

Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña (UNPHU)

**Facultad de Ciencia y Tecnología
Escuela de Ingeniería Civil**



Sustitución parcial del agregado fino por vidrio para la elaboración de hormigón

Trabajo de grado presentado por:

Dariel Correa Amador

Miguel Abraham Sarraff Beco

Asesor:

Ing. José Francisco Comarazamy

Para la obtención de grado de:

Ingeniero Civil

Santo Domingo, D.N.

2016

Índice

Resumen.....	3
Introducción	4
Dedicatorias	6
Dedicatorias	7
Agradecimientos	9
Capítulo 1: El problema.....	10
1.1 Planteamiento del problema	10
1.2 Justificación	12
1.3 Preguntas de investigación	13
1.4 Objetivos de la investigación.....	13
1.4.1 Objetivo general.....	13
1.4.2 Objetivos específicos.....	13
1.5 Antecedentes	14
Capítulo 2: Marco teórico	16
2.1 Vidrio	16
2.1.1 Propiedades del vidrio.....	17
2.1.2 Usos y aplicaciones.....	17
2.1.3 Reciclado de vidrio	18
2.1.4 Ventajas del proceso de reciclaje de vidrio:.....	19
2.2 Hormigón.....	20
2.3 Cemento.....	21
2.4 Agregados.....	23
2.4.1 Clasificación de los agregados.....	23
2.5 Agua.....	25
2.6 Método de ACI (American Concrete Institute)	26
2.7 Resistencia en compresión.....	26
2.8 Marco conceptual	28
2.9 Marco contextual	29
Capítulo 3: Marco metodológico.....	30
3.1 Formulación de hipótesis	30

3.2 Enfoque de la investigación	30
3.3 Tipo de investigación.....	30
3.4 Procedimientos	31
3.4.1 Obtención de los agregados.....	31
3.4.2 Ensayos realizados para obtener las características de los agregados	31
3.4.3 Obtención del vidrio.....	37
3.4.4 Elaboración de las mezclas de hormigón	37
3.5 Cronograma.....	39
Capítulo 4: Resultados.....	40
4.1 Ensayos realizados a los agregados.....	40
4.2 Diseño de mezclas para 1m ³ de hormigón	45
F'c: 175kg/cm ²	45
4.3 Análisis económico.....	57
4.4 Análisis ambiental	59
Conclusión	60
Recomendaciones	61
Bibliografía	62
Bibliografía de tabla	63
Anexos.....	64

Resumen

En la industria de la construcción el material más demandado es el hormigón, el cual lo compone cuatro elementos fundamentales cemento, agua, agregado grueso y agregado fino. Con el fin de una reducción en el costo del hormigón alineado a una propuesta medio ambiental, se busca sustituir el agregado fino por un material que abunda en los desechos sólidos del país el cual hasta la fecha no se le aplica un proceso de reciclado, dicho material es el vidrio.

Para tomar en cuenta la calidad de los materiales utilizados se realizaron los tres diseños de mezclas en base al método de la ACI, con resistencias a compresión de 175, 220, 280 kg/cm². Una vez sustituido parcialmente el agregado fino por vidrio, los resultados fueron satisfactorios, lo cual arroja la conclusión de que el vidrio puede ser un elemento para la elaboración de hormigones.

Introducción

En busca de dar solución a la acumulación de un desecho que abunda en los vertederos de nuestro país, el cual podría ser reciclado de distintas formas, una de estas, está plasmada en esta investigación enfocada a la industria de la construcción en uno de los materiales más demandados por esta, que es el hormigón.

Este desecho que abunda en los vertederos es el vidrio, según el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, en la República Dominicana se genera aproximadamente 11,000 toneladas de desechos sólidos diarios, de los cuales un 8% es vidrio, un porcentaje no representativo es reutilizado y en su gran mayoría no es reciclado.

Debido a que el vidrio es un material que proviene de la arena silíceo y uno de los elementos que componen el hormigón es la arena he aquí donde nace la interrogante de esta investigación, si el material desechado que es el vidrio podría sustituir parcialmente el agregado fino (arena) en la elaboración del hormigón.

Para verificar que el vidrio puede ser integrado como un nuevo elemento del hormigón, es necesario verificar si una vez sustituido, éste aún conserva su propiedad mecánica de mayor importancia para la construcción que es la resistencia en compresión para el cual se realizarán los procedimientos pertinentes.

Para hacer una muestra representativa se tomará en cuenta tres diseños de mezclas por el método de la American Concrete Institute (ACI) con resistencias de 175, 220 y 280 kg/cm².

En primer lugar la interrogante como ya mencionamos es saber si una vez integrado este nuevo material podemos obtener resistencias aceptables y en segundo lugar en vista de que es un material desechado, si esto provocará una baja en el precio de producción del hormigón a cambio de reducir los impactos negativos que este desecho provoca al medio ambiente.

Dedicatorias

A DIOS

Por ser el creador del cielo y de la tierra, porque con su amor nos ilumina los caminos; porque es el responsable de guiarnos a tomar las buenas decisiones y nos libra de todo mal; Porque sin su apoyo no sería posible cristalizar nuestros sueños; porque es nuestro guía y benefactor, porque lo hace todo posible. Dios te agradezco por siempre el haberme dado la oportunidad de culminar con mis estudios universitarios.

A MI MADRE

Ruth Amador, porque siempre me instó a estudiar y avanzar en la vida; porque en los momentos de dificultad siempre estuvo a mi lado; porque fue responsable de alfabetizarme sin importar los obstáculos que tuvo que vencer; siempre me enseñaste que para lograr algo en la vida debemos sacrificarnos y siempre predicaste con el ejemplo.

A MI PADRE

José Correa, porque siempre me apoyaste en todo lo que me propuse, sembrando en mí el valor de la perseverancia y la buena voluntad; porque siempre has querido lo mejor para tus hijos; porque siempre has sido un trabajador incansable.

A MI HERMANO

Joan Correa, quien es parte importante de mi vida, siempre estuviste ahí cuando necesitaba de tu ayuda. Que Dios te llene de bendiciones.

Dariel Correa Amador

Dedicatorias

Dedico mis esfuerzos, mis metas, y todo lo bueno que suele sucederme a la luz, a la energía, a la vida que es así como defino los que otros llaman Dios.

La luz que en momentos de oscuridad me hacía ver el camino, la energía que me levantaba cuando en algún momento sentí que no podía y a la vida porque es el aliento que hasta el momento me llega todas las mañanas. Ese es mi Dios lo más grande que tengo.

A eso que defino como mi Dios me regalo una persona acá en la tierra que no es parte de mi vida sino que soy un pedacito de ella, y es a esa persona que hoy en día agradezco por ser luz, energía y vida en mi propia vida. Esa persona siempre me ha conducido por el buen camino, nunca se rinde, un amor incondicional como ningún otro, un amor que siempre a lo largo de mi vida me ha dado todo sin esperar nada a cambio. Un amor de madre, la cual no me alcanza la inspiración para desprenderme de todo lo que llega en mi mente y corazón cuando pienso en ella. **Rosa Albania Beco Cordero** gracias madre en ti veo a Dios a diario porque eres luz, energía y vida.

Agradezco por tener una familia de sangre tan unida, tan llena de amor y de la cual siempre he recibido todo el apoyo que necesito gracias a todos sin excepción, de manera especial los menciono mama Ana y beco sin palabras para describirlos en mi vida. Mi hermana Hiromi pelear contigo sin duda es parte de mi gracias por todo. También agradezco a mi familia de otro tipo de sangre A+ una amistad plus todas esas personas grandes en mi vida que no importa que, siempre estaré ahí para ustedes como lo han hecho conmigo hasta el día de hoy sin importar que en algún momento dejen de hacerlo, incondicionalmente de ustedes.

UNPHU para ti tengo muchas cosas que agradecer en primer lugar todo un recinto para aprender y no solo de ingeniería. Gracias por todas las lecciones de vida que he adquirido.

En segundo lugar el cuerpo de maestros que moldearon mi aprendizaje, nunca olvidare todo aquel que estuvo en frente de mi en un aula, sin embargo, de

manera muy especial doy gracias a esos maestros cuyas cualidades exceden el promedio, gracias a todos los que en algún momento me dieron una mano para ir escalando a la cima, prometo nunca olvidarlo.

En tercer lugar y no menos importante aquellos que se integran a mi familia gracias muchachos porque fueron, son y seguirán siendo los mejores, de manera muy oportuna llegaron a mi vida. Gracias, ustedes saben quiénes son y aun no se imaginan lo que significan para mi, les agradezco los relajos y todo.

Miguel Abraham Sarraff Beco

Agradecimientos

A DIOS

Porque siempre me ha guiado por el buen camino y ha permitido que culmine felizmente mis estudios universitarios. Gracias porque lo hiciste posible.

A LA UNIVERSIDAD

Por haberme dado la oportunidad de educarme en su recinto, con su excelente cuerpo de profesores, quienes me han orientado en todo el camino de mis estudios universitarios. Gracias UNPHU por acogerme y educarme con sabiduría.

A MIS PROFESORES

A todo el cuerpo de profesores de la Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña (UNPHU), porque gracias a sus sabias enseñanza me permitieron alcanzar esta meta de tanta importancia para mí, espero que Dios les provea vida y salud por mucho tiempo, para que otros estudiantes al igual que yo puedan recibir sus conocimientos. Gracias profesores.

A MIS COMPAÑEROS

A todos mis compañeros de estudios con los cuales compartí desde el principio hasta el final, quienes sin duda me alentaron a seguir adelante.

Dariel Correa Amador

Capítulo 1: El problema

1.1 Planteamiento del problema

Los desechos generados por la actividad humana son unos de los principales problemas que la sociedad está sufriendo hoy en día, debido al mal manejo que se les han dado a estos. Los desechos son los causantes de diversos problemas, entre las cuales tenemos: enfermedades, problemas de drenaje pluvial y sanitario, contaminación al medio ambiente, entre otros. Muchos de estos desechos son reutilizables o reciclables, pero debido a la falta de control en estos materiales, estos terminan en los vertederos siendo olvidados.

Entre los elementos desechados, el vidrio presente en los vertederos, es uno de los materiales que necesita mayor tiempo para su descomposición; por otro lado, si se toma en cuenta que el vidrio puede ser aprovechado, es necesario también señalar que esto implica el uso de combustibles, así como la contaminación durante las etapas de su producción, es decir en la extracción de la materia prima, su transporte, procesamiento, fabricación, distribución y comercialización (Estalin & Andrés, 2013).

Según el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, en la República Dominicana se genera aproximadamente 11,000 toneladas de desechos sólidos diarios, de esa cantidad el 8% es de vidrio.

Pero cabe preguntarnos ¿cuál es la mejor manera de aprovechar este material actualmente desechado?, por obvias razones lo más conveniente es su reutilización. Una vez deteriorado en exceso o simplemente roto el vidrio ya no puede ser reutilizado, sin embargo este puede ser reciclado, bien sea



Imagen 1.0
Desechos de vidrios generados por la empresa
Biselados del Caribe.

mediante su reprocesamiento para fabricar vidrio nuevamente o como componente de productos tales como lámparas, baldosas, vitrales, azulejos, etc (Estalin & Andrés, 2013).

1.2 Justificación

En los vertederos de Santo Domingo, del vidrio que se deposita solo se recuperan las botellas de vidrios, ya que estas son reutilizadas por las empresas fabricantes de refrescos, maltas, ron, cervezas y otros productos, por lo que los vidrios que ya están rotos, no se le da un uso posterior.

Este trabajo tiene como objetivo utilizar el vidrio que se está desechando para poder ser utilizado como sustituyente parcial del agregado fino para la elaboración del hormigón, esto tendrá como consecuencia que el precio unitario del hormigón reduzca, y además, generará un impacto positivo al medio ambiente. Esta idea de utilizar el vidrio como sustituyente del agregado fino surge debido a que el vidrio es un material que se fabrica con arena sílice, por lo que se espera que con la incorporación del vidrio al hormigón se obtenga una resistencia a compresión similar que a la de un hormigón tradicional.

1.3 Preguntas de investigación

1. ¿Por qué se diseñarán tres mezclas de hormigón con resistencias diferentes?
2. ¿Qué se busca con el ensayo de resistencia a compresión?
3. ¿Cuál sería la diferencia en la resistencia de un hormigón tradicional y un hormigón con vidrio?
4. ¿Qué beneficios se obtiene al utilizar esta nueva dosificación para realizar hormigón?

1.4 Objetivos de la investigación

1.4.1 Objetivo general

Determinar si el vidrio puede parcialmente sustituir al agregado fino para elaborar hormigón.

1.4.2 Objetivos específicos

Diseñar tres mezclas de hormigón utilizando el método de la ACI.

Realizar el ensayo de compresión para determinar la resistencia del hormigón tradicional y con vidrio.

Analizar los resultados obtenidos a partir de las distintas dosificaciones de hormigón, con y sin adición de vidrio.

Analizar los beneficios económicos y ambientales.

1.5 Antecedentes

Años anteriores se estaba estudiando la posibilidad de utilizar el vidrio molido para sustituir el agregado fino. En el 2004, tenían la idea de reutilizar el vidrio y así no abusar de los recursos naturales. Esta investigación la llevó a cabo el Departamento de Ingeniería de Obras Civiles de la Universidad de Santiago de Chile. El objetivo fue determinar, experimentalmente, el efecto que produce en morteros y hormigones el reemplazo parcial de la arena por vidrio reciclado triturado de color claro.

Se demostró que el cristal triturado, que pasa por el tamiz de abertura menor a 0,63 mm, causa las menores expansiones en la barra de mortero, y muy similares a las expansiones obtenidas para las barras sin vidrio. Un aumento en la cantidad de vidrio más allá del 10 por ciento provoca un incremento en la expansión de la barra de mortero por sobre el límite admitido.

Se analizó el efecto de la cantidad de vidrio en la resistencia a la compresión del hormigón, y se observó una disminución en la resistencia a la compresión al aumentar la cantidad de vidrio. Es así como el hormigón elaborado con 100 por ciento de agregado de vidrio presentó una disminución de la resistencia en 20 por ciento respecto de la mezcla elaborada en su totalidad con áridos naturales.

Los productos específicos con agregado de vidrio están actualmente bajo desarrollo en algunos países industrializados. Éstos incluyen bloques de concreto de albañilería con 10 por ciento de agregado de vidrio reciclado de color mixto y glasurete; productos con 100 por ciento de agregado de vidrio con color seleccionado para numerosas aplicaciones arquitectónicas y decorativas(Lacoste, 2004).

Para el año 2008, en la Universidad de Michigan (MSU), Estados Unidos, se comenzó a realizar muestras de hormigón con vidrios molidos, pero en este caso el vidrio sustituía el cemento en un 20%. El campus de MSU tiene varios sitios de prueba donde se probó la mezcla del concreto-vidrio, y los resultados fueron bastante positivos.

Aproximadamente el 20 por ciento del cemento utilizado para producir concreto se sustituye por vidrio (reciclado) molido, generando un significativo ahorro en cemento. Además, el uso de vidrio, ayuda a reducir la cantidad de vidrio que termina en los vertederos, y ayuda a reducir las emisiones de dióxido de carbono que son comunes, debido a las altas temperaturas necesarias para crear cemento.

"El Vidrio molido entra en una reacción beneficiosa con los hidratos del cemento, así que básicamente la química del cemento se mejora con el vidrio", dijo Parviz Soroushian, profesor de ingeniería civil y ambiental que ha estudiado la mezcla del vidrio y el concreto. "Se hace más fuerte y más durable y no absorbe el agua tan rápido como el cemento regular "(masingenio, 2012).

Capítulo 2: Marco teórico

2.1 Vidrio



Imagen 2.0
Laminas de vidrio desechadas.
Fuente propia.

Son materiales cerámicos no cristalinos; se denominan como materiales amorfos (desordenados o poco ordenados), inorgánicos, de fusión que se ha enfriado a una condición rígida sin cristalizarse.

El vidrio es una materia inerte compuesta principalmente de silicatos. Es duro y resistente al desgaste, a la corrosión y a la compresión. Anteriormente, las materias primas para la fabricación del vidrio eran solamente las arcillas.

Con el paso del tiempo se fueron implementando nuevos elementos a la fabricación del vidrio para obtener diferentes tipos. En la actualidad muchos materiales desempeñan un papel importante, pero las arcillas siguen siendo fundamentales (EcuRed).

El vidrio se hace en un reactor de fusión, en donde se calienta una mezcla que casi siempre consiste en arena silíceo (arcillas) y óxidos metálicos secos pulverizados o granulados. En el proceso de la fusión (paso de sólido a líquido) se

forma un líquido viscoso y la masa se hace transparente y homogénea a temperaturas mayores a 1000°C. Al sacarlo del reactor, el vidrio adquiere una rigidez que permite darle forma y manipularlo. Controlando la temperatura de enfriamiento se evita la desvitrificación o cristalización (D.F., 1995).

2.1.1 Propiedades del vidrio

Las diferentes propiedades que poseen los vidrios son: físicas, químicas, mecánicas, ópticas, térmicas y eléctricas, como se muestra en la tabla (2.0).

Propiedad	Valor	Unidades
Densidad a 25 °C	2,49	g/cm ³
Coeficiente de dilatación lineal a 25 °C	8,72•10 ⁻⁶	°C ⁻¹
Conductividad térmica a 25 °C	0,002	cal/cm.s.°C
Tensión superficial a 1200 °C	319	dinas/cm
Índice de refracción (a 589,3 nm)	1,52	-
Módulo de elasticidad a 25 °C	719	kbar
Módulo de Poisson a 25 °C	0,22	-
Resistencia a la tracción a 25 °C	900	bar
Constante dieléctrica (4.5.188 Hz)	7,3	-
Resistencia eléctrica a 1100 °C	1,06	Ω.cm
Resistencia eléctrica a 1500 °C	0,51	Ω.cm
Calor específico a 25 °C	0,20	cal/g/°C

Tabla 2.0
Propiedades del vidrio

2.1.2 Usos y aplicaciones

El vidrio es un material con múltiples aplicaciones en diversas áreas, como: el campo cotidiano, el industrial y el plano científico. Su uso no solo es estético y comercial, ya que su aplicación ha permitido desarrollar numerosos experimentos claves a lo largo de la historia como: el cultivo de microbios, la invención del tubo

de rayos catódicos, y el desarrollo de telescopios, microscopios, lentes fotográficos; por mencionar algunos.

El tipo de vidrio que representa el mayor porcentaje de la producción mundial, es el sílico-sódico-cálcico. Dentro de sus aplicaciones más comunes se tiene su uso como elemento constructivo en ventanas, puertas, vitrinas, espejos, etc.; en recipientes, y en elementos decorativos tales como botellas, vasos, jarros, etc.

Otros vidrios ampliamente difundidos son los vidrios de boro silicato, comúnmente conocidos como vidrios pyrex, usados en aplicaciones donde se requiere una elevada resistencia a la temperatura, como en utensilios de cocina y laboratorio (Estalin & Andrés, 2013).

2.1.3 Reciclado de vidrio

Cuando el envase de vidrio llega al final de su vida útil y es depositado en el iglú verde, empieza el proceso de reciclaje. El envase será transportado a las plantas de tratamiento y valorización de vidrio, que tienen como producto final un vidrio tratado libre de impurezas, denominado calcín (vidrio molido), con el que se alimentarán los hornos de vidrio para fabricar nuevos envases.

El reciclaje de vidrio contribuye directamente al ahorro energético en el proceso de producción del vidrio:

Gracias a la utilización del vidrio reciclado junto con las materias primas vírgenes, la temperatura de fusión disminuye, consiguiendo un ahorro de un aprox. 1% de energía por cada 4% de calcín reciclado que se introduce en el horno como

materia prima. Es decir, con la energía que ahorra el reciclaje de una botella, se podría mantener encendida una bombilla de 100 Watios durante 4 horas.

Además al disminuir la necesidad de materias primas, minimizamos el impacto ambiental generado en su extracción:

Reciclando 3.000 botellas de vidrio se ahorra más de una tonelada de materia prima. Estos hechos hacen que reciclar vidrio sea una actividad que colabora con el desarrollo sostenible y favorece las generaciones futuras.

2.1.4 Ventajas del proceso de reciclaje de vidrio:

1. Disminuir el uso de materias primas naturales fruto de las extracciones mineras, minimizando el impacto ambiental global del proceso.
2. Ahorro energético en la fabricación debido a la disminución del punto de fusión de la mezcla de vidrio reciclado (calcín) y materias primas vírgenes.
3. Disminución de las emisiones de CO₂ a la atmósfera debido a la disminución de la demanda de energía en el proceso de extracción y en el proceso de fabricación.(Crismol, 2015).

2.2 Hormigón

El hormigón es una mezcla que está compuesto por aglomerante (cemento), agregado fino (arena), agregado grueso (grava) y agua, que tiene la propiedad de endurecerse con el tiempo.



El hormigón es uno de los principales materiales que se consumen hoy en

*Imagen 2.1
Mezcla de hormigón hecha a mano.
Fuente propia.*

día en la construcción civil. Su resistencia y maleabilidad lo convierten en un material ideal para la mayoría de las estructuras, ya sean pequeñas, medianas o grandes (arquitectura, 2014).

Una propiedad del hormigón es su capacidad para resistir esfuerzo a compresión, sin embargo, este tiene una baja resistencia en esfuerzo a tracción.

Al dosificar un hormigón deben tenerse en cuenta tres factores fundamentales, a partir de los cuales se han de determinar las cantidades necesarias de agua, cemento y áridos para obtener el hormigón deseado al más bajo costo posible.

A estos componentes básicos, en el momento de su amasado pueden añadirse otros productos o materiales para mejorar algunas características determinadas.

El hormigón es un compuesto de dureza similar a la de una roca, que puede ser fabricado completamente a pie de obra. Su gran ventaja estriba en la facultad y facilidad de moldeo, al tomar la forma y figura geométrica del molde, envase o

encofrado en que se vierte, y alcanzando, tras un periodo dado de endurecimiento, una resistencia a la deformación.

Los hormigones, según su capacidad resistente, se clasifican en:

- Hormigón en masa: apto para resistir únicamente esfuerzos de compresión.
- Hormigón armado: provisto de armaduras pasivas, debidamente dimensionadas y dispuestas en el seno de la masa, lo cual le hace apto para resistir esfuerzos combinados de tracción y compresión.
- Hormigón pretensado: hormigón en el que, previamente a su endurecimiento, sus armaduras de acero especial están sometidas a un esfuerzo de tracción.
- Hormigón postensado: se realiza vertiendo la masa en el encofrado donde previamente se han dejado unas vainas, cuyos aceros se tensan una vez endurecido el hormigón.

(M. & Setien).

2.3 Cemento

El aglomerante utilizado es el cemento Portland que es un material producto de la fusión química a altas temperaturas de materiales calcáreos y arcillas, este nuevo producto reacciona cuando hace contacto con el agua endureciéndose con el tiempo hasta convertirse en una piedra artificial, por lo que recibe también el nombre de cemento hidráulico. El método básico bajo el que se puede producir el cemento Portland fue descubierto por el inglés Joseph Aspdin en 1824, quien identificó al cemento como Portland por la semejanza del cemento endurecido con

las canteras de la isla de Portland en Inglaterra. Desde su descubrimiento el cemento Portland se ha constituido en el material de construcción por excelencia, contándose a la fecha con una gran variedad de aplicaciones de productos derivados del cemento(Domínguez).

El cemento es natural cuando se consiguen rocas calizas con arcilla suficiente. Es artificial cuando se hace preciso mezclar la roca caliza y la arcilla. La roca caliza contiene un 56 por ciento de óxido de cal y un 44 por ciento de anhídrico carbónico.

El cemento endurece por la hidratación de los numerosos componentes que se forman al mezclarse éste con agua. La reacción que se produce es exotérmica, o sea que hay desprendimiento de calor.

En construcciones donde se utiliza una gran cantidad de hormigón, se nota el desprendimiento de calor al observarse un aumento de temperatura en el ambiente. Este aumento en temperatura tiende a agrietar los hormigones al éstos contraerse cuando se enfrían.

Entre las sustancias perjudiciales al cemento Portland están el sulfato magnésico, que ataca a los silicatos hidratados de cal, ácidos y sulfatos en general, aguas jabonosas, soluciones azucaradas y sustancias grasosas.

El cemento Portland se utiliza para preparación de morteros y hormigones, construcción de pavimentos, fabricación de piedras artificiales, fijación de piezas, derretido de pisos, fabricación de tuberías, entre otros(Comarazamy, 1985).

2.4 Agregados

Considerando que el hormigón está formado por dos fases: la pasta de cemento hidratado y el agregado; en consecuencia, las propiedades del hormigón estarán definidas por las propiedades de las dos fases y por la presencia de la interfaz entre ellas.



Imagen 2.2
Agregado grueso y fino respectivamente.
Fuente Propia.

El agregado forma aproximadamente las tres cuartas partes del volumen del hormigón, por lo que, la calidad del agregado es de suma importancia y sus propiedades influyen en el desempeño del hormigón como la estabilidad volumétrica, resistencia y durabilidad.

Desde el punto de vista económico, el agregado constituye el componente de menor costo después del agua, por lo que la mezcla debe realizarse con la mayor cantidad posible de este, siempre que las propiedades deseadas del hormigón en estado fresco y endurecido queden garantizadas (Laboratorio de ensayo).

2.4.1 Clasificación de los agregados

Clasificación por peso por unidad de volumen o densidad a granel.

Normales: Son los agregados de uso más generalizado, y en el 90% de las construcciones los utiliza. El peso unitario está comprendido entre 1000 a 1800 kg/m³.

Livianos: Su peso unitario está por debajo de los 1000 kg/m³ (700 a 800 kg/m³) y con su uso se obtienen hormigones livianos.

Pesados: Tienen un peso unitario superior a los 2000 kg/m³ y provienen de rocas que contienen elementos pesados, por ejemplo, hierro, bario, plomo. Se los emplea para la elaboración de hormigones pesados para pantallas contra radiaciones.

Clasificación por su composición mineralógica.

Se da una clasificación de los agregados naturales según el tipo de roca: ígneas, sedimentarias y metamórficas.

Clasificación por el método de obtención.

Según el procedimiento de producción, los agregados pueden clasificarse como: naturales o artificiales. En la segunda categoría se incluyen los agregados producidos con minerales tratados térmicamente, por trituración y por reciclado.

Clasificación por su tamaño.

Agregado grueso: es el agregado que de acuerdo con su tamaño nominal, queda retenido en el tamiz (N. 4).

Agregado fino: es el agregado que pasa por lo menos el 95% el tamiz (N.4) y queda retenido en el tamiz (N. 200).

(Carrasco, 2013).

Agregado Fino

Las arenas proceden de la disgregación natural o artificial de las rocas. Se consideran como tales a los trozos más o menos redondeados con un diámetro comprendido entre 1 y 5 milímetros, por encima de este tamaño se encuentran las gravas, y por debajo los limos.

Las arenas artificiales son procedentes de la molienda de piedras más gruesas y presentan siempre los granos angulosos.

En cuanto a la forma de los granos, en la actualidad se prefieren los granos angulosos pues se puede dosificar mejor la mezcla de gruesos y finos, de manera que el resultado sea un mortero más compacto (Escobar, 2010).

Se clasifican de acuerdo a su yacimiento en arenas de mar, arenas de río y arenas de mina, de estas la de mejor calidad es la de mina.

Agregado grueso

Al igual que el agregado fino este procede de la disgregación natural o artificial de la roca con la diferencia de que el diámetro del agregado es de 5 a 80 mm. Estos se utilizan principalmente para la producción de hormigón, y en la construcción de calles y avenidas.

2.5 Agua

El agua cumple dos importantes funciones en la mezcla de hormigón de cemento Portland. Primeramente, reacciona químicamente con el cemento para producir la parte sólida de la pasta de cemento Portland que es lo que da la resistencia al

hormigón. En segundo lugar, provee la manejabilidad de la mezcla, importantísima propiedad para formar un hormigón homogéneo y bien compactado.

Poca agua producirá un hormigón denso y seco, difícil de compactar y de homogeneizar y que por lo tanto resultará en un hormigón débil. Por otro lado, mucha agua provocará la formación de muchos poros cuando el agua se evapore, favorecerá la segregación y tampoco se obtendrá un hormigón homogéneo, lo cual también dará como resultado un hormigón débil. Es decir, la cantidad de agua tiene un rango, o mejor dicho, un valor óptimo para evitar estar en esas condiciones extremas(Fernandez, 2007).

2.6 Método de ACI (American Concrete Institute)

Para esta investigación el diseño de mezcla a utilizar es el Método de ACI el cual parte de la resistencia del hormigón, la razón agua-cemento, el volumen de hueco de los agregados, tamaño y dimensión de los agregados, uso del hormigón y módulo de finura de los agregados(Comarazamy, 1985)

2.7 Resistencia en compresión

Los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión se usan fundamentalmente para determinar que la mezcla de concreto suministrada cumpla con los requerimientos de la resistencia especificada del proyecto. Los resultados de las pruebas de resistencia a partir de cilindros moldeados se pueden utilizar para fines de control de calidad, aceptación del concreto o para estimar la resistencia del concreto en estructuras, para programar las operaciones de

construcción, tales como remoción de cimbras o para evaluar la conveniencia de curado y protección suministrada a la estructura.

Las probetas cilíndricas se someten a ensayo de acuerdo a ASTM C39, “Método estándar de prueba de resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de concreto”.



Un resultado de prueba es el promedio de, por lo menos, dos pruebas de resistencia

Imagen 2.3
Ensayo para determinar la resistencia a compresión del hormigón.
Fuente Propia.

curadas de manera estándar o convencional elaboradas con la misma muestra de concreto y sometidas a ensayo a la misma edad. En la mayoría de los casos, los requerimientos de resistencia para el concreto se realizan a la edad de 28 días.

Las cilindros para pruebas de aceptación deben tener un tamaño de 6 x 12 pulgadas (150 x 300 mm) o 4 x 8 pulgadas (100 x 200 mm), cuando así se especifique (Concreto, 2010).

2.8 Marco conceptual

Mezclas de hormigón

El hormigón es una mezcla que está compuesto por aglomerante (cemento), agregado fino (arena), agregado grueso (grava) y agua, que tiene la propiedad de endurecerse con el tiempo.

Ensayo a compresión

El ensayo a compresión es el método por el cual se puede determinar la resistencia como su nombre lo indica, a compresión del hormigón, ya que ésta es la característica mecánica que más nos interesa de este.

Resistencia en compresión

Los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión se usan fundamentalmente para determinar que la mezcla de concreto suministrada cumpla con los requerimientos de la resistencia especificada del proyecto.

Dosificación del hormigón

La dosificación indica en qué proporción se utiliza cada material para obtener como resultado una resistencia específica para el hormigón.

2.9 Marco contextual

Este proyecto de investigación se llevó a cabo en el laboratorio de mecánica de suelos y materiales de construcción de la Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña (UNPHU), otro medio utilizado para el desarrollo de la investigación fue el laboratorio de GEOCONSULT, ciudad de Santo Domingo, República Dominicana.



Imagen 2.4
Laboratorio de Mecánica de suelos y materiales de construcción de la Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña (UNPHU)
Fuente propia.

Capítulo 3: Marco metodológico

3.1 Formulación de hipótesis

La implementación del vidrio como un nuevo material para la elaboración de hormigones trae consigo una reducción considerable en el precio unitario del hormigón, así como impactos significativos al medio ambiente.

3.2 Enfoque de la investigación

Para el desarrollo de esta investigación se toman en cuenta las cualidades o características de los materiales a trabajar entendiéndose por estos los agregados y en qué proporción o cantidad lo necesitamos para realizar una determinada mezcla de hormigón. Es por esta razón que el enfoque de esta investigación es cualicuantitativo.

3.3 Tipo de investigación

El fin de esta investigación es implementar un material desechado y no reciclado en la actualidad en nuestro país. Para convertirlo en materia prima de uno de los materiales más demandados en la construcción. (Tiempo de ocurrencia: prospectivo).

Para la obtención de información fue necesario la realización de varios ensayos lo que define este trabajo según la recogida de datos como una investigación experimental.

Se puede definir esta investigación según el objetivo que se estudia como un trabajo de exploración ya que se basa en la aplicación de conocimientos previos enfocados de una manera distinta.

3.4 Procedimientos

3.4.1 Obtención de los agregados



Imagen 3.0
Planta de agregado Bisonó
Fuente propia

Los agregados utilizados para esta investigación fueron obtenidos de una planta con el fin de trabajar con un material calificado y de alta calidad, la misma lleva por nombre Planta de Agregados Bisonó, ubicada en Yaguata, provincia San

Cristóbal, República Dominicana.

3.4.2 Ensayos realizados para obtener las características de los agregados

Peso unitario para agregado fino ASTM C-29

Procedimiento:

1.- Se calibra el medidor de peso unitario, determinando el peso del agua, a temperatura ambiente. El volumen del medidor en pie cubico, será el peso del agua usada para llenarlo, dividido entre la densidad del agua a temperatura ambiente.

2.- Seleccionar aproximadamente 10,000 grs. de arena.



Imagen 3.1
Ensayo de peso unitario para agregado fino ASTM C-29
Fuente propia

3.- Se llena el medidor hasta un tercio de su capacidad, se nivela la superficie y con una barra se da 25 golpes, uniformemente distribuidos sobre la superficie. La segunda y tercera capa se vierte y se compactan de una manera

similar. Al golpear la primera capa, la barra no debe llegar hasta el fondo, y en las dos últimas capas, la barra sólo debe penetrar la última capa.

4.- Se enraza la superficie y se pesa.

Peso unitario para agregado grueso ASTM C-29

Procedimiento:

1.- Se calibra el medidor de peso unitario, determinando el peso del agua, a temperatura ambiente. El volumen del medidor en pie cubico, será el peso del agua usada para llenarlo, dividido entre la densidad del agua a temperatura ambiente.



Imagen 3.2
Ensayo de peso unitario para agregado grueso ASTM C-29
Fuente propia

2.- Seleccionar aproximadamente 55 libras de grava.

3.- Se llena el medidor hasta un tercio de su capacidad, se nivela la superficie y con una barra se da 25 golpes, uniformemente distribuidos sobre la superficie. La segunda y tercera capa se vierte y se compactan de una manera similar. Al golpear la primera capa, la barra no debe llegar hasta el fondo, y en las dos últimas capas, la barra sólo debe penetrar la última capa.

4.- Se enraza la superficie y se pesa.

Gravedad específica y absorción para agregado fino ASTM 128

Procedimiento:



Imagen 3.3

Ensayo de gravedad específica para A. F. ASTM 128
Fuente propia

1.- Se toma una muestra de alrededor de 1,500 grs. de arena mojada saturada (arena sumergida en agua durante 24 horas); se coloca en una superficie limpia y se seca con aire caliente hasta que llegue al estado de saturado y superficialmente seco (SSS). Esta condición se determina

al colocar la arena en un molde y apisonarla suavemente 25 veces. Si hay humedad, la arena mantendrá su forma cuando se retire el molde. Cuando existe la condición SSS, la arena cae al retirarse el molde.

2.- Se introduce 500 grs. del material en estado SSS en un frasco de 500 ml y a continuación se gira el frasco suavemente varias veces para liberar el aire

atrapado. Se añade más agua hasta llegar exactamente a la marca de 500 ml. Y se determina el peso del agua añadida.

3.- Se remueve toda la arena del frasco para conseguir todas las partículas, se coloca la arena junto al agua en un horno y se seca durante 2 horas a 100 grados Celsius.

Gravedad específica y absorción para agregado grueso ASTM 127

Procedimiento:



Imagen 3.4
Ensayo de gravedad específica A.G. ASTM- 127
Fuente propia

1.- Se selecciona cerca de 1 kg. de grava mojada (grava sumergida en agua durante 24 horas) y se pasa por el tamiz #4, salvando la porción retenida.

2.- Se vierte la muestra en un mantel ó papel absorbente, hasta que toda el agua visible en la superficie del material haya sido removida.

3.- Inmediatamente después que la muestra haya sido secada en una

condición (SSS), pésela.

4.- Coloque la muestra en el canasto con malla de alambre y determine su peso en el agua.

5.- Coloque la muestra en un horno y seque hasta que tenga un peso constante.

Análisis granulométrico para agregado fino ASTM C-136

Procedimiento:

1.- Se toma una muestra de aproximadamente 2,000 gramos de arena secada al aire y se separa una muestra de 500 gramos, mediante el separador de muestras (splitter).

2.- Se ordena los tamices por tamaño,

colocando el más grande arriba.

3.- Se coloca la muestra en el tamiz de

arriba, se tapa y se agita durante 3 minutos o hasta que no más de 1 % de residuo por peso pase a través de algún tamiz durante 1 minuto de agitación manual.

4.- Se pesa el material en cada tamiz y en el recipiente de fondo. Si este total no es igual al peso original, con límites de 1 %, se repite la prueba.



*Imagen 3.5
Análisis granulométrico A.F. ASTM C-136
Fuente propia*

Contenido de humedad para agregado fino ASTM C-566

Procedimiento:

1.- Se selecciona 500 grs. de arena.

2.- Se pesa una muestra lo más próximo a 0.1 gr. de error y se seca en el horno durante 24 horas a 100 grados C.

Análisis granulométrico para agregado grueso ASTM C-136

Procedimiento:

1.- Escoja 5,000 gramos de grava secada al aire.

2.- Ordene los tamices desde 1 ½" hasta el tamiz #8.

3.- Pase el material por cada tamiz en orden de mayor a menor.



Imagen 3.6
Análisis granulométrico A.G. ASTM C-136
Fuente propia

4.- Pese el material retenido en cada tamiz, y si la suma total del material no es igual al peso original, con límites de 1 %, repita la prueba.

Contenido de humedad para agregado grueso ASTM C-566

Procedimiento:

1.- Seleccione de 9-13 libras de grava. Si la grava es de 1", seleccione 9 lbs., si es de 1 ½ ", seleccione 13 lbs.

2.- Pese una muestra lo más próximo a 0.1 gr. de error y seque en el horno durante 24 horas a 100 grados Celsius.

3.4.3 Obtención del vidrio

Para fines de esta investigación se necesita de este material como desecho, para esto se requiere acudir a empresas cuyas cantidades desechadas de este



material sean significativas. En esta investigación el vidrio fue

*Imagen 3.7
Desechos de vidrio molido, Biselados del Caribe.
Fuente propia*

obtenido de la empresa Biselados del Caribe, la misma desecha el material molido y no molido.

Una vez obtenido el material pasa por un proceso de limpieza para eliminar impurezas y posteriormente tamizarlo para obtener la granulometría deseada.

3.4.4 Elaboración de las mezclas de hormigón

Procedimiento:

1.- Se diseñan las diferentes resistencias de hormigón utilizando las características obtenidas de los agregados. El método utilizado para el diseño de mezclas fue el de la American Concrete Institute (ACI).

2.- Se pesa los 4 ingredientes de la mezcla.

3.- Se mezcla la arena y el cemento hasta que tenga un color homogéneo, luego se le agrega la grava y el agua y se continúa mezclando.



Imagen 3.8
Mezcla de Hormigón.
Fuente propia

4.- Se hace la prueba de revenimiento (slump). Una vez concluida la prueba, se regresa este hormigón al recipiente y se mezcla a mano.

5.- Se introduce el hormigón en los cilindros metálicos, se introducirán 3 capas, por cada capa se le dará 25 golpes con una barra metálica

para que el hormigón quede compactado.

6-. Al día siguiente se sacan las probetas de los cilindros, y estos se introducen en la cámara de curado por 28 días.

Para la elaboración del hormigón con vidrio se realizó este mismo procedimiento, solo que se mezcló la arena con el vidrio.

Luego de los 28 días se procede a realizar el ensayo de resistencia a compresión de las probetas de hormigón.

3.5 Cronograma

Cronograma		
<i>Actividad</i>	<i>Comentario</i>	<i>Tiempo</i>
Obtención de los agregados	Comprar y transportar el material al laboratorio	1 día
Ensayos realizados a los agregados		4 días
Obtención del vidrio	obtención y transporte al laboratorio	1 día
Limpieza del vidrio	Tamizado	1 día
Mezcla	Mezcla de hormigón tradicional	3 días
Tiempo curado	Curado de probetas de hormigón tradicional.	28 días
Ensayo a compresión	Ensayo a compresión hormigón tradicional.	3 días
Mezcla	Mezcla de hormigón con vidrio	3 días
Tiempo de curado	Curado de probetas de hormigón con vidrio.	28 días
Ensayo a compresión	Ensayo a compresión hormigón con vidrio.	3 días

Capítulo 4: Resultados

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos a lo largo de esta investigación, estos fueron obtenidos a través de documentación, ensayos y encuestas.

Esta investigación se basa en documentación online, como históricos y estadísticos, ensayos realizados para definir las características de los agregados, necesarias para realizar los diseños de mezclas y encuestas para determinar los impactos que este proyecto puede generar a nivel económico y ambiental.

4.1 Ensayos realizados a los agregados

Peso unitario para agregado fino ASTM C-29

Peso del medidor, lbs.	6.65
Peso del medidor y agua, lbs.	12.78
Volumen del medidor = (Peso del agua/Densidad del agua a temperatura ambiente), p3.	0.10
Peso del medidor y agregado, lbs.	16.71
Peso unitario del agregado = (Peso del agregado/Volumen del medidor), lbs/p3.	100.7

Peso unitario para agregado grueso ASTM C-29

Peso del medidor, lbs.	6.65
Peso del medidor y agua, lbs.	12.78
Volumen del medidor = (Peso del agua/Densidad del agua a temperatura ambiente), p3.	0.10
Peso del medidor y agregado, lbs.	17.03
Peso unitario del agregado = (Peso del agregado/Volumen del medidor), lbs/p3.	103.9

Para el diseño de mezcla es necesario saber cuál es el peso unitario del material para poder determinar la cantidad de agregado que requiere el volumen a diseñar del hormigón.

Gravedad específica y absorción para agregado fino ASTM 128

Peso de la muestra en estado SSS (C)	500 gr
Peso del frasco de 500 ml., grs.	174.3 gr
Peso del frasco y la muestra, grs.	674.3 gr
Peso del frasco, la muestra y agua, grs.	1029 gr
Peso del agua que se necesitó para llenar el frasco (W), grs.	354.7 gr
Peso de la muestra secada en el horno (A), grs.	492.6 gr

$$\text{Gravedad específica: } \frac{A}{V-W} = \frac{492.6 \text{ gr.}}{500 \text{ ml.} - 354.7 \text{ gr.}} = 3.39$$

$$\text{Gravedad específica aparente: } \frac{A}{(V-W)-(C-A)} = \frac{492.6 \text{ gr.}}{(500 \text{ ml.} - 354.7 \text{ gr.}) - (500 \text{ gr.} - 492.6 \text{ gr.})} = 3.57$$

$$\text{Absorción (\%): } \frac{C-A}{A} \times 100 = \frac{500 \text{ gr.} - 492.6 \text{ gr.}}{492.6 \text{ gr.}} (100) = 1.50\%$$

A = Peso de la arena secada en el horno, grs.

V = Volumen del frasco, ml.

W = Peso del agua añadida al frasco, grs.

C = Peso de la muestra en estado SSS, grs.

Gravedad específica y absorción para agregado grueso ASTM 127

Peso de la muestra en condición SSS.	1000 gr
Peso sumergido del canasto (vacío).	1065 gr
Peso sumergido del canasto y la muestra.	1660 gr
Peso sumergido de la muestra (C), grs.	595 gr
Peso de la muestra secada en el horno (A), grs.	993 gr

$$\text{Gravedad específica masiva: } \frac{A}{B-C} = \frac{993gr.}{1000gr.-595gr.} = 2.45$$

$$\text{Gravedad específica aparente: } \frac{A}{A-C} = \frac{993gr.}{993gr.-595gr.} = 2.49$$

$$\text{Absorción: } \frac{B-A}{A} \times 100 = \frac{1000gr.-993gr.}{993gr.} \times 100 = 0.70$$

A = Peso de la muestra secada en el horno, grs.

B = Peso de la muestra en condición SSS en el aire, grs.

C = Peso de la muestra en el agua, grs.

La gravedad específica es un factor de gran importancia, ya que sirve para determinar el volumen sólido de los agregados, es decir, un volumen sin huecos, cuyo valor es necesario en el diseño de mezclas, para determinar los volúmenes reales de los agregados. La absorción es el factor que indica la capacidad que tiene un material de retener agua en sus poros, con este factor y la humedad se determina el peso de agua necesaria en la mezcla.

Análisis granulométrico para agregado fino ASTM C-136

Tamaño de los tamices	Peso de los tamices	Peso de los tamices + la arena	Peso de la arena	Por ciento	Retenido	Pasando
# 4	515gr.	528gr.	13gr.	2.59%	2.59%	97.41%
# 8	446gr.	540gr.	94gr.	18.76%	21.35%	78.65%
# 16	417gr.	537gr.	120gr.	23.95%	45.30%	54.70%
# 30	400gr.	610gr.	210gr.	41.92%	87.22%	12.78%
# 50	380gr.	437gr.	57gr.	11.38%	98.60%	1.40%
# 100	354gr.	360gr.	6gr.	1.20%	99.80%	0.20%
# 200	341gr.	342gr.	1gr.	0.20%	100%	0.0%
Recipiente	362gr.	362gr.	0gr.	0.0%	100%	0.0%
Total			501gr.	100%		

Para obtener el módulo de finura (MF) de la arena, el análisis de tamices debe ser convertido a un porcentaje acumulado de los pesos retenidos en los tamices #4, #8, #16, #30, #50 y #100. Esos porcentajes acumulados son sumados y el total dividido entre 100.

$$MF = \frac{2.59 + 21.35 + 45.30 + 87.22 + 98.60 + 99.80}{100} = 3.55$$

Este valor de MF indica que las partículas del agregado fino utilizado son gruesas.

Los valores típicos del MF son 2.40 y 3.00.

Contenido de humedad para agregado fino ASTM C-566

Peso del material húmedo y del recipiente, grs.	592.5
Peso del material seco y del recipiente, grs.	569.2
Pérdida de humedad, grs.	23.3
Peso del recipiente, grs.	92.5
Peso seco de la muestra, grs.	476.7
Contenido de humedad, %.	4.89

Análisis granulométrico para agregado grueso ASTM C-136

Tamaño de los tamices	Peso de los tamices	Peso de los tamices + la grava	Peso de la grava	Porcentaje	Retenido	Pasando
1 1/2"	552gr.	552gr.	0gr.	0%	0.0%	100%
1"	559gr.	559gr.	0gr.	0.0%	0.0%	100%
3/4"	552gr.	1444gr.	892gr.	17.78%	17.78%	82.22%
1/2"	545gr.	3273gr.	2728gr.	54.36%	72.14%	27.86%
3/8"	506gr.	1363gr.	857gr.	17.08%	89.22%	10.78%
# 4	511gr.	1036gr.	525gr.	10.46%	99.68%	0.32%
# 8	462gr.	471gr.	9gr.	0.18%	99.86%	0.14%
Recipiente	358gr.	365gr.	7gr.	0.14%	100%	0%
Total			5018gr.	100%		

Debido a que en el análisis granulométrico el material pasó el 100 % por el de tamiz de 1 1/2" y de 1" y se retuvo más de un 80 % en el tamiz de 3/4", el tamaño máximo del agregado grueso es de 1".

Contenido de humedad para agregado grueso ASTM C-566

Peso del material húmedo y del recipiente, grs.	1095
Peso del material seco y del recipiente, grs.	1090
Pérdida de humedad, grs.	5
Peso del recipiente, grs.	95
Peso seco de la muestra, grs.	995
Contenido de humedad, %.	0.5

4.2 Diseño de mezclas para 1m³ de hormigón.

F'c: 175kg/cm²

Hormigón para columna, sin aire incluido.

$$a/c = 8 \text{ galones/funda de cemento}$$

Agregado grueso de 1 pulgada, peso unitario: 103.9 lb/pie³,
gravedad específica: 2.45, absorción: 0.70%, humedad: 0.50%.

Agregado fino: gravedad específica: 3.39, absorción: 1.50%,
módulo de finura: 3.40, humedad: 4.89%.

De la tabla 4.4:

Hormigón: $f'c$: 175 kg/cm²

De la tabla 4.5:

$$S = 6 \text{ pulg.}$$

De la tabla 4.6:

$$a = 54 \text{ galones/m}^3$$

$$\text{Para } 1\text{m}^3, a = 54 \frac{\text{gal}}{\text{m}^3} \times 1\text{m}^3 = 54 \text{ galones}$$

De la tabla 4.7:

$$V_{AG} = \left(0.60 \frac{P^3}{P^3 \text{ de hormigón}} \right) \left(35.31 \frac{P^3}{\text{m}^3} \right) = 21.19 \frac{P^3}{\text{m}^3 \text{ de hormigón}}$$

Para un metro cúbico de hormigón, $V_{AG} = 21.19P^3$

$$a/c = 8 \text{ gal/funda de cemento} \rightarrow c = \frac{54 \text{ gal.}}{8 \text{ gal/funda}} = 6.75 \text{ fundas de cemento}$$

$$\text{Peso cemento} = 6.75 \text{ fundas} \times 94 \frac{\text{lbs.}}{\text{funda}} = 634.5 \text{ lbs.}$$

$$\text{Peso agregado grueso} = 21.19P^3 \times 103.9 \text{ lb/P}^3 = 2201.64 \text{ lbs.}$$

Volumen sólido del cemento.

Gravedad específica del cemento: 3.15

$$V = \frac{P}{d} = \frac{634.5 \text{ lbs.}}{3.15 \times 62.4 \text{ lbs./pie}^3} = 3.23 \text{ pie}^3$$

Volumen sólido del agregado grueso.

$$V = \frac{2201.64 \text{ lbs.}}{2.45 \times 62.4 \text{ lbs./pie}^3} = 14.40 \text{ pie}^3$$

Volumen de agua.

54 galones

$$1P^3 = 7.48 \text{ galones}$$

$$V_{\text{agua}} = \frac{54 \text{ gal}}{7.48 \text{ gal/pie}^3} = 7.22P^3$$

De la tabla 4.6:

Volumen de aire: 1.5%

$$1.5\% \text{ de } 35.31P^3 = 0.53P^3$$

$$V_{\text{total}} = V_{AG} + V_C + V_{AGUA} + V_{AIRE} + V_{AF} = 35.31P^3$$

$$V_{AF} = 35.31P^3 - (3.23P^3 + 14.40P^3 + 7.22P^3 + 0.53P^3)$$

$$V_{AF} = 9.93P^3$$

$$\text{Peso seco AF} = V \times d = 9.93P^3 (3.39 \times 62.4 \text{ lbs./P}^3) = 2100.55 \text{ lbs.}$$

Agregado fino: *humedad* = 4.89%, *absorción* = 1.50%

$$\text{Peso AF} = (2100.55 \text{ lbs.} \times 0.0489) + 2100.55 \text{ lbs.} = 2203.27 \text{ lbs.}$$

Agregado grueso: *humedad* = 0.50%, *absorción* = 0.70%

$$\text{Peso AG} = (2201.64 \text{ lbs.} \times 0.0050) + 2201.64 \text{ lbs.} = 2212.65 \text{ lbs.}$$

$$\text{Peso agua} = 7.22 \text{ pie}^3 \times 62.4 \text{ lbs./P}^3 = 450.53 \text{ lbs.}$$

$$\text{Peso agua} = 450.53 \text{ lbs.} + [-(2100.55 \text{ lbs.} \times 0.0339) + (2201.64 \text{ lbs.} \times 0.0020)]$$

$$\text{Peso agua} = 383.72 \text{ lbs.}$$

Usar para un metro cúbico de hormigón (f'c: 175kg/cm2):

Peso agregado fino: 2,203.27lbs.

Peso agregado grueso: 2,212.65lbs.

Peso agua: 383.72lbs.

Peso cemento: 634.5lbs.

Usar para 3 probetas (2.25% de 1m3):

Peso agregado fino: $2,203.27lbs. \times 0.023 = 50.68lbs. = 23,036.36gr.$

Peso agregado grueso: $2,212.65lbs. \times 0.023 = 50.89lbs. = 23,131.82gr.$

Peso agua: $383.72lbs. \times 0.023 = 8.83lbs. = 4,013.64gr.$

Peso cemento: $634.50lbs. \times 0.023 = 14.59lbs. = 6,631.82gr.$

(F'c: 220kg/cm²)

Hormigón para columna, sin aire incluido.

$$a/c = 7 \text{ galones/funda de cemento}$$

Agregado grueso de 1 pulgada, peso unitario: 103.9 lb/pe³,
gravedad específica: 2.45, absorción: 0.70%, humedad: 0.50%.

Agregado fino: gravedad específica: 3.39, absorción: 1.50%,
módulo de finura: 3.40, humedad: 4.89%.

De la tabla 4.4:

Hormigón: $f'c: 220 \text{ kg/cm}^2$

De la tabla 4.5:

$$S = 6 \text{ pulg.}$$

De la tabla 4.6:

$$a = 54 \text{ galones/m}^3$$

$$\text{Para } 1\text{m}^3, a = 54 \frac{\text{gal}}{\text{m}^3} \times 1\text{m}^3 = 54 \text{ galones}$$

De la tabla 4.7:

$$V_{AG} = \left(0.60 \frac{P^3}{P^3 \text{ de hormigón}} \right) \left(35.31 \frac{P^3}{\text{m}^3} \right) = 21.19 \frac{P^3}{\text{m}^3 \text{ de hormigón}}$$

Para un metro cúbico de hormigón, $V_{AG} = 21.19P^3$

$$a/c = 7 \text{ gal/funda de cemento} \rightarrow c = \frac{54 \text{ gal.}}{7 \text{ gal/funda}} = 7.71 \text{ fundas de cemento}$$

$$\text{Peso cemento} = 7.71 \text{ fundas} \times 94 \frac{\text{lbs.}}{\text{funda}} = 724.74 \text{ lbs.}$$

$$\text{Peso agregado grueso} = 21.19P^3 \times 103.9 \text{ lb/P}^3 = 2201.64 \text{ lbs.}$$

Volumen sólido del cemento.

Gravedad específica del cemento: 3.15

$$V = \frac{P}{d} = \frac{724.74 \text{ lbs.}}{3.15 \times 62.4 \text{ lbs./pie}^3} = 3.69 \text{ pie}^3$$

Volumen sólido del agregado grueso.

$$V = \frac{2201.64 \text{ lbs.}}{2.45 \times 62.4 \text{ lbs./pie}^3} = 14.40 \text{ pie}^3$$

Volumen de agua.

54 galones

$$1 \text{ P}^3 = 7.48 \text{ galones}$$

$$V_{\text{agua}} = \frac{54 \text{ gal}}{7.48 \text{ gal/pie}^3} = 7.22 \text{ P}^3$$

De la tabla 4.6:

Volumen de aire: 1.5%

$$1.5\% \text{ de } 35.31 \text{ P}^3 = 0.53 \text{ P}^3$$

$$V_{\text{total}} = V_{\text{AG}} + V_{\text{C}} + V_{\text{AGUA}} + V_{\text{AIRE}} + V_{\text{AF}} = 35.31 \text{ P}^3$$

$$V_{\text{AF}} = 35.31 \text{ P}^3 - (3.69 \text{ P}^3 + 14.40 \text{ P}^3 + 7.22 \text{ P}^3 + 0.53 \text{ P}^3)$$

$$V_{\text{AF}} = 9.47 \text{ P}^3$$

$$\text{Peso seco AF} = V \times d = 9.47 \text{ P}^3 (3.39 \times 62.4 \text{ lbs./P}^3) = 2003.25 \text{ lbs.}$$

Agregado fino: *humedad* = 4.89%, *absorción* = 1.50%

$$\text{Peso AF} = (2003.25 \text{ lbs.} \times 0.0489) + 2003.25 \text{ lbs.} = 2101.21 \text{ lbs.}$$

Agregado grueso: *humedad* = 0.50%, *absorción* = 0.70%

$$\text{Peso AG} = (2201.64 \text{ lbs.} \times 0.0050) + 2201.64 \text{ lbs.} = 2212.65 \text{ lbs.}$$

$$\text{Peso agua} = 7.22 \text{ pie}^3 \times 62.4 \text{ lbs./P}^3 = 450.53 \text{ lbs.}$$

$$\text{Peso agua} = 450.53 \text{ lbs.} + [-(2003.25 \text{ lbs.} \times 0.0339) + (2201.64 \text{ lbs.} \times 0.0020)]$$

$$\text{Peso agua} = 387.02 \text{ lbs.}$$

Usar para un metro cúbico de hormigón (f'c: 220kg/cm2):

Peso agregado fino: 2,101.21lbs.

Peso agregado grueso: 2212.65lbs.

Peso agua: 387.02lbs.

Peso cemento: 724.74lbs.

Usar para 3 probetas (2.25% de 1m3):

Peso agregado fino: $2,101.21lbs. \times 0.023 = 48.33lbs. = 21,968.18gr.$

Peso agregado grueso: $2212.65lbs. \times 0.023 = 50.89lbs. = 23,131.82gr.$

Peso agua: $387.02lbs. \times 0.023 = 8.90lbs. = 4,045.45gr.$

Peso cemento: $724.74lbs. \times 0.023 = 16.67lbs. = 7,577.27gr.$

F'c: 280kg/cm2

Hormigón para columna, sin aire incluido.

$$a/c = 6 \text{ galones/funda de cemento}$$

Agregado grueso de 1 pulgada, peso unitario: 103.9 lb/pe^3 ,
gravedad específica: 2.45, absorción: 0.70%, humedad: 0.50%.

Agregado fino: gravedad específica: 3.39, absorción: 1.50%,
módulo de finura: 3.40, humedad: 4.89%.

De la tabla 4.4:

Hormigón: $f'c: 280 \text{ kg/cm}^2$

De la tabla 4.5:

$$S = 6 \text{ pulg.}$$

De la tabla 4.6:

$$a = 54 \text{ galones/m}^3$$

$$\text{Para } 1\text{m}^3, a = 54 \frac{\text{gal}}{\text{m}^3} \times 1\text{m}^3 = 54 \text{ galones}$$

De la tabla 4.7:

$$V_{AG} = \left(0.60 \frac{P^3}{P^3 \text{ de hormigón}} \right) \left(35.31 \frac{P^3}{\text{m}^3} \right) = 21.19 \frac{P^3}{\text{m}^3 \text{ de hormigón}}$$

Para un metro cúbico de hormigón, $V_{AG} = 21.19P^3$

$$a/c = 6 \text{ gal/funda de cemento} \rightarrow c = \frac{54 \text{ gal.}}{6 \text{ gal/funda}} = 9 \text{ fundas de cemento}$$

$$\text{Peso cemento} = 9 \text{ fundas} \times 94 \frac{\text{lbs.}}{\text{funda}} = 846 \text{ lbs.}$$

$$\text{Peso agregado grueso} = 21.19P^3 \times 103.9 \text{ lb/P}^3 = 2201.64 \text{ lbs.}$$

Volumen sólido del cemento.

Gravedad específica del cemento: 3.15

$$V = \frac{P}{d} = \frac{846\text{lbs.}}{3.15 \times 62.4 \text{ lbs./pie}^3} = 4.30\text{pie}^3$$

Volumen sólido del agregado grueso.

$$V = \frac{2201.64\text{lbs.}}{2.45 \times 62.4 \text{ lbs./pie}^3} = 14.40\text{pie}^3$$

Volumen de agua.

54 galones

$$1P^3 = 7.48\text{galones}$$

$$V_{\text{agua}} = \frac{54\text{gal}}{7.48 \text{ gal/pie}^3} = 7.22P^3$$

De la tabla 4.6:

Volumen de aire: 1.5%

$$1.5\% \text{ de } 35.31P^3 = 0.53P^3$$

$$V_{\text{total}} = V_{AG} + V_C + V_{AGUA} + V_{AIRE} + V_{AF} = 35.31P^3$$

$$V_{AF} = 35.31P^3 - (4.30P^3 + 14.40P^3 + 7.22P^3 + 0.53P^3)$$

$$V_{AF} = 8.86P^3$$

$$\text{Peso seco AF} = V \times d = 8.86P^3(3.39 \times 62.4 \text{ lbs./P}^3) = 1874.21\text{lbs.}$$

Agregado fino: *humedad* = 4.89%, *absorción* = 1.50%

$$\text{Peso AF} = (1874.21\text{lbs.} \times 0.0489) + 1874.21\text{lbs.} = 1965.86\text{lbs.}$$

Agregado grueso: *humedad* = 0.50%, *absorción* = 0.70%

$$\text{Peso AG} = (2201.64\text{lbs.} \times 0.0050) + 2201.64\text{lbs.} = 2212.65\text{lbs.}$$

$$\text{Peso agua} = 7.22\text{pie}^3 \times 62.4 \text{ lbs./P}^3 = 450.53\text{lbs.}$$

$$\text{Peso agua} = 450.53\text{lbs.} + [-(1874.21\text{lbs.} \times 0.0339) + (2201.64\text{lbs.} \times 0.0020)]$$

$$\text{Peso agua} = 391.40\text{lbs.}$$

Usar para un metro cúbico de hormigón (f'c: 280kg/cm2):

Peso agregado fino: 1,965.86lbs.

Peso agregado grueso: 2,212.65lbs.

Peso agua: 391.40lbs.

Peso cemento: 846lbs.

Usar para 3 probetas (2.25% de 1m3):

Peso agregado fino: $1,965.86lbs. \times 0.023 = 45.21lbs. = 20,550gr.$

Peso agregado grueso: $2,212.65lbs. \times 0.023 = 50.89lbs. = 23,131.82gr.$

Peso agua: $391.40lbs. \times 0.023 = 9.00lbs. = 4,090.91gr.$

Peso cemento: $846lbs. \times 0.023 = 19.46lbs. = 8,845.45gr.$

Parámetros físicos de los agregados utilizados

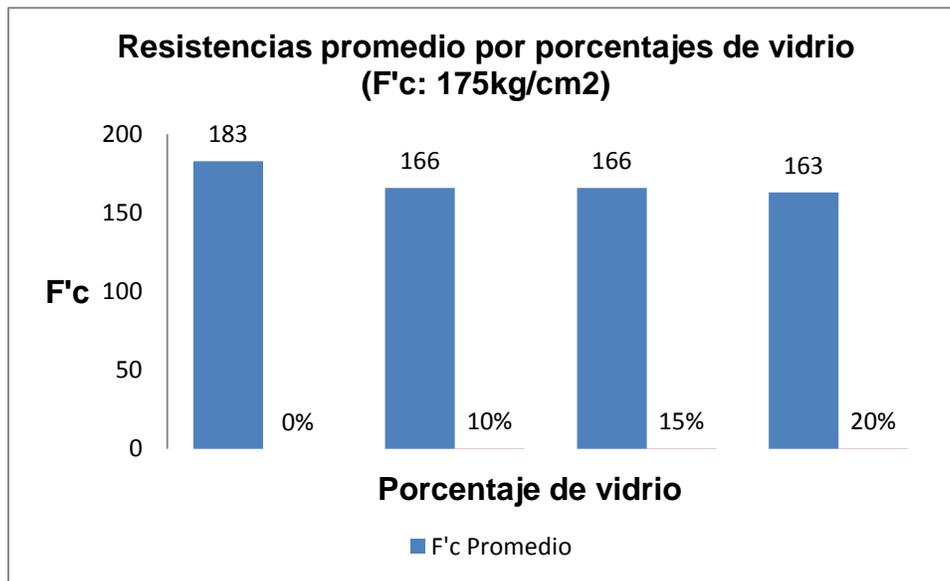
	Agregado Grueso	Agregado Fino
Procedencia	Planta	Planta
Modulo de Finura		3.40
Tamaño Máximo	1 pulgada	
Peso Unitario	103.9 lbs/pie3	100.7 lbs/pie3
Gravedad Especifica	2.45	3.39
Gravedad Aparente	2.49	3.57
% Absorción	0.70%	1.50%
%Humedad	0.50%	4.89%

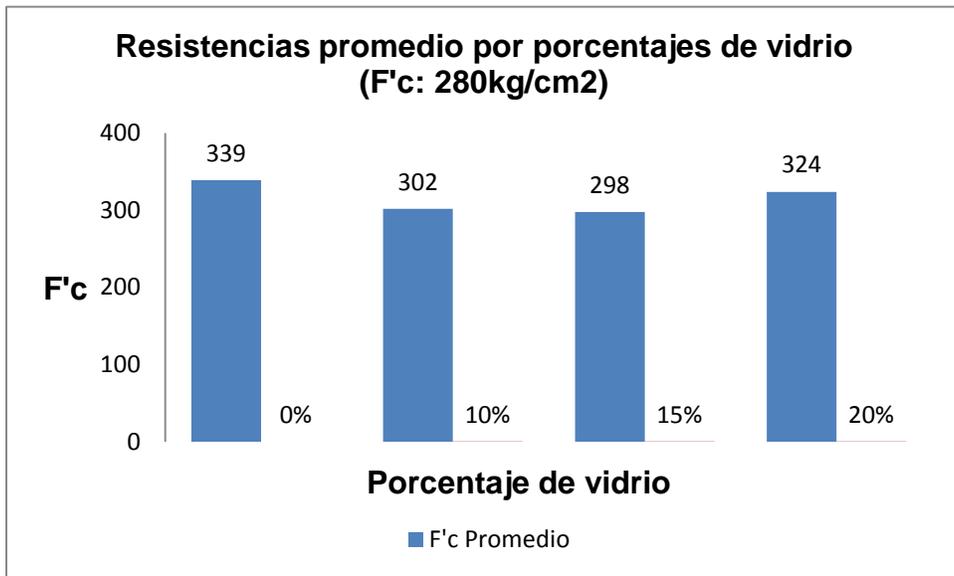
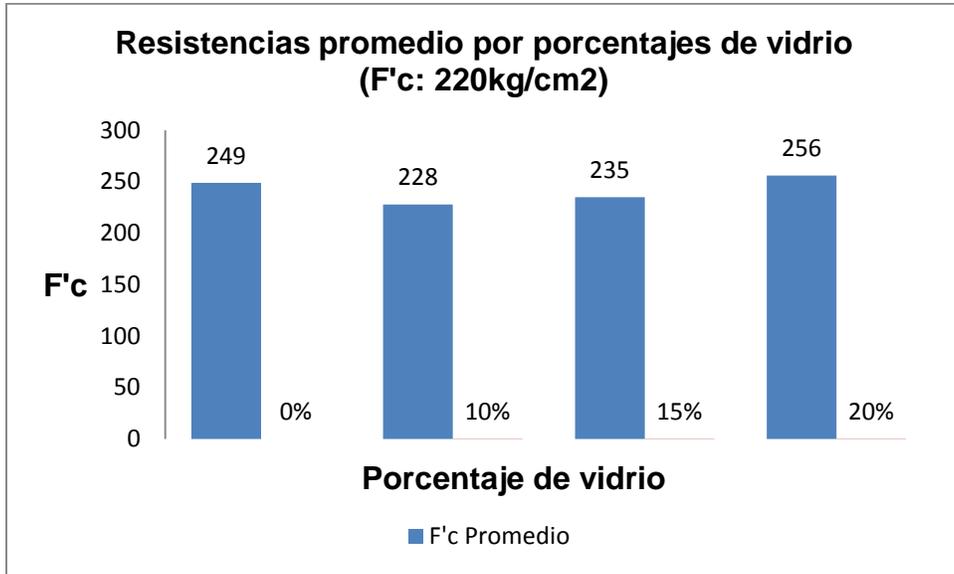
Cantidad de materiales por diseño

Porcentaje de vidrio		0%	10%	15%	20%
f'c: 175kg/cm2	Peso de agregado fino (grs)	23,036.36	20,732.724	19,580.906	18,429.088
	peso de vidrio (grs)	0.00	2,303.64	3,455.45	4,607.27
	Peso de agregado grueso (grs)	23,131.82	23,131.82	23,131.82	23,131.82
	Peso de agua (grs)	4,013.64	4,013.64	4,013.64	4,013.64
	Peso de cemento (grs)	6,631.82	6,631.82	6,631.82	6,631.82
f'c: 220kg/cm2	Peso de agregado fino (grs)	21,968.18	19,771.362	18,672.953	17,574.544
	peso de vidrio (grs)	0.00	2196.818	3295.227	4393.636
	Peso de agregado grueso (grs)	23,131.82	23,131.82	23,131.82	23,131.82
	Peso de agua (grs)	4,045.45	4,045.45	4,045.45	4,045.45
	Peso de cemento (grs)	7,577.27	7,577.27	7,577.27	7,577.27
f'c: 280kg/cm2	Peso de agregado fino (grs)	20,550	18,495	17,467.5	16,440
	peso de vidrio (grs)	0.00	2055	3082.5	4110
	Peso de agregado grueso (grs)	23,131.82	23,131.82	23,131.82	23,131.82
	Peso de agua (grs)	4,090.91	4,090.91	4,090.91	4,090.91
	Peso de cemento (grs)	8,845.45	8,845.45	8,845.45	8,845.45

Tabla y gráficas de las resistencias a compresión de las probetas

Resistencias a compresión de las probetas				
F'c (kg/cm²)	Porcentaje de vidrio en la mezcla			
	0%	10%	15%	20%
175	182	180	165	170
175	188	152	163	162
175	180	165	170	158
Promedio	183	166	166	163
220	244	233	243	260
220	252	231	230	259
220	252	220	231	248
Promedio	249	228	235	256
280	361	307	305	327
280	323	291	296	327
280	333	309	293	319
Promedio	339	302	298	324





4.3 Análisis económico

Para realizar el análisis económico de un hormigón con vidrio incluido, sustituyendo parcialmente el agregado fino, tomaremos en cuenta los siguientes factores:

- Precio unitario de los agregados
- Precio del cemento
- Precio del vidrio (molido y no molido)
- Precio del agua

Según la investigación, una empresa vidriera paga aproximadamente 6,000 pesos por el bote de 15 metros cúbicos de vidrio molido, cabe mencionar que este material no está limpio. Por otra parte la misma empresa produce desechos de vidrio no molidos, los cuales suelen ser vendidos periódicamente a los artesanos. El precio de estos desechos varía con regularidad, suelen vender por lotes de aproximadamente 20 metros cúbicos por un monto que ronda los 7,000 pesos.

Con los datos ya mencionados y luego de una serie de estimaciones podemos decir que el costo de producción de un metro cúbico de vidrio molido cuesta aproximadamente 650 pesos.

Por otra parte el precio del cemento es de 265 pesos/ funda, el agregado grueso 950 pesos/m³, el agregado fino 1,200 pesos/m³ y el precio del agua es aproximadamente 30 pesos/m³.

Los datos ya mencionados fueron obtenidos en diciembre del 2015.

Precio de los materiales		
Materiales	Precios	Unidad
Cemento	RD\$265.00	Fundas
Grava	RD\$950.00	M3
Arena	RD\$1,200.00	M3
Agua	RD\$30.00	M3
Vidrio	RD\$650.00	M3

Cantidad de materiales					
Porcentaje de vidrio		0%	10%	15%	20%
f'c: 175kg/cm2	Agregado fino (m3)	0.62	0.558	0.527	0.496
	Vidrio (m3)	0.00	0.06	0.09	0.12
	Agregado grueso (m3)	0.60	0.60	0.60	0.60
	Agua (m3)	0.17	0.17	0.17	0.17
	Cemento (m3)	0.19	0.19	0.19	0.19

Precio de producción del hormigón					
Porcentaje de vidrio		0%	10%	15%	20%
f'c: 175kg/cm2	Agregado fino (m3)	RD\$744.00	RD\$669.60	RD\$632.40	RD\$595.20
	Vidrio (m3)	RD\$0.00	RD\$40.30	RD\$60.45	RD\$80.60
	Agregado grueso (m3)	RD\$570.00	RD\$570.00	RD\$570.00	RD\$570.00
	Agua (m3)	RD\$5.10	RD\$5.10	RD\$5.10	RD\$5.10
	Cemento (m3)	RD\$50.35	RD\$50.35	RD\$50.35	RD\$50.35
Total		RD\$1,369	RD\$1,335	RD\$1,318	RD\$1,301

Según los valores observados por las estimaciones realizadas podemos ver que sustituyendo un 10 % de vidrio por arena obtenemos como ganancia 34 pesos por cada metro cúbico, así como con 15 % 51 pesos y con un 20 % 68 pesos aproximadamente, puede que a simple vista las ganancias no sean significativa pero a gran escala representa grandes beneficios económicos y ambientales.

4.4 Análisis ambiental

La producción de vidrio es más factible ambiental y económicamente si disponemos del vidrio como desecho para reciclarlo que si se produce el vidrio a partir de su materia prima.

En vista de que República Dominicana no es un país productor de vidrio, por ende los desechos de este material no son vistos como materia de reciclaje para volver a producirlo, es por esto que este material abunda en los vertederos sin solución alguna lo cual hace inminente su acumulación.

Una posible solución es que una industria de gran alcance como es la industria de la construcción se fije en dicho material, ya que la adaptación del vidrio como materia prima del material más utilizado por esta industria, puede dar solución a aproximadamente 900 toneladas de desecho de vidrio que se produce diariamente en el país, generando un gran impacto positivo al medio ambiente.

Conclusión

Según los resultados de la investigación basados en tres muestras con resistencia de 175, 220 y 280 kg/cm² con porcentajes de vidrio variable de un 10, 15 y 20 %, se concluye que el vidrio puede ser considerado como un nuevo elemento en la fabricación del hormigón.

En el ensayo de resistencia a compresión se pudo determinar qué:

- En las probetas que no tienen vidrio, las resistencias fue mucho mayor que la diseñada.
- En las probetas con vidrio incluido diseñadas para una resistencia de 175 kg/cm², en algunos casos fueron un poco por debajo de lo esperado, las que menos resistencia dieron fueron de aproximadamente 87 % de la resistencia esperada.
- En el caso de las probetas con vidrio incluido diseñadas para una resistencia de 220 y 280 kg/cm², se pudo observar que en estas la pérdida de resistencia fue menor en comparación con las probetas de 175 kg/cm², además se puede apreciar que a mayor cantidad de vidrio en el hormigón, menor será la pérdida de resistencia.

Una vez implementado este nuevo elemento podría producirse bajas en los precios unitarios del hormigón de aproximadamente 70 pesos por cada metro cúbico producido, lo cual representaría un gran beneficio económico, y no solo eso sino que también las hormigoneras podrían hacerse cargo de aproximadamente 900 toneladas de vidrio que se produce a diario en la República Dominicana.

Recomendaciones

- Investigar si la adición de un mayor porcentaje de vidrio es ideal para elaborar hormigón.
- Tomar en cuenta que el vidrio es impermeable, esto provocará una pequeña reducción en la cantidad de agua que lleva la mezcla.
- Se podría sustituir parcialmente el agregado grueso o el cemento por vidrio para elaborar hormigón.

Bibliografía

arquitectura, M. (2014). <http://www.mundoarquitectura.org>. Recuperado el 24 de Octubre de 2015, de <http://www.mundoarquitectura.org/tipos-de-aditivos-para-concretohormigon-y-mortero/>

Carrasco, I. M. (Marzo de 2013). *Facultad de ciencias exactas, ingeniería y agrimensura*. Obtenido de <http://usuarios.fceia.unr.edu.ar/~fermar/Apuntes%20Tecnolog%C3%ADa%20del%20Hormig%C3%B3n%20UTN%20FRSF/Unidad%203%20-%20ROCAS%20Y%20AGREGADOS%20PARA%20HORMIGONES.pdf>

Comarazamy, J. F. (1985). *Materiales de construcción*. Santo Domingo: Ediciones de la UCE.

Concreto, I. M. (27 de Mayo de 2010). *imcyc*. Obtenido de <http://www.imcyc.com/ct2006/junio06/PROBLEMAS.pdf>

Crismol. (2015). <http://www.crismol.com>. Recuperado el 15 de Noviembre de 2015, de <http://www.crismol.com>: <http://www.crismol.com/empresa/el-vidrio-y-su-reciclaje/>

D.F., F. D. (1995). *Biblioteca Digital*. Recuperado el 26 de Octubre de 2015, de http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/137/html/sec_4.html

Domínguez, J. G. *Materiales de construcción*. Monterrey.

EcuRed. (s.f.). www.ecured.cu. Recuperado el 26 de Octubre de 2015, de <http://www.ecured.cu/index.php/Vidrio>

edukavital. (Marzo de 2013). edukavital.blogspot.com. Recuperado el 28 de Octubre de 2015, de edukavital.blogspot.com/2013/03/cemento.html

Escobar, S. C. (2010). *Materiales de construcción para edificación y obra civil*. Madrid: Club Universitario.

Estalín, H. L., & Andrés, P. C. (abril de 2013). epr.edu.ec. Obtenido de <http://bibdigital.epr.edu.ec/bitstream/15000/6104/1/CD-4795.pdf>

Fernandez, A. C. (02 de Mayo de 2007). Obtenido de http://www.acaceres.addr.com/student_access/RelacionAguaCemento.pdf

Laboratorio de ensayo, P. (s.f.). Obtenido de <http://www1.herrera.unt.edu.ar/faceyt/estmatii/files/2012/08/Clase.-AGREGADOS.-Ensayos-de-Agregados-para-hormigones-2014.pdf.pdf>

Lacoste, G. (18 de Noviembre de 2004). *Elmercurio.com*. Recuperado el 15 de Octubre de 2015, de <http://www.edicionesespeciales.elmercurio.com/destacadas/detalle/index.asp?idnoticia=0118112004021X0050036>

M., J. A., & Setien, J. (s.f.). *Universidad de Cantabria*. Obtenido de http://ocw.unican.es/enseñanzas-tecnicas/cementos-morteros-y-hormigones/materiales/3_Morteros_hormigones1.pdf

masingenio. (26 de Diciembre de 2012). *construcción e ingeniería*. Recuperado el 15 de Octubre de 2015, de <http://www.construccioningenieria.org/2012/12/nuevo-tipo-de-concreto-con-vidrio.html>

Bibliografía de tabla

Tabla 2.0: Winkelman. (s.f.).

Anexos