

MEJORAR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN HORMIGÓN CONVENCIONAL REEMPLAZANDO PARCIALMENTE SU AGREGADO CON CASCARILLA DE CAFÉ

Improve The Compressive Strength Of Conventional Concrete By Partially Replacing Its Aggregate With Coffee Husks

Arraya, C.¹, Cuellar, M.², Solares, D.³, Maiz, M.⁴

- 1 Estudiante de pregrado de la Facultad de Ingeniería Civil (USFX). Destacamento 317, Ex campus REFISUR, 573, Sucre. Bolivia. carolfaby18@gmail.com
- 2 Docente Investigador en el área de Estructuras de la Facultad de Ingeniería Civil (USFX), Destacamento 317, Ex Campus REFISUR, 573, Sucre, Bolivia. E-mail: mirkocuellar2405@gmail.com.
- 3 Estudiante de pregrado de la Facultad de Ingeniería Civil (USFX). Destacamento 317, Ex campus REFISUR, 573, Sucre. Bolivia. alejandrosolares56@gmail.com
- 4 Estudiante de pregrado de la Facultad de Ingeniería Civil (USFX). Destacamento 317, Ex campus REFISUR, 573, Sucre. Bolivia. michasljhosep@gmail.com

RESUMEN

El objetivo de este proyecto de investigación es determinar el efecto de la adición de cascarilla de café y sus cenizas en el aumento de la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210$ kg/cm².

Esta investigación es de tipo aplicativo, con un diseño experimental y una muestra estándar con 0% de cantidad de adición, la realizaremos en 3 grupos, utilizando el 5%, 10% y 15% del peso del cemento en el caso de reforzar el peso de la ceniza en la cáscara, que sería el peso del agregado fino en el concreto, para ello cada grupo agregó tripa marrón, ceniza y una mezcla de los dos, hicieron muestras y las evaluaron en pruebas de compresión. Los resultados mostraron que agregando 5% de ceniza el concreto tuvo mejor resistencia, mientras que no se obtuvo buena resistencia con la adición de 5%, 10% y 15% de cascarilla de café.

Palabras clave: prueba de compresión, cascarilla de café, contenido de cenizas.

ABSTRACT

The objective of this research project is to determine the effect of adding coffee husks and their ashes on increasing the compressive strength of concrete $f'c=210$ kg/cm².

This research is of an applicative type, with an experimental design and a standard sample with 0% addition quantity, we will carry it out in 3 groups, using 5%, 10% and 15% of the weight of cement in the case of reinforcing the weight of the ash in the shell, which would be the weight of the fine aggregate in the concrete, for this each group added brown gut, ash and a mixture of the two, they made samples and evaluated them in compression tests. The results showed that adding 5% ash gave concrete better resistance, while good resistance was not obtained with the addition of 5%, 10% and 15% coffee husks.

Keywords: compression test, coffee husk, ash content

INTRODUCCIÓN

La industria de la Construcción es una de las más contaminantes a nivel mundial, ya que causa la degradación del medio, incluyendo la contaminación del aire, suelo y agua. Para su desarrollo también se deben usar recursos naturales no renovables, dejando residuos acumulados y mezclas de contaminantes que conducen a una degradación gradual del medio ambiente natural.

Actualmente la producción de café en Bolivia se concentra en las provincias de Caranavi, Nor y Sud Yungas del departamento de La Paz con un 96% seguido por Santa Cruz con un 3% y Cochabamba con un 1%. En la industria cafetera, solo el 9.5% del peso total de la fruta se destina a la elaboración de bebidas y el 90.5% son subproductos de dicha elaboración. Los cuales se vierten a cuerpos de agua contaminando así el medio ambiente, o se almacenan y luego se envían a vertederos contaminando el suelo.

Tomando en cuenta que no se llega a aprovechar todo el fruto del café y que sus cascarillas generan residuos orgánicos que son destinados a cuerpos de agua al no encontrarle un uso industrial, en sus propiedades químicas observamos que las cascarillas de café poseen calcio y silicato, ambos componentes al ser incorporados porcentualmente en el agregado fino de la mezcla podrían aportar una mejor resistencia y aligeramiento del hormigón.

Esto enfocado a que respecto al crecimiento en algunas ciudades se está produciendo de forma vertical (Edificaciones), se requiere brindar seguridad en su resistencia y alivianar cargas, tomando en cuenta lo anterior ya mencionado con respecto a los residuos de la fruta de café se podría utilizar este para obtener hormigones más livianos y resistentes en base a una sustitución parcial del agregado fino, lo que llevaría a una reducción del empleo de este material (agregado fino) que poco a poco va agotándose.

Como habitantes del planeta nuestra responsabilidad es buscar la reducción del efecto invernadero y la contaminación, a través

de distintos métodos como el reciclaje, por lo cual ante estos hechos decidimos plantear la incorporación de los residuos del café en la dosificación del Hormigón ya que un reciente estudio comprobó que ayuda a aumentar su resistencia a la compresión, para lo cual nosotros buscamos verificar su veracidad y aplicación en nuestro medio. ya que esto podría contribuir a la reducción de la extracción continua de recursos naturales para la producción de hormigón.

Tomando los diferentes aspectos en cuenta se pretende realizar una comparación entre un Hormigón con dosificación convencional y otro Hormigón con residuos del café presentes en su dosificación, para lograr esto se pretende diseñar una dosificación funcional en nuestro medio siguiendo las normas correspondientes, hallar una granulometría correcta para lograr su homogeneidad, determinación del peso específico de los residuos a utilizar y el ensayo de resistencia a la compresión para evaluar el rendimiento de esta mezcla.

OBJETIVOS

- Objetivo General.

Mejorar la resistencia a la compresión de un hormigón convencional reemplazando parcialmente su agregado fino con cascarilla de café.

- Objetivos Específicos.

1. Realizar los ensayos necesarios para obtener las características de la cascarilla del café, como el ensayo de peso específico, contenido de humedad y módulo granulométrico.
2. Determinar las propiedades mecánicas del mortero con variación en el porcentaje de las cascarillas de café usados en la mezcla
3. Proporcionar un módulo granulométrico y una dosificación adecuada siguiendo los parámetros exigidos por la norma.
4. Concientizar sobre las medidas que podemos adoptar para frenar la contaminación masiva de nuestro medio, mediante el uso de materiales orgánicos como materiales

sostenibles y amigables con el medio ambiente.

5. Reemplazar porcentualmente el agregado fino con cascarillas de café teniendo en cuenta la limitación de este material hoy en día.
6. Comparación de la resistencia a la compresión de un hormigón convencional y un hormigón con reemplazo parcial del agregado fino en un 5%, 10% y 15% con cascarilla de café.

DESARROLLO O CONTENIDO

Propiedades del hormigón Endurecido.

El Hormigón endurecido posee las siguientes propiedades:

- Propiedades Elásticas.
- Propiedades Plásticas.
- Permeabilidad del Hormigón.
- Durabilidad del Hormigón.
- Variación de Temperatura.
- Variaciones de Humedad.

Densidad del Hormigón.-

Depende de la densidad real y de la proporción en que participan cada uno de los diferentes materiales que constituyen el hormigón. Para los hormigones convencionales, formados por materiales granulares provenientes de rocas no mineralizadas de la corteza terrestre su valor oscila entre 2.35 y 2.55Kg/dm³.

La densidad normalmente experimenta ligeras variaciones con el tiempo, las que provienen de la evaporación del agua de amasado hacia la atmosfera y que puede significar una variación de hasta un 7% de su densidad inicial.

Esta puede ser variada artificialmente, ya sea por debajo o sobre los valores mencionados, constituyendo en este caso los denominados hormigones livianos o pesados, respectivamente.

- Hormigones livianos: Se obtienen por medio de la incorporación de aire, ya sea directamente en la masa de hormigón o

incorporada en los áridos utilizando áridos livianos. Se utiliza principalmente cuando se desea obtener aislación térmica y acústica mayores a la del hormigón convencional.

- Hormigones pesados: Se obtienen mediante el uso de áridos mineralizados, cuya densidad real es mayor que la de los áridos normales, se utiliza principalmente cuando se desea obtener aislación contra partículas radiactivas.

Resistencia del Hormigón.-

La resistencia es una de las propiedades más importantes del hormigón principalmente cuando se le utiliza con fines estructurales.

Resistencia a Compresión. -

Característica mecánica más importante de un hormigón, su determinación se efectúa mediante el ensayo de probetas empleadas para determinar la resistencia a la compresión, son de forma cubica o cilíndrica.

- Estado de las superficies de aplicación de la carga de ensayo.
- Centrado de la carga de ensayo.

DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN

La dosificación de un hormigón tiene por objeto determinar las proporciones en las que se deben combinar los distintos componentes del mismo para obtener una mezcla que reúna las características y propiedades exigidas por el proyecto, los pasos a seguir para una buena dosificación son:

a) Determinación de la resistencia característica media (F_{cm}) basados en la tabla 2.

Condiciones previstas en obra	Resistencia media fcm (MPa)
Medias	$f_{cm} = 1,50 * f_{ck} + 2,00$
Buenas	$f_{cm} = 1,35 * f_{ck} + 1,50$
Muy buenas	$f_{cm} = 1,20 * f_{ck} + 1,00$

Tabla N°7. Resistencia media del hormigón

b) Determinación de la relación agua cemento en función de (Fcm) y la tabla 8

-Relación Agua Cemento

$$\frac{C}{A} = k * f_{cm} + 0,5$$

C/A = Relación Cemento/Agua, en peso fcm= Resistencia media a los 28 días en MPa k = Coeficiente dado en la siguiente tabla

Clase de cemento (MPa)	Agregados rodados	Agregados chancados
Portland normal P-350 (CEM-I/32,5)	0,054	0,035
Portland de calidad P-450 (CEM-I/42,5)	0,045	0,030
Portland de alta resistencia P-550 (CEM-I/52,5)	0,038	0,026

Tabla N°8. Clase de cemento

c) Determinar la cantidad de agua por m3 de H° en función al asentamiento y el tamaño máximo de los áridos según la tabla 9.

Litros de agua por metro cubico

Consistencia del hormigón	Asiento en cono	Áridos rodados			Áridos machacados		
		80 mm	40 mm	20 mm	80 mm	40 mm	20 mm
Seca	0-2	135	155	175	155	175	195
Plástica	3-5	150	170	190	170	190	210
Blanda	6-9	165	185	205	185	205	225
Fuida	10-15	180	200	220	200	220	240

Tabla N°9. Consistencia del hormigón

d) Determinar el módulo granulométrico teórico según Fuller o según Abrams dependiendo si se requiere un hormigón plástico o un hormigón resistente, según las tablas 10 y 11.

Contenido en cemento (kg/m³)	Tamaño máximo del árido (mm)						
	10	15	20	25	30	35	40
275	4,05	4,45	4,85	5,25	5,6	5,8	6
300	4,2	4,6	5	5,4	5,65	5,85	6,2
350	4,3	4,7	5,1	5,5	5,73	5,88	6,3
400	4,4	4,8	5,2	5,6	5,8	5,9	6,4

Tabla N°10. Valores Óptimos del Módulo Granulométrico según Abrams.

Tamaño máximo del agregado (mm)	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
Módulo granulométrico teórico	5,21	5,45	5,64	5,82	6,00	6,126	6,29	6,40	6,51	6,60

Tabla N°11. Valores Óptimos del Módulo Granulométrico según parábola de Fuller.

e) Estimar el porcentaje de agregado grueso y fino en función a los módulos granulométricos y las siguientes ecuaciones.

$$m = \frac{ma}{100} * x + \frac{mg}{100} * y \quad x + y = 100$$

Donde:

X= Porcentaje de áridos finos;

Y= Porcentaje de áridos gruesos

f) Determinar las densidades de grava y arena por m3 que se necesita con la siguiente formula:

$$A + \frac{C}{\rho} + \frac{G1}{\rho1} + \frac{G2}{\rho2} = 1025 \quad \frac{X}{Y} = \frac{G1}{G2}$$

g) Ajustar el contenido de los agregados debido al contenido de humedad de estos.

h) Calcular el volumen donde se desea trabajar y calcular los valores exactos para un determinado volumen.

5.2. CÁLCULO DE LA DOSIFICACIÓN DEL HORMIGON (Norma Boliviana).

Datos:

Pesos específicos:

cemento = 3.1 ; arena = 2.71 ; grava = 2.68

Módulos granulométricos:

Ma = 2.66 ; Mg = 7.1056

Tamaño máximo del árido= 38 mm

fck = 210 kg/cm2 en condiciones buenas

Compactación por vibrado

Cemento IP 30

3.2.1 Determinación de la resistencia característica media (Fcm):

$$F_{cm} = 1,35 * F_{ck} + 15 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{cm} = 1,35 * 210 + 15 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{cm} = 285 \text{ kg/cm}^2$$

3.2.2. Determinación de la relación agua-cemento:

$$c/a = K (F_{cm}) + 0,5$$

$$c/a = 0.0054 (298.5) + 0.5$$

$$c/a = 2.039$$

$$a/c = 0.49$$

Cemento	Áridos Rodados	Áridos Machacados
Portland normal P-350	0.0054	0.0035
Portland de calidad P-450	0.0045	0.0030
Portland de alta resistencia P-550	0.0038	0.0026

Tabla N°12. Para el coeficiente de regulación "K".

Litros de agua por metro cubico

Consistencia del hormigón	Asiento en cono	Áridos rodados			Áridos machacados		
		80 mm	40 mm	20 mm	80 mm	40 mm	20 mm
Seca	0-2	135	155	175	155	175	195
Plástica	3-5	150	170	190	170	190	210
Blanda	6-9	165	185	205	185	205	225
Fuida	10-15	180	200	220	200	220	240

Tabla N°13. Consistencia del hormigón

$$a = 172 \text{ l/m}^3 \text{ (interpolando de la tabla 5.)}$$

$$c = 2.039 * 172$$

$$c = 350.71 \text{ kg/m}^3$$

3.2.3. Determinar el módulo granulométrico teórico.

Según Fuller:

Tamaño máximo del agregado (mm)	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
Módulo granulométrico teórico	5,21	5,45	5,64	5,82	6,00	6,126	6,29	6,40	6,51	6,60

Tabla N°14. Valores Óptimos del Módulo Granulométrico según parábola de Fuller.

Interpolando:

$$M = 5.748$$

Según Abrams:

Contenido en cemento (kg/m³)	Tamaño máximo del árido (mm)						
	10	15	20	25	30	35	40
275	4,05	4,45	4,85	5,25	5,6	5,8	6
300	4,2	4,6	5	5,4	5,65	5,85	6,2
350	4,3	4,7	5,1	5,5	5,73	5,88	6,3
400	4,4	4,8	5,2	5,6	5,8	5,9	6,4

Tabla N°15. Valores Óptimos del Módulo Granulométrico según Abrams.

Interpolando:

$$M = 5.85$$

Utilizamos Abrams para mayor trabajabilidad.

$$M = 5.748$$

Calculamos las proporciones de arena y grava:

$$m = \frac{ma}{100} * x + \frac{mg}{100} * y \quad x + y = 100$$

$$5.748 = \frac{2.76}{100} * x + \frac{7.1056}{100} * y \quad x + y = 100$$

$$X = 31.24$$

$$Y = 68.76$$

3.2.4. Determinación de cantidades de grava y arena por m3:

$$172 + \frac{350.71}{3.1} + \frac{G1}{2.71} + \frac{G2}{2.68} = 1025$$

$$\frac{31.24}{68.76} = \frac{G1}{G2}$$

$$G1 = 621.6 \text{ kg}$$

$$G2 = 1368.13 \text{ kg}$$

3.2.6. Ajuste de dosificación por contenido de humedad:

$$\%w_a = 4.2 \quad ; \quad \%A_a = 1.91$$

$$\%w_g = 1.6 \quad ; \quad \%A_g = 1.32$$

$$\text{Arena} = \frac{621.6}{100} * (1 + (4.2 - 1.91)/100) \Rightarrow 635.83 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Grava} = \frac{1368.13}{100} * (1 + (1.6 - 1.32)/100) \Rightarrow 1371.96 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agua} = 172 - (14.23 + 3.83) \Rightarrow 154 \text{ l/m}^3$$

$$\text{Cemento} \Rightarrow 350.71 \text{ kg/m}^3$$

3.3 ASENTAMIENTO (CONO DE ABRAMS).

La trabajabilidad de una muestra solo puede ser determinada mediante la observación de cómo se acomoda en las diferentes partes de la estructura y como responde a la compactación sin que pierda su homogeneidad. Por este motivo, hasta la fecha no se conoce ningún método que mida directamente esta propiedad; sin embargo, se han desarrollado algunos ensayos que permiten hacer una correlación entre la manejabilidad con alguna otra característica del concreto en estado fresco.

El ensayo más conveniente para ser utilizado, es el del asentamiento o “Revenimiento”, el cual mide con bastante aproximación la consistencia o grado de humedad de una mezcla. Para llevar a cabo el ensayo del asentamiento, se utiliza un molde metálico el cual se denomina “Cono de Abrams”, debido a que fue propuesto por dicho investigador.

El procedimiento se realiza de la siguiente manera:

Se coloca el molde sobre una superficie horizontal, plana y no absorbente, presionando con los pies las agarraderas para que no salga el concreto por la parte inferior del molde; enseguida se llena el cono con tres capas aproximadamente de igual volumen, se apisona cada capa con 25 golpes que se realizan con una varilla de 1.6 mm de diámetro, 60 cm. de longitud y con uno de sus extremos redondeado.

La introducción de la varilla se debe hacer en diferentes sitios de la superficie y hasta una profundidad tal, que penetre ligeramente la capa inferior con el objetivo de que la compactación se distribuya uniformemente sobre la sección transversal.

Una vez que se ha compactado la tercera capa se enrasa la superficie, con la varilla o con un palustre. Se retira la mezcla que haya caído al suelo en la zona adyacente a la base del molde y se retira el molde levantando cuidadosamente en dirección vertical, sin movimientos laterales

o de torsión y sin tocar la muestra con el molde cuando éste se separe del concreto. Una vez retirado el molde, la muestra sufre un asentamiento, el cual se mide inmediatamente como la diferencia entre la altura del molde y la altura de la muestra después del asentamiento. Si se produce un desprendimiento pronunciado del concreto hacia un lado de la muestra, se debe repetir el ensayo con otra muestra. Si el desprendimiento persiste, como puede suceder con muestras ásperas, es un indicio de que a la mezcla le falta una adecuada cohesión, y, por lo tanto, el ensayo de asentamiento no es aplicable en este caso. Es por este motivo que el ensayo se aplica solo a mezclas plásticas y trabajables con valores de asentamiento entre 3 a 5 cm.

El ensayo de asentamiento también es muy usado en el campo para verificar las variaciones en los materiales que se utilizan para producir concreto. Así, por ejemplo, una alteración en el contenido de humedad de los agregados o un cambio en la granulometría, se pueden detectar por medio de un incremento o una disminución en el asentamiento.

Cemento

1 m3 _____ 350.71 Kg
 0.006 m3 _____ X
 X = 2.104 Kg

a) Grava

1 m3 _____ 1371.96 Kg
 0.006 m3 _____ X
 X = 8.23 kg

b) Arena

1 m3 _____ 635.83 kg
 0.006 m3 _____ X
 X = 3.8 Kg

c) Agua

1 m3 _____ 154 litros
 0.006 m3 _____ X
 X = 0.93 litros

Considerando una pérdida del 50% :

Cemento = $2.104 \text{ Kg} * 1.5 = 3.15 \text{ kg}$

Grava = $8.23 \text{ kg} * 1.5 = 12.3 \text{ kg}$

Arena = $3.8 \text{ kg} * 1.5 = 5,7 \text{ kg}$

Agua = $0.93 \text{ litros} * 1.5 = 1.4 \text{ litros}$

Recomendaciones para la obtención de Testigos Fiables.

- El concreto debe protegerse de cambios bruscos de temperatura, sobre todo durante las primeras 24 horas.
- Las variaciones bruscas de temperatura, entre el día y la noche, figuran entre las causas principales de agrietamiento.

- El agua utilizada para el curado debe tener una temperatura lo más cercana posible a la del concreto, con el fin de evitar un choque térmico.
- Curado temprano mediante aspersiones de agua.
- Aplicación o riego directo de agua.
- Forrado con telas de yute o plástico las cuales serán humedecidas con agua.
- El curado se deberá realizar por lo menos durante los primeros siete días.

1. RESULTADOS

Resistencia de proyecto: 210 kg/cm² = 21Mpa

4.1 Probetas a los 7 días

PROBETAS TESTIGO (Hormigón Normal)

Días	Cod. Probetas	Fecha		Dimensiones		Área (cm ²)	Resistencia (kgf/cm ²)
		Realizado	Rotura	Diámetro (cm)	Altura (cm)		
7	PN1	10/07/2023	17/07/2023	15	30	177	164.81
	PN2	10/07/2023	17/07/2023	15	30	177	171.53
	PN3	10/07/2023	17/07/2023	15	30	177	198.75
						Prom.	198.75

PROBETAS con 5% de reemplazo de cascarilla de café (Hormigón Normal)

Días	Cod. Probetas	Fecha		Dimensiones		Área (cm ²)	Resistencia (kgf/cm ²)
		Realizado	Rotura	Diámetro (cm)	Altura (cm)		
7	PC5	10/07/2023	17/07/2023	15	30	177	168.21
	PC5	10/07/2023	17/07/2023	15	30	177	165.84
	PC5	10/07/2023	17/07/2023	15	30	177	171.63
						Prom.	168.63

PROBETAS con 10% de reemplazo de cascarilla de café (Hormigón Normal)

Días	Cod. Probetas	Fecha		Dimensiones		Área (cm ²)	Resistencia (kgf/cm ²)
		Realizado	Rotura	Diámetro (cm)	Altura (cm)		
7	PC10	10/07/2023	17/07/2023	15	30	176.71	161.12
	PC10	10/07/2023	17/07/2023	15	30	176.71	160.34
	PC10	10/07/2023	17/07/2023	15	30	176.71	165.40
						Prom.	162.29

PROBETAS con 15% de reemplazo cascarilla de café (Hormigón Normal)

Días	Cod. Probetas	Fecha		Dimensiones		Área (cm ²)	Resistencia (kgf/cm ²)
		Realizado	Rotura	Diámetro (cm)	Altura (cm)		
7	PC15	10/07/2023	17/07/2023	15	30	176.71	157.25
	PC15	10/07/2023	17/07/2023	15	30	176.71	160.94
	PC15	10/07/2023	17/07/2023	15	30	176.71	155.32
						Prom.	157.84

Tabla N°15. Elaboración propia
4.2 Probetas a los 14 días

PROBETAS TESTIGO (Hormigón Normal)

Días	Cod. Probetas	Fecha		Dimensiones		Área (cm ²)	Resistencia (kgf/cm ²)
		Realizado	Rotura	Diámetro (cm)	Altura (cm)		
14	PN1	20/07/2023	3/08/2023	15	30	177	185.36
	PN2	20/07/2023	3/08/2023	15	30	177	187.64
	PN3	20/07/2023	3/08/2023	15	30	177	190.25
						Prom.	187.75

PROBETAS con 5% de reemplazo de cascarilla de café (Hormigón Normal)

Días	Cod. Probetas	Fecha		Dimensiones		Área (cm ²)	Resistencia (kgf/cm ²)
		Realizado	Rotura	Diámetro (cm)	Altura (cm)		
14	PC5	20/07/2023	3/08/2023	15	30	177	199.56
	PC5	20/07/2023	3/08/2023	15	30	177	195.45
	PC5	20/07/2023	3/08/2023	15	30	177	193.34
						Prom.	196.12

PROBETAS con 10% de reemplazo de cascarilla de café (Hormigón Normal)

Días	Cod. Probetas	Fecha		Dimensiones		Área (cm ²)	Resistencia (kgf/cm ²)
		Realizado	Rotura	Diámetro (cm)	Altura (cm)		
14	PC10	20/07/2023	3/08/2023	15	30	176.71	189.52
	PC10	20/07/2023	3/08/2023	15	30	176.71	191.30
	PC10	20/07/2023	3/08/2023	15	30	176.71	194.54
						Prom.	191.79

PROBETAS con 15% de reemplazo cascarilla de café (Hormigón Normal)

Días	Cod. Probetas	Fecha		Dimensiones		Área (cm ²)	Resistencia (kgf/cm ²)
		Realizado	Rotura	Diámetro (cm)	Altura (cm)		
14	PC15	20/07/2023	3/08/2023	15	30	176.71	190.25
	PC15	20/07/2023	3/08/2023	15	30	176.71	188.36
	PC15	20/07/2023	3/08/2023	15	30	176.71	194.42
						Prom.	191.01

Tabla N°16. Elaboración propia

4.3 Probetas a los 28 días

PROBETAS TESTIGO (Hormigón Normal)

Días	Cod. Probetas	Fecha		Dimensiones		Área (cm ²)	Resistencia (kgf/cm ²)
		Realizado	Rotura	Diámetro (cm)	Altura (cm)		
28	PN1	10/08/2023	7/09/2023	15	30	177	210.12
	PN2	10/08/2023	7/09/2023	15	30	177	215.36
	PN3	10/08/2023	7/09/2023	15	30	177	213.64
						Prom.	213.04

PROBETAS con 5% de reemplazo de cascarilla de café (Hormigón Normal)

Días	Cod. Probetas	Fecha		Dimensiones		Área (cm ²)	Resistencia (kgf/cm ²)
		Realizado	Rotura	Diámetro (cm)	Altura (cm)		
28	PC5	10/08/2023	7/09/2023	15	30	177	221.45
	PC5	10/08/2023	7/09/2023	15	30	177	218.79
	PC5	10/08/2023	7/09/2023	15	30	177	217.25
						Prom.	219.16

PROBETAS con 10% de reemplazo de cascarilla de café (Hormigón Normal)

Días	Cod. Probetas	Fecha		Dimensiones		Área (cm ²)	Resistencia (kgf/cm ²)
		Realizado	Rotura	Diámetro (cm)	Altura (cm)		
28	PC10	10/08/2023	7/09/2023	15	30	176,71	215.45
	PC10	10/08/2023	7/09/2023	15	30	176.71	212.41
	PC10	10/08/2023	7/09/2023	15	30	176.71	217.34
						Prom.	215.07

PROBETAS con 15% de reemplazo cascarilla de café (Hormigón Normal)

Días	Cod. Probetas	Fecha		Dimensiones		Área (cm ²)	Resistencia (kgf/cm ²)
		Realizado	Rotura	Diámetro (cm)	Altura (cm)		
28	PC15	10/08/2023	7/09/2023	15	30	176,71	209.92
	PC15	10/08/2023	7/09/2023	15	30	176.71	211.86
	PC15	10/08/2023	7/09/2023	15	30	176.71	214.13
						Prom.	211.97

Tabla N°17. Elaboración propia

4.4 Gráfica Esfuerzo - Deformación del Concreto

Datos de Entrada:

Tramo $\epsilon = 0$ hasta $\epsilon = \epsilon_0$
 $f'_c = 210.00 \text{ kgf/cm}^2$
 $E_c = 252671.33 \text{ kg/cm}^2$
 $\epsilon_0 = 0.0021$
 $\epsilon_u = 0.003800$
 Diámetro= 150 mm.
 Altura= 300 mm.
 Área= 17700 mm²

Esfuerzo de compresión del concreto
 Módulo de elasticidad del concreto
 Deformación unitaria para máximo f'_c
 Deformación unitaria última

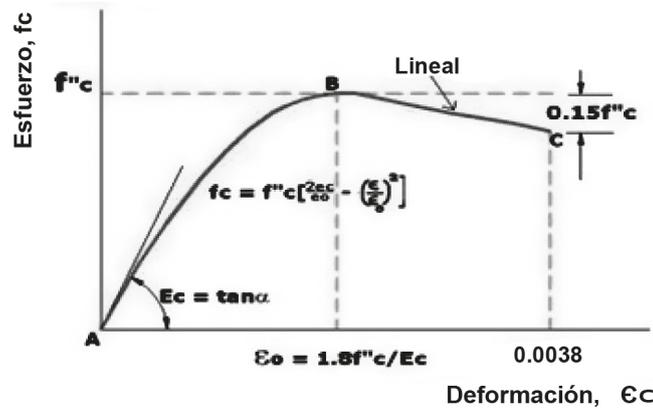


Figura. N° 3 Modelo de Hognestad (1951) concreto no confinado
 Fuente: Pontificia Universidad Católica del Perú

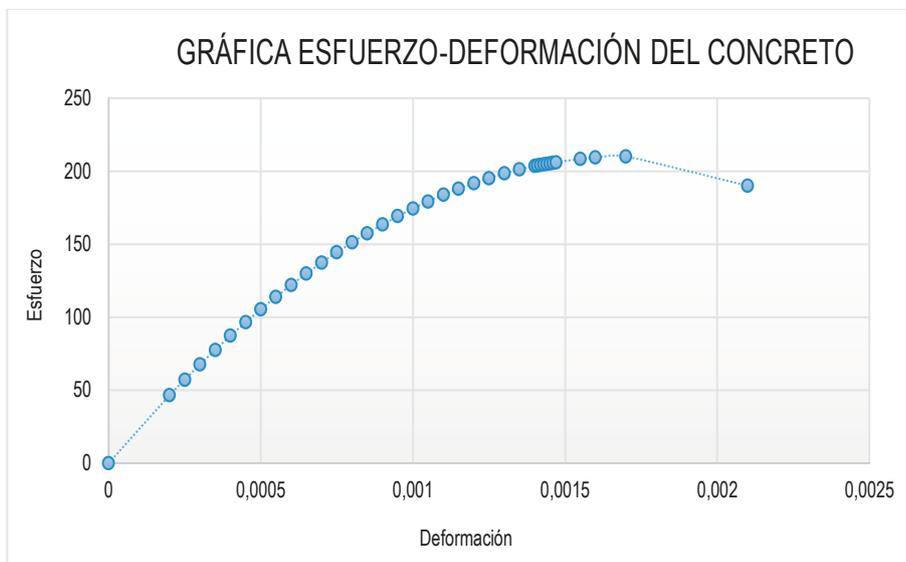


Figura. N° 4 Diagrama Esfuerzo- Deformación del Hormigón
 Fuente: Elaboración Propia

CONCLUSIONES.

Analizando los resultados de la resistencia a la compresión se observó que los testigos de hormigón en los cuales se realizó un reemplazo del agregado fino en un 15% de su peso total alcanzaron una resistencia menor a la resistencia que alcanzo el hormigón con materiales convencionales, esto pudo ser debido a que al momento de realizar la sustitución del agregado fino por la cascarilla de café esta absorbió mucha más agua de lo que se consideró en la mezcla, entonces consideramos que sería necesario aumentar una cierta cantidad de agua para que el proceso de fraguado se realice de una forma efectiva obteniendo así resultados positivos.

Por otro lado, con las sustituciones de 5% y 10 % del peso del agregado fino se obtuvo resultados aproximados a la resistencia que incluso superan a la probeta de hormigón con materiales convencionales.

El diseño óptimo que se obtuvo en los ensayos para un concreto de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ fue con la adición del 5% de cascarilla de café, ya que este alcanzó 219.16 kgf/cm^2 , una resistencia a la compresión superior a la de otros diseños a los veintiocho días. La dosificación utilizada para estas probetas fue de: 3.15 kg. de cemento, 12.3 kg. De Agregado Grueso, 5.415 kg. De Agregado Fino, 1.4 litros de Agua y 0.285 kg de Cenizas de Cascarilla de Café.

Al observar los resultados obtenidos en los diferentes ensayos pudimos notar que el Hormigón con las diferentes dosificaciones no muestran resultados significativos con respecto al aligeramiento de este como se plateo al inicio de la investigación ya que en el análisis de resultados pudimos observar un aligeramiento menor al 0.5%, sin embargo, cumple con las condiciones de trabajabilidad y acabado óptimo de la mezcla.

Para trabajar con los porcentajes del 5%, 10% y 15% se tuvo en cuenta la literatura, investigaciones anteriores en países con gran trayectoria investigativa donde las

recomendaciones se basaban en no tener altos porcentajes de sustitución dado que la resistencia tiende a bajar significativamente y de tal manera conservar la manejabilidad y propiedades mecánicas de la mezcla. En el transcurso de nuestra investigación nos dirigimos hacia la composición química de la cascarilla de café donde tuvimos una respuesta positiva ya que muchos estudios confirmaban que al poseer calcio y silicato nos proporciona un material uniforme ideal para realizar la sustitución por sus partículas microscópicas que facilitan la homogeneidad de nuestra mezcla, luego de realizar un proceso iterativo con los porcentajes de 5% y 10% optamos por subir a 15% donde confirmamos lo anteriormente mencionado en estudios de preámbulo, es decir que a partir del incremento del 10% de sustitución obtendremos menor resistencia del Hormigón.

De todo esto podemos concluir que, si se realizan estudios más minuciosos realizando pruebas de ensayo y error podemos llegar a resultados más satisfactorios, con el fin de sustituir el agregado fino para disminuir el uso de este, ya que en algunos lugares es limitada su extracción.

REFERENCIAS.

- Salazar J., García C. y Olaya J. (1984). Dosificación de hormigones ligeros con cascarilla de café. *Ingeniería e Investigación*, N° 8, 1984, 2248-8723. págs. 51-56, Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4902793>
- Roychand R., Kilmartin-Lynch S., Saberian M., Jie Li, Guomin Zhang, Chun Qing Li. (20 September 2023). Transforming spent coffee grounds into a valuable resource for the enhancement of concrete strength. *Journal of Cleaner Production*, Volume 419, 138205. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138205>
- Moya L., Castañeda R. (2021). Evaluación de las propiedades mecánicas de morteros de cemento con sustitución de arena por posos de café. Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería Civil.
- Molochó J., Rodríguez D. (2020). Adición de la

cascarilla de café y sus cenizas para Mejorar la resistencia a la compresión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, en las viviendas económicas de Moyobamba – 2020. Universidad Cesar Vallejo, Facultad de Ingeniería y Arquitectura Civil, Perú. Dixit A., Gupta S., Sze Dai Pang, Harn Wei Kua. 20 November 2019). Waste Valorisation using biochar for cement replacement and internal curing in ultra-high performance concrete. *Journal of Cleaner Production*, Volume 238, 117876. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117876>

Abd-Elal, E.-S., Araby, S., Mills, J.E., Youssf, O., Roychand, R., Ma, X., Zhuge, Y., Gravina, R.J., 2019. Novel approach to improve crumb rubber concrete strength using thermal treatment. *Construct. Build. Mater.* 229, 116901.

Chen, L., Zhang, Y., Labianca, C., Wang, L., Ruan, S., Poon, C.S., Ok, Y.S., 2022. Carbonnegative cement-bonded biochar particleboards. *Biochar* 4 (1), 1–9.

Liu, J., Liu, G., Zhang, W., Li, Z., Xing, F., Tang, L., 2022. Application potential analysis of biochar as a carbon capture material in cementitious composites: a review. *Construct. Build. Mater.* 350, 128715

Quintana G., Velásquez J., Gómez C., Echavarría Y. (2018), Adsorción de NI (II) en carbón activado de cascarilla de café. *Investigaciones Aplicadas*, Vol. 2, N° 1, 2008, págs. 1-6. ISSN-e 2011-0413. DOI: <http://convena.upb.edu.co/revistaaplicada>

Norma ASTM C 94/C 94M – 03^a

Jurado C., Mendoza M. (2021). Desempeño sísmico de un edificio aporricado de 5 pisos diseñado con el reglamento nacional de edificaciones pero aceptando una deriva máxima de 1%. Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería