3.4.3 Confiabilidad de una muestra	32
3.5 Instrumentos y técnicas utilizadas en la recolección de los datos.....	34
3.5.1 Diseño de mezcla	34

3.5.2 Determinación del contenido total de humedad evaporable en agregados con secado (INTE C71 – ASTM C556).....	36
3.5.3 Método de ensayo estándar de asentamiento de concreto fresco con Abrams Determinación del contenido total de humedad evaporable en agregados con secado (ASTM C143 – INTE C143).....	40
Equipo	40
Procedimiento.....	43
3.5.4 Práctica estándar para fabricar y curar especímenes de prueba de concreto en obra (ASTM C31).....	46
3.5.5 Método de ensayo estándar de resistencia a la compresión de cilindros de concreto (ASTM C39 – INTE C39).....	52
3.6 Confiabilidad y validez de los instrumentos utilizados durante la investigación.	59
3.7 Procedimiento para la elaboración del proyecto propuesto.	60
3.7.1: Anteproyecto	60
3.7.2: Diseño de mezcla.....	60
3.7.3 Ensayos de laboratorio.....	61
3.7.4 Resultados y análisis de resultados	61
3.7.5 Reporte final del proyecto	62
3.8 Cronograma de actividades	62
3.8.1 Fechas de los ensayos	65
3.8.2 Fechas de fallos de cilindros.....	66
CAPITULO IV – RESULTADOS	67
4.1 Obtención del vidrio molido	68
4.2 Determinación de humedad en agregados - INTE C71	69
4.3 Resultados de agregados	70

4.3.1 Vidrio Molido.....	70
4.3.2 Agregado Grueso	71
4.3.3 Agregado Fino	72
4.3.4 Cemento.....	74
4.4 Diseño de mezcla sin vidrio molido	75
4.4.1 Características de los Agregados.....	75
4.4.2 Factor de seguridad considerando materiales e importancia.	76
4.4.3 Selección de revenimiento, porcentaje de agua y aire.....	77
4.4.4 Relación agua - cemento.....	78
4.4.5 Determinación de cantidad de agregado grueso.....	79
4.4.6 Volumen y peso para un metro cubico de concreto	81
4.4.7 Corrección de humedad en los agregados.....	82
4.4.8 Cantidades corregidas para una batida de 40 litros.....	83
4.5 Diseño de mezcla con vidrio.....	84
4.5.1 Cantidades para un metro cubico concreto con agregados secos.....	84
4.5.2 Cantidades corregidas incluyendo el vidrio molido.....	84
4.5.3 Cantidad a usar en el laboratorio para 40 litros (0.040 m3).....	85
4.5.4 Corrección de humedad en los agregados.....	85
4.5.5 Cantidades Corregidas a utilizar para batida de 40 litros	86
4.6 Ejecución de la mezcla de concreto.....	87
4.7 Resultados de fallas de cilindros	92
4.7.1 Falla de cilindros mediante carga axial SIN vidrio molido (INTE-C39) A los 7 días.....	92

4.7.2 Falla de cilindros mediante carga axial CON vidrio molido (INTE-C39) A los 7 días.....	92
4.7.3 Falla de cilindros mediante carga axial SIN vidrio molido (INTE-C39) A los 14 días	93
4.7.4 Falla de cilindros mediante carga axial CON vidrio molido (INTE-C39) A los 14 días.....	93
4.7.5 Falla de cilindros mediante carga axial SIN vidrio molido (INTE-C39) A los 28 días	93
4.7.6 Falla de cilindros mediante carga axial CON vidrio molido (INTE-C39) A los 28 días.....	94
CAPITULO V – ANALISIS DE RESULTADOS	95
5.1 Análisis de resultados	96
CAPITULO VI – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	99
Conclusiones.....	100
Recomendaciones.....	101
VII -REFERENCIAS.....	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 INTEC C147.....	12
(Guzman, 1996) Tabla 2.....	14
Tabla 3 Fuente Propia	26
Tabla 4 Definiciones de Variables	30
Tabla 5 Matriz de Información de Sujetos	31
Tabla 6 Ensayos por Realizarse.....	34
Tabla 7 Requisitos de varillas de compactación.	47
Tabla 8 (American Society for Testing and Material, 2021A).....	49
Tabla 9 (American Society for Testing and Material, 2021A).....	49
Tabla 10 (American Society for Testing and Material, 2021A).....	49
Tabla 11 Tolerancia de edades de los especímenes (American Society for Testing and Material, 2021A).....	55
Tabla 12 Factores de Corrección ASTM C39 (American Society for Testing and Material, 2021A).....	57
Tabla 13 Almacenamiento de datos para el ensayo (American Society for Testing and Material, 2021A).....	57
Tabla 14 Cronograma de Actividades	64
Tabla 15 Fechas en las que se realizaron las actividades	66
Tabla 16 Fechas de fallo de los especímenes	66
Tabla 17 Resultados INTE C71 Piedra – Fuente Propia	70
Tabla 18 Resultados INTE C71 Arena – Fuente Propia.....	70
Tabla 19 Porcentaje Pasando Vidrio Molido.....	71
Tabla 20 Análisis Granulométrico Agregado Grueso – Fuente: Agregados Cerraminas S.A	72
Tabla 21 Propiedades Físicas Agregado Grueso – Fuente: Agregados Cerraminas S.A ..	72
Tabla 22 Análisis granulométrico Agregado Fino - Fuente: LGC ingeniería de Pavimentos	73
Tabla 23 Método de ensayo para equivalente de arena - Fuente: LGC ingeniería de pavimentos	73

Tabla 24 Método de ensayo para los pesos unitarios en agregados - Fuente LGC Ingeniería de Pavimentos.....	73
Tabla 25 Contenido de humedad en suelos y agregados - Fuente LGC ingeniería de pavimentos	74
Tabla 26 Sanidad de agregados usando sulfato de sodio - Fuente LGC ingeniería de pavimentos	74
Tabla 27 Contenido de impurezas orgánicas en agregado fino - Fuente LGC Ingeniería de pavimentos	74
Tabla 28 Propiedades Físicas del Cemento – Fuente: Holcim	75
Tabla 29 ACI 211.1 - Datos recolectados de forma propia	75
Tabla 30 ACI 211.1 - Factor de seguridad – Calidad	76
Tabla 31 ACI 211.1 - Factor de seguridad - Tipo Obra	76
Tabla 32 ACI211.1 Revenimiento de acuerdo con el tipo de construcción	77
Tabla 33 ACI 211.1 Determinación de contenido de agua y aire.	78
Tabla 34 ACI 211.1 Relación agua cemento en peso	79
Tabla 35 ACI 211.1 Interpolación de resistencias.....	79
Tabla 36 ACI 211.1 Determinación de peso para agregado grueso.....	80
Tabla 37 ACI 211.1 Peso Final de agregado grueso.....	81
Tabla 38 ACI 211.1 Cantidades de volumen para un metro cubico de concreto	81
Tabla 39 ACI 211.1 Cantidades para un metro cubico de concreto de agregados secos ...	81
Tabla 40 Cantidades a utilizar para realizar mezcla de 40 litros. Fuente Propia	82
Tabla 41 Tabla de corrección por humedad fuente propia	82
Tabla 42 Cantidad de agua por utilizar fuente: propia.....	83
Tabla 43 Peso corregido final para arena y piedra fuente: propia	83
Tabla 44 Cantidades corregidas para una batida de 40 litros. Fuente: Propia	83
Tabla 45 Cantidades para un metro cubico de arena. Fuente Propia.....	84
Tabla 46 Cantidades corregidas con el vidrio molido incluido. Fuente Propia	85
Tabla 47 Cantidades a utilizar en el laboratorio para 40 litros de mezcla. Fuente propia ..	85
Tabla 48 Corrección de humedad de los agregados. Fuente propia.....	86
Tabla 49 Cantidad de agua por utilizar corregido por vidrio. Fuente Propia.	86
Tabla 50 Corrección de agregado por humedad. Fuente Propia.....	86

Tabla 51 Cantidades corregidas por humedad incluyendo vidrio. Fuente Propia	87
Tabla 52 Resultados falla cilindros SIN vidrio a los 7 días. Fuente Propia.	92
Tabla 53 Resultados falla cilindros CON vidrio a los 7 días. Fuente Propia.....	93
Tabla 54 Resultados falla cilindros SIN vidrio a los 14 días. Fuente Propia.....	93
Tabla 55 Resultados falla cilindros CON vidrio a los 14 días. Fuente Propia.....	93
Tabla 56 Resultados falla cilindros SIN vidrio a los 28 días. Fuente Propia.....	94
Tabla 57 Resultados falla cilindros CON vidrio a los 28 días. Fuente Propia.....	94

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 <i>Obtenida del curso de materiales de construcción. (Universidad Latina de Costa Rica)</i>	16
Ilustración 2 - Obtebnida del Instituto Tecnologico de Santo Domingo INTEC, Republica Dominicana	18
Ilustración 3 - Vidrio Fuente Propia.....	25
Ilustración 4 Fuente: Universidad del Valle del Grijalva, Mexico.	29
Ilustración 5. Fuente Propia.	37
Ilustración 6. Fuente Propia.....	37
Ilustración 7 Fuente Propia.....	39
Ilustración 8 Dimensiones Cono Abrahms.....	41
Ilustración 9 Varilla Apisonadora (Pinzuar, 2022).....	42
Ilustración 10 Cinta Métrica (EPA, 2022)	43
Ilustración 11 Diagrama ASTM C143 (Engineer, 2021)	45
Ilustración 12 Curado Inicial de especímenes.	50
Ilustración 13 Curado final de los especímenes.....	51
Ilustración 14 Maquina de compresion de cilindros de concreto	53
Ilustración 15 Tipos de falla para cilindros de concreto – Fuente: (American Society for Testing and Material, 2021A) – ASTM C39.....	56
Ilustración 16: Baldes con vidrio sin moler. Fuente propia	68
Ilustración 17 Balde con vidrio molido. Fuente propia.....	69
Ilustración 18 Vidrio Molido Separado por Tamaños. Fuente Propia.....	71
Ilustración 19 preparación de agregados. Fuente Propia.....	88
Ilustración 20 Mezcla de concreto sin vidrio molido. Fuente Propia.....	89
Ilustración 21 Realización y resultado de prueba de cono Abrams. Fuente propia.....	90
Ilustración 22 Mezcla de concreto en moldes. Fuente propia.	91
Ilustración 23 Cilindros de concreto finalizados con vidrio molido. Fuente Propia.....	91
Ilustración 24 Cilindros de concreto finalizados SIN vidrio molido. Fuente Propia.....	92

CAPÍTULO I - PROBLEMA Y PROPÓSITO

PROBLEMA Y PROPÓSITO

1.1 Antecedentes del problema

La construcción en el mundo, así como en Costa Rica representa uno de los ámbitos con una alta demanda. Esto provoca que haya una demanda muy alta por sus diferentes materiales para la construcción y en especial para la elaboración de concreto hidráulico el cual es uno de los materiales más utilizados en la construcción. El consumo de este material y su fabricación promueve una alta contaminación.

La implementación de un material reciclable como lo es el vidrio, en este caso el vidrio molido puede ayudar a la fabricación de estos concretos haciéndolos más amigables con el medio ambiente y proporcionando un nuevo uso para estos vidrios los cuales no son siempre reciclados.

En Costa Rica se recicla aproximadamente un 73% del vidrio utilizado en el país según (Grupo Vical). Esto quiere decir que hay un 17% de vidrio que no es reciclado que tiene una posibilidad de tener una nueva vida. Durante los años se han hecho diversas investigaciones para cambiar o utilizar un nuevo tipo de material para la fabricación de concreto.

Se pretende utilizar el vidrio para sustituir o mejorar el cemento la cual es la parte más cara y contaminante para la fabricación de un concreto. Se podría disminuir los costos de fabricación y reducir su contaminación lo cual también daría un beneficio a sus usuarios.

El vidrio además de ser un material 100% reciclable y tiene propiedades aglutinantes lo cual es justamente lo que se necesita para la fabricación de un concreto. Además de que la importancia de su reciclaje es necesario ya que, aunque solamente el 17% sea el que no se está reciclando.

1.2. Planteamiento del problema de estudio

El ser humano durante los años ha producido residuos de alguna forma u otra. Desde el principio de la humanidad esto ha sucedido y hoy en día es un problema muy grande el cual esta enfrentando la sociedad costarricense y a nivel mundial.

Una de las posibles causas de que hubiera un cambio tan drástico en como el ser humano se desarrolló a partir del siglo XX se atribuye a la revolución industrial. Esto ha tenido como consecuencia que durante los años especialmente a partir de mediados de siglo. Durante esta época la concientización del público hacia la protección del medio ambiente no era muy común en la sociedad.

Día a día se aumento la cantidad de personas y de desechos que eran tirados en los rellenos sanitarios. Esta contaminación no era reciclada y no se tenia un plan de tratamiento.

La falta de tratamientos y por parte de muchas personas una falta de educación de como funcionan los desechos sólidos y orgánicos además de diferencias los materiales correctos para reciclar o reutilizar es un problema que lleva años dentro de la sociedad costarricense y en muchas partes a nivel mundial.

1.3. Justificación del problema de estudio

En Costa Rica hasta un 73% del vidrio es reciclado lo cual es un total de 15 mil toneladas según (Grupo Vical, 2020). Esto significa que en Costa Rica hay 3493 toneladas de vidrio que no son recicladas. Esto provoca que haya una contaminación no solamente en los rellenos sanitarios sino también dentro de las ciudades donde las personas botan basura en lugares inadecuados además de puede tener bordes filosos.

En países como Estados Unidos según la (Grupo Vical, 2020) en el año 2018 se recicló hasta 31.3% de los contenedores de vidrio, esto son 3.1 millones de toneladas lo que significa que un total de 68.7% de este vidrio no es reciclado, en total es son 6.7 millones toneladas de vidrio al año que no tienen ningún uso.

El desarrollo de un concreto que utilice partículas de vidrio tiene el potencial de ser extremadamente beneficioso para los usuarios, el medio ambiente y la fabricación del concreto más amigable con el medio ambiente. Ya que en muchos de estos países el precio que se paga por recuperar el vidrio y que sea reciclado es muy bajo. Este tiene según la (EPA) tiene la posibilidad de generar más de 8 empleos por cada 1000 toneladas recicladas de vidrio. Esto como mínimo podría generar 387 500 empleo con solo el hecho de reciclar este 68,7% de vidrio no reciclado.

1.4. Objetivos

1.4.1 Objetivo general

- Desarrollar un concreto hidráulico auto compactable que utilice vidrio molido.

1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar la dosificación adecuada para este nuevo concreto.
- Desarrollar la mezcla constructiva para determinar el % óptimo de vidrio molido para llegar de 210kgf/m.
- Realizar pruebas de compresión de un concreto modificado versus uno regular.

1.5. Alcances y limitaciones

1.5.1 Alcances

- Estudiar el comportamiento y resistencia de un concreto 210 sin vidrio añadido y con vidrio añadido de tipo auto compactable.
- Diseño de mezcla óptimos para concreto auto compactable.
- Esta propuesta se espera que pueda ser utilizada no solo en Costa Rica sino en el mundo.
- Se realizara una guía para la fabricación de este concreto.

1.5.2 Limitaciones

- El estudio estará enfocado únicamente para concretos auto compactables.
- No esta definido a profundidad el posible ahorro económico de usar vidrio en vez de concreto

1.6. Delimitaciones

1.6.1 Delimitación espacial

El proyecto propuesto se va a desarrollar dentro de San José, Costa Rica en el cantón de Montes de Oca en el laboratorio de la Universidad Latina. Sin embargo, para tomar información y referencias este puede venir de cualquier parte del mundo, pero principalmente estadísticas y fuente de Costa Rica.

1.6.2 Delimitación temporal

Los datos considerados para la formulación de este proyecto van a ser considerados aquella información que se encuentre de los últimos 7 años. Este proyecto se pretende.

CAPITULO II – FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Fundamentación Teórica

2. Concreto

El concreto o también conocido como hormigón es un material que se ha utilizado en la construcción por más de 100 años. Este material ha revolucionado el mundo moderno en la forma que se construyen casas y edificios. Este material puede ser constituido por dos partes. Uno es un producto o material bastante moldeable que se caracteriza por endurecer con el tiempo y la otra parte son pedazos pétreos que quedan englobados en la pasta. Esta pasta se constituye por agua y un producto de estilo aglomerante que sería el cemento o en muchos casos llamado cemento portland o tipo portland. (Ramos, Grases, Velazco, & Porrero, 2014)

Muchos de los factores que hacen que el concreto sea uno de los materiales de construcción más utilizados en el mundo es gracias a su facilidad con la que se puede manipular, en otras palabras, como puede pasar de un estado líquido o plástico a un estado sólido. Este estado plástico es perfecto para utilizar con formaletas o moldes para hacer cualquier tipo de estructura. Este tipo de comportamiento va a variar dependiendo de los elementos que componen esta mezcla de concreto. En esta ocasión lo que se está buscando hacer con este tipo de mezcla de concreto es añadir un nuevo elemento el cual en este caso es el vidrio molido.

El vidrio molido se pretende añadir como un elemento que sustituiría al Clinker. El Clinker es uno de los materiales más difíciles de extraer o no tan sustentables de la fabricación del concreto como se explicará en el siguiente capítulo. El vidrio molido es ideal debido a que es un material muy abundante en el mundo moderno, esto es muy importante debido a que un gran porcentaje del vidrio no es reciclado y termina en rellenos sanitarios esperando a que este se descomponga.

En países como los Estados Unidos solamente se recicla un 31,3% del vidrio según (Grupo Vical, 2020). Esto quiere decir que hay unas 3943 toneladas de vidrio que no recicladas todos los años y esto genera montañas de botellas de vidrio y desecho que

simplemente no tienen ninguna función. En estos casos se puede agarrar un porcentaje de este vidrio, molerlo y implementarlo en la fabricación del concreto.

2.1 Concreto en estado plástico

Durante el proceso de fabricación de un concreto este pasa por distintos estados. Se piensa que el concreto en estado líquido no tiene una gran función o importancia. Sin embargo esta es una de las fases más importante y de más cuidado que se debe tener en una obra. Se debe tener cuidado con la forma en que este es vertido y vibrado para evitar fenómenos como el llamado hormiguero en donde en el concreto no se asienta correctamente.

2.1.1 Cohesividad

La cohesividad es aquella propiedad del concreto que es posible controlar la posibilidad de segregación durante la etapa de manejo de la mezcla. Al mismo tiempo que contribuye a prevenir que este se vuelva áspero y facilita el manejo durante el proceso de compactación del concreto.

2.1.2 Trabajabilidad

Según (Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto, 2004) la trabajabilidad se define que el concreto es tan fácil de colocar, compactar y dar un acabado a una mezcla de concreto. El concreto rígido o seco es más difícil de manejar que un concreto con más agua o menos seco. Este factor tiene que ir de la mano con el objetivo que vaya a tener la mezcla de concreto.

2.1.3 Exudación

La exudación del concreto es una de las cuatro propiedades principales del concreto. Este proceso inicia después de que el concreto ha sido colocado. Esto hace que inicie el proceso de fraguado del concreto lo cual hace que el agua que se utilizó para la mezcla vaya saliendo poco a poco del material. Hay concretos o cementos que dependiendo de sus materiales y agregados puede fraguar más rápido que otros o tener distintas propiedades.

2.1.4 Segregación

La cuarta y última parte de las propiedades del concreto es el estado de segregación. Esta propiedad es la última y más importante del concreto porque es cuando ya está seco el concreto o después de haberse fraguado. Esta es la separación o distribución no homogénea de los componentes del hormigón. La distribución homogénea de estas pastas y áridos es un aspecto fundamental del concreto.

2.2 Componentes del Concreto

2.2.1 Cemento

El cemento es un polvo sumamente fino, este se obtiene mediante una mezcla de distintas piedras. Estas piedras son la caliza, minerales de hierro y arcilla. Este proceso o el resultado final se da por medio la calcinación del material y obtenemos el llamado Clinker. Este se muele finamente con yeso y otros aditivos que estos van a varias dependiendo de quien sea el fabricante.

Este material es de los materiales de construcción más utilizados a nivel mundial, sin importar el país se puede garantizar que en algún tipo de edificio, puente o estructura se va a utilizar el cemento de una forma u otra. Su popularidad proviene gracias también a su excelente resistencia a la compresión, durabilidad y una buena estética. A pesar de que el cemento y el concreto (El cual es la mezcla del cemento con agregados) no tenga una resistencia a la tensión tan buena este se puede reforzar o complementar con varillas de acero y estructuras que ayuden a su resistencia.

A pesar de que existe una gran variedad de cementos en el mercado la elección del cemento correcto para el tipo de obra que se necesita no es muy complicado. Aquí es donde entra en juego los distintos tipos de aditivos que usar para su fabricación y cada cemento tiene un objetivo diferente.

Actualmente en Costa Rica se utilizan seis tipos distintos de cementos que son los más comunes como se muestra a continuación. De acuerdo con INTECO, la norma INTE C147.

Tipo I / MM	Cemento Portland Ordinario
Tipo ME	Cemento Hidráulico Modificado con Escoria de Alto Horno
Tipo MF	Cemento Hidráulico Modificado con Humo de Sílice
Tipo MP	Cemento Hidráulico Modificado con Puzolana, Ceniza Volante o Esquisto
Tipo MC	Cemento Hidráulico Modificado con Caliza
Tipo MM	Cemento Hidráulico Modificado Mixto

Tabla 1 INTEC C147

1. Tipo I: El cemento portland ordinario es el de uso general y es que se utiliza normalmente para cualquier tipo de obra, no tiene propiedades ni requisitos especiales se usan en obras generales o civiles como para aceras, pisos, casas de habitación o estructuras industriales.
2. Tipo ME: Este tipo de cemento tiene como características en comparación al cemento de tipo I un menor calor de hidratación una alta resistencia a los sulfatos y al agua de mar ideal para uso en zonas costeras.
3. Tipo MF: Este cemento desarrolla unas resistencias más altas usualmente cuando se necesita que un cemento tenga una alta resistencia a temprana edad.
4. Tipo: MP: Este tipo de cemento también posee buenas características para su resistencia contra sulfatos, ideal cuando no se esta buscando una gran resistencia inicial.
5. Tipo MC: Cemento que desarrolla altas resistencias usualmente se utiliza cuando se requieren altas resistencias a una temprana edad del concreto además de que se utiliza mucho para lugares con un clima frio.
6. Tipo MM: Este cemento al igual que el tipo I se puede considerar como un cemento de uso general. Es un buen punto medio dentro de los cementos modificados.

2.2.2 Agregados

Aproximadamente el 80% del peso del concreto se compone de diferentes materiales que tienen diferentes tamaños. Estos materiales también son conocidos como agregados o áridos. Es por esto por lo que la calidad de estos materiales es muy importante para la fabricación del concreto. El tipo de agregado que se vaya a utilizar es muy dependiente de los materiales que se encuentren en la zona donde se planea hacer dicha mezcla de concreto. (Ramos, Grases, Velazco, & Porrero, 2014).

Se utilizan normalmente dos tipos de tamaños, uno llamado agregado grueso y otro llamado agregado fino. El agregado grueso usualmente esta conformado por piedra picada o piedra que ha sido rodada y desgastada con el paso del tiempo. Se pueden utilizar piedra extraídas de tajos o piedras provenientes de ríos las cuales son extraídas mediante el uso de dragas. Es de suma importancia que la calidad de estos materiales sea examinada antes de que sea utilizado para la fabricación de un concreto. Esto es algo que se debe aplicar a cualquier tipo de mezcla de concreto que se pretenda realizar.

En la siguiente tabla se habla sobre la clasificación de los distintos tipos de partículas de los agregados. Esto quiere decir las distintas formas que pueden tener las partículas por utilizar.

Clasificación	Descripción
A- Redondeada	Totalmente desgastada por el agua o por frotamiento entre otras partículas
B- Irregular	Irregularidad Natural o parcialmente limada por frotamiento/fricción con caras redondas
C- Angular	Posee sus caras aun bien definidas que se forman en la intersección de sus caras por lo que son más o menos planas.
D- Escamosa (Laminar)	Material en el cual el espesor es pequeño en relación con otras dimensiones.

E- Elongada	Material normalmente angular, en el que su longitud es considerablemente mayor que el ancho y con un espesor considerablemente mayor.
F- Escamosa y elongada	Material cuya longitud es considerablemente mayor que el ancho y este considerablemente

(Guzman, 1996) Tabla 2

Además, las formas de estas partículas afectan directamente la resistencia de alguna mezcla de concreto. Un agregado que tenga una forma redondeada va a tender a tener menos fricción entre partículas. En este caso es ideal tener una forma más similar al tipo F que al A por estas mismas características. Esto no significa que las de forma redondeada no sean buenas partículas para una mezcla de concreto, pero puede ser un factor dependiendo de lo que se este buscando en una mezcla.

Hay distintas características que pueden afectar también además de la forma de las figuras como lo son las siguientes:

1. Textura: Las texturas esten cien porciento relacionados a cada una de las partículas o de los agregados.
2. Densidad. Esta va a depender del origen de la roca y de como haya sido formada. Además de la cantidad de vacíos que vaya a tener internamente un agregado.

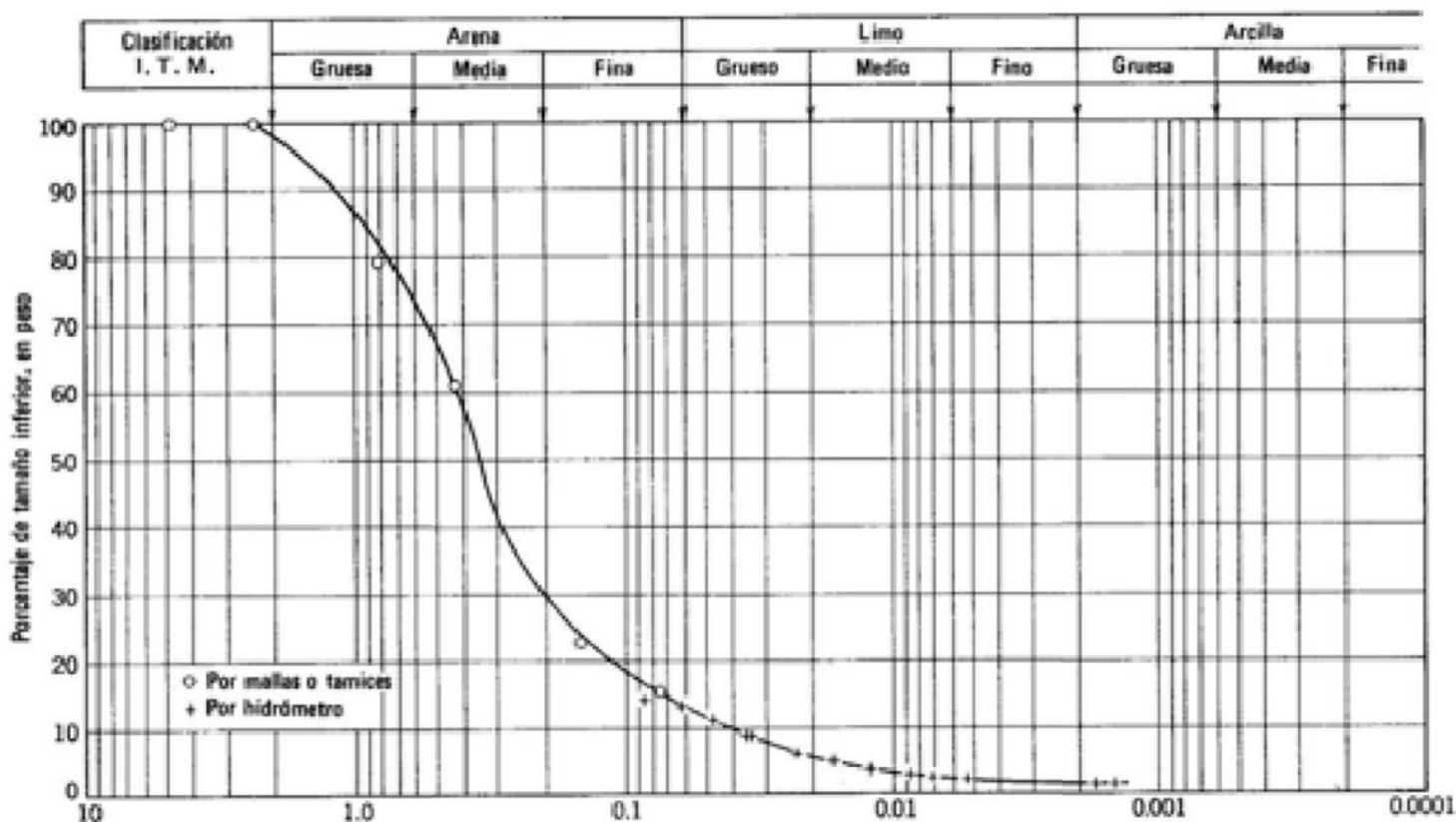
2.2.3 Granulometría

La granulometría consiste en la distribución del tamaño de las partículas de un agregado. Esto se determina mediante el uso de tamices los cuales permiten el análisis de estas partículas. El objetivo de la granulometría es buscar el tamaño óptimo de partículas que se va a usar para una mezcla de concreto. Este con el fin de poder garantizar la resistencia que se esta buscando del concreto. (Granulometria, 2022)

Como se habló anteriormente la granulometría se determina mediante el uso de tamices o mallas las cuales dividen los agregados en tamaños de sus partículas. De acuerdo con la sociedad americana de pruebas y materiales en la normativa ASTM para determinar el tamaño máximo del agregado se utiliza la malla por donde pasa entre el 95% y el 100% del agregado. Por esto mismo se utilizan algunos métodos para determinar cómo se distribuye el material y en que mallas este es retenido.

2.2.3.1 Curva Granulométrica

La curva granulométrica es la representación grafica de los resultados que son obtenidos en un laboratorio de materiales cuando se analiza la estructura de los agregados



desde el punto de vista que del tamaño de las partículas que se forman. A continuación, se presenta un ejemplo de una curva granulométrica.

Ilustración 1 *Obtenida del curso de materiales de construcción. (Universidad Latina de Costa Rica)*

Se utiliza una escala semi logarítmica con un factor o base de 10. En donde esta escala se encuentra en el eje X y en el eje Y se utiliza una escala aritmética de 0% a 100%. El objetivo de este es ver de forma clara en donde se están reteniendo partículas del tamiz y en cuales este esta pasando. Se pueden determinar distintos factores de un análisis granulométrico como lo es la impermeabilidad del suelo con el que se esta trabajando o los agregados que se van a utilizar.

Se puede utilizar para determinar la distribución de los tipos de partículas a través de este grafico se determinar hacia que tamaños van las partículas.

2.2.3.2 Granulometrías Continuas

Se utilizan granulometrías de tipo continuas que son las que se utilizan más usualmente. Esto se debe a que las partículas más finas rellenas los huecos que dejan las más gruesas. Hay que tener cuidado con el punto de dosificación debido a que es necesario un contenido de huecos de la mezcla mínimo que garantice un espacio para los cambios de volumen que están ligados a la temperatura y para las posibles densificaciones de la mezcla por post compactación y deformaciones plásticas del mismo. En otras palabras, normalmente las granulometrías continuas son en donde se utilizan todo el material que esta pasando por las mallas. Por ejemplo, si se pasan los materiales por la Malla #4, #8, #16, #30 se utilizan las 4 mallas para la mezcla.

2.2.3.3 Granulometrías Discontinuas

En las granulometrías discontinuas se omiten ciertos tamaños de partícula intencionalmente. Muchas veces este tipo de concreto se utiliza para mezclas arquitectónicas en otras palabras que se ven de un cierto tipo a la vista. Se pueden obtener texturas uniformes o diferentes y también los agregados se pueden ver expuesto

dependiendo de cual sea el objetivo del arquitecto o de la obra. Sin embargo, esto se tiene que hacer con un buen estudio ya que con una elección incorrecta de los agregados puede resultar en un concreto propenso a segregarse y si hay un exceso de agregados finos puede que haya una alta demanda de agua lo que perjudicaría el concreto.

En los casos cuando se salta un tamaño específico de partículas se tienen que utilizar partículas finas para rellenar los espacios faltantes. Esto puede dar como resultado mezclas más dóciles, pero con un riesgo de segregación.

2.2.3.4 Agregado fino versus grueso

Un agregado grueso es considerado todo aquel agregado que es retenido al 100% por el tamiz número 4 o superior. Esto también quiere decir que aquel material que pase este tamiz número 4 cuyas aberturas son de 4.75mm se consideran como un agregado de tipo fino. Esto se puede verificar de acuerdo con la normativa ASTM C-33. En Costa Rica rige la normativa INTE C33:2015. A continuación se muestra una imagen que demuestra como se retiene estos agregados.

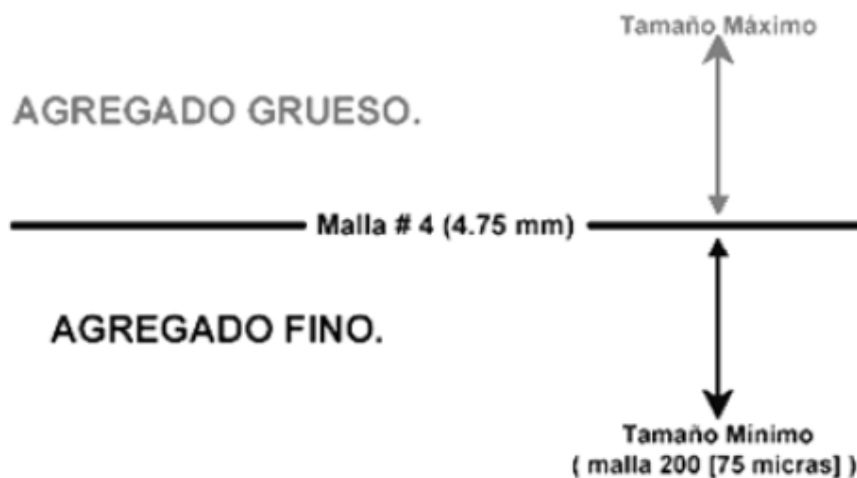


Ilustración 2 - Obtenida del Instituto Tecnológico de Santo Domingo INTEC, República Dominicana

2.2.4. Módulo de Finura.

El módulo de finura da una idea del grosor o finura que tiene un agregado. Este es calculado sumando los porcentajes retenidos acumulados en los tamices y dividiendo la suma entre 100.

$$M.F = \Sigma \frac{\text{Retenido Acumulado}}{100}$$

$$2.3 < MF < 3.1$$

El módulo de finura de un agregado fino se busca que este entre 2.3 y 3.1. Esto nos da una idea de la variación granulométrica de como se encuentra la arena que vamos a utilizar. En cambio, el agregado grueso su nivel máximo va a depender del tamaño máximo nominal del agregado.

2.2.5 Agua

El agua es un componente importante para la fabricación del concreto, este se necesita para poder iniciar el proceso de las reacciones químicas para que el concreto pase de ser una pasta a que este tenga sus valores de resistencia y se pueda fraguar y endurecer. Este es un elemento fundamental para la fabricación del concreto y su porcentaje dentro de la mezcla puede afectar como esta se comporta.

Usualmente se utiliza un porcentaje entre el 15 %al 25% de agua dentro de la mezcla dependiendo cual vaya a ser el objetivo de la mezcla. Entre menos agua va a tener un menor revenimiento generalmente, en otras palabras su fluidez dentro de un molde o formaleta no va a ser tan bueno como el de uno con más agua pero así mismo el que tenga más agua va a tener una menor resistencia. Sin embargo el agua es un material muy importante para la fabricación o creación de un repello o para una mezcla de concreto.

Se debe tomar en cuenta que el agua que se va a utilizar para la mezcla de concreto tiene que ser agua potable con la menor cantidad de contaminación posible. Esto se debe a que cualquier elemento orgánico como tierra puede afectar la resistencia de este. Prácticamente se puede usar cualquier lugar de agua potable, se utilizan muchas veces agua de rio y mientras esta no tenga ningún sabor o olor normalmente se puede utilizar.

En algunos casos se pueden utilizar aguas que no sean del todo potables, tal vez esta no sea ideal para consumo humano, pero se puede utilizar para para un concreto. En estos casos o cuando el agua es una procedencia desconocida se puede aplicar la norma ASTM C109 y se preparan cubos de concreto con el fin de evaluar su resistencia en comparación a unos cubos preparados con agua potable.

También se tiene que considerar para que se vaya a utilizar el concreto y a que condiciones se esta sometiendo. Si este se utiliza para las paredes o entrepisos de una casa donde hay varillas

de acero que están expuestas a las condiciones externas no sería buena idea utilizar agua salada de mar porque va a fomentar el óxido y una mala adherencia entre el concreto y el acero por el óxido. En cambio si este se fuera a utilizar para hacer una acera muy posiblemente no tendría ninguna consecuencia adversa si se va a usar solamente para una acera.

2.3 Características del Concreto

2.3.1 Concreto Seco

El concreto en estado endurecido es el estado final del concreto donde este desarrolla su capacidad total para soportar cargas. Esto normalmente ocurre a los 30 días aproximadamente desde que se ha vertido el concreto en donde se vaya a utilizar. Para esto existen distintos tipos de concretos en el caso de que se requiera un concreto de fraguado rápido o que obtenga su capacidad de carga más temprano versus otros concretos. Es importante que durante este proceso de secado se trate de hidratar el concreto, esto lo que va a hacer es que se fragüe a un paso un poco reducido, pero va a prevenir que se hagan grietas en el material inesperadas que van a comprometer la estructura. Sus características principales son su alta resistencia una vez seco y su durabilidad.

2.3.2 Resistencia

La resistencia del concreto es su característica más grande y la razón por la que esta ha sido recalcada tantas veces durante este proyecto, su alta resistencia del concreto a compresión. Esto se evalúa mediante pruebas de laboratorio con cilindros. Esto es gracias a pruebas de resistencia las cuales se utilizan para determinar que el concreto este llegando a una resistencia mínima que es la que se esta buscando en una construcción.

Esta resistencia a la compresión es definida como la capacidad para soportar una carga por área. Esto quiere decir que tenemos unidades como kg/cm^2 o PSI en el sistema de unidades americano. Estas pruebas están estandarizadas tanto por la norma INTEC C39 y también por la norma ASTM C39. Esto viene con manuales y como se debe realizar la prueba para tener resultados precisos. Estos ensayos se hacen 28 días después de que se han elaborado los especímenes de prueba y la idea es también que se puedan desarrollar pruebas a una temprana edad para identificar que tan trabajable sea una mezcla. La normativa ASTM C39 nos explica se necesita la creación de especímenes de forma cilíndrica debido a que esta es la mejor forma para hacer las

pruebas. Estos van a tener un diámetro de 5 centímetros y una altura de 10 centímetros. Según el código sísmico de Costa Rica la resistencia mínima que debe tener un concreto es de 210 kg/cm². Esto con el fin de tener un concreto lo suficiente mente solido para lo que se desee realizar ya sea una pared liviana o una acera o estructura que lo requiera.

2.3.2 Concreto en estado de fraguado/húmedo

Este proceso es cuando se inicia el proceso de solidificación de la mezcla de concreto. Este empieza su proceso de fraguado una vez que es colocado y aproximadamente 10 horas después es cuando ya se empieza a solidificar. Muchos factores externos como el clima y la ubicación del lugar pueden hacer que esto dure más o menos tiempo. En condiciones cálidas y soleadas este se va a fraguar más rápido que en condiciones más frías y con lluvia por ejemplo. Es importante revisar el estado del fraguado debido a que como se ha venido hablando es posible que al momento que se vaya a fraguar. Lo ideal es que las formaletas se remuevan normalmente 4 días después de que se ha fraguado el concreto. Esto aplica para un concreto de uso general, si se usara un concreto que tenga un fraguado más rápido o una mayor resistencia inicial es posible que este se pueda quitar antes.

2.3.4 Curado del Concreto

El curado del concreto se da una vez que este esta saliendo del proceso de fraguado y convirtiéndose en un elemento solido. Estas etapas están presentadas de esta forma debido a que durante el proceso de esta investigación son los pasos que se dieron a seguir. El termino de curación del concreto se utiliza para describir el momento en el que este concreto hidráulico desarrolla su resistencia a la compresión. Este también es utilizado para describir la acción de mantener el concreto hidratado una vez que es colocado.

El periodo de curación se puede definir como aquel periodo de tiempo que comienza en la colocación hasta la finalización. Este llega hasta el punto en donde el concreto empieza a desarrollar sus características deseadas que es obtener una resistencia más grande.

2.4 Concreto Auto-compactable

La idea de esta investigación es crear un concreto que tiene como característica ser auto-compactable y al mismo tiempo que este contenga materiales de vidrio molido para mejorar la sostenibilidad del concreto en el mundo moderno. El concreto auto-compactable se caracteriza por ser un concreto que se compacta mediante el uso de la gravedad. Este pasa por medio de armadura sin ningún problema y evita la necesidad del uso de un vibrador o compactador para evitar fenómenos como los es el hormiguero.

3. Vidrio

3.1 Vidrio en Costa Rica

Como se enseñó en la justificación en Costa Rica hasta un 73% del vidrio es reciclado lo cual es un total de 15 mil toneladas según (Grupo Vical, 2020). Esto quiere decir que se tiene un potencial 27% de vidrio que se puede reciclar o por lo menos aumentar el porcentaje actual.

3.2 Características del vidrio

Algunas características del vidrio son las siguientes:

1. Material solido con una dura resistencia.
2. Un material con resistencia a altas temperaturas.
3. Una vez molido o quebrado el material este tiene una forma similar a la de algún agregado natural como la piedra o la arena. Esto significa que tiene formas no regulares o puntiagudas bueno para la adherencia de la mezcla de un concreto.
4. Resistente a la corrosión ideal para zonas marítimas.

Estas características pueden ser bastante deseables para la formación de un concreto, especialmente porque el vidrio tiene a tener formas del tipo F las cuales son escamosas y elongadas. Lo cual daría un agarre optimo para la formación de un concreto.

A continuación, se tienen una imagen del vidrio molido separado cada uno en distintos tamaños.



Ilustración 3 - Vidrio Fuente Propia

Los materiales fueron clasificados como materiales de tipo grueso y de tipo fino de acuerdo a como se vio anteriormente. Los materiales retenidos por el tamiz de 4.75mm se considero como un material de tipo grueso mientras que todo aquel material pasante del 4.75mm se considera como un material de tipo fino. A pesar de que todo material que es retenido por el tamiz #4 (4.75mm) se considera como grueso, no se utilizaron los trozos de vidrio que fueran más grandes que el tamiz #3.5 (5.6mm). Esto debido a que los trozos de vidrio que eran más grandes a este tamaño tendían a ser más filosos con bordes muy poco redondeados y largos, haciendo bastante probable algún corte accidental por parte del usuario a la hora de hacer la mezcla del concreto.

4. Ensayos de laboratorio

Para el desarrollo de este trabajo investigativo se tienen que tomar en cuenta distintas normativas y ensayos de un laboratorio de materiales para comprobar que esto es factible.

Descripción del ensayo	Normativa
Determinación del contenido total de humedad evaporable en agregados con secado	INTE C71 – ASTM C556
Método de ensayo estándar de asentamiento de concreto fresco cono Abrams	ASTM C143
Práctica estándar para fabricar y curar especímenes de prueba de concreto en obra	ASTM C31
Método de ensayo estándar para determinar la densidad (peso unitario), volumen producido y contenido de aire en una mezcla de concreto	ASTM C138
Resistencia a la compresión uniaxial de especímenes cilíndricos de concreto	INTE C39 – ASTM C39

Tabla 3 Fuente Propia

Es importante tomar en cuenta estas normativas para este proyecto de investigación. Ya que este tipo de investigación es de tipo experimental y se necesita poder obtener resultados repetibles y hechos bajo una normativa estándar.

Ya que se van a comparar dos tipos de muestras una que tenga concreto con vidrio añadido en su mezcla y otra mezcla que no tenga vidrio para comprobar si el vidrio es un agregado óptimo en condiciones donde se utilice el mismo cemento, arena, piedra y agua.

CAPITULO III - MARCO METODOLÓGICO

MARCO METODOLÓGICO

3. Definición del enfoque y método de investigación

Esta es una investigación de tipo cuantitativo, mediante pruebas de laboratorio con pruebas de tipo experimentales. Esto con el fin de poder determinar el porcentaje óptimo de material que se va a utilizar. Este método es denominado como el “el método de modo ordenado para proceder/llegar a un resultado o fin determinado.”

Para realizar esta investigación se tomaron en cuenta y como referencias normativas brindadas por la “American Society for Testing and Materials” o “ASTM” específicamente la norma C39 y también por parte de INTECO. En esta normativa se nos explica como se deben fallar y aplicar las pruebas para fallar un cilindro de concreto. Estos cilindros de concreto tienen un tamaño de 5 centímetros de diámetro y 10 centímetros de altura. Ya que estamos buscando como obtener objetivamente un buen diseño de mezcla para este concreto auto-compactable.

En muchos de los casos que se realiza una tesis en el área de ingeniería o cualquier proyecto de graduación se da un enfoque basado en cualidades cuantitativas. Esto se da gracias a que la mayoría de temas, proyectos, experimentos que se desean realizar se necesita información empírica para determinar lo que se esta buscando. Esto se hace con el fin de que sea replicable en el mundo real y en distintas partes del mundo, es casi como hacer una receta. Esto parte de una idea que se va delimitando poco a poco y se derivan objetivos y se hacen preguntas para una investigación. (Westreicher, 2020).

Ya que en esta investigación se tomo como base el enfoque que se hablo anteriormente debido a que el proceso a seguir fue el desarrollo de una matriz de ensayos para iniciar la realización de unas pruebas y poder determinar la efectividad de esta mezcla de concreto con vidrio molido incluido. Se busca demostrar el comportamiento de sus propiedades mecánicas para la fabricación de mezclas de concreto.

En la siguiente imagen se explican los cuatro pilares para una investigación de tipo cuantitativa.



Ilustración 4 Fuente: Universidad del Valle del Grijalva, Mexico.

El alcance que utilizó en esta investigación fue de tipo exploratorio. Este tipo de alcance se define como:

El alcance exploratorio se clasifica como lo que se le otorga a las investigaciones que se orienta a conocer problemas de investigación desconocidos o pocos estudiados. Esto se da debido a que hay un estado cierto de incertidumbre durante investigación. (Normas APA, 2017).

Esto anterior debido a que el planteamiento de los objetivos nos indica que estamos buscando la dosificación o diseño de mezcla adecuado para este tipo de concreto auto-compactable.

3.1 Definición de Variables

Objetivos Específicos	VARIABLES INDEPENDIENTES	VARIABLES DEPENDIENTES
Establecer la relación óptima de vidrio molido y para una mezcla de concreto óptima.	Establecer las normativas para el diseño de mezcla para concreto convencional y comparar al modificado.	Adaptar correctamente las partículas de vidrio a la mezcla de concreto.
Evaluar un diseño de mezcla para un concreto con un valor mínimo de resistencia de 210 kg/cm ²	Porcentajes de vidrio molido a utilizar para tener una resistencia entre 210 y 230 kg/cm ²	Obtener una mezcla de concreto con la resistencia esperada.
Determinar la curva de resistencia para la mezcla de concreto a los 3, 7 y 28 días.	Evaluar la resistencia a compresión de cada uno de los especímenes de concreto a 210kg/cm ² mediante la norma INTE C39 y ASTM C39	Mediante una matriz de ensayos determinar la influencia del vidrio en una mezcla de concreto autocompactable.
Relación agua/cemento	Para la fabricación de un concreto autocompactable se necesita una correcta relación agua/cemento	Mediante pruebas de laboratorio y utilizando la normativa C39 INTE Se pretende determinar una correcta relación

Tabla 4 Definiciones de Variables

3.2. Sujetos de información

Matriz de sujetos de información

Nombre	Tema a tratar	Empresa/institución/cargo
--------	---------------	---------------------------

ING. Minor Murillo	Diseño de Mezcla para un Concreto Hidráulico	Ingeniero Civil y Profesor de Materiales de Construcción, Universidad Latina
ING Maria Gallardo	Metodología para desarrollar los cilindros y fallar estos especímenes	Ingeniería Civil y profesora de laboratorio para el curso de materiales de construcción de la Universidad Latina
ING Ronald Jiménez	Factibilidad del uso de este concreto modificado para usar en el mundo real	Ingeniero Civil profesor de Mecánica 1, Concreto 1 y 2, Estructuras 1 de la Universidad Latina de Costa Rica

Tabla 5 Matriz de Información de Sujetos

3.3. Fuentes de información

Las fuentes de información por utilizar en esta investigación son aquellas fuentes u organismos de fuentes confiables. Esto quiere decir que se pretenden usar manuales para la fabricación del concreto, manuales estandarizados por entidades como las ASTM o “American Society for Testing and Materials”. Esta organización tiene sientos de pruebas estandarizadas diseñadas para ser replicadas con manuales de instrucciones y procedimientos. Se pretende utilizar fuentes de la organización llamada INTECO o “Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica”. Ellos al igual que la organización ASTM tienen materiales, formas en las cuales se pueden realizar ensayos los cuales se van a necesitar para poder tener datos precisos a la hora de fallar o determinar resistencias para los cilindros de concreto. Para demás fuentes relacionadas a la falla de cilindros, su fabricación tipo se utilizaron también tesis anteriores que hacen referencia a la fabricación de concreto o similar para mejorar

3.4 Definición de variables

3.4.1 Población

Para la población de esta investigación se trabajó con los tipos de vidrio que fueron definidos anteriormente como agregados finos y agregados gruesos. Esto quiere decir que usamos vidrio como un agregado fino y grueso.

Un 25% del agregado grueso fue remplazado por vidrio y un 25% del agregado fino fue remplazado por vidrio. Se determino mediante un diseño de mezcla la cantidad de agregado grueso y fino que utilizaría una mezcla de concreto de este tipo, una vez que determinamos la proporción de cemento, agua, arena y piedra remplazamos un 25% del peso total de la arena y piedra por vidrio que se adecua a las características determinadas anteriormente.

Se desarrollaron un total de 9 cilindros utilizando el vidrio como agregado y otros 9 cilindros sin utilizar el vidrio como agregado, con esto obtenemos un total de 18 cilindros. Estos cilindros fueron fallados a los 7 días, 14 días y 28 días. Estos cilindros luego fueron fallados para determinar su resistencia a la compresión la cual se ve con mayor detalle más adelante con las pruebas de laboratorio realizadas.

3.4.2 Muestra

En esta investigación las muestras obtenidas van a ser iguales a la población. Esto se debe a que no es sencillo realizar una selección de especímenes ya que la población es lo suficientemente pequeña como para someter todos los cilindros realizados para sus debidas pruebas. Cada uno de los cilindros realizados se debe fallar y someter a estas pruebas para poder determinar unos resultados conclusos.

3.4.3 Confiabilidad de una muestra

Se tiene una cantidad de especímenes en la cual se debe mantener una buena confiabilidad, esto debido a que esto es esencial para mantener datos obtenidos lo más precisos posibles para que puedan ser repetibles estos resultados y que las únicas variables que tengan algún cambio sean las diferencias en las cantidades de agregados. En este caso se está buscando una confiabilidad igual o mayor a un 95% en relación con los resultados obtenidos.

La confiabilidad de una muestra va a depender del margen de error a la hora que se realicen los cilindros. Además de que este tiene que estar por dentro del rango permisible para la cantidad de población requerida.

Además el margen de confiabilidad depende del nivel de confianza que se tenga dentro de la creación de estos cilindros. Con esto se determina la seguridad de una forma estadística de la muestra.

3.5 Instrumentos y técnicas utilizadas en la recolección de los datos

La investigación será desarrollada dentro de la Universidad Latina de Costa Rica en las instalaciones de el laboratorio de materiales. En la Universidad se facilitará el equipo para la realización del proyecto. Además se brindo el personal adecuado para la realización y el control de calidad del los especímenes de el concreto.

En la Universidad se encuentra equipo altamente calificado igual que personal sumamente calificado los cuales se aseguraron de que se siguieran las normativas INTECO y ASTM al pie de la letra.

Plan de ensayos:

Descripción del ensayo	Normativa
Determinación del contenido total de humedad evaporable en agregados con secado	INTE C71 – ASTM C556
Método de ensayo estándar de asentamiento de concreto fresco cono Abrams	ASTM C143
Práctica estándar para fabricar y curar especímenes de prueba de concreto en obra	ASTM C31
Resistencia a la compresión uniaxial de especímenes cilíndricos de concreto	INTE C39 – ASTM C39

Tabla 6 Ensayos por Realizarse.

3.5.1 Diseño de mezcla

Para este Proyecto uno de sus objetivos es la creación de un diseño de mezcla. Gracias a un diseño de mezcla podemos determinar la cantidad de agregados que se necesitan para elaborar una mezcla de concreto que pueda soportar una cierta cantidad de fuerza. En este caso se pretende realizar un diseño de mezcla que cuente con una resistencia de 210 kg/cm² con una sustitución del 25% de agregado grueso por vidrio y 25% de agregado fino sustituido por vidrio. Se busca realizar

ensayos que nos den un valor para contenido de humedad, asentamiento, fabricación y resistencia de los cilindros propuestos. Se van a realizar ensayos a los 7, 14 y 28 días. Estos especímenes van a tener forma de cilindro y se van a alinear con la normativa ASTM C39.

Es importante saber las especificaciones de los materiales por utilizar. Por esto se utilizaron agregados que fueron examinados anteriormente mediante un laboratorio para determinar las propiedades de estos agregados. Estos elementos fueron sometidos a estas pruebas por el fabricante o el quebrado que provee estos materiales. En este caso tenemos la gravedad específica del cemento bajo los lineamientos de la normativa ASTM C188. Granulometría de los agregados (ASTM C136), Gravedad específica y absorción de los agregados (ASTM C127 y C128). Peso volumétrico de los agregados (ASTM C29) y el contenido de humedad de los agregados (ASTM C566) la cual es evaluada en el laboratorio de la Universidad Latina de Costa Rica.

En esta investigación se buscan comparar los resultados de las resistencias y sus tipos de fallas. Se pretende determinar si el concreto adicionado con vidrio es un efecto beneficioso o negativo para una mezcla de concreto. Este proceso de diseño esta tomando en cuenta los materiales del concreto.

Este diseño de mezcla utiliza la norma ACI 211 como base la cual esta basado en la normativa ASTM C33. Este tipo de diseño de mezcla fue visto durante la carrera de ingeniería civil en el curso de materiales de construcción en donde se utiliza un diseño de mezcla similar. De acuerdo con esta normativa se pretende determinar las mezclas del concreto, cemento, agua, piedra y arena por peso y volúmenes y esto para un diseño de mezcla en estado fresco para su endurecimiento luego.

En un diseño se deben tomar en cuenta todas las características que conforman una mezcla de concreto como se hablo anteriormente. Cada proyecto va a tener características que lo convierten en algo sumamente diferente los unos con los otros y que hay que tomar en cuenta como por ejemplo: clima, tiempo, costos, temperatura, humedad, tipos de materiales utilizados, etc. Mediante un diseño de mezcla se pretenden estandarizar estos materiales y poder hacer una mezcla de concreto lo mas precisa posible. Algunos de los capítulos que se toman en cuenta para un diseño de mezcla son lo siguiente:

- Factor de seguridad

- Tipo de dosificación y control de calidad
- Tipo de revenimiento
- Selección de tamaño máximo nominal del agregado
- Ingresar las características de los agregados
- Cantidad de aire deseada para la mezcla
- Calculo del contenido de agua
- Estimación de la proporción agua/cemento
- Calculo del contenido de cemento
- Proporciones de los agregados sin corregir
- Ajustes por humedad en el ambiente
- Ajustes por agua incluida en los agregados
- Finalmente, ajustes de la mezcla de concreto.

3.5.2 Determinación del contenido total de humedad evaporable en agregados con secado (INTE C71 – ASTM C556)

Esta norma nos da a entender que se establece un método para realizar un ensayo en donde se busca determina la humedad evaporable de una muestra de un agregado. Esta muestra se tiene que someter al secado tanto de la humedad superficial así también como la humedad acumulada en sus poros. Los agregados pueden retener humedad dependiendo de como haya sido almacenado, como se haya extraído etc. Los valores para esta investigación van a ser tomados gracias al sistema internacional de Unidades. (Inteco2020).

Se tomaron muestras tanto como de los agregados finos y grueso aleatoriamente. De cada una de estas muestras se deben utilizar 500 gramos de agregado grueso y 500 gramos de agregado fino. En este caso tenemos dos sacos de agregado grueso y dos sacos de agregado fino. Se obtuvo una muestra de 500 gramos de cada uno de los sacos. Por lo que tenemos dos muestras de 500

gramos para agregado grueso y dos para agregado finos. Este proceso no fue realizado para el vidrio a pesar de lo que estamos usando para sustituir agregado grueso y fino. Esto es debido a que el vidrio no absorbe agua como lo hacen las rocas y la arena.

Recolección de agregado fino:



Ilustración 5. Fuente Propia.

Recolección de agregado grueso:



Ilustración 6. Fuente Propia

Para poder obtener el porcentaje de humedad que se tiene en cada uno de los agregados se debe realizar la siguiente formula. Gracias a esta formula vamos a poder determinar el porcentaje de humedad para luego utilizarlo en nuestro diseño de mezcla, una vez lo tengamos lo podemos utilizar para corregir con seguridad la cantidad de agua que tenemos que utilizar para nuestra mezcla de concreto. Generalmente en estas correcciones se debe restar agua del total de agua obtenido en el diseño de mezcla debido a que los agregados aportan una cierta cantidad de agua.

Ecuación 1

$$\%W = \left(\frac{Wr - Wd}{Wd} \right) * 100$$

Esta formula se entiende de la siguiente forma:

- %W: Es el porcentaje de humedad del agregado
- Wr: Es el peso inicial de las muestras obtenidas de agregado grueso y fino. (Gramos)
- Wd: Es el peso seco de la muestra luego de pasar 24 horas en el horno a una temperatura de 110 grados Celsius.

Es importante recordarse que para obtener un resultado preciso de las diferencias de peso en el antes y el después se debe pesar cada una de las bandejas vacías. Se debe anotar el peso vacío de las bandejas y luego se debe restar el peso de las bandejas al peso total que vamos recolectando. Se busca estar lo más cercano a los 500 gramos por muestra sin el peso de la bandeja incluido.

El equipo utilizado para este laboratorio son las bandejas, el horno, una balanza y una cuchara la cual es opcional para recolectar los agregados y añadirlos a las bandejas.

Colocación de las muestras en el horno:



Ilustración 7 Fuente Propia

3.5.3 Método de ensayo estándar de asentamiento de concreto fresco cono Abrams Determinación del contenido total de humedad evaporable en agregados con secado (ASTM C143 – INTE C143)

Mediante este método de ensayo se busca obtener el asentamiento de un concreto hidráulico. Este método de ensayo se puede aplicar dentro de un laboratorio en el campo. En otras palabras se busca el revenimiento actual de la mezcla del concreto. Gracias a esto podemos determinar el asentamiento, conocer la trabajabilidad, y su manejabilidad. Este método es aplicable al concreto en estado fresco, es idea realizarlo justamente directamente luego de que es mezclada la mezcla de concreto. Se espera que haya un tamaño nominal máximo de agregados de 37.5 milímetros. Cualquier tamaño más grande de esto estaría afuera de la especificación de la norma. En este caso sería aplicable para esta investigación.

A continuación, se define el equipo necesario para llevar a cabo este laboratorio.

Equipo:

- Cono Abrahams (ASTM 2017)

El cono abrahams que se utiliza para este laboratorio debe tener algunas características que son especificadas en esta normativa. Este debe ser de metal para que este no tenga reacciones con el concreto, debe tener un grosor mínimo de 1.5 milímetros. Este molde también debe tener su forma lateral como la de un cono truncado. Su base debe ser de 200 mililitros de diámetro y su sección posterior debe tener 100 milímetros de diámetro, una altura de 300 milímetros es requerida para este cono. Es importante tomar en consideración que todas estas dimensiones deben estar dentro de una tolerancia de +- 3 milímetros.

Ambas secciones del cono tanto como la base como su sección superior deben estar abiertas y ser paralelas entre sí, estas deben formar un Angulo longitudinal recto sobre el eje del cono. Este molde conico debe cumplir con la forma, altura, requisitos de las

dimensiones mostradas en la siguiente imagen. (Ilustración 8 Dimensiones Cono Abrahms)

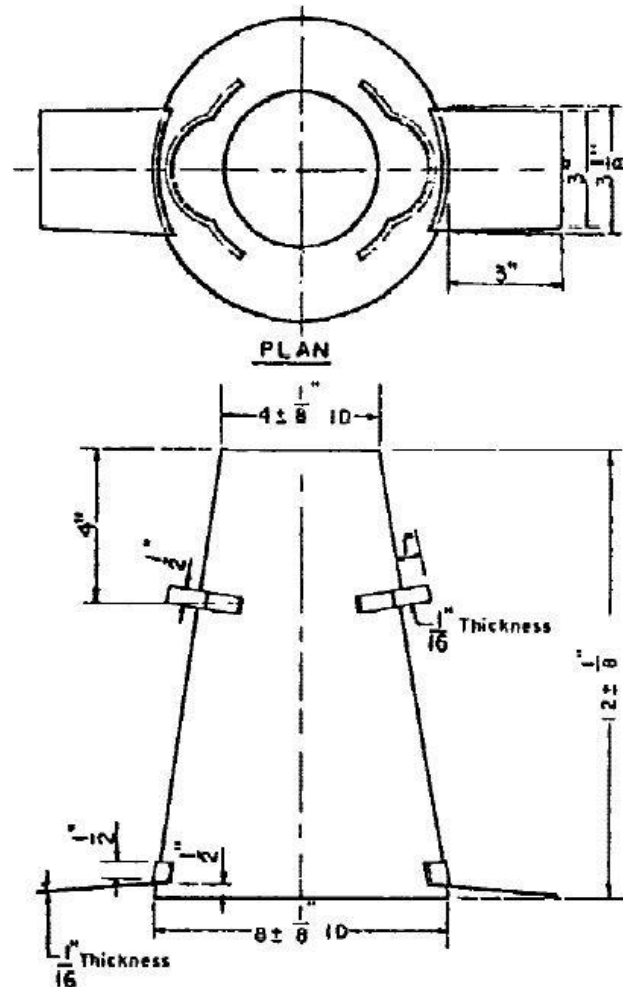


Ilustración 8 Dimensiones Cono Abrahms

Fuente: (C143, 2022)

- Varilla apisonadora

Esta varilla es utilizada para comprimir la mezcla de concreto. Popularmente en Costa Rica se le llama “en varillar” la mezcla de concreto. La normativa establece que esta varilla debe tener un diámetro de 16 milímetros y una longitud aproximada de 600 milímetros. Se busca que cada punta de esta varilla tenga un extremo redondeado. Se puede utilizar

una varilla que tenga solamente un lado redondeado. A continuación, hay una imagen en donde se puede apreciar las formas semi-redondas de la varilla apisonadora. (Ilustración 9)



Ilustración 9 Varilla Apisonadora (*Pinzuar, 2022*)

- Dispositivo de medición:

Se debe utilizar un dispositivo de medición ya sea una regla o cinta métrica preferiblemente enrollable. Esta debe tener por lo menos incrementos marcados cada 5 milímetros o menos. La longitud del dispositivo debe ser por lo menos de 30 centímetros. Como se muestra continuación (Ilustración 10)



Ilustración 10 Cinta Métrica (EPA, 2022)

- Cucharón para recolección de muestras

Este instrumento lo utilizamos para recolectar las muestras de la mezcla de concreto.

Procedimiento

El procedimiento a continuación describe como realizar el ensayo de asentamiento utilizando el cono abrahms. Este procedimiento se debe adherir a lo que estipula la normativa ASTM C143 (2017^a)

1. Primero se debe humedecer el molde del cono y se debe colocar en una superficie plana. En este caso contamos con un cono abrahms que cuenta con una superficie metálica en donde se puede colocar junto con el cono.
2. Debemos extraer el concreto de la batidora de concreto que se utilizo en esta investigación. El concreto es vertido en un carretillo para poder llenar el molde en sus distintas capas. Este molde debe ser llenado en 3 capas aproximadamente cada tercio del volumen del cono.

3. Se debe distribuir la mezcla de concreto dentro del molde lo más uniforme posible, esta mezcla de se debe mover alrededor del cono para obtener una distribución uniforme del concreto.
4. Luego de añadir la mezcla de concreto al cono se debe varillar cada una de las 3 capas. Se debe varillar 25 veces siendo uniformes en toda la sección transversal de la capa. Para la primera capa es necesario inclinar la varilla para poder varillar uniformemente la mezcla de concreto. Los golpes se deben dar en una forma de espiral.
5. Una vez que fue consolidada la mezcla de la primera capa con sus 25 golpes con la varilla se vierte la segunda capa. Se realiza el mismo procedimiento que se hizo con la capa una pero teniendo en cuenta que se debe tener un ingreso máximo de la varilla de 25 milímetros. Esto con el fin de no penetrar la primera capa.
6. La tercera capa se realiza el mismo procedimiento al anterior paso, sin embargo al ser el ultimo es importante que se debe emparejar la superficie del concreto y la punta del cono. Se utiliza la varilla para dejar lo más plano posible el concreto con el cono. En caso de que luego de haber varillar quede el concreto por debajo de la línea del cono se debe agregar más concreto hasta que quede plano.
7. Se debe mantener el cono en el molde y debe ser sujetado por ambos extremos para poder extraer la mezcla del molde.
8. El molde debe ser retirado inmediatamente a una altura aproximada de 30 centímetros en 5+- 2 segundos. Hay que tomar en cuenta que no se debe desplazar en algun otro angulo que no sea vertical porque puede influir en la prueba.
9. La prueba no se puede interrumpir desde el inicio hasta el final, el total del proceso debe durar aproximadamente 2 minutos y medio.
10. Inmediatamente luego de remover el cono de la mezcla de concreto se debe medir el asentamiento que se esta buscando. Eso se realiza volteando el cono metálico al revés y poniéndolo a la par del concreto que se puso dentro del cono.
11. Se debe medir con la cinta métrica la diferencia de altura entre el molde metálico y la mezcla de concreto.
12. Se debe reportar el asentamiento del espécimen en milímetros con una aproximación de 5mm al más cercano.

A continuación se muestra una imagen que describe brevemente los pasos del ensayo:



Ilustración 11 Diagrama ASTM C143 (Engineer, 2021)

3.5.4 Práctica estándar para fabricar y curar especímenes de prueba de concreto en obra (ASTM C31)

Todos los especímenes que se vayan a realizar para esta tesis se tienen que formar mediante la normativa ASTM C31. Esta normativa toma en cuenta procedimientos de como fabricar y curar cilindros de concreto que se van a utilizar para comparar los resultados entre los cilindros con vidrio agregado y los cilindros sin vidrio agregado. Si la preparación de estos cilindros se lleva a cabo adecuadamente significa que los resultados van a poder ser repetibles dentro del laboratorio así como en cualquier parte del mundo, para fines como ensayos de aceptación para una resistencia específica estos cilindros son ideales. Mediante estos instrumentos obtenemos una apta determinación de si una estructura es ideal para ponerse en servicio y comparación de resultados.

Equipo

- **Moldes:** Los moldes que se van a utilizar para este laboratorio deben ser hechos de un material que no vaya a tener ninguna reacción con la mezcla de concreto en especial con el cemento portland y sus agregados. En este caso los moldes son de hierro fundido para prevenir que esto suceda. Además los moldes deben mantener su forma durante todo el proceso de curado de los especímenes. Estos moldes deben ser herméticos al ser expuesto al agua, además de tener dos agujeros uno en la parte superior y otro en la parte inferior del molde. Una placa de hierro debe ser utilizada para sellar la parte de abajo con el molde para prevenir que salgan los agregados del molde.

Los moldes también deben ser cubiertos con algún aditivo para prevenir que se adhieran a las paredes del molde. En este caso se utilizó un aditivo para prevenir que las paredes se adhieran al concreto. (American Society for Testing and Material, 2021A)

- **Moldes cilíndricos:** Estos moldes deben cumplir con la normativa (American Society for Testing and Material, 2021A)

- Varilla de compactación: Esta debe estar compuesta de una varilla redonda, recta de acero con unas dimensiones que se deben conformar a la siguiente tabla según (American Society for Testing and Material, 2021A)

Tabla 7 Requisitos de varillas de compactación.

Diámetro de cilindro	Dimensiones de la varilla	
	Diámetro (mm)	Longitud (mm)
150	10	300
150	16	500
225	16	650

- Fuente: ASTM C31
- Mazo: Se debe utilizar en este caso un mazo de goma para poder vibrar el concreto dentro de los moldes. En este caso el peso debe estar en 0.6 kg +/- 0.2kg (American Society for Testing and Material, 2021A)
- Llenado de moldes: Se deben utilizar instrumentos para poder recolectar el concreto y poder verterlo dentro de los moldes que se van a utilizar para este laboratorio. En este caso se utilizaron cilindros de 150 mm de altura por 10 mm de diámetro. (American Society for Testing and Material, 2021A)
- Herramientas de acabado: Se debería utilizar una herramienta como una llana de mano para darle forma a la superficie. (American Society for Testing and Material, 2021A)
- Recipiente de muestreo: El recipiente debe ser una batea de lamina gruesa de metal o algún carretillo no absorbente. (American Society for Testing and Material, 2021A)
- Aparatos de contenido de humedad en el aire: Se debe utilizar un dispositivo que pueda medir la cantidad de humedad en el ambiente para tomarlo en cuenta a la hora de agua en el aire. (American Society for Testing and Material, 2021A)

- Medidor de temperatura: Es importante tener un dispositivo que mida la temperatura del ambiente.

Requerimientos del ensayo

- Especímenes cilíndricos: Estos cilindros para que obtengan su resistencia a la compresión deben colocarse y fraguarse de manera vertical. La longitud debe ser 3 veces la del diámetro. Este diámetro se determina gracias a que este debe ser 3 veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso. Por lo tanto los cilindros utilizados van a tener una dimensión de 15 centímetros por 30 centímetros de tamaño. (American Society for Testing and Material, 2021A).
- Técnicos de obra: Estos técnicos de obra que preparan y curan los especímenes para ensayos deben tener al menos una certificación ACI de tipo I o equivalente de acuerdo con la normativa (American Society for Testing and Material, 2021A).

Procedimiento

- Moldeado de los especímenes cilíndricos: Se debe seleccionar una varilla de compactación adecuada según la tabla anterior que nos indica como seleccionar una varilla adecuada. Los requisitos sobre la compactación en varilla se encuentran en la Tabla 9. En la tabla 8 podemos determinar el método de compactación a utilizar. Si se va a usar el método de compactación por vibración se determinan los requisitos de moldeado con la Tabla 10. (American Society for Testing and Material, 2021A).
- Moldeo: Los especímenes deben ser moldeados en una superficie sólida nivelada. Esta superficie debe estar libre de vibraciones y de otras perturbaciones. (American Society for Testing and Material, 2021A).

Requisitos para el método de compactación	
Asentamiento (mm)	Método de Compactación
≥ 25	Varillado o vibración
< 25	Vibración

Tabla 8 (American Society for Testing and Material, 2021A)

Requisitos de moldeado por varillado		
Tipo y tamaño espécimen	Número de capas de igual pro-fundidad	Número de golpes de varilla por capa
	Cilíndricos	
Diámetro (mm)		
100	2	25
150	3	25
225	4	50

Tabla 9 (American Society for Testing and Material, 2021A)

Requisitos de moldeado por vibración		
Tipo y tamaño espécimen	Número de capas de igual profundidad	Número de golpes de varilla por capa
	Cilíndricos	
Diámetro (mm)		
100	2	25
150	3	25
225	4	50

Tabla 10 (American Society for Testing and Material, 2021A)

Curado

- Curado inicial: Una vez después de moldear los especímenes se deben almacenar en un periodo de al menos 48 horas, estos especímenes deben estar en un rango de temperatura entre 16 y 27 grados centígrados. Es ideal que los especímenes se encuentren en un ambiente en el que se pueda prevenir la pérdida de humedad. En el caso de proyecto se cuenta con una cámara húmeda en la universidad la cual nos ayuda al fraguado correcto de los especímenes. A continuación se muestra los especímenes en su proceso de curado inicial.



Ilustración 12 Curado Inicial de especímenes.

- Curado Final: Una vez los especímenes han completado el ciclo de curado luego de las 48 horas requeridas se tienen 30 minutos para ingresar el espécimen dentro de un tanque de almacenamiento con agua o en este caso un cuarto de humedad. El agua debe estar a una temperatura de 23 grados centígrados \pm 2 grados. A continuación se muestra una imagen de los especímenes de colocados en la cámara húmeda para su curado:



Ilustración 13 Curado final de los especímenes

3.5.5 Método de ensayo estándar de resistencia a la compresión de cilindros de concreto (ASTM C39 – INTE C39)

En este ensayo se toma en cuenta las especificaciones de la normativa ASTM C39 así como la normativa INTE C39 la cual es aplicable a nuestro país. Esta normativa esta relacionada a la resistencia de la compresión de un cilindro de concreto. Se va a describir el equipo necesario para realizar este procedimiento sus cálculos y los resultados que nos da esta prueba. Estos cilindros fueron creados durante el ensayo de la norma ASTM C31.

Equipo

Máquina de ensayo o prensa hidráulica: La maquina de ensayo debe estar calibrada según la normativa ASTM E4. La calibración de este equipo se debe realizar cada 13 meses o si se tiene alguna incertidumbre de la precisión de la máquina. A continuación, se muestra una imagen del equipo utilizado para medir la compresión de los cilindros.



Ilustración 14 Maquina de compresion de cilindros de concreto

Procedimiento:

El procedimiento detallado a continuación es esta alineado con la normativa (American Society for Testing and Material, 2021A). (ASTM C39)

Antes de iniciar el ensayo:

- Primero se debe tomar la muestra del concreto. Esta muestra debe estar dentro de las especificaciones ASTM. En este caso el cilindro debe estar perpendicular al borde del cilindro con una variación menos a los 0.5 grados de inclinación. Debe variar menos de 1 milimetro por cada 100 milimetros.

- Se debe medir el diámetro de los cilindros en dos lugares diferentes y se deben descartar si el diámetro vario en más de un 2 por ciento.
- Se deben pulir, esmerilar arreglar su acabado de acuerdo con la norma ASTM C617. Estos especímenes deben tener sus extremos planos dentro de un 0.05 milímetros.
- Se debe medir la longitud del espécimen. Para esta medición debe haber una precisión de 1 milímetro en tres lugares diferentes alrededor de la circunferencia del cilindro.

Inicio del ensayo:

- Una vez que verificamos las especificaciones de los cilindros podemos iniciar con el ensayo. El cilindro por utilizar se debe fallar inmediatamente luego de sacar el cilindro de la cámara húmeda o del reservorio de agua donde se encuentre.
- Los especímenes deben mantener su humedad durante todo el proceso. En ningún momento se deben sacar del agua o de la cámara húmeda hasta que vayan a ser utilizados para su fallo.
- Todos los especímenes que van a ser ensayados deben tener una edad como muestra la siguiente tabla (Tabla 11). Se debe seguir estrictamente este rango de tiempo debido a que variaciones en edad de los cilindros pueden afectar la resistencia y sus resultados finales.

Edad del ensayo	Tolerancia Permisible
24 horas	2.1%

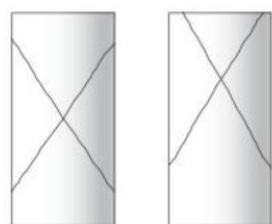
3 días	2.8%
7 días	3.6%
28 días	3%
90 días	2.2%

Tabla 11 Tolerancia de edades de los especímenes (American Society for Testing and Material, 2021A)

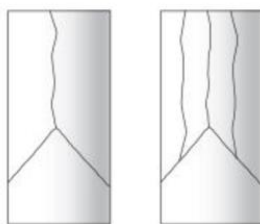
Los porcentajes que están indicados dentro de la tabla es el margen de tolerancia de las edades de cada cilindro. Por lo que la tolerancia para 24 horas estaría dentro de la especificación dentro de un rango de 0.5 horas.

- Antes de utilizar la prensa hidráulica se deben limpiar los soportes que se van a utilizar para sostener los cilindros.
- Se colocan los cilindros dentro de los bloques de soporte.
- Se debe asegurar que los ejes del cilindro están alineados con los de la prensa hidráulica para garantizar una distribución uniforme de los cilindros.
- Se verifica que el indicador de carga de la prensa hidráulica se encuentra en cero.
- Se acercan los soportes superiores de la prensa hidráulica para iniciar la prueba.
- Una vez la maquina se encuentra en posición podemos comenzar con la prueba.
- La carga aplicada debe ser de manera continua con un rango de velocidad alrededor de los 0.05 mega pascales por segundo \pm 0.25 mega pascales por segundo.
- Aplicar carga hasta obtener un fallo del cilindro.

- Reportar la carga máxima soportada por el cilindro.
- Se debe tomar en cuenta el tipo de falla del cilindro. Esto se hace basado en la imagen a continuación proporcionado por la norma.



Type 1
Reasonably well-formed cones on both ends, less than 1 in. (25 mm) of cracking through caps



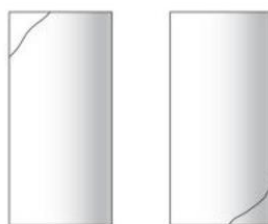
Type 2
Well-formed cone on one end, vertical cracks running through caps, no well-defined cone on other end



Type 3
Columnar vertical cracking through both ends, no well-formed cones



Type 4
Diagonal fracture with no cracking through ends; tap with hammer to distinguish from Type 1



Type 5
Side fractures at top or bottom (occur commonly with unbonded caps)



Type 6
Similar to Type 5 but end of cylinder is pointed

Ilustración 15 Tipos de falla para cilindros de concreto – Fuente: (American Society for Testing and Material, 2021A) – ASTM C39

Calculos

Se deben realizar los cálculos necesarios conforme la norma ASTM C39:

- Calculo de la fuerza de compresión. Esta debe tener una precisión de 0.1 Mega pascales.
Para calcular esta fuerza se utiliza la siguiente formula:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

σ = Es equivalente al esfuerzo de compresión

F= Es igual a la carga máxima soportada por el cilindro

A= Es igual al área superior del cilindro.

- Se debe tomar en cuenta la relación longitud diámetro (L/D) la cual debe ser menor 1.75. Si este se encuentra fuera de este rango se deben utilizar los valores que contiene la siguiente tabla. (Tabla 12).

Corrección por L/D				
L/D	L/D	L/D	L/D	L/D
1.75	1.75	1.75	1.75	1.75

Tabla 12 Factores de Correccion ASTM C39 (*American Society for Testing and Material, 2021A*)

- La información debe ser registrado de acuerdo con la siguiente tabla (Tabla 13)

Formato para almacenar resultados del ensayo							
Número de identificación	Diámetro promedio	Área sección transversal	Carga máxima	Esfuerzo de compresión	Tipo de falla	Edad	Densidad
-	Cm	Cm ²	Kn	Mpa	-	Días	Kg/m ³

Tabla 13 Almacenamiento de datos para el ensayo (*American Society for Testing and Material, 2021A*)

- Se debe calcular la densidad del espécimen redondeando a los 10 kilogramos por metro cúbico más cercanos. Esto se compone de la siguiente fórmula:

$$D = \frac{W}{V}$$

W= Masa del espécimen (Unidades en kilogramos)

V= Volumen del espécimen (Unidades en metros cúbicos)

D= Densidad del espécimen

3.6 Confiabilidad y validez de los instrumentos utilizados durante la investigación.

Los resultados que se van a recolectar en esta investigación dependen del equipo utilizado gracias a los laboratorios de la universidad. En este caso se van a realizar 12 cilindros. Estos 12 cilindros se van a dividir en 6 cilindros de concreto los cuales no tienen concreto incluido. Los otros 6 cilindros van a utilizar vidrio en su mezcla, estos cilindros además van a sustituir un 25% de su agregado fino por vidrio considerado fino y 25% de vidrio considerado agregado grueso.

En este caso se verifico que los equipos de la universidad estuvieran calibrados. En este caso se toma en cuenta que este calibrado las balanzas, así como la prensa hidráulica. Es importante asegurarse que las balanzas se encuentren calibradas debido a que por el tipo de diseño de mezcla que se utilizó durante esta investigación tomamos en cuenta los pesos de los agregados utilizados para crear esta mezcla. La prensa hidráulica se verifico que estuviera calibrada y en este caso se observó que su calibración fue el 7 de junio del año 2022. Esto se adhiere a las especificaciones ASTM que nos indica que debe estar dentro de un rango de 13 meses aproximadamente o cuando se vea comprometidos los resultados.

3.7 Procedimiento para la elaboración del proyecto propuesto.

3.7.1: Anteproyecto

En la primera fase de este proyecto se busca más información relacionada al tema propuesto. En este caso se busca información que soporten el tema propuesto así como la delimitación del proyecto y los objetivos principales que se desean analizar para esta investigación. Se hizo un estudio preliminar de fuentes de información relacionado al tema de investigación. Esta información fue buscada en tesis, revistas, libros, noticias, laboratoristas de la Universidad e ingenieros con conocimiento en la materia.

Una vez que se recolecto la información necesaria para apoyar el uso de vidrio molido en una mezcla de concreto se procede a la realización de la segunda parte del proyecto. Además, durante esta fase del proyecto se propone un cronograma de actividades para la realización de los laboratorios.

3.7.2: Diseño de mezcla

En esta segunda fase del proyecto se realiza un diseño de mezcla para un concreto que tenga una resistencia a la compresión de 210 Kg/cm². En el diseño de mezcla se debe de tomar en cuenta que el vidrio es un material que no va a permitir la absorción de agua como lo haría un agregado grueso o fino por lo que se debe considerar reducir el agua a la hora de realizar el diseño de mezcla.

Una vez que tomamos en consideración estos factores realizamos el diseño de mezcla para 6 cilindros sin vidrio molido y 6 cilindros que se van a utilizar con vidrio molido incluido.

Se decidió por 6 cilindros sin vidrio y 6 con vidrio para comparar al resistencia de un concreto que es fabricado de la forma tradicional, es decir sin vidrio molido solamente incluyendo: piedra, arena, cemento y agua. La resistencia de estos cilindros va a ser comparada a los 7, 14y 28 días de su elaboración. De esta forma podemos comparar más de cerca dos mezclas de concreto que utilizan los mismos materiales para su elaboración excepto por el vidrio molido.

También fue decidido durante esta etapa del anteproyecto que se va a sustituir un 25% de agregado grueso y 25% de agregado fino por vidrio. Así como fue la determinación que se debe separar el vidrio en agregado grueso y fino.

3.7.3 Ensayos de laboratorio

En el tercer paso del procedimiento fue investigar y proponer ensayos de laboratorio que fueran unos buenos indicadores de la resistencia del material propuesto durante esta investigación. Se determino que los mejores ensayos de la laboratorio que se podían ejecutar para este proyecto serian. El ensayo INTE C71 el cual nos ayuda a determinar la cantidad total de humedad dentro de los agregados utilizados para medir correctamente el agua que se tuvo que agregar en el diseño de mezcla. Se realizo también el ensayo INTE C143 para determinar el asentamiento del concreto fresco y verificar si la cantidad de agua utilizada fue el correcto para el tipo de revenimiento buscado.

Una vez fue verificado que el revenimiento en el ensayo INTE C143 es el correcto procedemos a realizar el ensayo ASTM C31 (INTE C19:2019), mediante este ensayo de laboratorio nos garantizamos que realizamos especímenes de concreto que podemos utilizar para medir la resistencia adecuadamente de nuestro concreto a los 7, 14, 22 y 28 días.

Por último tenemos la realización de el ensayo de resistencia de los cilindros formados en la norma ASTM C31 (INTE C19:2019). En este ensayo ASTM C39 (INTE C39) se realizan las pruebas de resistencia. Cabe recalcar que antes de realizar este ensayo los cilindros formados durante la norma ASTM C31 se mantienen en un cuarto húmedo mientras estos son fraguados.

3.7.4 Resultados y análisis de resultados

En esta siguiente fase se recolectan los resultados obtenidos en el laboratorio y se realiza un análisis de estos resultados para dar una respuesta concreta de si estos resultados se conforman

12.Defensa del trabajo final de graduación																
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Tabla 14 Cronograma de Actividades

3.8.1 Fechas de los ensayos

Actividad	Fecha de inicio	Fecha final
Confirmar cronograma de los ensayos	Jueves 15 de Setiembre	Jueves 15 de Setiembre
Diseño de mezcla	Viernes 16 de Setiembre	Domingo 18 de Setiembre
Investigación y recolección de agregados (grueso, fino, cemento)	Martes 20 de Setiembre	Miércoles 21 de Setiembre
Recolección y quiebre de vidrio para obtener vidrio molido	Viernes 22 de Setiembre	Sábado 23 de Setiembre
Charla técnica con el laboratorista de la Universidad acerca los ensayos propuestos	Miércoles 28 de Setiembre	Miércoles 28 de Setiembre
Elaboración de ensayo de humedad (INTE C71-ASTM 566)	Jueves 29 de Setiembre	Viernes 30 de Setiembre
Elaboración de mezcla de concreto <i>CON</i> vidrio molido incluido y de los laboratorios ASTM C143, C31 y C39)	Jueves 6 de Octubre	Viernes 7 de Octubre
Elaboración de mezcla de concreto <i>SIN</i> vidrio molido incluido y de los laboratorios ASTM C143, C31 y C39)	Lunes 11 de Octubre	Martes 12 de Octubre

Tabla 15 Fechas en las que se realizaron las actividades

3.8.2 Fechas de fallos de cilindros

Actividad	Fecha de inicio	Fecha final
Fallo de los cilindros fabricados CON vidrio a los 7 días	14 de Octubre	14 de Octubre
Fallo de los cilindros fabricados SIN vidrio a los 7 días	18 de Octubre	18 de Octubre
Fallo de los cilindros fabricados CON vidrio a los 14 días	21 de Octubre	21 de Octubre
Fallo de los cilindros fabricados SIN vidrio a los 14 días	25 de Octubre	25 de Octubre
Fallo de los cilindros fabricados CON vidrio a los 21 días	28 de Noviembre	28 de Noviembre
Fallo de los cilindros fabricados SIN vidrio a los 21 días	1 de Noviembre	1 de Noviembre
Fallo de los cilindros fabricados CON vidrio a los 28 días	04 de Noviembre	04 de Noviembre
Fallo de los cilindros fabricados SIN vidrio a los 28 días	8 de noviembre	8 de Noviembre

Tabla 16 Fechas de fallo de los especímenes

CAPITULO IV – RESULTADOS

RESULTADOS

4.1 Obtención del vidrio molido

De acuerdo con la fundamentación teórica de esta investigación se indica que vamos a utilizar vidrio molido para la creación de esta mezcla de concreto. Para este proceso se recolecto pedazos de vidrio que se iban a utilizar para desecho. Una vez fue obtenido este vidrio se procede a moler este vidrio. A continuación, se presentan capturas de los resultados del proceso.

Vidrio antes de moler



Ilustración 16: Baldes con vidrio sin moler. Fuente propia

Para obtener el vidrio molido deseado en este caso se utilizó un taladro eléctrico junto a una llave Allen para romper el vidrio y poder triturarlo dentro de los mismos baldes. Se utilizo equipo de seguridad y una cobertura encima del balde para prevenir que los pedacitos de vidrio salieran de este mismo.



Ilustración 17 Balde con vidrio molido. Fuente propia

Antes de comenzar con el diseño de mezcla para esta investigación debemos obtener los agregados requeridos (cemento, piedra, arena) para realizar una mezcla de concreto. En este caso los agregados obtenidos tienen sus debidas pruebas de laboratorio para así poder garantizar que la diferencia va a ser el vidrio molido en las pruebas finales.

Una vez obtenidos los materiales iniciamos con las pruebas en el laboratorio de la universidad.

4.2 Determinación de humedad en agregados - INTE C71

A continuación se presentan los resultados del ensayo de laboratorio INTE C71, realizado en la Universidad Latina de Costa Rica. En este caso la arena fue obtenida del quebrador de guacalillo, la piedra de de 25 milímetros fue obtenida gracias a cerro minas. En la sección de anexos se pueden verificar los ensayos de laboratorio proporcionadas por cada uno.

Muestras de 500g para cada saco de piedra

Muestra	Piedra Peso Húmedo (g)	Piedra Peso Seco (g)	Diferencia Seco - Húmedo (g)	% de humedad
#1	499.8	464.6	35.2	7.0
#2	511.5	476.3	35.2	6.9
			% Humedad Promedio	7.0

Tabla 17 Resultados INTE C71 Piedra – Fuente Propia

Muestras de 500g para cada saco de arena

Muestra	Arena Peso Húmedo (g)	Arena Peso Seco (g)	Diferencia Seco - Húmedo (g)	% de humedad
#1	500.2	441.6	58.6	11.7
#2	485.7	427.1	58.6	12.1
			Promedio	11.9

Tabla 18 Resultados INTE C71 Arena – Fuente Propia

4.3 Resultados de agregados

4.3.1 Vidrio Molido

A continuación, se va a presentar el análisis granulométrico realizado en la Universidad Latina de Costa Rica en relación con el vidrio molido obtenido anteriormente. Se debió realizar esta prueba debido a que en la teoría se pretende sustituir en un 25% la arena y la piedra por vidrio molido, como se vio en la sección teórica podemos determinar como un agregado grueso aquel material que es retenido por la malla #4 (4.75 mm).

En este caso para el grueso buscamos utilizar aquel vidrio retenido en malla de 12.5 milímetros y malla de 4.75 milímetros, mientras que para el agregado fino se va a utilizar todo aquel material pasando la malla 4.75 milímetros.

Tamiz	Porcentaje Pasando	Peso (g)
Malla 31.75 mm	100.0%	16688.86
Malla 25 mm	1.0%	166.00
Malla 19 mm	1.0%	173.70
Malla 12.5 mm	6.3%	1053.00
Malla 4.75 mm	51.3%	8557.26

Pasando 4.75 mm	40.4%	6738.90
-----------------	-------	---------

Tabla 19 Porcentaje Pasando Vidrio Molido

Se muestra una imagen del vidrio molido separado en agregado grueso y agregado fino.



Ilustración 18 Vidrio Molido Separado por Tamaños. Fuente Propia

4.3.2 Agregado Grueso

Seguidamente, se presenta el resultado granulométrico del agregado grueso utilizado durante esta investigación. Este agregado cumple con la normativa INTE 06-02-09-07 (ASTM C136).

Análisis Granulométrico INTE 06-02-09-07 (ASTM C136)

Tamiz	Límite Inferior	Limite Superior
Malla 25mm	100	100
Malla 19mm	59	84
Malla 12.5 mm	10	35
Malla 9.5 mm	0	15
Malla 4.75 mm	-	4
(#4)		
Malla 0.075	0	1
(#200)		

Tabla 20 Análisis Granulométrico Agregado Grueso – Fuente: Agregados Cerraminas S.A

Propiedades Físicas Agregado Grueso				
Propiedad	Según (ASTM)	Ensayo	Inte	Requisito
Humedad Evaporable	06-02-36-10	(566)		<5%
Perdida por lavado #200	06-02-12-08	(117)		<1%
Módulo de Finura	06-02-09-07	(136)		6.5-7.5
Peso Especifico	06-02-33-09	(127)		2.45-2.55
Absorción	06-02-33-09	(127)		<3.3%
Peso Unitario	06-02-21-08	(29)		> 1300 Kg/m ³
Abrasión B	06-02-27-08	(131)		< 20%
Sanidad	06-02-24-09	(88)		< 10%

Tabla 21 Propiedades Físicas Agregado Grueso – Fuente: Agregados Cerraminas S.A

4.3.3 Agregado Fino

A continuación se presentan los resultados obtenidos por parte de LGC INGENIERIA DE PAVIMENTOS, para el agregado fino utilizado. Se puede encontrar referencia al informe completo del laboratorio en la sección de anexos. Los primeros resultados obtenidos son los del análisis granulométrico el cual se muestra a continuación:

Análisis granulométrico de agregado fino

Tamiz	Pasando (%)	Especificaciones Segun CR - 2010
9.5mm	100	100
Num 4	98	80-100
Num 8	72	60-100
Num 16	50	40-85
Num 30	35	20-60
Num 50	24	10-45
Num 100	16	0-30
Num 200	11.3	0-18
Módulo de Finura	3.1	2.0-3.5

Tabla 22 Análisis granulométrico Agregado Fino - Fuente: LGC ingeniería de Pavimentos

Método de ensayo para equivalente de arena		
Parámetro	Resultado	Especificaciones Según CR-2010
Equivalente de Arena	71%	60% mínimo

Tabla 23 Método de ensayo para equivalente de arena - Fuente: LGC ingeniería de pavimentos

Peso Unitario

Suelto (kg/m3)	Envarillado (kg/m3)
1370	1500

Tabla 24 Método de ensayo para los pesos unitarios en agregados - Fuente LGC Ingeniería de Pavimentos

Contenido de humedad en suelos y agregados

Parámetro	Resultado
------------------	------------------

Contenido de humedad	7.50%
-----------------------------	-------

Tabla 25 Contenido de humedad en suelos y agregados - Fuente LGC ingeniería de pavimentos

Sanidad de agregados usando sulfato de sodio		
Fraccion	Resultado (%)	Especificaciones Segun CR-2010
Finos	8.30%	10% Maximo

Tabla 26 Sanidad de agregados usando sulfato de sodio - Fuente LGC ingeniería de pavimentos

Contenido de impurezas organicas en agregado fino		
Material	Resultado	Especificacion
Agregado	1. Mas claro color patron	Hasta 3 mas color patron
Fino	patron	patron

Tabla 27 Contenido de impurezas orgánicas en agregado fino - Fuente LGC Ingeniería de pavimentos

4.3.4 Cemento

El cemento portland utilizado en esta investigación se utiliza para elaborar la mezcla de concreto. A continuación, se presenta la información de la ficha técnica proporcionado por Holcim. Se puede ver en las secciones de anexos.

Marca	Holcim
Modelo	Fuerte
Tipo	MM/C (C-P)-28
Tiempo fragua inicial (min)	45
Tiempo fragua final (min)	420
Gbs	2.97

Tabla 28 Propiedades Físicas del Cemento – Fuente: Holcim

4.4 Diseño de mezcla sin vidrio molido

Cuando determinamos las características de los materiales por utilizar se puede proceder con el diseño de mezcla. En este caso se utilizó la metodología ACI 211.1 enseñada por la Universidad en el curso de Materiales de Construcción.

4.4.1 Características de los Agregados

Característica	Agregado Fino	Agregado Grueso	Cemento	Vidrio
Módulo de finura	3.10	7.00	xxx	xxx
Material pasando el tamiz #200 (%)	3.10	xxx	xxx	xxx
Tamaño Maximo Nominal (mm)	9.50	25.00	xxx	xxx
PU Suelto (kg/m³)	1370.00	1300.00	950.00	xxx
Pu Compactado(kg/m³)	xxx	1428.00	xxx	xxx
Gbs (g/cm³)	2.14	2.55	2.97	2.50
Gbsss (g/cm³)	2.20	2.60	xxx	xxx
Gba (g/cm³)	2.33	2.63	xxx	xxx
Absorción (%)	8.85	3.30	xxx	xxx

Tabla 29 ACI 211.1 - Datos recolectados de forma propia

4.4.2 Factor de seguridad considerando materiales e importancia.

En este caso utilizamos un valor de coeficiente de variación de 10 debido a que en el laboratorio se puede pesar cada uno de los agregados precisamente.

Control de calidad	Tipo de dosificación	Coeficiente de Variación
Excelente	En Planta	5
Bueno	Por Peso	10
Regular	Por volumen	15
Malo	Volumen sin control	20
Deficiente	Sin control	25

Tabla 30 ACI 211.1 - Factor de seguridad – Calidad

Utilizamos un factor de seguridad de 1.09 debido a que este tipo de mezcla de concreto se espera que sea utilizada para obras con una importancia normal.

Tipo de obra	Coeficiente de variación	de				
		5	10	15	20	25
	t´student	Factor de seguridad				
Normal	1:5	1.05	1.09	1.14	1.20	1.27
Importante	1:10	1.07	1.14	1.23	1.34	1.47

Tabla 31 ACI 211.1 - Factor de seguridad - Tipo Obra

Buscamos una resistencia mínima de este concreto de 210kg/cm² para nuestro concreto con vidrio molido por lo que utilizamos un factor de seguridad del 1.09%. Esto nos da como resultado que necesitamos realizar una mezcla de concreto con una resistencia de 228.9 kg/cm² como se muestra a continuación.

$$f'_{cc} = 210 \frac{kg}{cm^2} * 1.09$$

$$f'_{cc} = 228.9 \frac{kg}{cm^2}$$

Ecuación 2 ACI 211.1 Factor de Seguridad para Mezcla de Concreto

4.4.3 Selección de revenimiento, porcentaje de agua y aire.

En este caso seleccionamos un revenimiento que este dentro del rango de 8 y 2 debido a que el uso de este tipo de concreto seria para tipos de obras similares a losas y pavimentos.

Tipo de asentamiento según obra	Revenimiento	
	Max.*	Min
Tipo de construcción		
Zapatas y muros de cimentación reforzados	8	2
Zapatas, capones y muros de subestructura no reforzados	8	2
Vigas y muros reforzados	10	2
Columnas de edificios	10	2
Losas y pavimentos	8	2
Concreto en masa	5	2

Tabla 32 ACI211.1 Revenimiento de acuerdo con el tipo de construcción

Una vez que seleccionamos el tipo de revenimiento que estamos buscando procedemos con la siguiente tabla para determinar el contenido de aire deseable y el contenido de agua esperado.

Agua en kilogramos por metro cúbico de concreto para los tamaños máximo de agregados indicados							
Revenimiento (cm)	10 mm	13 mm	20 mm	25 mm	40 mm	50 mm	75 mm
Concreto sin aire incluido							

3 a 5	205	200	185	180	160	155	145
8 a 10	225	215	200	195	175	170	160
15 a 18	240	230	210	205	185	180	170
Contenido de aire (%)	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3
Concreto con aire incluido							
3 a 5	180	175	165	160	145	140	135
8 a 10	200	190	180	175	165	155	150
15 a 18	215	205	190	185	170	165	160
Contenido de aire (%)	8.0	7.0	6.0	5.0	4.5	4.0	3.5

Tabla 33 ACI 211.1 Determinación de contenido de agua y aire.

4.4.4 Relación agua - cemento

Una vez obtenida los datos anteriores obtenemos aproximadamente la resistencia deseada como se muestra a continuación:

Relación Agua/Cemento en Peso		
Resistencia a la compresión a 28 días kg/cm²	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
450	0.38	---
400	0.43	---
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46

250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

Tabla 34 ACI 211.1 Relación agua cemento en peso

Debido a que la resistencia que estamos buscando se encuentra entre 250 kg/cm² y 200kg/cm² tenemos que realizar una interpolación no lineal para poder obtener la resistencia del concreto a 210kg/cm², por lo que ingresamos nuestros resultados obtenidos en la siguiente tabla:

	Resistencia Superior		Ra/c Superior
Nuestra resistencia	250	->	0.62
210	Resistencia inferior		Ra/c Inferior
	200	->	0.70
A	B		C
40	50		-0.08

Tabla 35 ACI 211.1 Interpolación de resistencias

En este caso obtenemos los resultados A, B, C. los cuales podemos introducir dentro de una formula para obtener el siguiente resultado de la relación agua cemento:

$$\frac{Ra}{c} = 0.62 - \left(-\frac{0.08}{50}\right) * 40$$

$$\frac{Ra}{c} = 0.68$$

Ecuación 3 Determinación del valor agua/cemento

4.4.5 Determinación de cantidad de agregado grueso

Para poder determinar la cantidad de agregado grueso por utilizar realizamos una búsqueda en los ensayos de laboratorio realizados al material que se utiliza. En este caso utilizamos un agregado grueso con un tamaño máximo nominal de 25 mm.

Volumen de agregado grueso, seco y compactado con varilla por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura de la arena.					
Agregado mm	2.40	2.60	2.80	3.00	3.10
Tamaño Máximo Nominal					
9.5	0.50	0.48	0.46	0.44	0.42
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53	0.51
19.5	0.66	0.64	0.62	0.60	0.58
25.0	0.71	0.69	0.67	0.65	0.63
37.5	0.75	0.73	0.71	0.69	0.67
50.0	0.78	0.76	0.74	0.72	0.70
75.0	0.82	0.80	0.78	0.76	0.74
150.0	0.87	0.85	0.83	0.81	0.79

Tabla 36 ACI 211.1 Determinación de peso para agregado grueso

Una vez obtenido el volumen del agregado grueso procedemos a calcular la cantidad de agregado grueso por el volumen obtenido como se muestra a continuación.

Volumen del Agregado Grueso	Peso unitario compactado (Kg * m3)	Agregado Grueso (Kg)
------------------------------------	---	-----------------------------

0.63	1428.00	899.64
-------------	---------	--------

Tabla 37 ACI 211.1 Peso Final de agregado grueso

4.4.6 Volumen y peso para un metro cubico de concreto

Agregado	Cantidad	Unidades
Volumen de agua	0.195	m3
Volumen de aire	0.015	m3
Volumen de cemento	0.09598913	m3
Volumen de piedra	0.3528	m3
Volumen Total	0.65878913	m3
Volumen de arena	0.34121087	m3

Tabla 38 ACI 211.1 Cantidades de volumen para un metro cubico de concreto

Volumen convertido a litros y kilogramos

Agregado	Formula	Cantidad	Unidad
Agua		195	L
Cemento	$Vol. \text{ cem} * Gbscem * 1000$	285.09	kg
Arena	$Vol. \text{ arena} * Gbsarena * 1000$	730.53	kg
Piedra	$Vol. \text{ piedra} * Gbspiedra * 1000$	899.64	kg

Tabla 39 ACI 211.1 Cantidades para un metro cubico de concreto de agregados secos

Cantidades por utilizar para 40 litros de mezcla o 0.040 metros cúbicos.

Agregado	Formula	Valor	Unidad
Agua	<i>Peso agua x 0,040 =</i>	7.8	L
Cemento	<i>Peso cemento x 0,040 =</i>	11.40	kg
Arena	<i>Peso arena x 0,040 =</i>	29.22	kg
Piedra	<i>Peso piedra x 0,040 =</i>	35.99	kg

Tabla 40 Cantidades a utilizar para realizar mezcla de 40 litros. Fuente Propia

4.4.7 Corrección de humedad en los agregados

Corrección por humedad de agregados para una mezcla de 0.40 litros					
Agregado	Humedad (%)	Absorción (%)	Agua Libre (%)	Peso Seco (kg)	Corrección (kg)
ARENA	11.9	8.85	3.05	29.22	0.89
PIEDRA	7	3.3	3.7	35.99	1.33
				$\Sigma =$	2.22

Tabla 41 Tabla de corrección por humedad fuente propia

Agua corregida por humedad para una mezcla de 0.40 litros	
Cantidad de agua	7.8

Corrección	5.58
-------------------	-------------

Tabla 42 Cantidad de agua por utilizar fuente: propia

Peso final corregido de arena y piedra				
	Peso (kg)	Absorción (%)	Correccion en (kg)	Peso total corregido (kg)
Arena	29.22	8.85	2.59	31.81
Piedra	35.99	3.3	1.19	37.17

Tabla 43 Peso corregido final para arena y piedra fuente: propia

4.4.8 Cantidades corregidas para una batida de 40 litros.

En este caso se realizo una batida de 40 litros debido a que la mezcladora que se encuentra en la universidad tiene una capacidad adecuada para realizar 6 cilindros. De esta forma podemos realizar correctamente 6 cilindros de concreto en este caso una para vidrio molido y una sin el contenido de vidrio molido.

Agregado	Cantidad	Unidades
Agua	5.6	Litros
Cemento	11.4	Kg
Arena	31.8	Kg
Piedra	37.2	Kg

Tabla 44 Cantidades corregidas para una batida de 40 litros. Fuente: Propia

4.5 Diseño de mezcla con vidrio

En este caso mantenemos los mismos pasos de una mezcla de concreto sin vidrio molido incluido hasta llegar al paso para calcular la cantidad para un metro cubico de concreto con agregados secos. A continuación, se muestran las tablas nuevas para concreto con vidrio añadido.

4.5.1 Cantidades para un metro cubico concreto con agregados secos

Agregado	Formula	Cantidad	Unidad
Agua		195	L
Cemento	$Vol. \text{ cem} * Gbscem * 1000$	285.09	kg
Arena	$Vol. \text{ arena} * Gbsarena * 1000$	730.53	kg
Piedra	$Vol. \text{ piedra} * Gbspiedra * 1000$	899.64	kg
Vidrio Grueso	$Vol. \text{ piedra} * 12.5\%$	91.32	Kg
Vidrio Fino	$Vol. \text{ Arena} * 12.5\%$	112.46	Kg

Tabla 45 Cantidades para un metro cubico de arena. Fuente Propia

4.5.2 Cantidades corregidas incluyendo el vidrio molido

Agregado	Formula	Cantidad	Unidad
Agua		195.00	L

Cemento	$Vol. \text{ cem} * Gbscem * 1000$	285.09	kg
Arena	$Vol. \text{ arena} * Gbsarena * 1000$	618.08	kg
Piedra	$Vol. \text{ piedra} * Gbspiedra * 1000$	808.32	kg
Vidrio Grueso	$Vol. \text{ piedra} * 12.5\%$	91.32	Kg
Vidrio Fino	$Vol. \text{ Arena} * 12.5\%$	112.46	Kg

Tabla 46 Cantidades corregidas con el vidrio molido incluido. Fuente Propia

4.5.3 Cantidad a usar en el laboratorio para 40 litros (0.040 m3)

Agregado	Formula	Valor	Unidad
Agua	$Peso \text{ agua} * 0,040 =$	7.8	L
Cemento	$Peso \text{ cemento} * 0,040 =$	11.40	kg
Arena	$Peso \text{ arena} * 0,040 =$	24.72	kg
Piedra	$Peso \text{ piedra} * 0,040 =$	32.33	kg
Vidrio Grueso	$Peso \text{ Vidrio} * 0.040$	3.65	Kg
Vidrio Fino	$Peso \text{ Vidrio} * 0.040$	4.50	Kg

Tabla 47 Cantidades a utilizar en el laboratorio para 40 litros de mezcla. Fuente propia

4.5.4 Corrección de humedad en los agregados

Corrección por humedad de agregados para una mezcla de 0.40 litros
--

Agregado	Humedad (%)	Absorción (%)	Agua Libre (%)	Peso Seco (kg)	Corrección (kg)
ARENA	11.9	8.85	3.05	24.72	0.75
PIEDRA	7	3.3	3.7	32.33	1.20
				$\Sigma =$	1.95

Tabla 48 Corrección de humedad de los agregados. Fuente propia

Agua corregida por humedad para una mezcla de 0.40 litros	
Cantidad de agua	7.8
Corrección	5.85

Tabla 49 Cantidad de agua por utilizar corregido por vidrio. Fuente Propia.

Peso final corregido de arena y piedra				
	Peso (kg)	Absorción (%)	Corrección en (kg)	Peso total corregido (kg)
Arena	24.72	8.85	2.19	26.91
Piedra	32.33	3.3	1.07	33.40

Tabla 50 Corrección de agregado por humedad. Fuente Propia

4.5.5 Cantidades Corregidas a utilizar para batida de 40 litros

Agregado	Cantidad	Unidades
Agua	5.8	Litros

Cemento	11.4	Kg
Arena	26.9	Kg
Piedra	33.4	Kg
Vidrio Grueso	3.65	Kg
Vidrio Fino	4.50	Kg

Tabla 51 Cantidades corregidas por humedad incluyendo vidrio. Fuente Propia

4.6 Ejecución de la mezcla de concreto

Una vez que obtenemos nuestros resultados teóricos de las cantidades que vamos a utilizar de cemento, arena, piedra, agua y vidrio podemos iniciar con el proceso de la realización de la mezcla de concreto. En este caso como se indicó en el diseño de mezcla vamos a utilizar el método por volumen el cual conlleva pesar los materiales que se van a utilizar.

En este caso se realizó 24 horas antes de realizar la mezcla de concreto la prueba de humedad la cual obtuvimos sus resultados en la tabla 17 y 18. Una vez obtuvimos los resultados de humedad podemos iniciar con la inclusión de los resultados de humedad dentro de nuestro diseño de mezcla como se vio en la tabla 41 y 42 sin vidrio molido y las tablas 48 y 49 que incluye vidrio molido. De esta forma obtenemos las cantidades finales que vamos a utilizar de agregados.

Una vez obtenemos todos los resultados vistos en el diseño de mezcla y obtenemos la humedad procedemos a ejecutar la mezcla de concreto.

1. Se prepararon el equipo de laboratorio por utilizar: baldes, batidora, cono Abrams, agregados, varillas, mazos, etc.
2. Verificar que los moldes por utilizar se encuentren limpios y tomar apunte de su peso y número asignado, esto con el punto de pesar adecuadamente los agregados.
3. Calculamos los pesos del vidrio, arena, piedra, cemento. Estos fueron calculados inicialmente en el diseño de mezcla. Esto para tenerlos listos una vez que tengamos el equipo listo. Como se muestra en la siguiente imagen.



Ilustración 19 preparación de agregados. Fuente Propia

4. Se prepara la batidora con una mezcla de concreto inicial, esta se realiza utilizando los agregados y se utiliza exclusivamente para preparar el tambor y que este pueda absorber el agua y no hayan problemas de humedad.
5. La mezcla es desechada luego de unos 5 minutos y verificar que todo el tambor de la batidora fue cubierto con esta mezcla inicial.
6. Se coloca una parte del agregado grueso junto con agua dentro de la mezcladora
7. Luego se coloca agua con el agregado fino. Este lleva una cantidad similar a la del agregado grueso inicial.
8. Finalmente se coloca el restante de agua, piedra, arena y por ultimo se añade el vidrio en caso de que sea la mezcla de concreto con vidrio incluido.
9. Una vez se colocan todos los materiales se mezcla durante 3 minutos mas, luego se deja reposar la mezcla de concreto durante 3 minutos.

10. Luego de estos 2 minutos se procede con el ensayo del cono Abrams para determinar la trabajabilidad de nuestra mezcla de concreto. En este caso necesitamos que nuestra mezcla de concreto este entre los 2 y 8 centímetros. En este caso tenemos 2 minutos para poder completar el ensayo según la norma.
11. A continuación se presenta la mezcla de concreto luego de los 2 minutos de reposo.



Ilustración 20 Mezcla de concreto sin vidrio molido. Fuente Propia

12. Se debe realizar la prueba del cono Abrams en 3 capaz y utilizando la cantidad de en varillado estipulado en la normativa.
13. Luego procedemos a realizar la prueba de ensayo en el cono Abrams como se muestra en la siguiente imagen.



Ilustración 21 Realización y resultado de prueba de cono Abrams. Fuente propia

14. Una vez verificamos que la mezcla de concreto está dentro del revenimiento buscado podemos proceder a la creación de los moldes.
15. A la hora de la creación de los moldes tomamos en cuenta que se tienen que rellenar por capas y utilizar en varillado de acuerdo a la normativa. Obtendremos el resultado como se muestra a continuación:



Ilustración 22 Mezcla de concreto en moldes. Fuente propia.

16. Una vez obtenemos los moldes, procedemos a dejarlos reposar durante 24 horas y los podemos ingresar a la cámara húmeda de la Universidad para su posterior fraguado. A continuación, se muestra una imagen.



Ilustración 23 Cilindros de concreto finalizados con vidrio molido. Fuente Propia



Ilustración 24 Cilindros de concreto finalizados SIN vidrio molido. Fuente Propia

17. Cabe recalcar que este proceso se siguió igual al que tiene vidrio incluido versus el que no contiene vidrio incluido. La única diferencia es la adición del vidrio a la hora de incluirlos a la batidora.

4.7 Resultados de fallas de cilindros

4.7.1 Falla de cilindros mediante carga axial SIN vidrio molido (INTE-C39) A los 7 días.

Carga Máxima (Kg)	Resistencia a compresión (Kg/cm ²)	Peso (Kg)	Altura (cm)	Diámetro (Kg)	Área (cm ²)	Densidad (Kg)
65540.00	187.20	13.11	30.54	15.30	183.85	2805.71
68090.00	194.12	13.15	30.49	15.32	184.33	2815.20
66815.00	191.21	13.13	30.52	15.31	184.09	2810.45

Tabla 52 Resultados falla cilindros SIN vidrio a los 7 dias. Fuente Propia.

4.7.2 Falla de cilindros mediante carga axial CON vidrio molido (INTE-C39) A los 7 días.

Carga Máxima (Kg)	Resistencia compresión (Kg/cm ²)	Peso (Kg)	Altura (cm)	Diámetro (Kg)	Área (cm ²)	Densidad (Kg)
64250.00	184.17	13.05	30.50	15.29	183.61	2798.36
66600.00	190.41	13.10	30.53	15.31	184.09	2802.65
65425.00	187.29	13.08	30.52	15.30	183.85	2800.51

Tabla 53 Resultados falla cilindros CON vidrio a los 7 días. Fuente Propia.

4.7.3 Falla de cilindros mediante carga axial SIN vidrio molido (INTE-C39) A los 14 días.

Carga Máxima (Kg)	Resistencia compresión (Kg/cm ²)	Peso (Kg)	Altura (cm)	Diámetro (Kg)	Área (cm ²)	Densidad (Kg)
76840.00	220.54	13.34	30.52	15.28	183.37	2860.54
75530.00	217.64	13.24	30.50	15.25	182.65	2846.55
76185.00	219.09	13.29	30.51	15.27	183.01	2853.54

Tabla 54 Resultados falla cilindros SIN vidrio a los 14 días. Fuente Propia.

4.7.4 Falla de cilindros mediante carga axial CON vidrio molido (INTE-C39) A los 14 días.

Carga Máxima (Kg)	Resistencia compresión (Kg/cm ²)	Peso (Kg)	Altura (cm)	Diámetro (Kg)	Área (cm ²)	Densidad (Kg)
75060.00	215.15	13.20	30.49	15.29	183.61	2831.45
74990.00	214.11	13.29	30.51	15.32	184.33	2843.31
75025.00	214.63	13.25	30.50	15.31	183.97	2837.38

Tabla 55 Resultados falla cilindros CON vidrio a los 14 días. Fuente Propia.

4.7.5 Falla de cilindros mediante carga axial SIN vidrio molido (INTE-C39) A los 28 días.

Carga Máxima (Kg)	Resistencia compresión (Kg/cm ²)	Peso (Kg)	Altura (cm)	Diámetro (Kg)	Área (cm ²)	Densidad (Kg)
-------------------------	--	--------------	----------------	------------------	----------------------------	------------------

89860.00	254.90	13.20	30.45	15.37	185.54	2820.41
89200.00	252.05	13.22	30.47	15.40	186.27	2817.33
89530.00	253.47	13.21	30.46	15.39	185.90	2818.87

Tabla 56 Resultados falla cilindros SIN vidrio a los 28 días. Fuente Propia.

4.7.6 Falla de cilindros mediante carga axial CON vidrio molido (INTE-C39) A los 28 días.

Carga Máxima (Kg)	Resistencia compresión (Kg/cm ²)	Peso	Altura	Diámetro	Área	Densidad
		(Kg)	(cm)	(Kg)	(cm ²)	(Kg)
85510.00	246.40	13.27	30.50	15.25	182.65	2853.00
88450.00	254.20	13.19	30.52	15.27	183.13	2830.23
86980.00	250.30	13.23	30.51	15.26	182.89	2841.61

Tabla 57 Resultados falla cilindros CON vidrio a los 28 días. Fuente Propia.

CAPITULO V – ANALISIS DE RESULTADOS

5.1 Análisis de resultados

De acuerdo con los resultados obtenidos durante esta investigación podemos llegar a concluir que las resistencias de los dos concreto son muy similares. A continuación, se analizan los resultados obtenidos durante esta investigación. Incluyendo las pruebas (INTE-C71, ASTM-C143, ASTM C31).

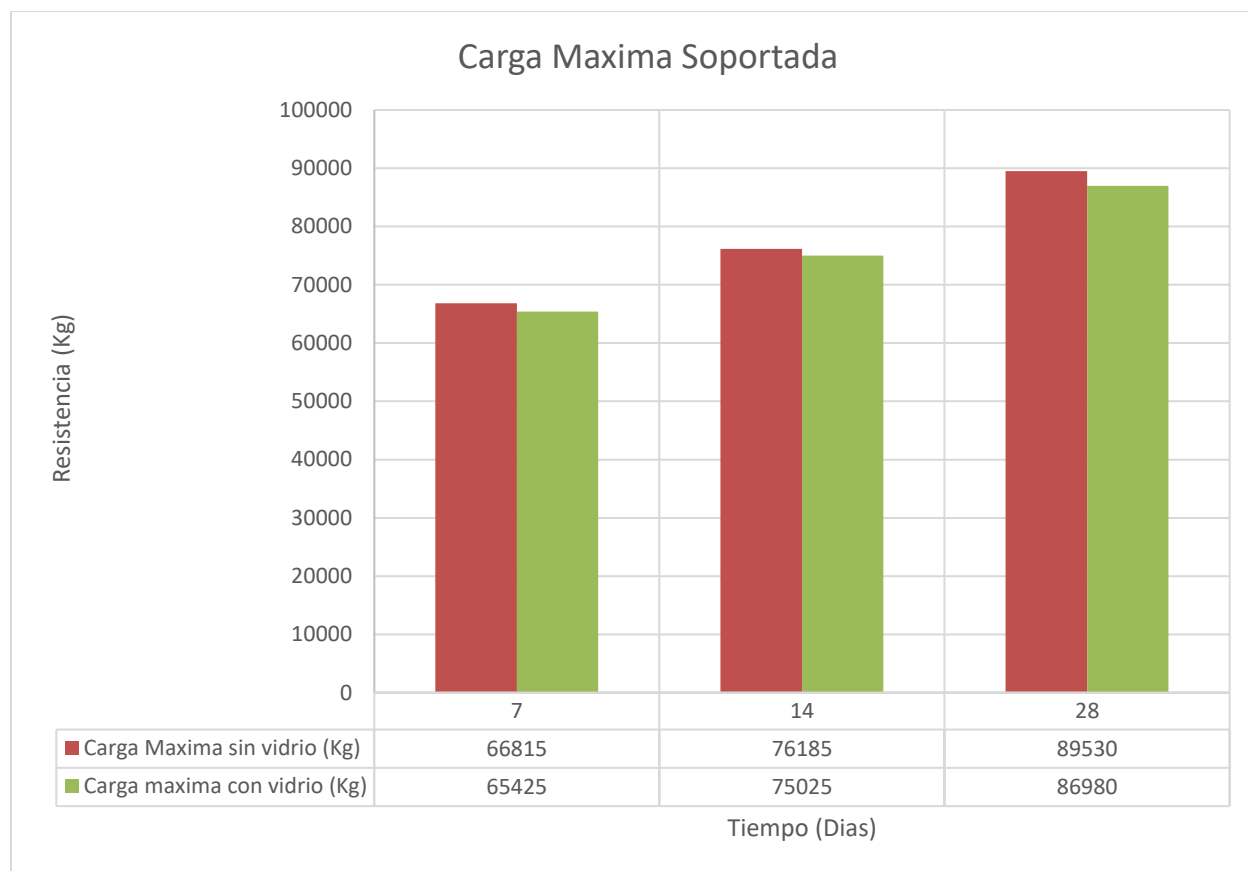


Grafico 1 Resultados de carga máxima soportada. Fuente propia.

Como se puede observar en las graficas las diferencias en las resistencias de cada una de las mezclas de concreto realizadas tienen una diferencia poco significativa. En este caso se observa a los 7 días una diferencia del 2.08% entre una mezcla sin vidrio y una mezcla con vidrio, a los 14 días tenemos una diferencia del 1.52% y por último a los 28 días tenemos una diferencia de 2.85%. En los tres escenarios obtenemos que la mezcla de vidrio molido contiene una resistencia menor

sin embargo gracias a los pasos realizados durante el diseño de mezcla mediante el margen de seguridad obtenemos un diseño de mezcla con una resistencia superior a lo que se buscaba en un inicio.

A continuación, se comparan las resistencias de diseño de cada uno de los cilindros.

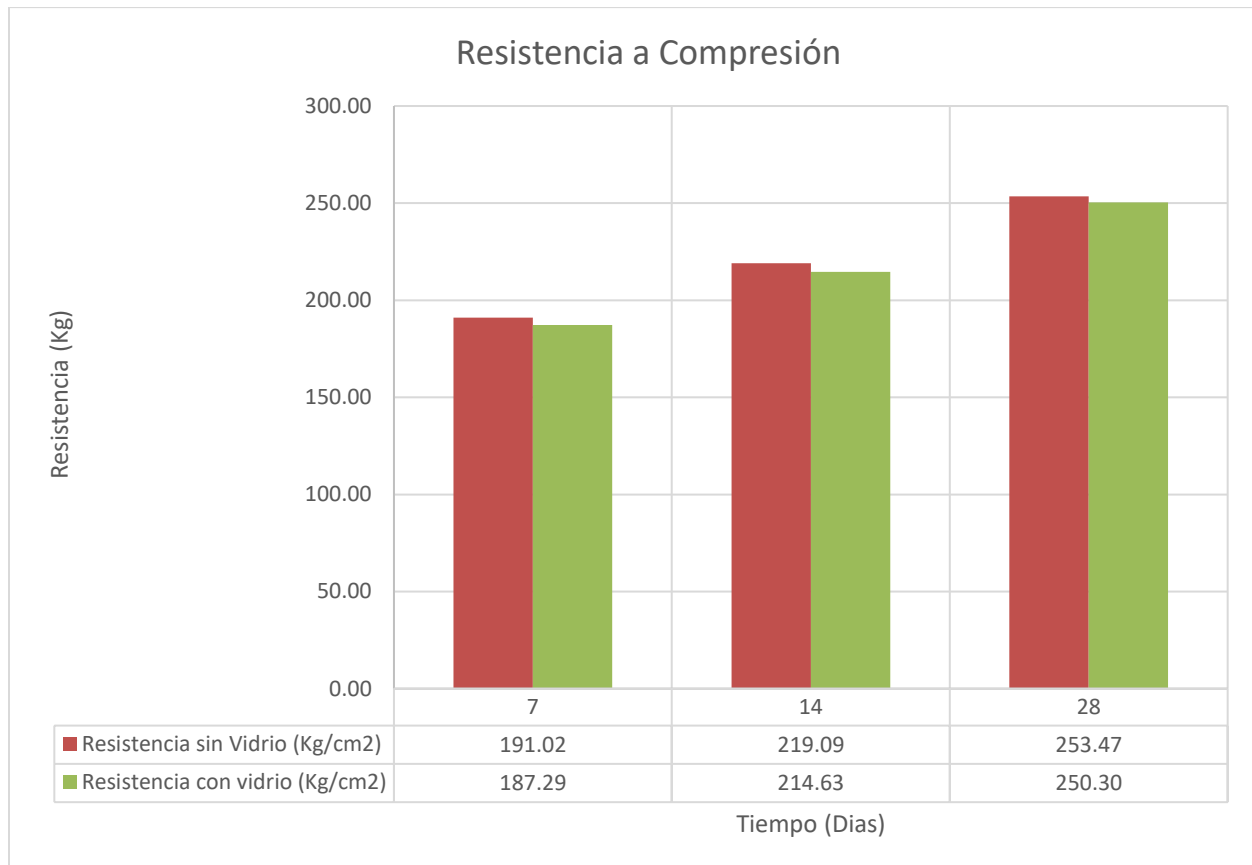


Grafico 2 Resistencia a la compresión. Fuente propia.

En este caso obtenemos una resistencia a la compresión por encima de lo que estábamos buscando la cual era una resistencia a la compresión de 210 kg/cm². Al igual que la carga máxima soportada, obtenemos que la mezcla de concreto utilizada tiene un porcentaje de resistencia menor que la mezcla de concreto que no tiene vidrio molido. En este caso comparado las resistencias a los 7 días entre la mezcla sin vidrio y la mezcla con vidrio obtenemos una diferencia de 1.95%. Cuando comparamos las resistencias a los 14 días obtenemos una diferencia de 2.04% y por último si comparamos las resistencias a los 28 días obtenemos una diferencia de 1.25%.

Una vez analizamos los datos obtenidos mediante las pruebas realizadas ya sean los datos recolectados mediante la prueba de humedad evaporable para agregados (INTE C71 – ASTM C556), método estándar para asentamiento de concreto fresco (ASTM C143 – INTE C143), practica estándar para fabricar y curar especímenes de concreto (ASTM C31) o por último el método estándar para determinar la resistencia de los cilindros de concreto (ASTM C39) se puede afirmar que el vidrio molido utilizado en la mezcla de concreto es un material viable para la fabricación de concreto. En este caso ambas resistencias son muy similares, se pierde aproximadamente un 2% de resistencia mientras que se ahorra un 25% de agregados finos y gruesos. En este caso se podría hacer un diseño de mezcla que tome en consideración el vidrio molido para obtener esta resistencia perdida. Se podría añadir un 5% más de cemento a la mezcla de concreto para aumentar su resistencia en caso de que sea tan critico el faltante.

CAPITULO VI – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Una vez fue terminada la investigación se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- Se logro crear un concreto viable utilizando vidrio molido cumpliendo con nuestra resistencia mínima de 210 kg/cm².
- Según pruebas realizadas para el concreto se determinó que la única diferencia entre un concreto utilizando vidrio molido y un concreto con agregados fue de aproximadamente un 2% de su resistencia a la compresión.
- Se identificaron diferentes características que tiene esta mezcla de concreto con vidrio molido. A la hora de la realización de la mezcla no hubo un cambio significativo en las propiedades de compresión del concreto.

Recomendaciones

Para dar por terminada esta investigación se plantean las siguientes recomendaciones:

- Investigar sobre beneficios económicos y ambientales que puede traer el vidrio molido al país gracias a que se puede incorporar este material dentro de una mezcla de concreto.
- Investigar o realizar pruebas para la elasticidad del concreto para medir esta condición en escenarios de tensión.
- Realizar una nueva mezcla de concreto con una cantidad diferente de vidrio molido con la finalidad de determinar si es óptimo utilizar 25% en total de vidrio como agregado grueso y fino.

VII -REFERENCIAS

- American Society for Testing and Material. (2021A). *Ensayo estándar de resistencia a la compresión de cilindros de concreto*. Retrieved from (Norma núm. ASTM C-39).: https://www.astm.org/c0039_c0039m-21.html
- American Society for Testing and Material. (2017C). *Ensayo estándar para determinar la temperatura de concreto con cemento Portland*. Retrieved from Norma núm. ASTM C1064: <https://www.astm.org/astm-tpt-172.html>
- ASTM. (2017, Mayo 24). *ASTM C138/C138M-17a*. Retrieved from Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete: https://www.astm.org/c0138_c0138m-17a.html
- BACH DIANA CAROLINA RABANAL GONZALES, A. R. (2017, Abril). *DISEÑO DE UN CONCRETO AUTOCOMPACTABLE*. Retrieved from Universidad Señor de Sipan: <https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/2713/Tesis%20RABANAL%20GONZALES%20Dise%C3%B1o%20de%20un%20Concreto%20Auto%20compactable%20final%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- C143, A. (2022). *Norma Técnica Guatemalteca*. Retrieved from NTG – 41017 h4: https://conred.gob.gt/normas/NRD3/2_concreto/Norma_COGUANOR_NTG_41017_h4_ASTM_C_143.pdf
- Clason, L. (2022, Junio 28). *owlcation*. Retrieved from ASTM Standard Test Method C39: Compressive Strength of Concrete Cylinder: <https://owlcation.com/humanities/ASTM-C39-Compressive-Strength-of-Concrete-Cylinders>
- Comisión Guatemalteca de Normas. (2019, Junio 15). *Método de ensayo. Determinación del asentamiento del concreto hidraulico*. Retrieved from NTG – 41017 h4 - Esta norma es esencialmente equivalente a la norma ASTM C 143-08.: https://conred.gob.gt/normas/NRD3/2_concreto/Norma_COGUANOR_NTG_41017_h4_ASTM_C_143.pdf
- Corral, J. T. (2012, Ciencia y Sociedad,37(3), 293-334. doi). *Ciencia y Sociedad,37(3), 293-334. doi*. Retrieved from Caracterización granulométrica de las plantas productoras de arena en la República Dominicana, su impacto en la calidad y costo del hormigón.: <https://doi.org/10.22206/cys.2012.v37i3.pp293-334>
- Engineer, S. (2021, Julio 17). *Sanitary Engineer*. Retrieved from <https://sanitary-engineer8.webnode.es/>

- EPA. (2022). *EPA* . Retrieved from Cinta Metrica 1x8: <https://cr.epaenlinea.com/cinta-metrica-1-x-8-m.html>
- EPA. (n.d.). *Glass Packaging Institute*. Retrieved from Glass is 100% recyclable and can be recycled endlessly without loss in quality or purity - something few food and beverage packaging options can claim.: <https://www.gpi.org/glass-recycling-facts#:~:text=Glass%20bottles%20and%20jars%20are,other%20glass%20jars%20were%20recycled.>
- Equipo editorial, E. D. (2023, Enero 23). *Vidrio*. Retrieved from Enciclopedia Humanidades: <https://humanidades.com/vidrio/>
- Granulometria*. (2022). Retrieved from EcuRed: <https://www.ecured.cu/Granulometr%C3%ADa>
- Grupo Vical. (2020, Febrero 26). *La Republica*. Retrieved from <https://www.larepublica.net/noticia/costa-rica-recicla-vidrio-a-la-altura-de-europa#:~:text=En%20total%2C%20Costa%20Rica%20recicla,de%20este%20materia%20en%20Centroam%C3%A9rica.>
- Guzman, D. S. (1996). *Tecnología del concreto y del mortero*. Bogota: Bhadar Editores Limitada.
- Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto. (2004). *Conceptos Basicos*. Ciudad de Mexico: imcyc.
- INTECO. (2019). *INTE C19:2019*. Retrieved from Fabricación y curado de especímenes de concreto para ensayo en el campo.: <https://www.inteco.org/shop/inte-c19-2019-fabricacion-y-curado-de-especimenes-de-concreto-para-ensayo-en-el-campo-4516?product=4516#attr=>
- INTECO. (2022, 11 15). *INTECO*. Retrieved from Determinación de la consistencia y la densidad del concreto, compactado con rodillo usando mesa vibratoria. Método de ensayo.: <https://www.inteco.org/shop/inte-c33-2022-determinacion-de-la-consistencia-y-la-densidad-del-concreto-compactado-con-rodillo-usando-mesa-vibratoria-metodo-de-ensayo-10217?product=10217#attr=>
- INTECO. (n.d.). *INTE C41:2011*. Retrieved from Método de ensayo para el asentamiento en el concreto del cemento hidraulico.: <https://www.inteco.org/shop/inte-c41-2011-metodo-de-ensayo-para-el-asentamiento-en-el-concreto-del-cemento-hidraulico-2148#attr=>
- Normas APA. (2017, Marzo 21). *En qué consiste el alcance exploratorio para tesis cuantitativas*. Retrieved from Normas APA: <https://normasapa.net/alcance->

exploratorio-tesis-
cuantitativas/#:~:text=El%20alcance%20exploratorio%20es%20la,con%20respe
cto%20a%20un%20tema.

Pinzuar. (2022). *Pinzuar*. Retrieved from Varilla para apisonar:

<https://www.pinzuar.com.co/product/202>

Pinzuar. (2023). *Pinzuar*. Retrieved from Varilla para apisonar:

<https://www.pinzuar.com.co/product/202>

Ramos, C., Grases, J., Velazco, G., & Porrero, J. (2014). *Manual del Concreto Estructural*. Caracas: PAG Marketing Soluciones.

TAMICES.ES. (2015, Julio 15). *TABLA COMPARATIVA NORMAS TAMICES ISO / ASTM*. Retrieved from https://www.tamices.es/wp-content/uploads/2015/07/Tabla_comparativa_normas.pdf

TORRES, J. A. (2017, Mayo 17). *ANÁLISIS MÉCANICO DE UN CONCRETO CON ADICIÓN DEL 2 % DE*. Retrieved from Univerisdad Catolica de Colombia: <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/0749bbc3-3b65-48fa-831d-b1cec418f228/content>

Vitralba Cristaleria. (2011, Mayo 31). *Propiedades Generales del Vidrio*. Retrieved from https://vitralba.com/wp-content/uploads/2018/09/propiedades_generales_del_vidrio_plano.pdf

Westreicher, G. (2020, Septiembre 24). *Hipotesis*. Retrieved from Economipedia: <https://economipedia.com/definiciones/hipotesis.html>

VIII -ANEXOS

San José, Costa Rica, 15 de marzo del 2019

Proyecto: Quebrador Guacalillo

Señor

Ing. Juan José Rojas
Agregados Guacalillo Limitada
San Rafael, San José

Estimado Señor:



A continuación, le presento el resultado de los ensayos realizados al material de arena de 6,25 mm, procedente del proyecto de referencia

Información de la muestra

Fecha de recepción de la muestra: 2019-02-12
Identificación de la muestra: 01-3591-2019
Descripción: Arena de 6,25 mm

Muestreo (s)

(-) Cliente
(X) Personal del laboratorio

Ingreso de Muestra:

(X) RC-05: 23757
(-) RC-84: No aplica
Fecha de realización del muestreo: 2019-02-11
Lugar del muestreo: En quebrador Guacalillo San José
Lugar de realización del ensayo: Laboratorio 01 LGC Ingeniería de Pavimentos y en sitio

Ensayos Realizados:

Nombre del Ensayo	Ensayo Acreditado (*)	Ensayo No Acreditado (**)
Método de ensayo para el Análisis granulométricos de agregados	X	-
Método de ensayo para el Contenido de humedad en suelos y agregados	X	-
Método de ensayo para el Contenido de Impurezas orgánicas en agregado fino	X	-
Método de ensayo para el Equivalente de arena	X	-
Método de ensayo para la Gravedad específica y absorción en agregado fino	X	-
Método de ensayo para la Reducción de muestras	X	-
Método de ensayo para la Sanidad de agregados usando sulfato de sodio Finos	X	-
Método de ensayo para los Pesos unitarios en agregados	X	-
Método para el Muestreo de agregados	X	-

(Ampliar o reducir esta tabla según lo requerido)

Los ensayos acreditados se identifican con un asterisco (*) y la leyenda "Ensayo Acreditado". Y para los no acreditados se identifican con dos asteriscos (**) y la leyenda "Ensayo no acreditado".

Ensayo

El laboratorio realizó el ensayo de acuerdo con los procedimientos y registros que forman parte del sistema de gestión de calidad.

Observaciones: No hay.

Resultados de Ensayos

Anexo Nº	Descripción	Página (s)
1	Caracterización de arena de 6,25 mm	3-4

Con la mejor disponibilidad para aclarar, ampliar o comentar el informe,

Atentamente,



Ing. Luis Guillermo Chavarría Bravo, M.Sc.
Gerente General
LGC Ingeniería de Pavimentos S.A.
Encargado de aprobar el informe



David León Chavarría
LGC Ingeniería de Pavimentos S.A.
Encargado de elaborar el informe

Notas

- Nota 1:** El presente informe puede ser reproducido únicamente en forma total.
- Nota 2:** Los resultados obtenidos corresponden únicamente a los ítems ensayados.
- Nota 3:** La estimación de la incertidumbre se realiza con el "RC-37: Incertidumbre", se encuentra a disposición del cliente en el RC-78 Incertidumbres expandidas relativas para los métodos de ensayo".
- Nota 4:** Los resultados de ensayo (s) que han sido subcontratados se encuentran identificados mediante el uso de paréntesis Cuadrados ([Resultado obtenido]).
- Nota 5:** Cualquier observación o comentario sobre nuestros servicios, favor enviarlo a nuestro correo electrónico lgingenieriadepavimentos@gmail.com
- Nota 6:** Si desea formular una queja o reclamo, comunicarse con la gerente de calidad o al correo calidadlgc@gmail.com
- Nota 7:** Si desea conocer el alcance del laboratorio puede visitar el sitio web del ECA www.eca.or.cr
- Nota 8:** El símbolo de acreditación se utiliza en este registro únicamente si se incluyen resultados de ensayos dentro del alcance de acreditación de nuestro laboratorio.

C/c Archivo

Anexo 1

Caracterización de arena de 6,25 mm

Fuente: Quebrador Guacalillo

Tabla 1
Método de ensayo para el Análisis granulométrico de agregados

(*) "Ensayo Acreditado"

AASHTO T-11

AASHTO T-27

Fecha de realización del ensayo:

Tamiz	Pasando (%)	Especificaciones según CR-2010 (Actualización 2017)
9,5 mm	100	100
Nº4	98	80-100
Nº8	72	60-100
Nº16	50	40-85
Nº30	35	20-60
Nº50	24	10-45
Nº100	16	0-30
Nº200	11,3	0-18
Módulo de finura	3,1	2,0-3,5

Tabla 2
Método de ensayo para la Gravedad específica y absorción en agregado fino

(*) "Ensayo Acreditado"

AASHTO T-84

Fecha de realización del ensayo: 2019-02-19

Parámetro	Resultado
Gravedad Específica Bruta	2,141
Absorción	8,85 %

Tabla 3
Método de ensayo para el Equivalente de arena

(*) "Ensayo Acreditado"

AASHTO T-176

Fecha de realización del ensayo: 2019-02-13

Parámetro	Resultado	Especificaciones según CR-2010 (Actualización 2017)
Equivalente de Arena	71 %	60 % mínimo

Tabla 4
Método de ensayo para los Pesos unitarios en agregados

(*) "Ensayo Acreditado"

AASHTO T-19

Fecha de realización del ensayo: 2019-02-15

Peso unitario suelto (kg/m ³)	Peso unitario envarillado (kg/m ³)
1370	1500

Tabla 5
Método de ensayo para el Contenido de humedad en suelos y agregados

(*) "Ensayo Acreditado"

AASHTO T-255

AASHTO T-265

Fecha de realización del ensayo: 2019-02-13

Parámetro	Resultado
Contenido de humedad	7,50 %

Tabla 6
Método de ensayo para la Sanidad de agregados usando sulfato de sodio

(*) "Ensayo Acreditado"

AASHTO T-104

Fecha de realización del ensayo: 2019-02-25

Fracción	Resultado (%)	Especificaciones según CR-2010 (Actualización 2017)
Finos	8,3 %	10 % máximo

Tabla 7
Método de ensayo para el Contenido de Impurezas orgánicas en agregado fino

(*) "Ensayo Acreditado"

AASHTO T-21

Fecha de realización del ensayo: 2019-02-14

Material	Resultado	Especificación
Agregado fino	1, más claro color patrón	Hasta 3, más claro color patrón

-----Última línea-----



Cemento

FUERTE

TE

Cemento
hidráulico para
Construcción
General



EL cemento más fuerte

para todo tipo de construcción



***Durabilidad
garantizada***

*Gracias a la composición química
del Cemento Holcim Fuerte, su
resistencia se sigue desarrollando
después de los 28 días*



***Para todo tipo
de construcciones***

*El Cemento Holcim Fuerte
es ideal para remodelar o
construir viviendas*



***ideal para paredes
y repellos***

Cemento hidráulico para Construcción General

El Cemento Holcim FUERTE es el recomendado para preparar concretos y morteros de uso general, que no requieran alta resistencia inicial. Su contenido controlado de C3A no mayor al 8% provee un moderado calor de hidratación lo cual favorece la disminución de agrietamiento superficial por contracción plástica, cuando se controlan adecuadamente los parámetros de curado.

La inclusión de Caliza Holcim de alta ley, le confiere mejores atributos en cuanto a plasticidad en estado fresco de las mezclas y reduce el requerimiento de agua para alcanzar los parámetros requeridos de trabajabilidad.

Tipo MM/C (C-P)-28

RTCR 479:2015

Producido en:

Holcim Costa Rica, Aguacaliente de Cartago

Presentación:

Bolsas 50 kg, granel

Clasificación arancelaria: 25.23.90.00.00

Planta de Cemento Cartago con un sistema de gestión certificado según normas ISO 9001:2015 Gestión de Calidad e ISO 14001:2015 Gestión Ambiental.

Producto Certificado por INTECO para el Uso de la Marca de Conformidad de Producto INTECO, con el Reglamento Nacional de Costa Rica RTCR 479.2015.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

TABLA 1: ANÁLISIS QUÍMICOS DEL CEMENTO

	CEMENTO HOLCIM FUERTE	RTCR 479: 2015	ASTM C1157 GU
% Óxido de magnesio (MgO)	≤ 3.0	≤ 6.0	≤ 6.0
% Trióxido de azufre (SO ₃)	≤ 3.0	≤ 4.0	≤ 4.0

TABLA 2: COMPOSICIÓN DEL CEMENTO

	CEMENTO HOLCIM FUERTE	RTCR 479: 2015
Clinker	45-64	45-64
Adiciones minerales	36-55	36-55
Otros	0-5	0-5

TABLA 3: ANÁLISIS FÍSICOS DEL CEMENTO

		CEMENTO HOLCIM FUERTE	RTCR 479:2015	ASTUM C1157 GU
Contenido de aire del mortero INTE 06-11-04 (max. %)		12.0	12.0	12.0
Finura por permeabilidad (min. cm ² /g) INTE 06-11-06		-	-	-
Finura retenido en tamiz 0.045 mm INTE 06-11-10 (max. %)		-	-	-
Resistencia mínima a la compresión INTE 06-02-20	3 días	13	13	13
	7 días	20	20	20
	28 días	28	28	28
Tiempo de Fragua, minutos	Inicial mínimo INTE 06-11-05	45	45	45
	Final máximo INTE 06-11-05	420	420	420
Autoclave, cambio de longitud % máximo INTE 06-11-03	Expansión (máx.%)	0.80	0.80	0.80
	Contracción (máx.%)			0.80
Expansión en barras de mortero 14 días, % máximo ASTM C 1038		0,02	0,02	0,02
Falso fraguado, % mínimo ASTM C451		50	50	50

Usos recomendados

✓ <i>Concretos de tipo estructural: vigas, columnas, cimientos</i>	✓ <i>Sellos, losas, aceras</i>	✓ <i>Reparaciones y remodelaciones</i>
✓ <i>Repellos de paredes</i>	✓ <i>Concretos de relleno de celdas</i>	✓ <i>Producción de elementos de mampostería</i>
✓ <i>Concretos premezclados</i>	✓ <i>Morteros y concretos secos pre-ensacados</i>	✓ <i>Lechadas de inyección</i>

Recomendaciones

Este cemento se considera apto para:

Mantener un curado uniforme y sostenido

Realizar el diseño de mezcla del concreto o del mortero que corresponda.

Mantener buenas técnicas de aplicación y procesos constructivos adecuados.

Mantener condiciones de almacenamiento adecuadas para el cemento, según lo indicado en los documentos de la PCA, ACI International Cap. 2 y ACI 304 sección 2.3.

Especificaciones Técnicas

TABLA 4: REQUISITOS DE LOS COMPONENTES MINERALES

	PUZOLANA HOLCIM	REQUISITOS SEGÚN ASTM C 618
Contenido de minerales reactivos (SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃) mínimo %	80.0	70.0
% Trióxido de azufre (SO ₃) máximo %	2.0	4.0
Contenido de humedad (máximo %)	2.0	3.0
Pérdida a la ignición (máximo %)	10.0	10.0
Índice de actividad a 7 o 28 días (mínimo %)	75	75

CORRESPONDENCIA CON NORMATIVA INTERNACIONAL

Holcim (Costa Rica) ofrece a sus clientes una amplia variedad de cementos hidráulicos preparados para diferentes aplicaciones en mezclas de concreto, de acuerdo a los requisitos de sus clientes.

Dichos cementos están diseñados para cumplir con los requisitos de la legislación de Costa Rica, el Reglamento Técnico Nacional RTCR 479:2015



Huella Ambiental

El cálculo de la Huella de Producto para todos nuestros Cementos se realiza en cumplimiento con la norma PAS 2050, verificada por Carbon Trust y valida por tercera parte a través de INTECO.

Esta medición nos permite determinar la cantidad de gases de efecto invernadero que son liberados a la atmósfera durante la fabricación de un saco de cemento Holcim, expresado en kilogramos de CO2 equivalente (kg de CO2e/saco).

Las principales acciones que nos han permitido lograr reducir el impacto ambiental de nuestras actividades y la huella del portafolio de productos:

- Uso de combustibles alternos para sustituir el consumo de combustibles fósiles tradicionales utilizados para el proceso productivo de Cemento.
- Automatización de la operación para garantizar la mayor eficiencia energética del proceso
- Recuperación de calor en el sistema para reducir el consumo térmico del proceso.
- Utilización de minerales adicionados (puzolana y caliza) para optimizar la composición del cemento y mejorar sus propiedades
- Mejora del desempeño del cemento y aumento de resistencias mediante la utilización de aditivos de molienda.

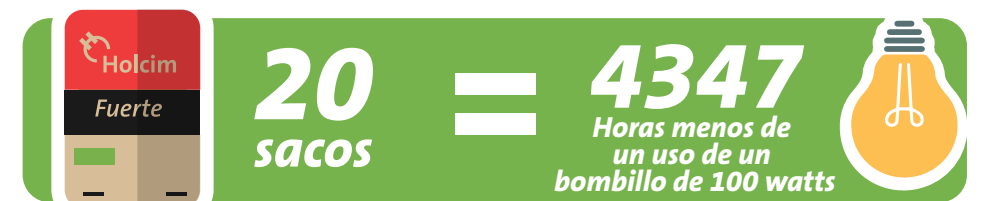
Desde el punto de vista del ciclo de la construcción, el contar con productos de menor huella de carbono o con significativas reducciones de CO2, contribuye a mitigar el impacto ambiental generado por el sector e incentiva cambios en la forma tradicional de construir. Holcim Costa Rica comprometido con los objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) aporta soluciones sostenibles para el país.



Huella ambiental

Unidad	fuerte
KgCO2e/t	535,32
Reducción KgCO2e/t	334,75
Reducción % vrs Portland	38%
Publicación en medios %	35%
KgCO2e/saco 50 kg	26,77

Equivalencias





 Una empresa de
LafargeHolcim





Piedra 25 mm (Cuartilla Industrial)

Descripción

Es un agregado grueso de primera calidad, obtenido a partir de un proceso de trituración de roca sólida, y luego cribada y lavada para garantizar su distribución granulométrica y la eliminación de limos y arcillas. Tamaño máximo 25 mm.

Litología

Andesita.

Aplicaciones

Recomendada para concretos estructurales, expuestos y elementos prefabricados y aplicaciones en general, en donde la densidad de acero o dimensión del molde o estructura, permitan un concreto con un agregado de tamaño máximo hasta 25 mm.

Análisis granulométrico según INTE 06-02-09-07 (ASTM C 136)

Malla, mm	Limite	
	Inferior	Superior
25 (1")	100	100
19 (3/4")	59	84
12.5 (1/2")	10	35
9.5 (3/8")	0	15
4.75 (# 4)	-	4
0.075 (# 200)	0.0	1.0

Ventajas

En mezclas de concreto, aumentará la resistencia a la compresión, disminuyendo el consumo de cemento, y por lo tanto, optimizando el costo del concreto.

Propiedades físicas

Propiedad	Según Ensayo INTE (ASTM)	Requisito
Humedad evaporable	06-02-36-10 (566)	< 5%
Pérdida por lavado # 200	06-02-12-08 (117)	< 1.0%
Módulo de finura	06-02-09-07 (136)	6.5 - 7.5
Peso específico	06-02-33-09 (127)	2.45 - 2.55
Absorción	06-02-33-09 (127)	< 3.3 %
Peso unitario	06-02-21-08 (29)	> 1300 Kg/m ³
Abrasión B	06-02-27-08 (131)	< 20 %
Sanidad	06-02-24-09 (88)	< 10%

Distribución granulométrica, límites inferior y superior

