

Formato de informe final (carátula)

Programa Universitario de Investigación en Ciencias Básicas

(nombre del programa universitario de investigación de la Digi)

Comportamiento físico y mecánico de concreto ligero utilizando cáscara de cardamomo y polietileno tereftalato reciclado

nombre del proyecto de investigación

4.8.15.076

Partida presupuestaria

DES3CU-2022

código del proyecto de investigación

Centro Universitario del Norte, Instituto de Investigación y Tecnología de Ingeniería Cunor - ITIC-

unidad académica o centro no adscrito a unidad académica avaladora

Milton Haroldo Rivera Chen

nombre del coordinador del proyecto y equipo de investigación contratado por Digi

Cobán, Alta Verapaz, 30-01-2023

lugar y fecha de presentación del informe final dd/mm/año

Contraportada (reverso de la portada)

Autoridades

Dra. Alice Burgos Paniagua
Directora General de Investigación

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar
Coordinador General de Programas

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar
Coordinador de Programas Universitario de Investigación

Autores

Milton Haroldo Rivera Chen (Coordinador de proyecto)

Cristian David Chacoj Laj (Auxiliar II)

Karen Elizabeth Vásquez Villeda (Colaborador)

Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación (Digi), 2022. El contenido de este informe de investigación es responsabilidad exclusiva de sus autores.

Esta investigación fue cofinanciada con recursos del Fondo de Investigación de la Digi de la Universidad de San Carlos de Guatemala a través de la partida presupuestaria con código 4.8.15.076 en el Programa Universitario de Investigación de Ciencias Básicas.

Los autores son responsables del contenido, de las condiciones éticas y legales de la investigación desarrollada.

Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI-



Universidad de San Carlos de Guatemala
Dirección General de Investigación



Índice general

Contenido

1	Resumen.....	4
2	Abstract and keyword.....	4
3	Introducción.....	5
4	Planteamiento del problema.....	6
5	Delimitación en tiempo y espacio.....	6
	6.1 Delimitación en tiempo.....	6
	La investigación inició a partir del mes de abril del 2022 y culminó en el mes de enero del 2023.....	6
	6.2 Delimitación espacial.....	6
6	Marco teórico.....	6
	1.1 Concreto ligero:.....	6
	1.2 Propiedades mecánicas de concreto ligero:.....	7
	1.3 Agregados de concreto:.....	8
	1.4 Microscopía óptica:.....	9
	1.5 Cáscara de cardamomo:.....	9
	1.6 Tereftalato de polietileno:.....	10
7	Objetivos.....	12
	Objetivo General.....	12
	Objetivos específicos.....	12
8	Hipótesis (si aplica).....	12

Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación -DIGI-

9	Materiales y métodos.....	12
1.1	Enfoque de la investigación.....	12
1.2	Método.....	12
1.3	Recolección de información.....	14
	Diseño experimental:	15
1.4	Técnicas e instrumentos.....	16
1.5	Operacionalización de las variables o unidades de análisis.....	17
1.6	Procesamiento y análisis de la información.....	18
1.7	Coherencia de la propuesta de investigación.....	19
10	Resultados y discusión.....	29
	9.1 Resultados	29
10.9	Discusión de resultados.....	37
11	Referencias.....	40
12	Apéndice.....	45

Índice de figuras

Figura 1.	Propiedades mecánicas de concreto	12
Figura 2.	Algunas normas ASTM que se encuentran en Norma Técnica Guatemalteca NTG-41068	13
Figura 3.	Cáscara de cardamomo	15
Figura 4.	Fórmula química de tereftalato de polietileno	16
Figura 5.	Procedimiento de elaboración de concreto ligero	20
Figura 6.	Resistencia promedio requerida	24
Figura 7.	Asentamientos recomendados para diversos tipos de construcción	24
Figura 8.	Requisitos aproximados de agua y contenido de aire	25
Figura 9.	Relación de agua/cemento	26
Figura 10.	Volumen de agregado grueso (m ³)	27
Figura 11.	Estimación del peso de concreto fresco (kg/m ³)	28

Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación -DIGI-

Figura 12. Resistencia del concreto patrón a los 7, 14 y 28 días	38
Figura 13. Resistencia del primer tratamiento a los 7 y 28 días	38
Figura 14. Proceso de selección y triturado de PET	50
Figura 15. Proceso de secado y tamizado de cáscara de cardamomo	50
Figura 16. Proceso de mezclado de agregados	51
Figura 17. Proceso de medición de aire en concreto	51
Figura 18. Prueba de Abrahams	51
Figura 19. Fraguado de ensayos	52
Figura 20. Ensayo de especímenes	52
Figura 21. Distribución de agregados en los ensayos de concreto	53

Índice de tablas

Tabla 1. Propiedades de agregados finos, grueso y reciclado	14
Tabla 2. Propiedades de PET	16
Tabla 3. Composición para 6 probetas que consta la mezcla patrón	19
Tabla 4. Composición para probetas usando cáscara de cardamomo y PET	19
Tabla 5. ANOVA, modelo factorial con tres factores de replicación	22
Tabla 6. Tratamientos a realizar con 3 factores	22
Tabla 7. Características de los agregados utilizados	23
Tabla 8. Peso húmedo de los agregados en la mezcla inicial	28
Tabla 9. Humedad superficial de los agregados	29
Tabla 10. Aporte de humedad de los agregados	29
Tabla 11. Cantidades corregidas de los agregados de la mezcla patrón	29
Tabla 12. Distribución de cilindros para 3 tratamientos	30
Tabla 13. Primer tratamiento	31
Tabla 14. Segundo tratamiento	31
Tabla 15. Tercer tratamiento	31
Tabla 16. Técnicas e instrumentos utilizados en comportamiento físico de concreto ligero	32
Tabla 17. Operacionalización de las variables o unidades de análisis	33
Tabla 18. Coherencia de la propuesta de investigación	34

Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación -DIGI-

Tabla 19. Resultados de las pruebas para concreto fresco	35
Tabla 20. Resultados de las pruebas para concreto endurecido a los 7 días	36
Tabla 21. Resultados de las pruebas para concreto endurecido a los 14 días	37
Tabla 22. Resultados de las pruebas para concreto endurecido a los 28 días	37
Tabla 23. Resistencias de los tratamientos a los 7 días de fraguado	39
Tabla 24. Resumen de las características de los tratamientos	39
Tabla 25. Análisis de varianza de las resistencias a los 7 días de fraguado	40
Tabla 26. Diferencia muestral de los tratamientos a los 7 días de fraguado	40
Tabla 27. Resistencias de los tratamientos a los 28 días de fraguado	41
Tabla 28. Resumen de las características de los tratamientos	41
Tabla 29. Análisis de varianza de las resistencias a los 28 días de fraguado	41
Tabla 30. Diferencia muestral de los tratamientos a los 28 días de fraguado	41

1 Resumen

La generación de desechos sólidos en las diversas actividades de la vida diaria, requieren la gestión de la misma y una de ellas es el reciclaje a través de un uso productivo de los mismos. Este puede presentarse en apoyo a la reducción de costos de construcción orientado a obra gris; por lo que en la investigación se usaron residuos de cáscara de cardamomo y tereftalato de polietileno (PET) como agregados finos para la obtención de concretos ligeros; los cuales fueron comparados con valores de normas ACI 318-14. Se determinaron los parámetros físicos como trabajabilidad usando el cono de Abrams, contenido de aire y peso volumétrico usando el presurómetro. En parámetros mecánicos, resistencia a la compresión utilizando máquina de compresión Marca Pinzuar, los ensayos se realizaron en estado fresco y endurecido. Se observó la distribución de los agregados en la mezcla usando microscopio óptico con objetivo de 50x.

De acuerdo a modelo factorial se realizaron 3 tratamientos con 2 repeticiones. En la mezcla patrón se realizaron 2 repeticiones. Los cilindros se evaluaron a los 7, 14 y 28 días (ver Tabla 15). Se aplicó análisis de Anova usando un 95% de confianza y como en los resultados existió diferencia significativa se realizó prueba de Tukey $\alpha = 0.05$

Los resultados obtenidos fueron densidades de 1868 kg/m³ en tercer tratamiento (TT) y para el parámetro de compresión se obtuvo un valor de 2120 PSI en primer tratamiento (PT), el cual resulta ser una alternativa para construcción menor.

Palabras clave: agregados, construcción, residuos.

2 Abstract

The generation of solid waste in the various activities of daily life requires its management and one of them is recycling through a productive use of them. This can be presented in support of the reduction of construction costs oriented to gray works; Therefore, in the investigation, residues of cardamom shell and polyethylene terephthalate (PET) were used as fine aggregates to obtain lightweight concrete; which were compared with values of ACI 318-14 standards. Physical parameters such as workability using the Abrams cone, air content and volumetric weight using the pressurometer were determined. In mechanical parameters, compressive strength using a Pinzuar Brand compression machine, the tests were carried out in the fresh and hardened state. The distribution of the aggregates in the mixture was observed using an optical microscope with a 50x objective.

According to the factorial model, 3 treatments with 2 repetitions were performed. In the standard mixture, 2 repetitions were made. The cylinders were evaluated at 7, 14 and 28 days (see Table 15). Anova analysis was applied using 95% confidence and as there was a significant difference in the results, the Tukey $\alpha = 0.05$ test was performed.

The results obtained were densities of 1868 kg/m³ in the third treatment (TT) and for the compression parameter a value of 2120 PSI was obtained in the first treatment (PT), which turns out to be an alternative for minor construction..

Keywords: aggregates, construction, Waste.

3 Introducción

En la actualidad se busca innovar en el campo de los concretos ligeros con el fin de reducir el excesivo consumo de recursos naturales. “El concreto es un material que se obtiene de la mezcla de cemento portland, arena, agregado y agua; los cuales son materiales no renovables a excepción del agua” (Tedjditi et al., 2020, p. 2). En Guatemala existen distintos desechos agroindustriales, entre ellos se puede mencionar la cáscara de cardamomo. Según Vásquez y colaboradores (2020) determinaron que “se genera un 46.15% de peso en cáscara al adquirir la semilla de cardamomo en oro” (p. 1). Otro desecho común es el tereftalato de polietileno (PET) el cual se encuentra en botellas plásticas usadas para bebidas. El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (2018) determinó que se genera diariamente 0.046 kilogramos por habitante de residuos PET.

Se utilizó cáscara de cardamomo en 1%, 3% y 5% en función del volumen de arena y PET en 2%, 5% y 8% en función del volumen de arena establecida en el diseño de la mezcla patrón (ver Tabla 3); sustituyendo agregados finos para fabricar concreto ligero, el cual se esperó que tuviera “densidades desde 280 kg/m³ hasta 1800 kg/m³ el cual caracteriza a este tipo de concreto” (Kadela et al., 2020, p. 1).

El alcance de la investigación fue determinar las propiedades físicas y mecánicas en estado fresco y endurecido de concreto ligero, establecer la mezcla ideal de cáscara de cardamomo y PET para obtener propiedades mecánicas aceptables y verificar la distribución PET y cáscara dentro del concreto.

Kangavar y colaboradores (2022) indicaron que “la sustitución de tereftalato de polietileno como agregado fino en mezclas de concreto, demostraron que existió disminución en la trabajabilidad” (p. 2).

Desde el punto de vista de la industria de la construcción, la importancia de la investigación consistió en obtener un concreto dentro de los rangos de construcción aceptables según Normas Técnicas Guatemaltecas NTG; así mismo, reducir el consumo de materiales no renovables, y usar en sustitución residuos de cáscara de cardamomo y PET triturado usando tamices #4, #10, #80 y #170.

La calidad de concreto es de gran importancia, es por ello que se han realizado investigaciones con distintos tipos de cáscara para sustituir áridos finos y verificar que se pueda fabricar concretos ligeros; entre ellos: el uso de cáscara de aceite de palma (Maghfouri et al., 2019, p. 1). Determinación del comportamiento de concreto ligero utilizando concha de mejillón como agregado (Martínez-García et al., 2017, p. 570). Evaluación del comportamiento compresivo y propiedades físicas de las fibras de PET recicladas (Cárdenas-Pulido et al., 2020, p. 269).

Se determinaron propiedades físicas y mecánicas de concreto ligero obtenido a partir de cáscara de cardamomo y PET reciclado utilizando las Normas Técnicas Guatemaltecas NTG-41017h7, NTG-41017h5, NTG-41060, NTG-41017h25, NTG-41064 y ACI-211. Se establecieron las cantidades necesarias de cada residuo para obtener concreto ligero dentro de los parámetros aceptables y se observó la distribución de los agregados dentro de la mezcla usando microscopio óptico con objetivo 50x. Para la elaboración de probetas se utilizaron 3 porcentajes en masa de cáscara de cardamomo y 3 porcentajes en PET, se realizaron 24 probetas con 2 repeticiones, ver tabla 4.

4 Planteamiento del problema

Todas las actividades tanto productivas como las básicas de supervivencia que se realizan en todas las regiones del mundo, siempre generan residuos entre ellos desechos sólidos, los cuales deben gestionarse con el fin de aprovechar su uso y reducir los índices de contaminación ambiental. El país presenta una generación de desechos sólidos de 0.519 kilogramos por habitante al día; donde el 9% corresponde a plásticos rígidos y tereftalato de polietileno y un 53% de Materia Orgánica (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2018, p. 5). Estas basuras se pueden identificar perfectamente, por lo que se puede realizar un aprovechamiento productivo, bajo la modalidad del reciclaje.

Considerando que la región de las Verapaces presenta producción y procesamiento de cardamomo y que este sector primario de la economía del país registró un crecimiento en la exportación del 75.4% durante el año 2020 en comparación con el año 2019 (Diario de Centroamérica, 2021, p. 10); lo cual indica que aumentó la generación de desechos de cáscara de cardamomo, la cual aún, no se le ha identificado un uso beneficiando al ambiente.

Por tanto, enfocados en el sector de la construcción, “La industria de la construcción es uno de los sectores que más contamina” (Infante-Alcalde & Valderrama-Ulloa, 2019, p. 26), se desea aprovechar desechos sólidos generados en las Verapaces para apoyar a la mitigación de los problemas medioambientales que generan un impacto negativo como generación de CO₂ al quemar la cáscara y PET en ríos y basurereros clandestinos.

Se propone la alternativa de usar residuos de PET y cáscara de cardamomo para la fabricación de concreto ligero; modificando porcentajes de árido fino en la mezcla. Se espera que las probetas alcancen valores de resistencia aceptables según normas NTG.

5 Delimitación en tiempo y espacio

5.1 Delimitación en tiempo

La investigación inició a partir del mes de abril del 2022 y culminó en el mes de enero del 2023.

5.2 Delimitación espacial

La cáscara de cardamomo se recolectó en beneficios ubicados en casco urbano de Cobán, Alta Verapaz; el tereftalato de polietileno (PET), se recolectó en las instalaciones del Centro Universitario del Norte. Todo el proceso de selección de agregados y fabricación se llevó a cabo en Instituto de Investigación y Tecnología de Ingeniería Cunor.

6. Marco teórico

6.1 Concreto ligero:

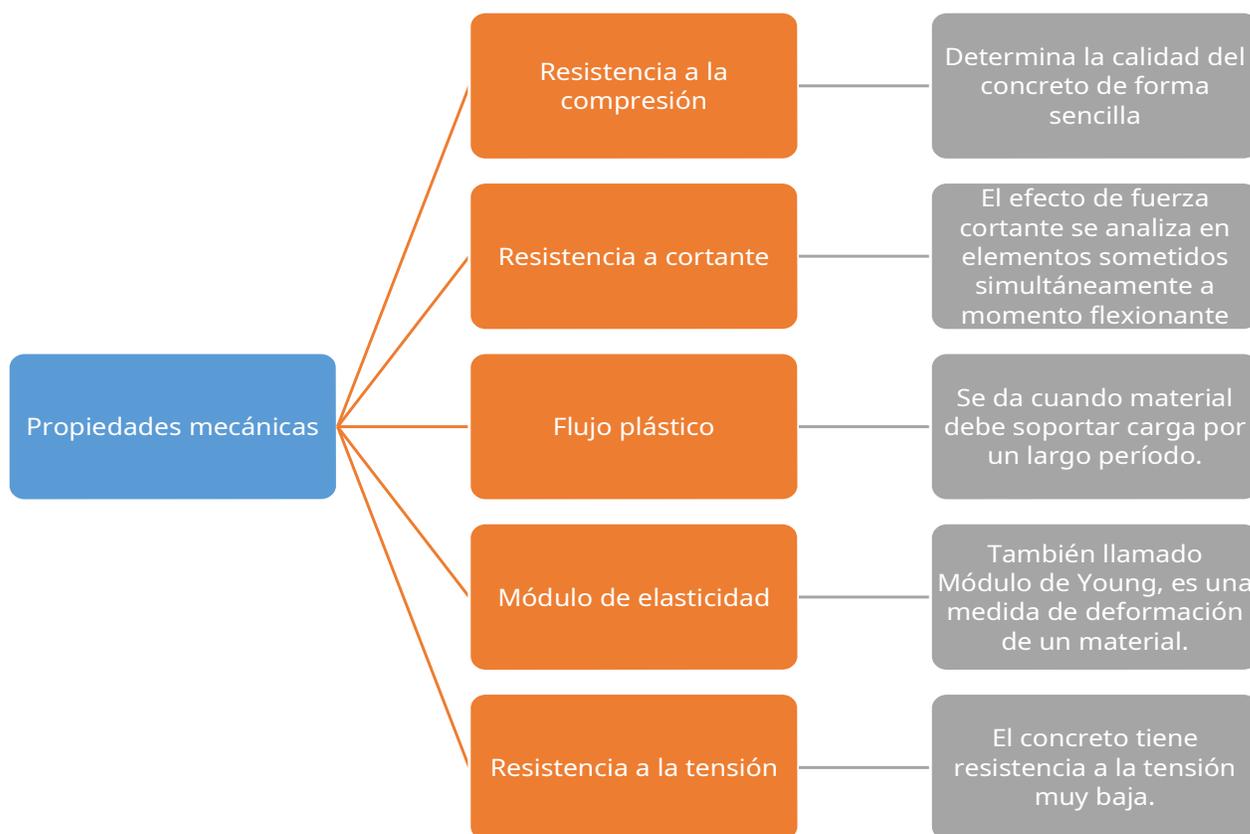
Tajra y colaboradores (2019) especifican que “el concreto ligero se fabrica reemplazando todos los agregados de peso normal, o sólo la fracción gruesa con agregados ligeros”(p. 39). También se puede indicar que el concreto ligero posee propiedades como baja densidad, aislamiento térmico y resistencia al fuego (Zhou & Brooks, 2019, p. 512). En las últimas décadas “el concreto ligero se pudo fabricar con una amplia gama de densidades (300-2,000 kg/m³) y resistencias correspondientes de 1.0 a 60 MPa” (Elshahawi et al., 2020, p. 2).

6.2 Propiedades mecánicas de concreto ligero:

Cuando se utiliza el término propiedades se refiere a características que posee las probetas de concreto ligero; las cuales se pueden observar cuando se ejerce alguna fuerza sobre ellos. Entre las propiedades mecánicas más importantes se tienen: “resistencia a la compresión, resistencia a la tensión, resistencia a cortante, flujo plástico y módulo de elasticidad” (Fandiño, 2020, p. 21). En Figura 1 se puede observar características de cada propiedad mecánica.

Figura 1

Propiedades mecánicas de concreto

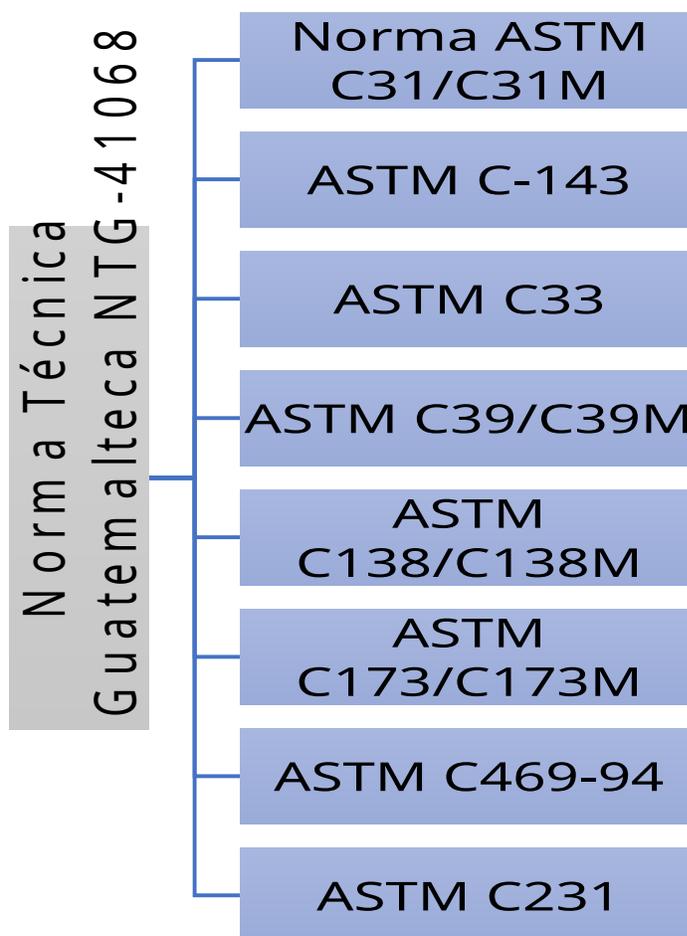


Nota. Las propiedades también son aplicables a concretos ligeros. (Fandiño, 2020, pp. 22-24).

Existe la Norma Técnica Guatemalteca NTG-41068 que da especificaciones sobre concreto premezclado. En Figura 2 se observan normas de American Society for Testing and Materials (ASTM).

Figura 2

Algunas normas ASTM que se encuentran en Norma Técnica Guatemalteca NTG-41068



Nota. Las normas se utilizan para realizar pruebas mecánicas en concretos ligeros.

6.3 Agregados de concreto:

Se dividen en dos tipos: finos y grueso. En la tabla 1 se puede observar el tamaño que poseen los diferentes tipos de agregados usados en concretos.

Tabla 1

Propiedades de agregados finos, gruesos y reciclado.

Agregado	Agregado grueso	Agregado fino normal	Agregado fino reciclado
Tamaño máximo (mm)	19.5	-	-
Tamaño máximo nominal (mm)	12.5	-	-
Módulo de Finura	-	2.3	3.1
Peso seco (g/cm ³)	1.5	1.4	1.4
Peso varillado seco (g/cm ³)	1.7	1.5	1.6
Pérdida por abrasión (%)	19.1	-	-
Gravedad específica a granel (g/cm ³)	2.4	2.5	2.5
Absorción (%)	3.5	3.7	6.4
Humedad superficial (%)	1.8	4.4	10.1

Nota. (Factibilidad del remplazo de agregados finos reciclados de demolición en las propiedades físicas de concreto estructural, 2020, p. 38).

Se puede indicar que las características de autocompatibilidad y las propiedades mecánicas del concreto se modifican dependiendo de la cantidad de agregados finos utilizados, así mismo modifica porosidad y área superficial total (Nedeljkovic, 2021, p. 3).

6.3.1 Uso de residuos para fabricar concretos

En la actualidad, los investigadores siguen buscando alternativas para reutilizar residuos obtenidos en distintos procesos industriales, entre los cuales, se encuentran usarlos como agregados finos en la obra gris. Se realizó análisis del concreto con poliestireno expandido como aditivo para aligerar elementos estructurales en la Universidad Libre seccional Pereira, Facultad de Ingenierías, Ingeniería Civil, de la República de Colombia, en el año 2015. El material de referencia para la prueba fue poliestireno expandido buscando encontrar su mezcla ideal para obtener el concreto ligero que cumpliera con la norma colombiana de construcción NSR-10. Sin embargo, los resultados no fueron los esperados y no lograron encontrar la mezcla ideal que aligerara el concreto y permitiera alcanzar las propiedades y parámetros de resistencia exigidos en la norma colombiana de construcción. También han utilizado cáscara de aceite de palma para uso en obra gris (Maghfouri et al., 2019, p. 1). Se analizó el comportamiento de concreto ligero utilizando concha de mejillón como agregado

(Martínez-García et al., 2017, p. 570). Evaluaron del comportamiento compresivo y propiedades físicas de las fibras de PET recicladas (Cárdenas-Pulido et al., 2020, p. 269).

6.3.2 Mejoramiento de concretos con desechos:

Entre los desechos más reutilizados en la fabricación de hormigón, ha sido gránulos de tereftalato de polietileno (PET), el cual sustituye a los áridos finos. Kangavar y colaboradores (2022) realizaron investigación usando este tipo de residuos y los parámetros evaluados fueron: “trabajabilidad, resistencia a la compresión, densidad, módulo de elasticidad, resistencia a la tracción y resistencia a la flexión; donde determinaron que las propiedades mecánicas eran aceptables al sustituir un 10% de PET en la mezcla” (p. 2).

6.4 Distribución de agregados en mezcla de concreto

Para observar el empaquetamiento de los agregados finos dentro de la mezcla de concreto, se puede utilizar microscopía óptica. Este paso se realiza después de ensayo de compresión. Henao y Colaboradores (2016) indican que “es importante analizar el cambio estructural interno después de que la muestra es sometida a ensayos” (p. 142), esto debido a que se puede observar si existe cambio de color en los agregados, distorsión de grano al contacto con otros componentes. El método de microscopía óptica es muy utilizada para realizar estudios de “especímenes biológicos, materiales y dispositivos semiconductores” (Sheppard, 2020, p. 227). En la microscopía óptica se utilizan objetivos de diferentes capacidades para aumentar la imagen. En 2021 se realizó revisión sobre esta técnica y se discutieron métodos modernos de microscopía óptica (Shakya & King, 2021, p. 1).

6.5 Cardamomo (*Elettaria cardamomum* Matón):

De acuerdo a Ravindran (2016), “el cardamomo es una gran monocotiledónea tizomatosa herbácea perenne, perteneciente a la familia Zingiberaceae” (p.5). El cardamomo pertenece al género *Elettaria* y la especie *cardamomum* (Matón).

El cardamomo es un producto que se cosecha en cerezo y para exportarlo debe pasar por proceso de secado hasta deshidratarlo y obtener la semilla; en este proceso se obtiene un residuo de cáscara de cardamomo. En 2020 se determinó que para adquirir cardamomo en oro/pergamino se obtenía un 46.15% de residuo de cáscara de cardamomo (Vásquez, 2020, p. 2). En Figura 3 se puede observar el residuo del proceso.

Figura 3

Obtención de cáscara de cardamomo



Nota. Foto tomada en Instituto de Investigación y Tecnología de Ingeniería Cunor

6.6 Residuos de tereftalato de polietileno:

Sánchez y colaboradores (2020) indican que el “tereftalato de polietileno es un tipo de polímero que se encuentra en los plásticos y es muy usado en envases de bebidas y textiles” (p. 8). Kangavar y colaboradores (2022) utilizaron residuos de PET como sustitución de áridos finos, en el cual agregaron “5% en peso de partículas de PET sin lavar y examinaron efectos de trabajabilidad, resistencia a la compresión y resistencia a la tracción dividida”

En tabla 2 se puede observar las propiedades del tereftalato de polietileno

Tabla 2

Propiedades de PET

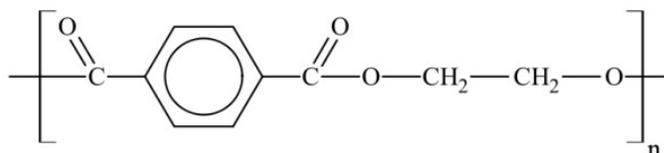
propiedades	Unidad	Valor
Densidad	g/cm^3	1,34-1,39
Resistencia a la tensión	MPA	59-72
Resistencia a la compresión	MPA	76-128
Resistencia al impacto, izod	J/mm	0,01-0,04
Dureza	---	Rockwell M94- M101
Dilatación térmica	$10^{-4}/^{\circ}C$	15,2-24
Resistencia al calor	$^{\circ}C$	80-120
Resistencia dieléctrica	V/mm	13780-15750
Constante dieléctrica (60Hz)	---	3,65
Absorción de agua	%	0,02
Velocidad de combustión	Mm/min	Consumo lento
Efecto de luz solar	---	Se decolora ligeramente
Calidad de mecanizado	----	Excelente
Calidad óptica	----	Transparente a opaco
Temperatura de fusión	$^{\circ}C$	244-254

Nota. La tabla de extrajo de Sánchez y colaboradores 2020.

El tereftalato de polietileno se obtiene de la reacción química entre ácido tereftálico y etilenglicol. En Figura 4 se observa la estructura química del PET.

Figura 4

Fórmula química de tereftalato de polietileno



Nota. Este plástico forma parte de materiales sintético termo formables (Kawai et al., 2020, p. 8894).

7 Estado del arte

En los últimos años se han realizado distintas investigaciones utilizando diferentes materiales como agregados finos y agregados gruesos en la producción de concretos ligeros. En el año 2020 realizaron un estudio sobre el uso de cáscara de coco con fibra de sisal como agregado fino, determinando que “la resistencia a la compresión aumentó 6% cuando se agregó 3%” (Prakash et al., 2020, p. 1579-1590). También en el año 2020 realizaron investigación usando cenizas volantes, escoria granulada de alto horno molida, humo de sílice, residuos de llantas, plásticos, vidrios, residuos agrícolas para reemplazar cemento o agregados finos; determinaron que “los mejores resultados se obtuvieron al usar regranulado de polipropileno” (Bejan et al., 2020, p. 136-143). Otro estudio importante fue utilizar cáscara de palma de aceite como agregado fino, en el cual determinaron “que el modelo más preciso fue el secado a largo plazo” (Maghfouri et al., 2020, p. 1-13). En el año 2020 realizaron investigación al utilizar plásticos reciclados del mar, evaluaron asentamiento, densidad, resistencia y módulo de elasticidad; con lo cual determinaron “un aumento del contenido de plástico reciclado genera una disminución del asentamiento y la densidad, así como un aumento de la resistencia y del módulo elástico” (Venitez-Mosquera et al., 2020, p. 77-84).

8 Objetivos

Objetivo General

Determinar el comportamiento físico y mecánico de concreto ligero utilizando cáscara de cardamomo y polietileno tereftalato reciclado

Objetivos específicos

1. Determinar propiedades físicas y mecánicas de concreto ligero en estado fresco y endurecido.
2. Establecer la mezcla porcentual de cáscara de cardamomo y polietileno tereftalato para obtener propiedades mecánicas aceptables del concreto.
3. Determinar distribución de agregados dentro de la mezcla.

9 Hipótesis (si aplica)

Hipótesis nula: cáscara de cardamomo y PET no son áridos adecuados para preparar concreto ligero.

Hipótesis alternativa: cáscara de cardamomo y PET son áridos adecuados para preparar concreto ligero.

10 Materiales y métodos

1.1 Enfoque de la investigación

El enfoque de la investigación fue cuantitativo. El tipo de investigación fue experimental porque se controlaron las variables independientes.

1.2 Método

Preparación de áridos finos:

La cáscara de cardamomo fue seleccionada manualmente; porque contenía colillas y algunas cáscaras se encontraban en estado de descomposición producto de la humedad.

La cáscara de cardamomo se sometió a tratamiento térmico a 90°C por 24 h, e instantáneamente se trituró y tamizó utilizando las mallas #10 y #80.

El PET utilizado se obtuvo de botellas de plástico de 3 litros que se encontraron en los distintos recipientes de basura dentro del CUNOR.

El polietileno tereftalato se recicló, luego se procedió a lavar para retirar cualquier impureza presente, para la trituración se utilizó una máquina trituradora artesanal con cuchillas que trabajaba con motor de combustión y finalmente se tamizó con las mallas #4, #10, #80 y #170.

Elaboración de probetas:

Se utilizaron moldes de cilindro de acero con dimensiones de 12x6 pulgadas. Los materiales empleados fueron: cemento portland, grava (3/4”), arena de río y agua.

Las proporciones de cada material según el diseño de la mezcla patrón fue 1 parte de cemento, 2.6 partes de arena y 3 partes de grava. La relación agua/cemento fue de 0.51; las cuales se mezclarán de acuerdo a “normas NTG 41060” (Comisión Guatemalteca de Normas, COGUANOR, sección 7.1.2). El total de probetas a realizar fue de 24, de acuerdo a norma ACI 211.1 (American Concrete Institute) las proporciones de los materiales para probetas de la mezcla patrón están en tabla 3; así mismo, composiciones usando como agregado cáscara de cardamomo y PET se encuentran en tabla 4. Los valores de probeta patrón se encuentran en tabla 3.

Tabla 3

Composición para 6 probetas que consta la mezcla patrón

Cemento (kg)	Agua (L)	Arena (kg)	Grava (kg)
14.30	7.34	37.14	43.33

Nota. Las cantidades están calculadas para un volumen de 0.111 m³ de concreto necesario para fundir 6 testigos que consta cada tratamiento.

Tabla 4

Composición para probetas usando cáscara de cardamomo y PET

Cáscara de cardamomo %	PET %	Arena (kg)	Cemento (kg)	Grava (kg)	Agua (L)
1*	2*	36.03	14.30	43.33	7.34
3**	5**	34.17	14.30	43.33	7.34

5***	8***	32.31	14.30	43.33	7.34
------	------	-------	-------	-------	------

Nota. *primer tratamiento, **segundo tratamiento, *** tercer tratamiento. Los % son en base al peso del agregado fino de la tabla 3.

Pruebas mecánicas:

Las pruebas mecánicas se realizaron a los 7, 14 y 28 días de fraguado de acuerdo a normas “NTG 41017-h1” (Comisión Técnica Guatemalteca, COGUANOR). Las pruebas son de resistencia a la compresión usando máquina marca Pinzuar y siguiendo norma método de ensayo punto determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto “norma NTG 41017-h1” (Comisión Técnica Guatemalteca, COGUANOR).

Pruebas físicas:

Se realizó prueba de Slump o trabajabilidad usando “norma NTG 41017-h4” (Comisión Técnica Guatemalteca, COGUANOR), el instrumento utilizado fue el cono de Abrams. Se determinó el contenido de aire atrapado en la mezcla usando “norma NTG 41017-h7” (Comisión Técnica Guatemalteca, COGUANOR), el instrumento utilizado fue un presurómetro marca Humboldt. Se determinó el peso unitario del concreto fresco usando la “norma NTG 41017-h5” (Comisión Técnica Guatemalteca, COGUANOR), el instrumento utilizado fue la olla del presurómetro marca Humboldt.

Microscopía óptica:

Para determinar la distribución de agregados en la mezcla se usó microscopía óptica usando objetivo de 50x.

1.3 Recolección de información

Los áridos usados como finos se obtuvieron de beneficios de cardamomos ubicados en la región de Alta Verapaz, Guatemala. El PET se recolectó en recipientes ubicados en varios sectores dentro del Centro Universitario del Norte. La preparación de áridos finos se especifica en sección 1.2.

Los criterios de inclusión: se utilizó cáscara de cardamomo obtenida de proceso al adquirir pergamino/oro, las botellas de plástico debían ser de polietileno tereftalato y los criterios de exclusión: cáscara no debía tener humedad y botellas debían estar limpias.

Los elementos necesarios son: polietileno tereftalato reciclado, cáscara de cardamomo, cemento portland, arena, grava, agua, cilindro de acero, mezcladora, máquina de

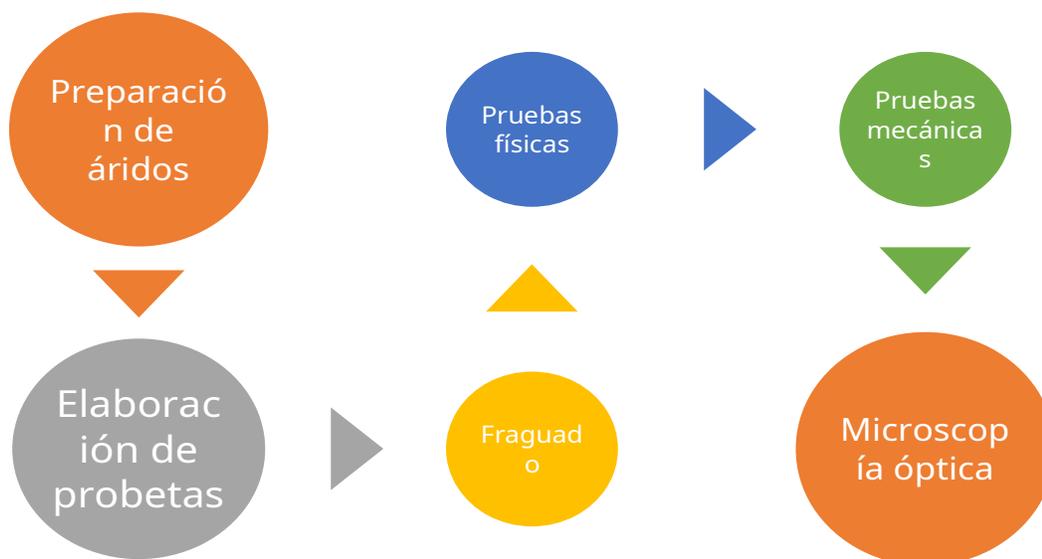
compresión y microscopio óptico. Los análisis se realizaron en Instituto de Investigación y Tecnología de Ingeniería Cunor.

1.4 Técnicas e instrumentos

Se utilizaron hojas de control que contenían los parámetros a medir para cada uno de los tratamientos, entre ellos temperatura de secado de cáscara de cardamomo, tiempo de secado de cardamomo, tamaño de partícula de cardamomo y PET, cantidad de agua, cantidad de cemento, cantidad de grava, cantidad de arena, tiempo de mezclado, porcentajes de áridos agregados, tiempo de fraguado de concreto, resistencia a la compresión y distribución de agregados en la mezcla.

Figura 5

Procedimiento de elaboración de concreto ligero



Nota. La elaboración de probetas de concreto ligero se realizó en Instituto de Investigación y Tecnología de Ingeniería Cunor.

Diseño experimental:

Se utilizó diseño factorial de 3 factores y 3 niveles en diseño completamente al azar con 5 repeticiones.

$$y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + u_{ijkl}$$
$$i = 1, 2, \dots, a ; j = 1, 2, \dots, b ; k = 1, 2, \dots, c ; l = 1, 2, \dots, r$$

$n = abcr$ (número de observaciones)

Se utilizó análisis de varianza para verificar si existe interacción entre las variables; además se realizó prueba de Tukey de comparación de medias.

Tabla 5:

ANOVA, modelo factorial con tres factores con replicación

F. V.	S. C.	G. L.	C. M.	F_{exp}
Factor <i>A</i>	<i>SCA</i>	$a - 1$	<i>CMA</i>	CMA/CMR
Factor <i>B</i>	<i>SCB</i>	$b - 1$	<i>CMB</i>	CMB/CMR
Factor <i>C</i>	<i>SCC</i>	$c - 1$	<i>CMC</i>	CMC/CMR
<i>AxB</i>	<i>SC(AB)</i>	$(a - 1)(b - 1)$	<i>CM(AB)</i>	$CM(AB)/CMR$
<i>AxC</i>	<i>SC(AC)</i>	$(a - 1)(c - 1)$	<i>CM(AC)</i>	$CM(AC)/CMR$
<i>BxC</i>	<i>SC(BC)</i>	$(b - 1)(c - 1)$	<i>CM(BC)</i>	$CM(BC)/CMR$
<i>AxBxC</i>	<i>SC(ABC)</i>	$(a - 1)(b - 1)(c - 1)$	<i>CM(ABC)</i>	$CM(ABC)/CMR$
Residual	<i>SCR</i>	$abc(r - 1)$	<i>CMR</i>	
TOTAL	<i>SCT</i>	$abcr - 1$	<i>CMT</i>	

Nota: G.L = grados de libertad, F.V. = factor variable.

De acuerdo al modelo factorial se deben realizar 27 grupos con 5 repeticiones cada uno.

Tabla 6

Tratamientos a realizar con 3 factores

	A1			A2			A3		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
K1	A1M1K1	A1M2K1	A1M3K1	A2M1K1	A2M2K1	A2M3K1	A3M1K1	A3M2K1	A3M3K1
	A1M1K1	A1M2K1	A1M3K1	A2M1K1	A2M2K1	A2M3K1	A3M1K1	A3M2K1	A3M3K1
	A1M1K1	A1M2K1	A1M3K1	A2M1K1	A2M2K1	A2M3K1	A3M1K1	A3M2K1	A3M3K1
	A1M1K1	A1M2K1	A1M3K1	A2M1K1	A2M2K1	A2M3K1	A3M1K1	A3M2K1	A3M3K1
	A1M1K1	A1M2K1	A1M3K1	A2M1K1	A2M2K1	A2M3K1	A3M1K1	A3M2K1	A3M3K1
	A1M1K1	A1M2K1	A1M3K1	A2M1K1	A2M2K1	A2M3K1	A3M1K1	A3M2K1	A3M3K1
K2	A1M1K2	A1M2K2	A1M3K2	A2M1K2	A2M2K2	A2M3K2	A3M1K2	A3M2K2	A3M3K2
	A1M1K2	A1M2K2	A1M3K2	A2M1K2	A2M2K2	A2M3K2	A3M1K2	A3M2K2	A3M3K2
	A1M1K2	A1M2K2	A1M3K2	A2M1K2	A2M2K2	A2M3K2	A3M1K2	A3M2K2	A3M3K2
	A1M1K2	A1M2K2	A1M3K2	A2M1K2	A2M2K2	A2M3K2	A3M1K2	A3M2K2	A3M3K2
	A1M1K2	A1M2K2	A1M3K2	A2M1K2	A2M2K2	A2M3K2	A3M1K2	A3M2K2	A3M3K2
	A1M1K2	A1M2K2	A1M3K2	A2M1K2	A2M2K2	A2M3K2	A3M1K2	A3M2K2	A3M3K2
K3	A1M1K3	A1M2K3	A1M3K2	A2M1K3	A2M2K3	A2M3K3	A3M1K2	A3M2K3	A3M3K3
	A1M1K3	A1M2K3	A1M3K2	A2M1K3	A2M2K3	A2M3K3	A3M1K2	A3M2K3	A3M3K3
	A1M1K3	A1M2K3	A1M3K2	A2M1K3	A2M2K3	A2M3K3	A3M1K2	A3M2K3	A3M3K3
	A1M1K3	A1M2K3	A1M3K2	A2M1K3	A2M2K3	A2M3K3	A3M1K2	A3M2K3	A3M3K3
	A1M1K3	A1M2K3	A1M3K2	A2M1K3	A2M2K3	A2M3K3	A3M1K2	A3M2K3	A3M3K3
	A1M1K3	A1M2K3	A1M3K2	A2M1K3	A2M2K3	A2M3K3	A3M1K2	A3M2K3	A3M3K3

Nota. A = días en los que se harán las pruebas, M= PET, K= cáscara de cardamomo.

Diseño de mezcla de concreto patrón

Se diseñó la mezcla de concreto patrón con base a las características físicas de los agregados, con esto se determinaron las proporciones.

Tabla 7

Composición para probetas usando cáscara de cardamomo y PET

Características de los materiales				
	ARENA	GRAVA	CEMENTO	AGUA
Humedad (%)	3.50	2.50		
Absorción (%)	2.66	1.20	---	---
Gravedad específica (Ton/m³)	2.61	2.75	3.15	1.00
Peso unitario compactado (Kg/m³)	1674.00	1564.00	---	---
Módulo de finura	2.70	---	---	---

Nota. Información proporcionada por Constructora y Premezclados RAMIREZ. --- indican que no existe un valor.

Paso 1: resistencia de diseño requerida

Se propuso una resistencia a la compresión requerida a los 28 días igual a $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. La norma ACI propone aumentar 70 kg/cm^2 cuando no se dispone de datos para establecer una desviación estándar. Por lo tanto, la mezcla se diseñará con una resistencia de $f'cr = 280 \text{ kg/cm}^2$ como indica la figura 6.

Figura 6
Resistencia promedio requerida

Cuadro 2. Resistencia a la compresión promedio requerida cuando no se dispone de datos para establecer una desviación estándar

Resistencia a la compresión especificada f'_c (kg/cm ²)	Resistencia a la compresión requerida promedio f'_{cr} (kg/cm ²)
Menos que 210 (3000 psi)	$f'_{cr} = f'_c + 70$ (1000 psi)
210 a 350 (3000 psi a 5000 psi)	$f'_{cr} = f'_c + 85$ (1200 psi)
Mayor a 350 (5000 psi)	$f'_{cr} = 1.10 f'_c + 50$ (700 psi)

Paso 2: selección del asentamiento

Se asumió que el concreto de diseño puede ser utilizado para cualquier elemento estructural, incluso para pavimentos o concreto masivo. Por lo tanto, se propuso utilizar un asentamiento promedio de 5 cm de acuerdo a la norma ACI y la figura 6.

Figura 7
Asentamientos recomendados para diversos tipos de construcción

Tipos de construcción	Asentamiento (cm)	
	Máximo*	Mínimo
Muros de cimentación y zapatas	7.5 (3")	2.5 (1")
Zapatas, cajones de cimentación y muros de sub-estructura sencillos	7.5 (3")	2.5 (1")
Vigas y muros reforzados	10 (4")	2.5 (1")
Columnas para edificios	10 (4")	2.5 (1")
Pavimentos y losas	7.5 (4")	2.5 (1")
Concreto masivo	7.5 (4")	2.5 (1")

Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación -DIGI-

Nota: adaptado de la norma ACI 211.1. * el revenimiento se puede incrementar con aditivos químicos.

Paso 3: selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso

La norma ACI establece que para determinar el tamaño máximo del agregado grueso se deben revisar las condiciones siguientes y tomar el menor valor:

1/5 de la dimensión más pequeña del elemento de concreto.

3/4 del espacio libre entre barras de acero de refuerzo.

3/4 del espacio libre entre las barrad de acero y la formaleta.

1/3 del espesor de las losas.

La grava con diámetro de 3/4 de pulgada nos satisface las condiciones anteriores.

Paso 4: selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso

Para determinar de la cantidad de agua para 1 m³ de concreto se utilizan los datos calculados anteriormente e interpolar en la figura 8.

Figura 8

Requisitos aproximados de agua y contenido de aire

Revenimiento, cm	Agua, kg/m ³ para el concreto de agregado de tamaño nominal máximo (mm) indicado							
	9.5 (3/8")	12.5 (1/2")	19.0 (3/4")	25.0 (1")	38.0 (1 1/2")	50.0 (2")	75.0 (3")	150.0 (6")
Concreto sin aire incluido								
2.5 (1") a 5.0 (2")	207	199	190	179	166	154	130	113
7.5 (3") a 10 (4")	228	216	205	193	181	169	145	124
15.0 (6") a 17.5 (7")	243	228	216	202	190	178	160	-
Cantidad aproximada de aire sin aire incluido, por ciento	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incluido								
2.5 (1") a 5.0 (2")	181	175	168	160	150	142	122	107
7.5 (3") a 10 (4")	202	193	184	175	165	157	133	119
15.0 (6") a 17.5 (7")	216	205	197	174	174	166	154	-
Promedio recomendado de contenido de aire total, por ciento, según el nivel de exposición								
Exposición ligera	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

Nota: Adaptado de la norma ACI 211.1.

El concreto se diseñó sin aire incluido, obteniendo los siguientes resultados:

Cantidad de agua (L) = 190 L

Cantidad de aire = 2 % = 0.02 m³

Paso 5: selección de la relación A/C

Esta relación es un numero adimensional. Para determinar la relación a/c se debe hacer uso de la figura 9, interpolando con los siguientes datos:

$f'_{cr} = 280 \text{ kg/cm}^2$ concreto sin aire incluido

Figura 9

Relación de agua/cemento

Resistencia a la compresión a los 28 días kg/cm ²	Relación agua/cemento por peso	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
420 (6000psi)	0.41	-
350 (5000psi)	0.48	0.40
280 (4000psi)	0.57	0.48
210 (3000psi)	0.68	0.59
140 (2000psi)	0.82	0.74

$a/c = 0.57$

Paso 6: cantidad de cemento en kg/m³

La determinación de la cantidad de cemento consiste en dividir la cantidad de agua entre la relación a/c, de la siguiente forma:

Agua = 190 L = 190 kg/m³ relación a/c = 0.57

Cemento = (190 kg/m³) / 0.57

Cemento = 333.33 kg/m³

Paso 7: volumen de agregado grueso

El volumen del agregado grueso se determinó con la figura 5, haciendo una interpolación entre el módulo de finura de la arena y el diámetro de la grava.

Módulo de finura = 2.70 ϕ grava = $\frac{3}{4}$ plg

Figura 10

Volumen de agregado grueso (m^3)

Tamaño máximo del agregado mm (pulg)	Módulo de Finura de la Arena			
	2.40	2.60	2.80	3.00
	Volumen de agregado grueso			
9.5 (3/8")	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5 (1/2")	0.59	0.57	0.55	0.53
19.0 (3/4")	0.66	0.64	0.62	0.60
25.0 (1")	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5 (1 1/2")	0.75	0.73	0.71	0.69
50.0 (2")	0.78	0.76	0.74	0.72
75.0 (3")	0.82	0.80	0.78	0.76
150.0 (6")	0.87	0.85	0.83	0.81

Volumen de grava = $0.63 m^3$

Para determinar el peso en kg/m^3 se debe multiplicar el volumen determinado por el peso unitario compactado.

$$Peso\ grava = 0.63 m^3 \left(1564 \frac{kg}{m^3} \right)$$

$$Peso\ grava = 985.32 \frac{kg}{m^3}$$

Paso 8: estimación de la cantidad de arena por el método de peso

Para determinar el peso de la arena, se interpoló de la figura 11 el peso aproximado de 1 m³ de concreto y se le restaron los pesos determinados de todos los demás agregados.

Figura 11

Estimación del peso de concreto fresco (kg/m³)

Tamaño máximo nominal del agregado, mm	Primera estimación del peso del concreto fresco, kg/m ³	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
9.5 (3/8")	2280	2200
12.5 (1/2")	2310	2230
19 (3/4")	2345	2275
25 (1")	2380	2290
37.5 (1 1/2")	2410	2350
50 (2")	2445	2345
75 (3")	2490	2405
150 (6")	2530	2435

$$W_{\text{concreto}} = 2345 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$W_{\text{arena}} = W_{\text{concreto}} - (W_{\text{agua}}) - (W_{\text{cemento}}) - (W_{\text{grava}})$$

$$W_{\text{arena}} = \left(2345 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) - \left(190 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) - \left(333.33 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) - \left(985.32 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$W_{\text{arena}} = \left(836.35 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

Paso 9: corrección por humedad de los agregados

Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación -DIGI-

Es necesario corregir las cantidades calculadas de los agregados ya que al estar expuestos a la intemperie adhieren humedad considerable, por lo tanto, es necesario hacer un arreglo a la cantidad de agua de la mezcla.

Tabla 8

Peso húmedo de los agregados en la mezcla inicial

	Peso inicial (kg/m³)	Humedad (%)	Peso húmedo (kg/m³)
Arena	836.35	3.5	865.62
Grava ¾"	985.32	2.5	1009.95

Nota: Peso húmedo = Peso inicial * humedad.

Tabla 9

Humedad superficial de los agregados

	Humedad (%)	Absorción (%)	Humedad superficial (%)
Arena	3.5	2.66	8.41
Grava ¾"	2.5	1.2	1.20

Nota: Humedad superficial = humedad - absorción.

Tabla 10

Aporte de humedad de los agregados

	Peso inicial (kg/m³)	Humedad superficial (%)	Humedad aportada (L/m³)
Arena	836.35	8.41	7
Grava ¾"	985.32	1.20	12
Cantidad de agua total aportada por los agregados			19

Nota: Humedad aportada = peso inicial * humedad superficial.

De acuerdo al total de agua aportada de los agregados se modifica la cantidad de agua inicial, de la siguiente forma:

Agua inicial = 190 L/m³

Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación -DIGI-

$$\text{Aporte de los agregados} = \frac{19 \text{ L/m}^3}{\phantom{19 \text{ L/m}^3}}$$

$$\text{Agua necesaria} = 171 \text{ L/m}^3$$

Tabla 11

Cantidades corregidas de los agregados de la mezcla patrón

Agua (L/m ³)	Cemento (kg/m ³)	Grava (kg/m ³)	Arena (kg/m ³)
171	333.33	1009.95	865.62

Nota: las cantidades son calculadas para 1 m³ de concreto.

Cálculo de concreto necesario para 24 testigos de concreto

Se fundieron 24 testigos y fueron distribuidos 6 cilindros para cada tratamiento propuesto, quedando de la siguiente manera:

Tabla 12

Distribución de cilindros para 3 tratamientos

Edades de ensayo	TP	PT	ST	TT
7 días	2 cilindros	2 cilindros	2 cilindros	2 cilindros
14 días	2 cilindros	2 cilindros	2 cilindros	2 cilindros
28 días	2 cilindros	2 cilindros	2 cilindros	2 cilindros
Total	6 cilindros	6 cilindros	6 cilindros	6 cilindros

Nota: TP = tratamiento patrón, PT= 1er. tratamiento, ST= 2 do. tratamiento, TT= 3er. tratamiento.

Según la norma ASTM C-31 indica que los moldes para la elaboración de especímenes de concreto deben tener un diámetro de 6 pulgadas por 12 pulgadas de alto.

$$\text{Ø cilindro} = 0.30 \text{ m}$$

$$\text{h. cilindro} = 0.15 \text{ m}$$

$$\text{Vol. 1 cilindro} = \pi(0.30)^2(0.15) / (4)$$

$$\text{Vol. 1 cilindro} = 0.0055 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. 6 cilindro} = 0.0055 \text{ m}^3 (6) = 0.043 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. 24 cilindros} = 0.0055 \text{ m}^3 (24) = 0.17 \text{ m}^3$$

El peso de los agregados para 0.17 m^3 de concreto que es el equivalente a 24 cilindros, se calculó de la siguiente manera:

$$\text{Vol. Agua} = 171 \text{ L } (0.17 \text{ m}^3) = 29.34 \text{ L}$$

$$\text{W cemento} = 333.33 \text{ kg/m}^3 (0.17 \text{ m}^3) = 57.20 \text{ kg}$$

$$\text{W grava} = 1\,009.95 \text{ kg/m}^3 (0.17 \text{ m}^3) = 173.31 \text{ kg}$$

$$\text{W arena} = 865.62 \text{ kg/m}^3 (0.17 \text{ m}^3) = 148.54 \text{ kg}$$

El peso de los agregados para 0.043 m^3 de concreto que es el equivalente a 6 cilindros, se calculó de la siguiente manera:

$$\text{Vol. Agua} = 171 \text{ L } (0.043 \text{ m}^3) = 7.34 \text{ L}$$

$$\text{W cemento} = 333.33 \text{ kg/m}^3 (0.043 \text{ m}^3) = 14.30 \text{ kg}$$

$$\text{W grava} = 1\,009.95 \text{ kg/m}^3 (0.043 \text{ m}^3) = 43.33 \text{ kg}$$

$$\text{W arena} = 865.62 \text{ kg/m}^3 (0.043 \text{ m}^3) = 37.14 \text{ kg}$$

Cantidad de materiales para 3 tratamientos de concreto

Los 3 tratamientos difirieron en base a los porcentajes de PET y cardamomo utilizados, dichos porcentajes se calcularon con respecto a la masa del agregado fino. La distribución se estableció de la siguiente manera.

Tabla 13

Primer tratamiento

Cardamomo	1.00 %
PET	2.00 %
Agua	7.34 L
Cemento	14.30 kg
Grava	43.33 kg
Arena	36.03 kg
W Cardamomo	0.37 kg
W PET	0.74 kg

Nota: Arena = Peso de arena original – W Cardamomo – W PET

Tabla 14

Segundo tratamiento

Cardamomo	3.00 %
-----------	--------

PET	5.00 %
Agua	7.34 L
Cemento	14.30 kg
Grava	43.33 kg
Arena	34.17 kg
W Cardamomo	1.11 kg
W PET	1.86 kg

Nota: Arena = Peso de arena original – W Cardamomo – W PET

Tabla 15
Tercer tratamiento

Cardamomo	5.00 %
PET	8.00 %
Agua	7.34 L
Cemento	14.30 kg
Grava	43.33 kg
Arena	32.31 kg
W Cardamomo	1.86 kg
W PET	2.97 kg

Nota: Arena = Peso de arena original – W Cardamomo – W PET

Tabla 16

Técnicas e instrumentos utilizados en comportamiento físico de concreto ligero

Fase	Actividad	Procedimiento/técnica	Herramientas/ instrumentos
Identificación de objeto de estudio	Conceptualización del problema, formulación de estado de arte y diseño de instrumentos	Revisión bibliográfica	Revistas indizadas
Recopilación de información	Identificación de datos y objeto	Revisión bibliográfica, trabajo de campo, recolección de datos	Revistas indizadas, hojas de recolección de datos
Interpretación	Procesamiento de datos	Medición de variables, análisis referentes teóricos	Tabulaciones y gráficas

Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación -DIGI-

Análisis de información	Relación de datos	Análisis de datos cuantitativos	Análisis gráficos y estadísticos, Excel
Síntesis y conclusiones	Producción de informe	Escritura, redacción, compilación	Documento teórico

Nota. El análisis estadístico se encuentra detallado en sección de investigación cuantitativa.

1.5 Operacionalización de las variables o unidades de análisis

En tabla 8 se muestran las variables e indicadores que se evaluaron en el comportamiento mecánico de concreto ligero utilizando cardamomo y polietileno tereftalato reciclado.

Tabla 17

Operacionalización de las variables o unidades de análisis

Objetivos específicos	Variables o unidades de análisis que serán consideradas	Forma en que se medirán, clasificarán o cualificarán
Determinar propiedades físicas y mecánicas de concreto ligero en estado fresco y endurecido	Resistencia a la compresión. Prueba de Slump o trabajabilidad. Contenido de aire atrapado en la mezcla. Peso unitario del concreto	Medición: Se utilizó máquina de compresión marca Test Mark. Se usó cono de Abrams. Se utilizó presurómetro. Clasificación: Cuantitativa continua, intervalo.
Establecer cantidades de cáscara de cardamomo y tereftalato de polietileno para obtener propiedades mecánicas aceptables	Porcentaje de agregado fino	Medición: Se utilizó balanza para determinar la masa de agregado en concreto ligero Clasificación: Cuantitativa continua, intervalo
Determinar distribución de agregados dentro de la mezcla	Distancia entre cada agregado	Medición: Se realizó utilizando microscopio óptico con objetivo 100x Clasificación: Cualitativa, nominal.

1.6 Procesamiento y análisis de la información

Como se explicó en apartado del diseño estadístico, la investigación es experimental cuantitativa, se realizaron 3 tratamientos con 2 repeticiones y se utilizó análisis de varianza para determinar el tipo de tratamiento cumple con propiedades de concreto ligero; se manejó un nivel de significancia de 5% y al descartar la hipótesis nula se aplicó prueba de Tukey. Se utilizó programa de Excel 2016 con licencia para estudiantes.

1.7 Coherencia de la propuesta de investigación

Tabla 18

Coherencia de la propuesta de investigación

Objetivos específicos	Métodos, técnicas, instrumentos	Resultados ⁽¹⁾
1. Determinar propiedades físicas y mecánicas de concreto ligero en estado fresco y endurecido	Los métodos que se aplicaran serán las normas ASTM C-143, ASTM C-231, ASTM C-138, ASTM C-39. Los instrumentos serán máquina de compresión, cono de Abrams y presurómetro.	Determinar que al usar como agregados fino cáscara de cardamomo y PET, se logra obtener concreto ligero con propiedades dentro de los rangos aceptables
2. Establecer cantidades de cáscara de cardamomo y polietileno tereftalato para obtener propiedades mecánicas aceptables	Los métodos para aplicar cantidades de agregados son ACI 211.1. Instrumentos utilizados, mezcladora de concreto.	Conocer la combinación de agregados finos ideal para obtener concreto ligero aceptable.
3. Determinar distribución de agregados dentro de la mezcla	Se utilizará microscopio óptico con objetivo 100x.	Conocer el distanciamiento de los agregados en concreto ligero

⁽¹⁾ Los resultados o productos esperados, alcances, hallazgos, conocimientos teóricos deben redactarse en congruencia con los objetivos de la investigación. Cada objetivo debe tener previsto al menos un resultado.

11 Resultados y discusión

11.1 Resultados

Se realizaron las pruebas para concreto fresco, que proporcionaron los siguientes resultados:

Tabla 19

Resultados de las pruebas para concreto fresco

Tipo de tratamiento	Día de fundición	Fecha de fundición	Slump (cm)	Contenido de aire (%)	Peso volumétrico (Kg/m³)
TP	Martes	15/11/2022	13	1.3	2 916.99
PT	Miércoles	16/11/2022	4.5	---	2 187.74
ST	Jueves	17/11/2022	14.5	30	1 935.24
TT	Viernes	18/11/2022	17	30	1 868.15

Nota: TP = tratamiento patrón, PT = primer tratamiento, ST = segundo tratamiento, TT = tercer tratamiento.

De acuerdo a los valores obtenidos en Tabla 19, se observa que el tratamiento PT fue el único que cumplió con el Slump de diseño que era de 5 cm. Los demás tratamientos presentaron una consistencia demasiado fluida.

En los valores de contenido de aire se observa que ninguno de los tratamientos cumplió con lo establecido en el diseño patrón (Figura 8). Se resalta que no se obtuvo dicho valor para el primer tratamiento (PT) incluso luego de varias repeticiones.

Los pesos volumétricos obtenidos en los tratamientos PT, ST y TT, no pueden ser considerados como concretos livianos; ya que sobrepasan el rango establecido en la norma ACI 318-14 “rango de 1440 a 1840 Kg/m³” (American Concrete Institute).

Resultados de las pruebas de concreto endurecido

Se realizaron las pruebas para concreto endurecido, que proporcionaron los siguientes resultados:

Tabla 20

Resultados de las pruebas para concreto endurecido a los 7 días

Testigo	Masa (Kg)	Carga (PSI)	Carga (Mpa)	Carga (Kg/cm²)
TP₁	13.06	2 161.00	14.90	151.27
TP₂	12.86	1 886.00	13.00	132.02
PT₁	12.06	964.00	6.64	67.48
PT₂	12.00	1 165.00	8.03	81.55
ST₁	9.90	108.00	0.74	7.56
ST₂	---	---	---	---
TT₁	---	---	---	---
TT₂	---	---	---	---

Nota: los subíndices 1 y 2 se refieren a que por cada tratamiento hay 2 pruebas. Los --- indican que no existe un valor en la prueba.

De acuerdo a los valores obtenidos en Tabla 20, el tratamiento que mejor capacidad a la compresión presentó fue el primero (TP), lo cual significa que se considera como un concreto de baja resistencia porque según Cementos Progreso “el concreto de baja resistencia oscila entre 50 y 1000 psi” (3 de enero de 2020) y el segundo tratamiento se considera de igual forma ya que presenta resistencias a la compresión menores a los 1000 psi. La tabla 20 no contiene la totalidad de los resultados ya que estos fueron los obtenidos a los primeros 7 días de fraguado, y a esa edad los tratamientos que no tienen resultados no se podían desencofrar porque permanecían en estado fresco.

Tabla 21

Resultados de las pruebas para concreto endurecido a los 14 días

TESTIGO	MASA (Kg)	CARGA (PSI)	CARGA (Mpa)	CARGA (Kg/cm ²)
TP ₁	12.88	1 930.00	13.31	135.10
TP ₂	12.94	2 304.00	15.89	161.28
PT ₁	---	---	---	---
PT ₂	---	---	---	---
ST ₁	---	---	---	---
ST ₂	---	---	---	---
TT ₁	---	---	---	---
TT ₂	---	---	---	---

Nota: los subíndices 1 y 2 se refieren a que por cada tratamiento hay 2 pruebas. Los --- indican que no se pudo realizar la prueba.

A los 14 días de fraguado se planificó ensayar nuevamente todos los tratamientos, sin embargo, como se muestra en la tabla 21 únicamente se evaluó el testigo patrón (TP); los demás tratamientos no cuentan con un valor de resistencia ya que para el primer tratamiento (PT) y el segundo tratamiento (ST) se presentaron inconvenientes en el desencofrado, provocando fracturas para los testigos, razón por la cual no se pudieron ensayar. Para el tercer tratamiento (TT) a esa edad los especímenes aún se encontraban en estado fresco por lo cual no fue posible su ensayo. De acuerdo a Chan, Solís & Moreno “la presencia de un porcentaje importante de materia orgánica en los agregados puede provocar problemas en la fabricación de concreto, ya que trae consigo efectos como inhibir la adecuada hidratación del cemento y por lo tanto causar un retraso en el endurecimiento del mismo” (p.43).

Tabla 22

Resultados de las pruebas para concreto endurecido a los 28 días

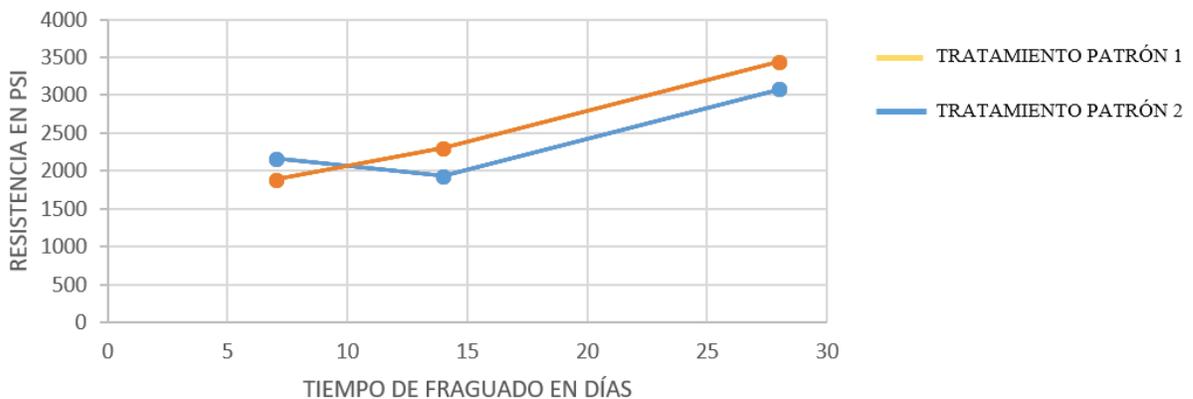
TESTIGO	MASA (Kg)	CARGA (PSI)	CARGA (Mpa)	CARGA (Kg/cm ²)
TP ₁	13.12	3 083.00	395.90	215.81
TP ₂	12.92	3 444.00	442.30	241.08
PT ₁	12.08	2 120.00	272.20	148.40
PT ₂	12.00	1 781.00	228.70	124.67
ST ₁	10.08	266.00	34.20	18.62
ST ₂	10.02	250.00	30.40	17.50
TT ₁	9.74	84.00	9.70	5.88
TT ₂	9.80	91.00	10.50	6.37

Nota: los subíndices 1 y 2 se refieren a que por cada tratamiento hay 2 pruebas.

A los 28 días de fraguado fue posible la determinación de resistencias a la compresión de todos los tratamientos como se observa en la tabla 22. De acuerdo a los resultados el primer tratamiento (PT) alcanzó el 57.77% de la resistencia con respecto al concreto patrón, el segundo tratamiento (ST) presentó el 8.11% de la resistencia esperada y el tercer tratamiento (TT) fue la mezcla más deficiente con un 2.8% con respecto a la resistencia de la mezcla patrón. De acuerdo a los resultados obtenidos, el primer tratamiento (PT) se considera un concreto de resistencia moderada, según Cementos Progreso “el concreto de resistencia moderada oscila entre 1000 y 2500 psi” (3 de enero de 2020).

Figura 12

Resistencia del concreto patrón a los 7, 14 y 28 días

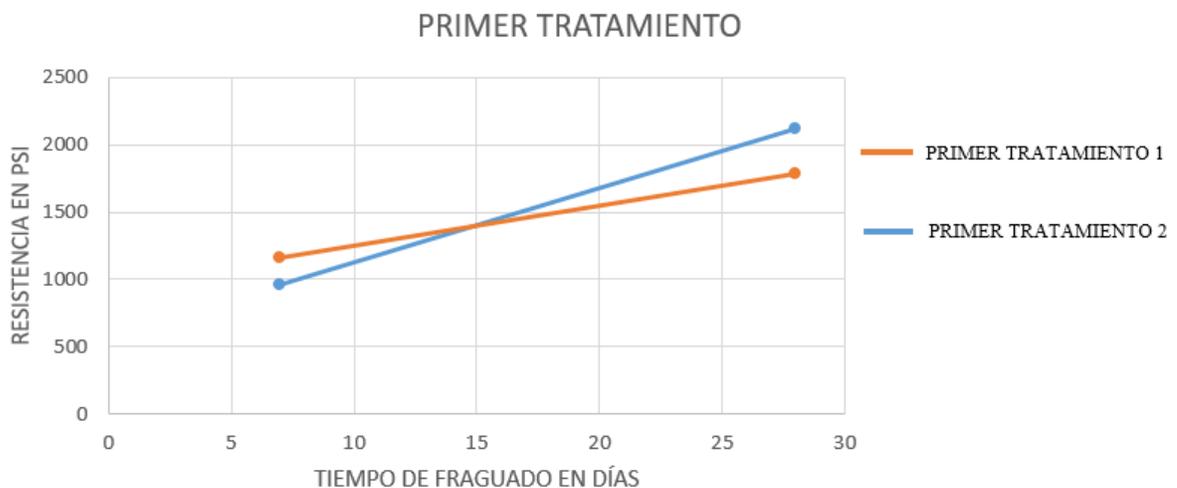


Nota: Elaborado por ITIC, 18/12/2022.

La figura 12 representa la gráfica resistencia – tiempo, en la cual se muestra la tendencia del concreto patrón (TP) durante los 28 días de fraguado donde se esperaba que la resistencia a la compresión fuera aumentando con forme al tiempo y que a los 28 días alcanzara como mínimo una resistencia de 3000 psi. Cada gráfica representa 1 repetición y de manera efectiva ambos sobrepasaron dicha resistencia, por lo cual el concreto fue un buen parámetro para comparar los resultados de los demás tratamientos.

Figura 13

Resistencia del primer tratamiento a los 7 y 28 días



Nota: Elaborado por ITIC, 18/12/2022.

La figura 13 representa la gráfica resistencia – tiempo, en la cual se muestra la tendencia del primer tratamiento (PT) durante los 28 días de fraguado; se puede observar que ambas gráficas solo pudieron modelarse de acuerdo a los resultados obtenidos a los 7 y 28 días. De esta forma se muestra que dicho tratamiento no alcanzó los 3000 psi de resistencia a la compresión para la cual había sido modelada la mezcla.

Análisis de varianza para la resistencia de los concretos a los 7 días de fraguado

Se realizó el análisis para todos los tratamientos evaluando la resistencia a la compresión de los testigos a los 7 días de fraguado. Los valores de resistencia y varianza se encuentran en tabla 23, tabla 24, tabla 25 y tabla 26.

Tabla 23

Resistencias de los tratamientos a los 7 días de fraguado

RESISTENCIA EN LOS TRATAMIENTOS (PSI)				
ENSAYOS	TP	PT	ST	TT
1	2 161.00	964.00	108.00	---
2	1 886.00	1 165.00	---	---

Nota: los subíndices 1 y

2 se refieren a que por cada tratamiento hay 2 pruebas. --- indican que no se tiene un valor.

En el tercer tratamiento (TT) no se obtuvieron valores de resistencia ya que, a los 7 días de fraguado, los testigos de ese tratamiento aún estaban en estado fresco por lo tanto, este último tratamiento no fue posible analizarlo. Según el blog de la Ingeniería Civil “el concreto alcanza el 99% de resistencia a la compresión a los 28 días”.

Tabla 24

Resumen de las características de los tratamientos

Grupos	Cuent a	Sum a	Promedi o	Varianz a
TP	2	4 047.00	2 023.50	37 812.50
PT	2	2 129.00	1 064.50	20 200.50
ST	1	108.00	108.00	

Nota: TP = tratamiento patrón, PT = primer

tratamiento,

Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación -DIGI-

ST = segundo tratamiento, TT = tercer tratamiento.

Tabla 25

Análisis de varianza de las resistencias a los 7 días de fraguado

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	2569357.8	2	1284678.9	44.29	0.022	19
Dentro de los grupos	58013.00	2	29 006.50			
Total	2627370.8	4				

Nota: Si valor crítico para F < F significan que existen diferencias entre las resistencias y por lo tanto es necesario hacer análisis con el método de Tukey usando $\alpha = 0.05$.

Tabla 26

Diferencia muestral de los tratamientos a los 7 días de fraguado

Diferencia poblacional	Diferencia muestral	Descripción
$\mu_{TP} - \mu_{PT}$	959.00	Diferencia no significativa
$\mu_{TP} - \mu_{ST}$	1 915.50	Diferencia significativa
$\mu_{PT} - \mu_{ST}$	956.50	Diferencia no significativa

Nota: μ_{TP} = media del tratamiento patrón, μ_{PT} = media del 1er. Tratamiento

μ_{ST} = media del 2do. Tratamiento. Si $T_\alpha >$ diferencia muestral, entonces, no existe diferencia significativa. Si $T_\alpha <$ diferencia muestral, entonces, existe diferencia significativa.

Análisis de varianza para la resistencia de los concretos a los 28 días de fraguado

Se realizó el análisis para todos los tratamientos evaluando la resistencia a la compresión de los testigos a los 28 días de fraguado. Los valores de resistencia se encuentran en tabla 27, varianza tabla 28 y 29, valores de significancia en tabla 30.

Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación -DIGI-

Tabla 27

Resistencias de los tratamientos a los 28 días de fraguado

Resistencia en los tratamientos (PSI)				
Ensayos	TP	PT	ST	TT
1	3 083.00	2 120.00	266.00	84.00
2	3 444.00	1 781.00	250.00	91.00

Nota: los subíndices 1 y

2 se refieren a que por cada tratamiento hay

2 pruebas.

El análisis se pudo realizar para todos los tratamientos ya que a los 28 días de fraguado si se tuvieron testigos para determinar su resistencia a la compresión. Según el blog de la Ingeniería Civil “el concreto alcanza el 99% de resistencia a la compresión a los 28 días”.

Tabla 28

Resumen de las características de los tratamientos

Grupos	Cuent a	Sum a	Promedi o	Varianz a
TP	2	6 527.00	3 263.50	65 160.50
PT	2	3 901.00	1 950.50	57 460.50
ST	2	516.00	258.00	128.00
TT	2	175.00	87.50	24.50

Nota: TP = tratamiento patrón, PT = primer

tratamiento,

ST = segundo tratamiento, TT = tercer tratamiento.

Tabla 29

Análisis de varianza de las resistencias a los 28 días de fraguado

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	13604185.4	3	4534728.4	147.74	0.00015	6.59
Dentro de los grupos	122773.50	4	30693.37			
Total	13726958.9	7				

Nota: Si valor crítico para $F < F$ significan que existen diferencias entre las resistencias y por lo tanto es necesario hacer análisis con el método de Tukey $\alpha = 0.05$

Tabla 30

Diferencia muestral de los tratamientos a los 28 días de fraguado

Diferencia poblacional	Diferencia muestral	Descripción
$\mu_{TP} - \mu_{PT}$	1 313.00	Diferencia significativa
$\mu_{TP} - \mu_{ST}$	3 005.50	Diferencia significativa
$\mu_{TP} - \mu_{TT}$	3 176.00	Diferencia significativa
$\mu_{PT} - \mu_{ST}$	1 692.50	Diferencia significativa
$\mu_{PT} - \mu_{TT}$	1 863.00	Diferencia significativa
$\mu_{ST} - \mu_{TT}$	170.50	Diferencia no significativa

Nota: μ_{TP} = media del tratamiento patrón, μ_{PT} = media del 1er. Tratamiento
 μ_{ST} = media del 2do. Tratamiento, μ_{TT} = media del 3er. Tratamiento.

Si $T_a >$ diferencia muestral, entonces, no existe diferencia significativa. Si $T_a <$ diferencia muestral, entonces, existe diferencia significativa.

11.2 Discusión de Resultados

El objetivo de la investigación fue determinar las características físicas y mecánicas de 3 mezclas de concreto a los cuales se le sustituyó un porcentaje del agregado fino por una combinación de cáscara de cardamomo y PET, ambos triturados en diámetros de partículas que pasaran el tamiz #4, porque es lo que nos indica la “norma NTG 41010 h1” (Comisión Guatemalteca de Normas, COGUANOR)

Inicialmente se realizó un diseño de mezcla patrón, denominada así porque los agregados utilizados (cemento, arena, grava y agua) son los que establece la norma ACI 211.1, esto con el fin de comparar las resistencias de este concreto con respecto a los otros 3 que contienen porcentajes diferentes de cáscara de cardamomo y PET, puede revisarse las tablas 16, 17 y 18 para identificar cada tratamiento propuesto.

Se establecieron 4 días de fundición de testigos, iniciando por el testigo patrón luego con cada uno de los 3 tratamientos expuestos anteriormente, cada día se fundieron 6 probetas para poder tener 2 muestras a los 7, 14 y 28 días de fraguado tal como se distribuyeron en la tabla 15.

En las pruebas al concreto fresco se realizó la prueba de revenimiento en base a la “norma NTG 41017 h4” (Comisión Guatemalteca de Normas, COGUANOR), donde se pudo encontrar que únicamente el primer tratamiento (PT) cumplió con el slump de diseño (5 cm), durante el ensayo se observó que cuando se aumentaban los porcentajes de cardamomo y PET, el agua requerida para que la mezcla fuera trabajable también aumentaba, sin embargo no se pudo encontrar la cantidad de agua exacta en los demás concretos para que cumplieran con el slump de diseño; cabe resaltar que el comportamiento y el aspecto de la mezcla cambiaba radicalmente con añadir pequeñas cantidades de agua, esto hizo complejo determinar el volumen de agua óptimo para cada tratamiento. En el tratamiento patrón (TP) se utilizó el 122.62 % del agua de diseño, en el primer tratamiento (PT) se utilizó el 100%, en el segundo tratamiento (ST) fue necesario usar un 183.92 % y en el tercer tratamiento (TT) se usó el 265.67%, para obtener consistencia en las mezclas.

La segunda prueba al concreto fresco fue la de determinar el contenido de aire atrapado en las mezclas según la “norma NTG 41017 h7” (Comisión Guatemalteca de Normas, COGUANOR); de las 4 mezclas establecidas únicamente el tratamiento patrón fue el que cumplió con el diseño de mezcla, ya que nos dio un resultado por debajo de lo previsto. Cabe resaltar que este valor es importante que sea bajo ya que no da la pauta de que la cantidad de vacíos es baja dentro de la mezcla y que se puede esperar buena resistencia a la compresión. En el primer tratamiento no fue posible calcular el contenido de aire puesto que el presurómetro no marcaba un dato a pesar de las varias repeticiones que se realizaron, en el segundo y tercer tratamiento ambos resultaron con un porcentaje alto en el contenido de aire atrapado, este resultado puede ser producto del mayor porcentaje de cascara de cardamomo y PET presentes y por lo tanto se esperaban resistencias a la compresión bajas.

La tercera prueba para el concreto fresco fue la determinación del peso volumétrico medido en kg/m^3 de acuerdo a la “norma NTG 41017 h5” (Comisión Guatemalteca de Normas, COGUANOR), este ensayo determinó que tipo de tratamiento cumplía con el peso para considerarlo como concreto liviano ya que según el ACI en su capítulo 2 de notación y terminología, reconoce como concreto ligero aquel que posea un peso que oscile entre 1 440 y 1 840 kg/m^3 ; comparando con los resultados de laboratorio se determinó que ningún tratamiento analizado puede considerarse como concreto liviano ya que no entran en el rango antes mencionado. Sin embargo, resulta conveniente prestar atención al tercer tratamiento ya que su valor es de 1 868.15 kg/m^3 siendo el más cercano para poder considerar como concreto liviano.

El concreto en su estado endurecido se ensayó únicamente para determinar su resistencia a la compresión. A los 7 días de fraguado se realizaron las primeras pruebas y en base a los resultados de la tabla 20 se determinó que mientras el porcentaje de cáscara de cardamomo y PET era mayor, la resistencia a la compresión disminuyó considerablemente. Es importante resaltar que para el tercer tratamiento no se tienen datos debido a que los testigos no habían fraguado a esa edad para poder ensayarlos. De acuerdo a Chan, Solís & Moreno “la presencia de un porcentaje importante de materia orgánica en los agregados puede provocar problemas en la fabricación de concreto, ya que trae consigo efectos como inhibir la adecuada hidratación del cemento y por lo tanto causar un retraso en el endurecimiento del mismo” (p.43).

La menor cantidad de ensayos realizados fue a los 14 días de fraguado, pues solamente se pudo evaluar el concreto patrón debido a que el desencofrado de los tratamientos fue dificultoso lo que provocó fracturas, desechándose de forma instantánea, estos resultados pueden verse en la tabla 21.

A los 28 días de fraguado fue la edad donde se obtuvieron resultados completos de las pruebas a la compresión, según los resultados de la tabla 22 el testigo patrón superó su resistencia de diseño de 3 000 PSI en base a eso se comprueba que dicha mezcla era un parámetro correcto de comparación con respecto a la resistencia que proporcionaron los demás tratamientos. Según el blog de la Ingeniería Civil

“el concreto alcanza el 99% de resistencia a la compresión a los 28 días”; también podemos concluir que el primer tratamiento alcanzó el 50% de la capacidad esperada, el segundo tratamiento disminuyó radicalmente puesto que únicamente presentó el 7% de la resistencia de diseño y el tercer tratamiento fue el de menor capacidad con el 2.5% respecto al testigo patrón.

Para mostrar de manera gráfica el comportamiento de las mezclas de concreto se presentan las gráficas 12 y 13 de resistencia vs tiempo de fraguado que corresponden al concreto patrón y el primer tratamiento respectivamente. Para el segundo y tercer tratamiento no se pudieron graficar debido a la falta de datos por las razones que anteriormente se explicaron, además se pudo observar que el fraguado fue más lento para el último tratamiento y que una posible razón haya sido por el porcentaje alto de cáscara de cardamomo.

Para determinar si las muestras evaluadas presentaban diferencia significativa entre sí, estadísticamente fue necesario hacer un análisis de varianza para que de esta forma se concluya el o los tratamientos aceptables. En la tabla 26 se establece que a los 7 días de fraguado las resistencias entre el concreto patrón y el primer tratamiento no presenta diferencias significativas, con lo que es posible considerarlo como un concreto que cumple con los requisitos de resistencia a la compresión a esta edad, sin embargo, en la misma tabla se observa que todos los de más concretos si tienen diferencias significativas, por lo tanto, no pueden ser aceptables por sus bajas resistencias. Es importante resaltar que este análisis no pudo ser posible para los concretos a los 14 días de fraguado ya que a esta edad fue donde se presentaron mayores dificultades de desencofrado y por lo tanto no se tienen datos para determinar sus resistencias.

A los 28 días donde se espera que el concreto alcance el 100% de su resistencia, fueron analizados los resultados de las pruebas de los testigos, a esta edad si se tienen datos de todos los tratamientos los cuales indican que existen diferencias significativas de los concretos respecto al concreto patrón, y el resultado es válido puesto que las resistencias disminuyen radicalmente con forme se aumenta el porcentaje de cáscara de cardamomo y PET.

11.3 Conclusiones

Los resultados obtenidos demostraron que no se obtuvo en ningún tratamiento un concreto ligero; ya que todos tuvieron valores por arriba de los establecidos en las normas ACI 318-14.

Se confirmó que, al usar materia orgánica dentro de la mezcla de concreto como agregado fino, retardó el fraguado de los especímenes, complicando el proceso de desencofrado de los mismos.

El tratamiento que mostró propiedades mecánicas aceptables fue el que contenía 1% de cáscara de cardamomo y 2% de PET (PT), y se puede denominar como un concreto de resistencia moderada.

12 Referencias

Bejan, G., Barbuja, M., Vizitiu, R., & Burlacu, A. (2020). Lightweight concrete with Waste-Review. *Science Direct Procedia Manufacturing*, 46(1), 136-143.
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.03.021>

Cárdenas-Pulido, J., Rodríguez-Loaiza, S., & Higuera-Flórez, C. (2020). Evaluación del comportamiento a compresión y propiedades físicas de morteros de cemento reforzados con fibras recicladas PET. *Scientia et Technica*, 25(1), 269-280. [DOI: 10.22517/23447214.23771](https://doi.org/10.22517/23447214.23771)

Cementos Progreso (3 de enero de 2020). Concreto de Baja densidad. Recuperado de <https://www.revistagranitodearena.com/concreto-de-baja-densidad/#:~:text=Concreto%20de%20baja%20densidad%3A%20se,vermiculita%20suelen%20utilizarse%20como%20agregados>

Chan, J., Solís, R., & Moreno, E. (2003). Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto. *Ingeniería*, 7(2), 39-46.
<https://www.redalyc.org/pdf/467/46770203.pdf>

Diario de Centroamérica. (24 de febrero de 2021). Ventas de Cardamomo crecieron un 75.4%.

p. 10. https://issuu.com/dca/docs/edici_n_impresa_mi_rcoles_24022021

Elshahawi, M., Hückler, A., & Schlaich, M. (2020). Infra lightweight concrete: A decade of investigation (a review). *Structural Concrete*, 22(1), 152-168.

<https://doi.org/10.1002/suco.202000206>

Fandiño, E., & Perdomo, S. (2020). Análisis de las propiedades mecánicas del concreto translúcido elaborado con polímeros y materiales reciclados [Tesis de licenciatura, Universidad Piloto de Colombia, Girardot-Cundinamarca].

Henao, B., Andrés, C., Iván, J., Valencia, M., José, J., Vanegas, C., & Valencia M. (2016).

Evaluación de patologías en el concreto usando microscopía óptica. *EBSCO, Industries*.

p. 142 – 150. [https://web.p.ebscohost.com/abstract?](https://web.p.ebscohost.com/abstract?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnl=0122056X&asa=Y&AN=120576208&h=9pKuu3BrsVgwZ01rHmemsjXByEYAOVOcoCRiExIXEI4p79YXJqnYOAAdkPgHN6LQ6bWBEASYve%2fF4WSf09INoPQ%3d%3d&crl=c&resultNs=AdminWebAuth&resultLocal=ErrCrlNotAuth&crlhashurl=login.aspx%3fdirect%3dtrue%26profile%3dehost%26scope%3dsite%26authtype%3dcrawler%26jrnl%3d0122056X%26asa%3dY%26AN%3d120576208)

[direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnl=0122056X&asa=Y&A](https://web.p.ebscohost.com/abstract?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnl=0122056X&asa=Y&AN=120576208&h=9pKuu3BrsVgwZ01rHmemsjXByEYAOVOcoCRiExIXEI4p79YXJqnYOAAdkPgHN6LQ6bWBEASYve%2fF4WSf09INoPQ%3d%3d&crl=c&resultNs=AdminWebAuth&resultLocal=ErrCrlNotAuth&crlhashurl=login.aspx%3fdirect%3dtrue%26profile%3dehost%26scope%3dsite%26authtype%3dcrawler%26jrnl%3d0122056X%26asa%3dY%26AN%3d120576208)

[N=120576208&h=9pKuu3BrsVgwZ01rHmemsjXByEYAOVOcoCRiExIXEI4p79YXJ](https://web.p.ebscohost.com/abstract?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnl=0122056X&asa=Y&AN=120576208&h=9pKuu3BrsVgwZ01rHmemsjXByEYAOVOcoCRiExIXEI4p79YXJqnYOAAdkPgHN6LQ6bWBEASYve%2fF4WSf09INoPQ%3d%3d&crl=c&resultNs=AdminWebAuth&resultLocal=ErrCrlNotAuth&crlhashurl=login.aspx%3fdirect%3dtrue%26profile%3dehost%26scope%3dsite%26authtype%3dcrawler%26jrnl%3d0122056X%26asa%3dY%26AN%3d120576208)

[qnYOAAdkPgHN6LQ6bWBEASYve%2fF4WSf09INoPQ%3d](https://web.p.ebscohost.com/abstract?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnl=0122056X&asa=Y&AN=120576208&h=9pKuu3BrsVgwZ01rHmemsjXByEYAOVOcoCRiExIXEI4p79YXJqnYOAAdkPgHN6LQ6bWBEASYve%2fF4WSf09INoPQ%3d%3d&crl=c&resultNs=AdminWebAuth&resultLocal=ErrCrlNotAuth&crlhashurl=login.aspx%3fdirect%3dtrue%26profile%3dehost%26scope%3dsite%26authtype%3dcrawler%26jrnl%3d0122056X%26asa%3dY%26AN%3d120576208)

[%3d&crl=c&resultNs=AdminWebAuth&resultLocal=ErrCrlNotAuth&crlhashurl=login](https://web.p.ebscohost.com/abstract?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnl=0122056X&asa=Y&AN=120576208&h=9pKuu3BrsVgwZ01rHmemsjXByEYAOVOcoCRiExIXEI4p79YXJqnYOAAdkPgHN6LQ6bWBEASYve%2fF4WSf09INoPQ%3d%3d&crl=c&resultNs=AdminWebAuth&resultLocal=ErrCrlNotAuth&crlhashurl=login.aspx%3fdirect%3dtrue%26profile%3dehost%26scope%3dsite%26authtype%3dcrawler%26jrnl%3d0122056X%26asa%3dY%26AN%3d120576208)

[.aspx%3fdirect%3dtrue%26profile%3dehost%26scope%3dsite%26authtype%3dcrawler](https://web.p.ebscohost.com/abstract?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnl=0122056X&asa=Y&AN=120576208&h=9pKuu3BrsVgwZ01rHmemsjXByEYAOVOcoCRiExIXEI4p79YXJqnYOAAdkPgHN6LQ6bWBEASYve%2fF4WSf09INoPQ%3d%3d&crl=c&resultNs=AdminWebAuth&resultLocal=ErrCrlNotAuth&crlhashurl=login.aspx%3fdirect%3dtrue%26profile%3dehost%26scope%3dsite%26authtype%3dcrawler%26jrnl%3d0122056X%26asa%3dY%26AN%3d120576208)

[%26jrnl%3d0122056X%26asa%3dY%26AN%3d120576208](https://web.p.ebscohost.com/abstract?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnl=0122056X&asa=Y&AN=120576208&h=9pKuu3BrsVgwZ01rHmemsjXByEYAOVOcoCRiExIXEI4p79YXJqnYOAAdkPgHN6LQ6bWBEASYve%2fF4WSf09INoPQ%3d%3d&crl=c&resultNs=AdminWebAuth&resultLocal=ErrCrlNotAuth&crlhashurl=login.aspx%3fdirect%3dtrue%26profile%3dehost%26scope%3dsite%26authtype%3dcrawler%26jrnl%3d0122056X%26asa%3dY%26AN%3d120576208)

Infante-Alcalde, J., & Valderrama-Ulloa, C. (2019). Análisis técnico, económico y medioambiental de la fabricación de bloques de hormigón con polietileno tereftalato

reciclado (PET). *Información Tecnológica*, 30(5), 25-37.

<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000500025>

Kadela, M., Kukielka, A., & Malek, M. (2020). Characteristics of lightweight concrete based on a synthetic polymer foaming agent. *Materials*, 13(1), 4979.

<https://doi.org/10.3390/ma13214979>

Kangavar, M., Locuge, W., Manalo, A., Karunasena, W., & Frigione, M. (2022). Investigation on the properties of concrete with recycled polyethylene terephthalate (PET) granules as fine aggregate replacement. *Case Studies in Construction Materials*, 16(1), 1-14.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509522000663>

Kawai, F., Kawabata, T., & Oda, M. (2020). Current state and perspectives related to the polyethylene terephthalate hydrolases available for biorecycling. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 24(8), 8894-8908.

<https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c01638>

López-Yépez, L., Bermúdez, R., Uribe-Celiz, S., Ospina-Lozano, S., & Vázquez-Rodríguez, F. (2020). Factibilidad del remplazo de agregados finos reciclados de demolición en las propiedades físicas de concreto estructural. *Ingenierías*, 86(23), 35-49.

Martínez-García, C., González-Fontebao, B., Martínez-Abella, F., & Carro-López, D. (2017).

Performance of mussel Shell as aggregate in plain concrete. *Construction and Building Materials*, 139(1), 570-583. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.09.091>

Maghfouri, M., Shafigh P., Alimohammadi, V., Doroudi, Y., & Muhammad Aslam. (2020).

Appropriate drying shrinkage prediction models for lightweight concrete containing coarse agro-waste aggregate. *Jornal of Building Engineering*, 29(1), 101148. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.101148>

Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (2018). Guía para la identificación gráfica de los residuos sólidos comunes. <https://www.marn.gob.gt/Multimedios/18566.pdf>

Nedeljkovic, M., Visser, J., Savija, B., Valcke, S., & Schlangen, E. (2021).

Use of fine recycled concrete aggregates in concrete: A critical review. *Journal of Building Engineering*, 38(1), 102196. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102196>

Prakash, R., Thenmozhi, R., Raman, S., Subramanian, C., & Divyah, N. (2020).

Mechanical characterisation of sustainable fibre-reinforced lightweight concrete incorporating Waste coconut Shell as coarse aggregate and sisal fibre. *International Journal of Environmental*

Science and Technology, 18(1), 1579-1590. [https://doi.org/10.1007/s13762-020-02900-](https://doi.org/10.1007/s13762-020-02900-z)

[z](#)

Sánchez, C., Peña, J., & Rico, L. (2020). Identificación de los usos actuales del tereftalato de polietileno (PET) Reciclado en la Ingeniería Civil [Tesis de licenciatura]. Universidad Cooperativa de Colombia.

Shakya, A., & King, J. (2021). Modern optical microscopy methods to study biomolecular condensates. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 52(1), 101421. <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2021.101421>

Sheppard, C. (2020). Chapter Eight – Scanning optical microscopy. *Advances in Imaging and Electron Physics*, 213(1), 227-325. <https://doi.org/10.1016/bs.aiep.2019.11.001>

Tajra, F., Elrahman, M., Lehmann, C., & Stephan D. (2019). Properties of lightweight concrete made with core-shell structured lightweight aggregate. *Construction and Building Materials*, 205(1), 39-51. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.01.194>

Tedjditi, A., Ghomari, F., Taleb, O., Belarbi, R., & Bouhraoua, R. (2020). Potential of using virgin cork as aggregates in development of new lightweight concrete. *Construction*

and Building Materials, 265(1), 120734.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120734>

Vásquez, K., Herrera, W., & Sierra, E. (2020). Características fisicoquímicas de carbón activado obtenido de cáscara de cardamomo. [Informe inédito]. Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación -DIGI-.

Venitez-Mosquera, J., Córdoba-Palacios, Y., Mena-Ramírez, K., & Arbelaez, O. (2020). Propiedades mecánicas de concretos modificados con plástico marino reciclado en reemplazo de los agregados finos. *Revista Politécnica*, 16 (31), 77-84. [doi: 10.33571/rpolitec.v16n31a6](https://doi.org/10.33571/rpolitec.v16n31a6)

Zhou, H., & Brooks, A. (2019). Thermal and mechanical properties of structural lightweight concrete containing lightweight aggregates and fly-ash cenospheres. *Construction and Building Materials*, 198(1), 512-526. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.074>

13 Apéndice

Figura 13

Proceso de selección y triturado de PET



Nota. Fotografías tomadas por Karen Vásquez Villeda, ITIC, 2022.

Figura 14

Proceso de secado y tamizado de cáscara de cardamomo



Nota. Se realizó en Instituto de Investigación y Tecnología de Ingeniería CUNOR

Figura 15

Proceso de mezclado de agregados

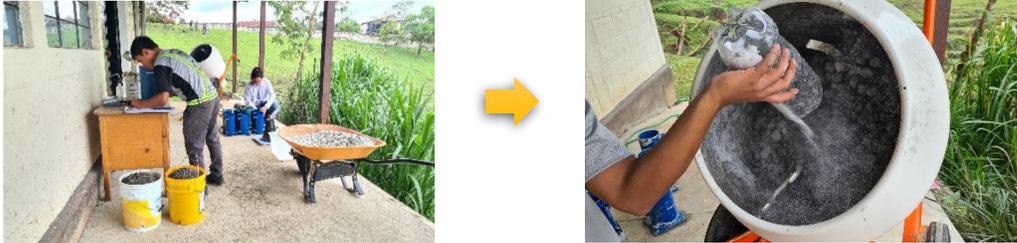


Figura 16

Proceso de medición de aire en concreto

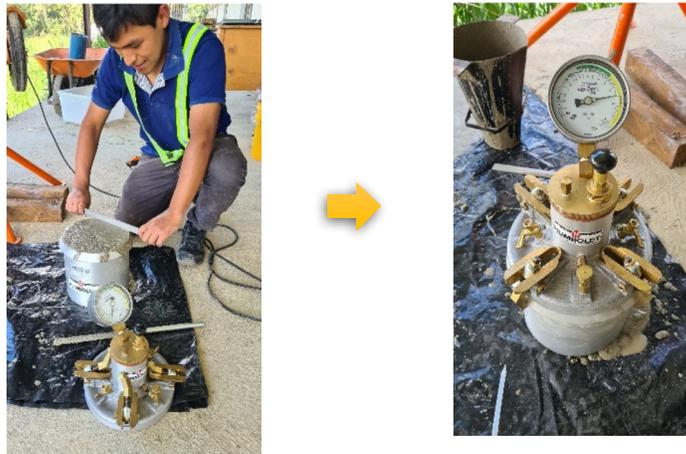


Figura 17

Prueba de Abrahams



Figura 18

Fraguado de ensayos



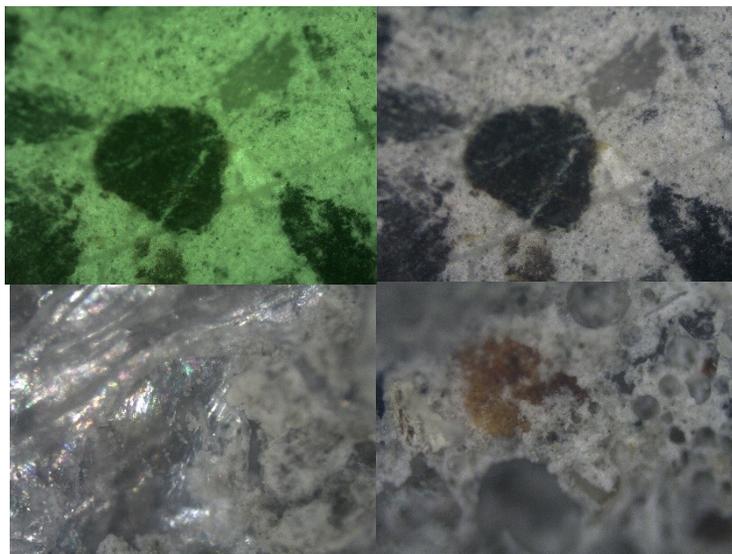
Figura 19



Nota. Fotografía tomada por Karen Vásquez Villeda, ITIC, 2023.

Figura 20

Distribución de agregados en los ensayos de concreto



14 Aspectos éticos y legales

No aplica

15 Vinculación

Las posibles vinculaciones podrían ser con Asociación de Cardamomeros de Guatemala; la cual sería para la difusión y divulgación de resultados.

16 Estrategia de difusión, divulgación y protección intelectual

Para la estrategia de difusión, divulgación y protección intelectual se hará de 3 formas:

1. Se realizará manuscrito científico que será publicado en revista indexada de Ciencia, Tecnología y Salud de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
2. Se publicarán los resultados en sitio oficial del Instituto de Investigación y Tecnología de Ingeniería Cunor.

Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación -DIGI-

3. Se realizará presentación de resultados ante Asociación de Cardamomeros de Guatemala ubicados en Cobán, Alta Verapaz.

Para la protección intelectual de la investigación, se realizarán los procedimientos indicados por la Dirección General de Investigación -DIGI-.

17 Aporte de la propuesta de investigación a los ODS:

El objetivo ODS al cual está enfocada esta investigación es consumo responsable (ODS 12), porque se pretende reducir el consumo de recursos para la fabricación de concreto al utilizar residuos de tereftalato de polietileno y cáscara de cardamomo; de esta manera mitigar la explotación de los recursos minerales.

2 Orden de pago final (incluir únicamente al personal con contrato vigente)

Nombres y apellidos	Categoría (investigador /auxiliar)	Registro de personal	Procede pago de mes (Sí / No)	Firma

3 Declaración del Coordinador(a) del proyecto de investigación

El Coordinador de proyecto de investigación con base en el *Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación financiados por medio del Fondo de Investigación*, artículos 13 y 20, deja constancia que el personal contratado para el proyecto de investigación que coordina ha cumplido a satisfacción con la entrega de informes individuales por lo que es procedente hacer efectivo el pago correspondiente.

Milton Haroldo Rivera Chen	
Fecha: 09/02/2023	

Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación -DIGI-

Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación -DIGI-

4 Aval del Director(a) del instituto, centro o departamento de investigación o Coordinador de investigación del centro regional universitario

De conformidad con el artículo 13 y 19 del *Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación financiados por medio del Fondo de Investigación* otorgo el aval al presente informe mensual de las actividades realizadas en el proyecto *Comportamiento físico y mecánico de concreto ligero utilizando cáscara de cardamomo y polietileno tereftalato reciclado* en mi calidad de Director del Centro Universitario del Norte, mismo que ha sido revisado y cumple su ejecución de acuerdo a lo planificado.

Lic. Erwín Gonzalo Eskenasy Morales	 
Fecha: 09/02/2023	

5 Visado de la Dirección General de Investigación

Vo.Bo. Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar Programa Universitario de Investigación en Ciencias Básicas	
Fecha: 09/02/2023	

Ing. MARN Julio Rufino Salazar Pérez
Coordinador General de Programas de Investigación, Digi-Usac

Vo.Bo. Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar Programa Universitario de Investigación en Ciencias Básicas	
Fecha: 09/02/2023	

Ing. MARN Julio Rufino Salazar Pérez
Coordinador General de Programas de Investigación, Digi-Usac

Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación -DIGI-



Ref. 15-D-057-2023

Cobán, A.V. 09 de febrero del 2023

Dra. Alice Burgos Paniagua
Dirección General de Investigación
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

Respetable Doctora Burgos:

Con un cordial saludo me dirijo a usted para hacer entrega en versión impresa y electrónica del informe final del proyecto de investigación titulado "Comportamiento físico y mecánico de concreto ligero utilizando cáscara de cardamomo y polietileno tereftalato reciclado" código DES3CU-2022, Coordinado por el Ing. Milton Haroldo Rivera Chen.

Sin otro particular, me suscribo de usted.

Atentamente.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Lic. Erwin Gonzalo Eskensy Morales
Director
Centro Universitario del Norte



c.c. archivo