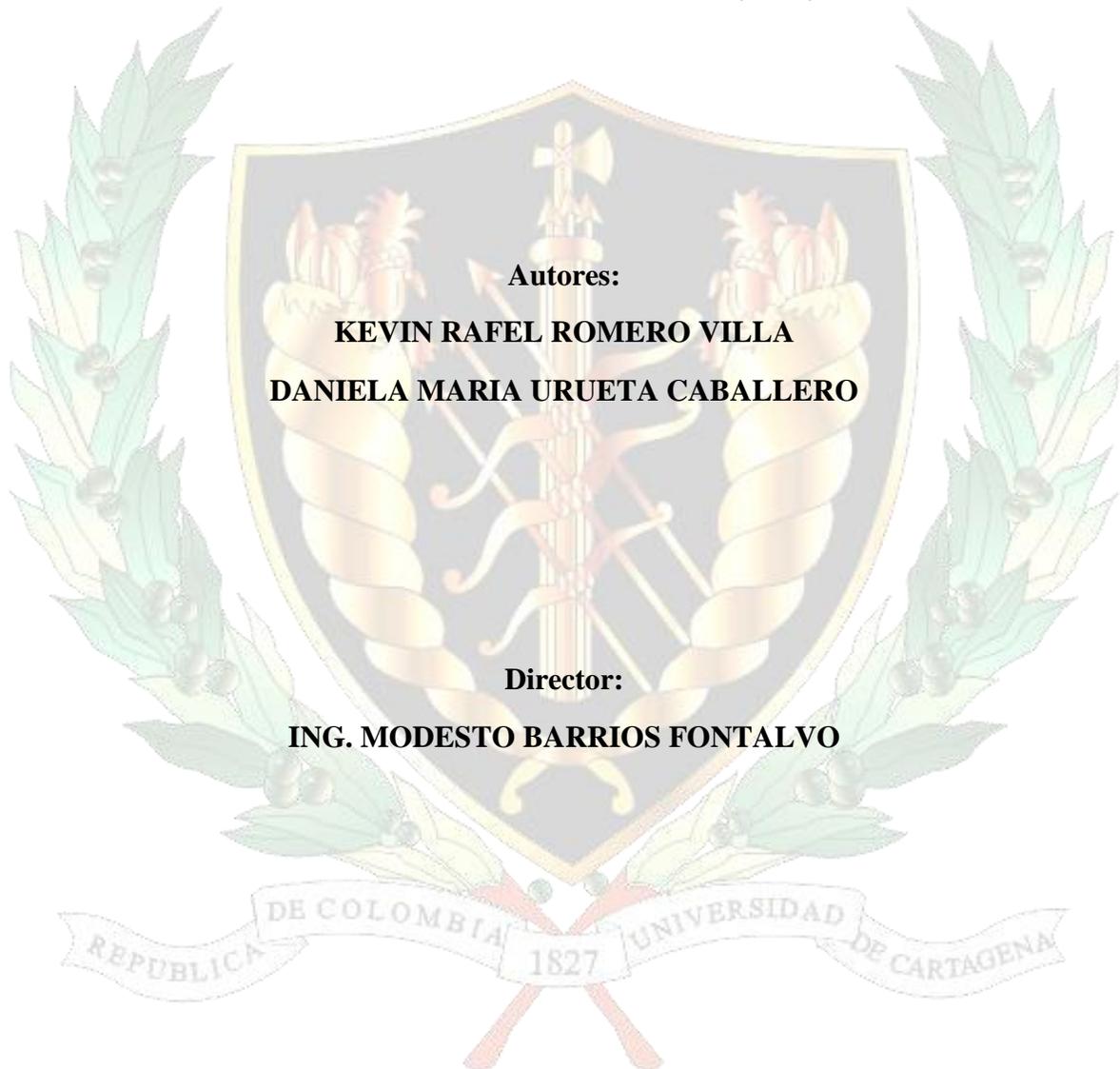


MONOGRAFIA:

**ANÁLISIS DEL EFECTO QUE PRODUCE EL REEMPLAZAR UN PORCENTAJE
DE CEMENTO EN LA MATRIZ DE CONCRETO HIDRÁULICO POR CENIZA
DE CASCARILLA DE ARROZ (CCA)**



Autores:

**KEVIN RAFEL ROMERO VILLA
DANIELA MARIA URUETA CABALLERO**

Director:

ING. MODESTO BARRIOS FONTALVO

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
CARTAGENA D. T. Y C.**

2021

MONOGRAFIA:
**ANÁLISIS DEL EFECTO QUE PRODUCE EL REEMPLAZAR UN PORCENTAJE
DE CEMENTO EN LA MATRIZ DE CONCRETO HIDRÁULICO POR CENIZA
DE CASCARILLA DE ARROZ (CCA)**

Autores:

KEVIN RAFAEL ROMERO VILLA

DANIELA URUETA CABALLERO

Monografía para optar por el título de:

INGENIERO CIVIL

Director:

ING. MODESTO BARRIOS FONTALVO

Grupo de investigación:

GEOTECNIA, MATERIALES, VIAS Y TRANSITO (GEOMAVIT)

Línea de investigación:

MATERIALES DE CONSTRUCCION

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
CARTAGENA D. T, Y C,**

2021

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	7
ABSTRACT	8
INTRODUCCION.....	9
1. EFECTOS DE LA CCA EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DE LA MEZCLA DE CONCRETO	13
2. EFECTOS DE LA CCA EN LA RESISTENCIA A LA FLEXION DE LA MEZCLA DE CONCRETO.....	22
3. EFECTO DE LA CCA EN LA RESISTENCIA A LA TENSION DE LA MEZCLA DE CONCRETO.....	26
4. EFECTOS DE LA CCA EN LA DURABILIDAD DEL CONCRETO	29
CONCLUSIONES.....	35
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Resultado de prueba slump. Fuente. Salas et al 2009.....	15
Tabla 2. Características del concreto fresco. Fuente. Salas et al, 2009.	15
Tabla 3. Resistencia a la compresión de la ceniza de cascarilla de arroz. Fuente. Xu et al, 2015.	18
Tabla 4. Módulo de elasticidad y fuerza a la flexión. Fuente. Salas et al., 2009.....	25
Tabla 5. Proporciones de la mezcla de concreto. Fuente. Rodríguez de Sensale, 2010.	31
Tabla 6. Permeabilidad al aire del concreto a la edad de 28 días. Fuente. Rodríguez De Sensale, 2010.	32
Tabla 7. Penetración de iones cloruro en el concreto. Fuente. Rodríguez De Sensale, 2010.	33
Tabla 8. Reducción en la expansión por sulfatos a las 28 semanas. Fuente. Rodríguez De Sensale, 2010.	34

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. CCA usada en la investigación. **Fuente.** Ahsan & Hossain, 2018. 23

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Desarrollo de la resistencia a la compresión de las mezclas con diferentes porcentajes. Fuente. Salas et al., 2009.	16
Gráfica 2. Dosificación óptima de las mezclas. Fuente. Salas et al., 2009.	17
Gráfica 3. Resistencia a la compresión a varias edades. Fuente. Ramezaniapour et al., 2009.	21
Gráfica 4. Comparación de la fuerza de flexión del concreto modificado. Fuente. Ahsan & Hossain, 2018.	24
Gráfica 5. Fuerza a la tensión a varias edades de control. Fuente. Ramezaniapour et al., 2009.	27
Gráfica 6. Porcentaje de reemplazo de CCA. Fuente. Rasoul & Rafiq, 2017.	28
Gráfica 7. Porcentaje de pérdida de masa de las muestras sumergidas en 1% de solución de HCl. Fuente. Rodríguez De Sensale, 2010.	34
Gráfica 8. Expansión vs RHA (%) a los 14 días en 1 N Na OH a 80°C, usando un agregado reactivo. Fuente. Rodríguez De Sensale.	35
Bibliográficas	

RESUMEN

Esta monografía se realizó con el fin de analizar la influencia que tiene el reemplazo de un porcentaje de cemento por ceniza de cascarilla de arroz (CCA) en la matriz del concreto hidráulico variando los tratamientos y porcentajes a reemplazar. Para llegar a esto se hizo una revisión y crítica de antecedentes internacionales, nacionales y locales, acerca de cómo la ceniza de cascarilla de arroz afecta el comportamiento en la matriz del concreto teniendo en cuenta los parámetros mecánicos que presenta el concreto. De todas las investigaciones referenciadas se concluyó que, el reemplazo del cemento por ceniza de cascarilla de arroz mejora las características mecánicas del concreto cuando el reemplazo es un porcentaje del 10% aproximadamente, igualmente se puede establecer que al hacer un tratamiento químico o físico a la ceniza de cascarilla de arroz esta mejora las propiedades del concreto.

Los artículos expresan una mejoría en la resistencia a la compresión donde esta aumenta en todos los casos en los que la ceniza de cascarilla de arroz (CCA) se agrega a la matriz del concreto, además esta aumenta de manera significativa cuando la CCA es tratada de manera química o física, a su vez se recalca que la quema de la cascarilla de arroz se realiza de manera controlada a modo de que no queden restos de carbón en la CCA para que la reacción de esta sean adecuados y de esta forma tener los resultados esperados; de acuerdo a los artículos estudiados el porcentaje que se utiliza en la matriz del concreto juega un papel muy importante en el momento que se adiciona la CCA, debido a que mayores porcentajes como pueden llegar a ser el 20% que es el más alto visto varios artículos, todavía sigue presentando mejorías con respecto a la resistencia a la compresión, flexión y tensión esto puede atraer otros problemas como una menor manejabilidad del concreto teniendo que implementar superplastificantes para tener la manejabilidad deseada en el concreto.

ABSTRACT

This monograph was made with the purpose of analyzing the influence that the replacement of a percentage of cement by rice husk ash has on the hydraulic concrete matrix, varying the treatments and percentages to be replaced. In order to arrive at this, it was made a revision and critic of international, national and local antecedents; about how rice husk ash affects the behavior of the concrete matrix considering the mechanical parameters that concrete presents. From all the referenced investigations it was concluded that, the replacement of cement by rice husk ash improves the mechanical characteristics of concrete when the replacement is a percentage of 10% approximately, as well as making a chemical or physical treatment to the ash before being added to the mixture improves its properties.

The compressive strength in the investigated bibliography shows that it increases in all cases in which the rice husk ash (RHA) is treated chemically or physically, in addition to this, a calcination of the rice husk must be done in a controlled manner so that no carbon remains in the RHA so that the reactions of this are efficient and give the expected results, According to the studied bibliography, the percentages used in the concrete matrix also play a very important role at the moment of using the RHA because although at higher percentages such as 20%, which is the most seen in this monograph, it still presents improvements with respect to the resistance to compression, bending and tension, this can lead to other problems such as a lower workability of the concrete, having to implement superplasticizers to have the desired workability in the concrete.

INTRODUCCION

En las obras civiles, el cemento es un material que se utiliza ampliamente para la fabricación de hormigones y morteros (Taylor, 1978); pero la producción de este se considera como uno de los procesos más contaminantes que existe actualmente en el planeta. Esto se evidencia, especialmente en la vegetación que se encuentra en las cercanías de las plantas de fabricación de cemento. Esto, hace que sea importante encontrar nuevas materias primas que reemplacen total o parcialmente, al cemento en las mezclas de concreto hidráulico sin cambiar las propiedades mecánicas de dichas mezclas (Camargo, 2015).

El total de la producción de cemento gris para el 2019 fue 12,994.6 miles de toneladas, la cual registra un incremento del 4,3% en relación al año 2018. mientras que las ventas de cemento gris en el mercado nacional alcanzaron las 12,515.3 miles de toneladas, mostrando aumento del 4,2% en comparación al 2018 (DANE, 2020a). La producción de cemento (componente vinculante clave del hormigón) es costosa, consume mucha energía, agota los recursos naturales y emite enormes cantidades de gases de efecto invernadero (al producir una tonelada de cemento se emite a su vez una tonelada de CO₂). En consecuencia, la degradación ambiental, la grave contaminación y los peligros para la salud asociados a las industrias del cemento y el hormigón, han sido objeto de un intenso escrutinio por parte de los ecologistas y los gobiernos (Khan et al., 2012).

La creciente preocupación por la protección del medio ambiente y la conservación de la energía con un impacto mínimo en la economía; han motivado a los investigadores a buscar otras alternativas de cemento en la industria del hormigón. Los estudios han demostrado: que los materiales de desecho, pueden utilizarse con éxito en todo tipo de estructuras de hormigón existentes y futuras, sustituyendo el cemento a veces hasta en un 70% (Khan et al., 2012). Como resultado, la incorporación de materiales cementantes suplementarios (MCS) en el hormigón se ha convertido en una gran preocupación hoy en día. Uno de los potenciales MCS, es la ceniza de cáscara de arroz (CCA)(Ahsan & Hossain, 2018).



La cáscara de arroz es un residuo con propiedades nutricionales bajas para los animales; cuando se incinera, la cáscara de arroz genera una gran cantidad de cenizas (CCA). El uso de CCA, como material cementante suplementario, es de gran interés para muchos países en desarrollo como Colombia, donde la producción de arroz es abundante (Zerbino et al., 2011).

De acuerdo con las estadísticas presentadas por el DANE, en asociación con Fedearroz en el primer semestre del año 2019, la producción de arroz en Colombia fue de 1'008,081 toneladas, teniendo una reducción del 1.2 % respecto a la producción del primer semestre del año 2018, mientras que en el segundo semestre del 2019 se produjeron 1'976,520 toneladas presentando un incremento del 3.8 % respecto al año anterior. Esto dio como resultado, un total de 2'984,601 toneladas de arroz cosechadas en el año, de las cuales alrededor del 20% es cascarilla de arroz, que no tiene una disposición final definida y se convierte en un desecho que debido a su alto volumen es difícil de almacenar (Camargo, 2015; DANE, 2020b, 2020a; Federación Nacional de Arroceros, 2017).

En los últimos años en la industria del concreto se ha convertido en una práctica común la incorporación de materiales cementantes suplementarios; al adicionar al concreto como reemplazo parcial del Cemento Portland Ordinario (CPO), materiales de MCS (por ejemplo, cenizas volantes y humo de sílice) se evidencia mejoras en las propiedades mecánicas del hormigón. (Ahsan & Hossain, 2018). Teniendo esta idea en mente muchos investigadores han tenido diferentes ideas sobre la implementación de ésta después de hacer un debido tratamiento a la CCA.

La mejora del rendimiento del hormigón mediante la utilización de residuos industriales y agrícolas como materiales cementantes suplementarios está ganando popularidad entre los investigadores en los últimos años. Los materiales puzolánicos como las cenizas volantes, el humo de sílice, la escoria de alto horno granulada molida y las cenizas de cáscara de arroz son subproductos de otras industrias, que contienen grandes cantidades de sílice amorfa. Esto lleva a una reacción puzolánica el hidróxido de calcio liberado del proceso de hidratación del cemento haciendo de estos materiales un material de mezcla adecuado para el cemento portland ordinario. La ceniza de cascarilla de arroz se produce anualmente en grandes cantidades mediante la incineración de la cascarilla de arroz en centrales eléctricas

o mediante la incineración de la cascarilla en campos agrícolas. La producción anual de arroz según en 2013 fue de 730,2 millones de toneladas. Se estima que la cáscara de arroz representa alrededor del 20% del peso de la planta y la ceniza alrededor del 20% del peso de la cáscara. Esta enorme cantidad de cáscara de arroz, además del problema del dumping ambiental. El ingrediente clave del RHA es la sílice amorfa reactiva que reacciona con el hidróxido de calcio liberado por la hidratación del cemento en la matriz de hormigón para producir hidratos de silicato de calcio (HSC) densos que son los principales responsables de la mejora del rendimiento del hormigón.(Rasoul & Rafiq, 2017)

La investigación y el desarrollo en diversas partes del mundo han llegado a la conclusión de que el CCA es adecuado para la sustitución parcial debido a su alto contenido de sílice y su gran superficie con partículas muy porosas. Este cambio representa muchas ventajas como mejoras en las propiedades de la mezcla, reducción de los costos de los materiales debido al reemplazo del cemento y disminución en el impacto ambiental relacionado con la disposición final de residuos y reducción de las emisiones de dióxido de carbono(Bui et al., 2005).

Al quemar en condiciones controladas la CCA, se obtiene una puzolana altamente reactiva, es decir con un alto contenido de sílice. En otras condiciones se produce un "CCA residual" de menor calidad, pero puede mejorarse mediante la molienda. Esta CCA optimizada ya sea por quema controlada o una molienda hasta un tamaño de partícula apropiado, ha sido utilizado en concretos de alto desempeño obteniendo resultados en las propiedades mecánicas y durabilidad de la mezcla similares a las de un concreto de alta resistencia con contenido de humo de sílice(Zerbino et al., 2011).

En la ceniza, se puede encontrar un porcentaje de sílice superior al 90%; lo que la convierte en una potencial fuente de este elemento. Otros aseguran que el porcentaje de SiO₂ puede alcanzar un 95%, siendo el 5% restante trazas de diferentes óxidos, principalmente óxido de potasio(Serrano et al., 2012).

Las principales impurezas que contiene esta ceniza son: calcio, potasio, magnesio y manganeso, y como secundario se encuentra: aluminio, hierro, boro y fosforo. Todos estos

elementos generalmente en forma de óxidos(Serrano et al., 2012).

Este documento se encuentra enmarcado en la línea de investigación de materiales de construcción en obras civiles del programa de Ingeniería Civil de la Universidad de Cartagena, en él se analiza distintos documentos e investigaciones realizadas a nivel nacional e internacional sobre como la inclusión de un nuevo elemento (CCA), para reemplazar parcialmente el cemento, afecta el comportamiento de una mezcla de concreto. Se tiene como objetivo, investigar los efectos que tiene la CCA en la matriz de concreto hidráulico cuando este residuo pasa por diferentes tratamientos, desde una calcinación simple, hasta tratamientos más controlados, señalar los beneficios que trae la implementación de la CCA en el concreto para las propiedades mecánicas haciendo una comparación con una muestra de control, esto se lleva a cabo mediante la revisión de varios estudios realizados a nivel nacional e internacional.

1. EFECTOS DE LA CCA EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DE LA MEZCLA DE CONCRETO

Es el esfuerzo máximo que puede soportar un material bajo una carga de aplastamiento. La resistencia a la compresión de un material que falla debido a la rotura de una fractura se puede definir, en límites bastante ajustados, como una propiedad independiente. Sin embargo, la resistencia a la compresión de los materiales que no se rompen en la compresión se define como la cantidad de esfuerzo necesario para deformar el material una cantidad arbitraria. La resistencia a la compresión se calcula dividiendo la carga máxima por el área transversal original de una probeta en un ensayo de compresión. (Instron, n.d.)

Según la norma NTC 673 la cual da indicaciones para la medición de la compresión bajo el nombre de “Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto” el cual consiste en aplicar a los cilindros moldeados o núcleos una carga axial a una velocidad que se encuentra dentro de un rango que ya está prescrito hasta que suceda una falla. Al dividir la carga máxima alcanzada durante el los ensayos podremos saber cuál es la resistencia a la compresión de ese objeto.(Técnica, 2010)

En la investigación realizada por Andrea Salas, Silvio Delvasto, Ruby Mejía de Gutiérrez y David Lange presentada bajo el título de “comparación de dos procesos para tratar ceniza de cascarilla de arroz para su uso en concreto de alta rendimiento” en donde se buscó examinar el efecto de reemplazar parcialmente el cemento portland con un cascarilla de arroz químicamente tratada (CCAQ) en la durabilidad y las propiedades mecánicas de concreto de alta rendimiento, y comparar los resultados con concretos hechos con ceniza de cascarilla de arroz tradicional (CCAT) y humo de sílice (HS) en los mismos niveles de reemplazo.(Salas et al., 2009)

Las muestras de ceniza de cascarilla de arroz se producen por dos métodos, tratamiento convencional de CCA (CCAT) se obtuvo mediante un tratamiento térmico de la cáscara de

arroz y el otro (CCAQ) se basó en un ataque químico-térmico a la cáscara de arroz. Se sometieron a varias pruebas para analizar el contenido de sílice amorfa, el color, la distribución del tamaño de las partículas y la superficie. La resistencia y durabilidad de los hormigones de cemento-pozolana producidos a partir de estas muestras (CCAT y CCAQ) se compararon con las de un hormigón de referencia sin aditivos minerales (control) y un hormigón con humo de sílice (HS).

Teniendo en cuenta esto, cabe resaltar los siguientes términos para un mejor entendimiento de la siguiente información:

CCAQ – Ceniza de Cascarilla de Arroz Químicamente Tratada

CCAT – Ceniza de Cascarilla de Arroz Tradicional

HS – Humo de Sílice

Los efectos de la ceniza de cascarilla de arroz se pueden ver de inmediato en el cemento fresco cuando se realiza la prueba del SLUMP en donde el asentamiento de cada una de las muestras tanto la de control que no tiene integrado CCA y las demás ya sean tratadas química o tradicionalmente es diferente incluso entre las que solo se varía el porcentaje de ceniza, pero sigue siendo el mismo tratamiento el resultado cambia de manera notoria como se puede ver en la siguiente tabla:

mescla	Material Puzolánico kg/m ³			Cemento kg/m ³	Agua l/m ³	SP %	w/cm	Agregados kg/m ³			Slump mm
	HS	CCAT	CCAQ					triturado	Arena gruesa	Arena fina	
Control	0	0	0	440	198	0.4	0.45	660	838	285	178
CCAT 5%	0	22	0	418	198	0.8	0.45	655	832	283	127
CCAT 10%	0	44	0	396	198	1.7	0.45	651	827	281	152
CCAT 15%	0	66	0	374	198	1.9	0.45	646	820	279	178
CCAT 20%	0	88	0	352	207	4.3	0.47	645	819	279	254
CCAQ 5%	0	0	22	418	198	1.2	0.45	653	830	282	229
CCAQ 10%	0	0	44	396	198	1.9	0.45	647	822	280	178
CCAQ 15%	0	0	66	374	198	2.0	0.45	645	819	279	127
CCAQ 20%	0	0	88	352	198	5.0	0.45	637	810	276	254
HS 10%	22	0	0	396	198	0.9	0.45	653	829	282	165

Tabla 1. Resultado de prueba slump. Fuente. Salas et al 2009.

Se puede observar que el comportamiento de cada una de las mezclas tuvo un comportamiento patrón a seguir en donde la ceniza de cascarilla de arroz tradicionalmente tratada tenía un incremento proporcional en la prueba del slump mediante se incrementaba el porcentaje de reemplazo en la mezcla, mientras que en la muestra tratada químicamente era un comportamiento inversamente proporcional en donde mediante aumentaba el porcentaje de reemplazo disminuía la medición de la prueba de SLUMP pero curiosamente cuando se pasa del 15% al 20 % esta medición vuelve a aumenta incluso por encima de la medida de 5%.

Las propiedades frescas de todas las mezclas se muestran en la Tabla 2. Las mezclas con el 10% de reemplazo de cemento CCAT y CCAQ requería más superplastificante para alcanzar el mismo nivel de trabajabilidad cuando se comparaba con el control y con los hormigones SF al 10%. La densidad aparente de cada mezcla con puzolana es aproximadamente un 1% menor que la mezcla de control:

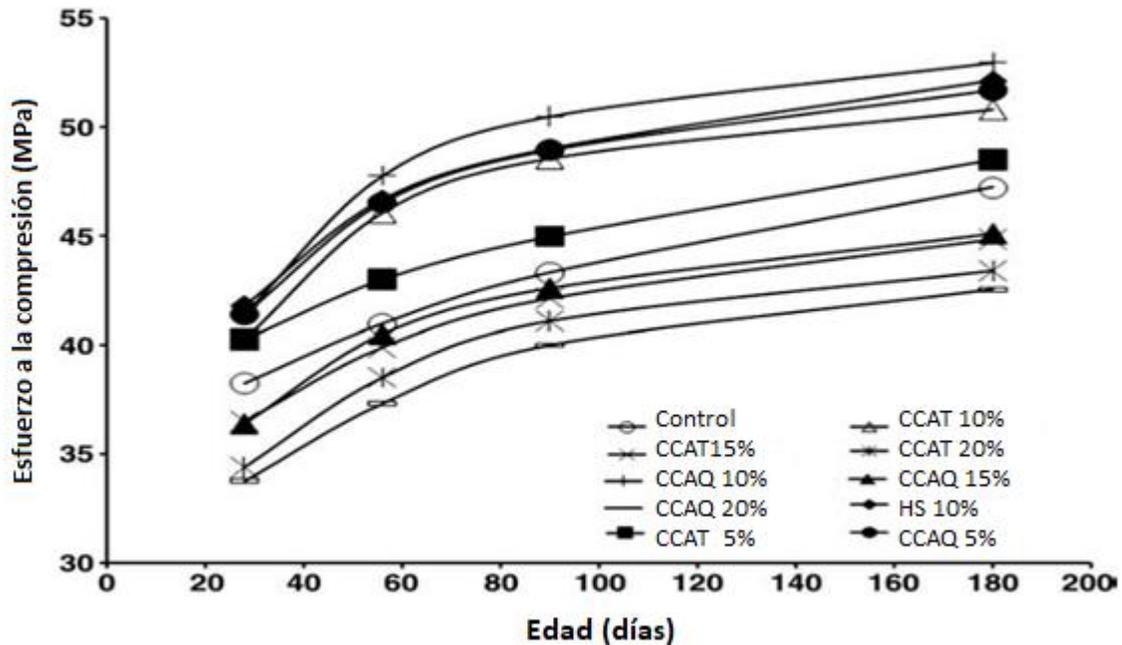
Características	Control	CCAT	CCAQ	HS
Super plastificante, %	0	0.35	0.38	0.20
Slump, mm	191	127	102	102
Densidad, kg/m ³	2425	2400	2403	2405
Trabajabilidad	buena	buena	buena	buena

Tabla 2. Características del concreto fresco. Fuente. Salas et al, 2009.

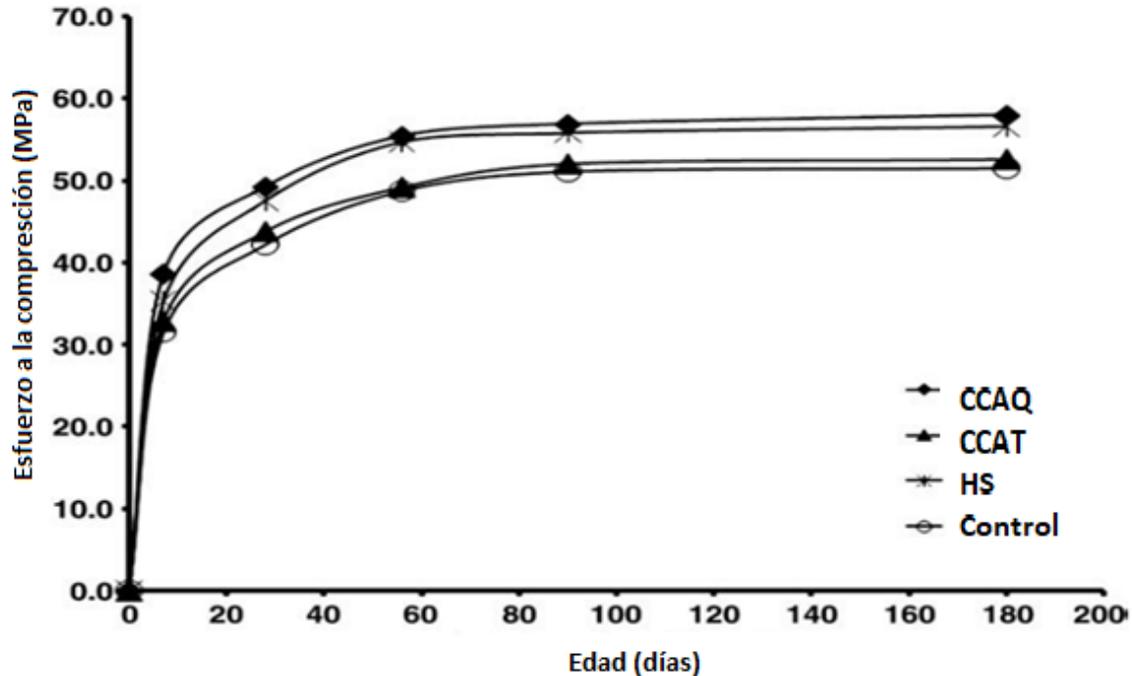
De acuerdo con estos resultados, el uso de estos materiales puzolánicos aumenta la demanda de agua; especialmente las mezclas con 15% y 20% de CCAT y CCAQ eran relativamente rígidas y fue necesario ajustar el nivel de dosificación del superplastificante para mantener una trabajabilidad similar, estas mezclas mostraron tendencias a la segregación y al sangrado que afectaban la fuerza de las mezclas endurecidas. Los hormigones frescos con sustitución de cemento por HS requerían menores cantidades de superplastificante en comparación con los hormigones CCAT. Esto podría deberse a la elevada superficie específica de las cenizas que causa un efecto de retención de agua en la estructura de los mesoporos. (Salas et al., 2009)

Habiendo ya mencionado estas características del concreto sin alterar y las muestras alteradas para entender el comportamiento de las mezclas y saber cómo pueden alterar al concreto con

al momento de utilizarlo en diferentes situaciones se procede a hacer estudios sobre la resistencia a la compresión de cada una de las mezclas tanto las de control como las de que tiene diferentes porcentajes de reemplazo de cemento por CCA, iniciando por el desarrollo de la resistencia a la compresión de las muestras donde se puede ver el comportamiento de cada una de las mezclas con el paso del tiempo, la gráfica 1 muestra el desarrollo de las fuerzas de compresión de todos los concretos hechos en este estudio. Los puntos trazados representan la media de cinco pruebas, todas ellas dentro del 7% del valor medio. La resistencia a la compresión de los hormigones con un 15% y 20% de CCAT y CCAQ fueron inferiores a la del hormigón de cemento Portland de control. Puede ser causado por los problemas de sangrado y cohesión en las mezclas frescas. (Salas et al., 2009)



Gráfica 1. Desarrollo de la resistencia a la compresión de las mezclas con diferentes porcentajes. Fuente. Salas et al., 2009.



Gráfica 2. Dosificación óptima de las mezclas. Fuente. Salas et al., 2009.

Las mediciones de la fuerza de compresión de cada una de las mezclas se realizaron a los 7, 28, 56, 90 y 180 días donde se puede ver que el comportamiento en los primeros días es muy parecido en todas las mezclas pero mediante se acerca la primera medición en el día 7 se puede observar una diferencia positiva entre la CCAQ con respecto a la mezcla de control y la CCAT dando a entender que un correcto tratamiento de la CCA antes de ser implementada en la matriz del concreto mejora la resistencia a la compresión del concreto de forma significativa.

Con los datos que estas gráficas se pueden ver que en donde se ve más influenciado el concreto con la implementación de la CCA químicamente tratada es entre los días 7 y 28 donde el incremento de la resistencia a la compresión es de aproximadamente del 10%, luego de este tiempo las curvas de crecimiento en todas las muestras tienden a disminuir y a tener un aumento en su resistencia a la compresión similar.

En la investigación realizadas por Weiting Xu, Yiu Tommy Lo, Dong Ouyang, Sharzim Ali Memon, Feng Xing, Weilun Wang y Xiongzhou Yuan bajo el nombre de “Efecto de la finura de la ceniza de la cáscara de arroz sobre la porosidad y la reacción de hidratación de la mezcla” estudiaron los efectos de la CCA haciendo el siguiente tratamiento a las muestras,

la muestra de CCA se obtuvo por calcinación de 2 h a un tiempo especificado. temperatura de 600 °C a una velocidad de calentamiento de 20 °C/min en un horno electrónico. Para producir la mayor cantidad posible de ceniza amorfa para cada lote de quema, las cáscaras de arroz se apilaron uniformemente para una altura de 10 cm en el recipiente de acero inoxidable con un tamaño de 70 x 40 x 10cm en el horno. Para el proceso de molienda, se utilizó un molino de bolas labora- tory fabricado por la Universidad de Nanjing, China, para moler la ceniza cruda en partículas más pequeñas. El proceso de molienda se realizó en cuatro tanques de acero inoxidable mediante la rotación de bolas de acero inoxidable como medios de molienda, que agitan las muestras en un estado aleatorio. El molino de bolas muele el material mediante la rotación de un cilindro con bolas de acero inoxidable, haciendo que las bolas caigan de nuevo en el cilindro y sobre el material a moler. Como resultado, la bola de molienda rompió la muestra de CCA en pequeñas partículas. Los parámetros controlados de la bola de molienda, que se mantuvieron constantes, fueron la velocidad de rotación de la molienda (1000 RPM), la relación de masa de la bola con el polvo (20:1). La duración de la molienda se fijó en 5, 10, 30, 60, 90 y 120 minutos, respectivamente. Después de cada misión de molienda se sacaba la muestra molida se sacaba para mantenerla en un recipiente seco y sellado para pruebas posteriores.(Xu et al., 2015)

Muestra	Fuerza a la compresión (Mpa)				
	Día 1 (Mpa)	Día 3 (Mpa)	Día 7 (Mpa)	Día 28 (Mpa)	Día 90 (Mpa)
Control	28.15	41.62	48.42	66.83	70.51
CCA CRUDA	14.82	22.26	25.58	36.87	43.39
CCA 5 min	27	41.66	43.96	65.03	67.34
CCA 10 min	27.8	41.8	49.47	66.93	67.88
CCA 30 min	33.96	44.23	50.58	71.02	79.57
CCA 60 min	32.8	36.03	46.78	65.16	71.52
CCA 90 min	32.79	36.02	46.7	65.39	70.79
CCA 120 min	32	35.22	46.15	64.93	68.62
HS	34.93	39.43	59.5	75.59	80.70

Tabla 3. Resistencia a la compresión de la ceniza de cascarilla de arroz. **Fuente.** Xu et al, 2015.

Los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión de la pasta de cemento y pasta con incorporación de un 10% de cemento sustituido por CCA y HS se muestra en la Tabla 3. Se puede ver que la pasta que incorpora CCA crudo sin moler muestra la menor resistencia

a la compresión de todas las edades de curado de prueba, lo que se debe al efecto de dilución. La resistencia de la pasta que incorpora CCA se incrementa con el aumento de la duración de molienda de CCA de 5-30 min. Para la pasta mezclada CCA molida, la máxima resistencia de la pasta (79,57 MPa) se produce en la pasta que incorpora CCA molida durante 30 min a la edad de 90 días, lo que es un 12,8% mayor que la de la pasta de control. La pasta con CCA molida durante 30 minutos muestra el segundo valor de resistencia más alto después de la pasta mezclada con HS (80,70 MPa) entre toda la pasta a la edad de 90 días. Esto se debe a la alta finura del CCA que exhibe buenas propiedades puzolánicas y efecto de empaquetamiento. Sin embargo, cuando la CCA se muele durante más de 30 minutos, la correspondiente fuerza de la pasta se reduce gradualmente. Esto indica que la larga duración de la molienda no siempre conduce a una alta actividad puzolánica, debido a la agregación de partículas por la excesiva molienda. La molienda de 30 minutos de CCA muestra la mejor actividad puzolánica entre todas las muestras de cenizas molidas.(Xu et al., 2015)

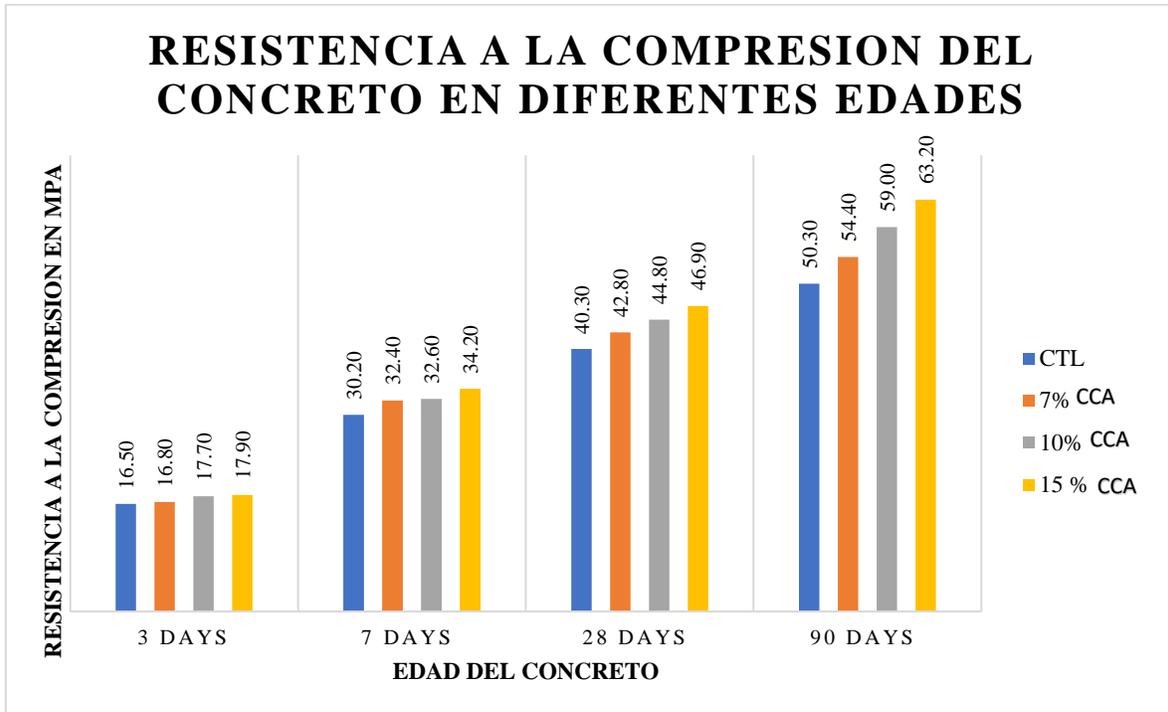
Por otro lado, en la investigación de A. A. Ramezianpour, M. Mahdi Khani y Gh. Ahmadiben en su investigación argumenta que la calidad de la CCA como aditivo para el cemento y el hormigón depende de su reactividad. La reactividad de CCA contribuye a la resistencia de los materiales basados en CCA mediante reacciones puzolánicas entre la sílice y el hidróxido de calcio liberado durante el proceso de hidratación del cemento. Estas reacciones producen cantidades adicionales de hidrato de silicato de calcio que hacen que la microestructura del hormigón CCA sea más densa en comparación con la del hormigón sin CCA. La reactividad del CCA depende del contenido de sílice amorfa disponible y de la estructura porosa de la ceniza. Por otra parte, las cenizas producidas por la quema de cáscaras de arroz en condiciones no controladas pueden contener diversas cantidades de carbono no quemado.(Ramezianpour et al., 2009)

De este modo antes de comenzar con la parte experimental de la investigación se hicieron diferentes tratamientos controlados a la ceniza de cascarilla de arroz, las cenizas utilizadas para investigar las propiedades del hormigón CCA se producían quemando cáscaras de arroz en el horno. La temperatura en el horno se mantenía por debajo de 750°C. Esta temperatura se registraba en la zona de fuego donde se quemaba la cáscara de arroz. Las temperaturas



medidas fueron 550, 600, 650, 700 y 750°C. Además, el tiempo de quemado fue otro parámetro variable que se investigó a los 30, 60 y 90 minutos. Además, se produjo una muestra de ceniza a una temperatura de 1100°C después de 5 minutos de combustión. Por lo tanto, se obtuvieron cenizas con diversas cantidades de carbono no quemado (Ramezianpour et al., 2009), luego de hacer todas las pruebas necesarias para obtener una CCA optimizada se llegó a la conclusión que la temperatura óptima para el tratamiento era de 650 °C por una duración de 60 minutos ya que de esta forma se evita la creación de cristales amorfos de CCA los cuales no son deseados para la mezcla de concreto, además de esto también se elimina la posibilidad de tener carbono no quemado que perjudica de igual forma.

Una vez realizado todas los procedimientos necesarios y ya obtenido la CCA de mejor calidad para ser implementada en la matriz de concreto se hicieron varias mezclas con diferentes porcentajes para poder comparar al final los resultados, se tuvieron en cuenta 4 tipos de mezclas donde 1 de ellas era una mezcla de control con un 0% CCA y las otras 3 tenían un de reemplazo del cemento en un 7%, 10% y 15% tomando la resistencia a la compresión de estas a los 3 días, 7 días, 28 días y 90 días en donde se ve claramente el incremento en la resistencia a la compresión de las mezclas en las que se reemplazó el cemento con CCA.



Gráfica 3. Resistencia a la compresión a varias edades. *Fuente.* Ramezianipour et al., 2009.

Los resultados de las resistencias a la compresión de los hormigones se muestran en la gráfica 3. En general, el hormigón CCA tuvo mayores resistencias a la compresión en varias edades y hasta 90 días cuando se comparó con el hormigón de control. Los resultados muestran que fue posible obtener una resistencia a la compresión de hasta 46,9 MPa después de 28 días. Además, se obtuvieron resistencias de hasta 63,2 MPa a los 90 días.(Ramezianipour et al., 2009)

Un aspecto común que tiene todos los artículos es que se debe implementar un buen tratamiento para la CCA, ya que esto es lo que permite tener un comportamiento positivo con el paso de los días una vez se empieza a fraguar el concreto, debido a esto se puede decir que la implementación de la CCA en la matriz de concreto en lo que respecta a la resistencia a la compresión es positiva siempre y cuando se hagan los tratamientos adecuados y controlados a esta.

2. EFECTOS DE LA CCA EN LA RESISTENCIA A LA FLEXION DE LA MEZCLA DE CONCRETO

Es una media de la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de concreto no reforzada. La forma de medirla es mediante la aplicación de cargas a vigas de concreto de 6x6 (150 x 150mm) pulgadas en la sección transversal y con mínimo una luz de tres veces el espesor. Esta se denomina como módulo de rotura (MR) en libras por pulgada cuadrada o en Mpa y se determina por métodos de ensayo ASTM C78 (cargada en los puntos tercios) o ASTM C293 (cargada en el punto medios).(National Ready Mixed Concrete Association, 2006)

La flexión se mide según las indicaciones de la norma NTC 2871-16 “Método de ensayo para determinar la resistencia del concreto a la flexión” El cual se utiliza con el fin de determinar la resistencia a la flexión de especímenes preparados y curados basados en las normas ASTM C42, ASTM C31 O ASTM C 192 los resultados se reportan y se calculan como módulo de rotura. Su resistencia varia si existen algunas diferencias en tamaño del mismo, su preparación, curado, condiciones de exposición a humedad y si la viga fue fundida o cortada el tamaño requerido.(ICONTEC, 2016)

La universidad estatal de Arkansas Mohammad Badrul Ahsan junto a Zahid Hossain en su estudio “Uso complementario de la ceniza de cascarilla de arroz (CCA) como material cementante en la industria del hormigón” examinaron los efectos de reemplazar el 10 y el 20% del cemento por ceniza de cascarilla de arroz de tres diferentes tamaños junto a esto se utilizó una ceniza local, pero esta la ignoraremos debido a que esta monografía solo está orientada a la ceniza de cascarilla de arroz.

Tres tipos diferentes de CCA (CCA -1, CCA -2 y CCA -3) fueron utilizado, y sus tamaños de partículas nominales fueron 600 μ m, 150 μ m y 44 μ m, respectivamente. Tanto la CCA -1 como la CCA -2 fueron recogidas de Riceland Foods Inc., mientras que la CCA -3 se obtuvo de la industria comercial, Agrilectric. La CCA -1 se recogió después de la producción inmediata sin ninguna modificación y era de naturaleza muy gruesa. Así pues, la CCA -1 se molió aún más utilizando un molino de martillos (trituradora de impacto) en la planta de Riceland Foods Inc. situada en Stuttgart, para obtener la CCA -2. El molino de martillos utilizado en este estudio era un molino comercial en pequeña escala con una potencia nominal de 85 CV y funcionaba a una velocidad de rotor de 2000 rpm. En el proceso de molienda, la muestra de CCA -1 secada en el horno se introdujo en el molino de martillos que produjo CCA -2. Se observa que tanto la CCA -1 como la CCA -2 tienen un color oscuro, lo que indica la presencia de contenido de carbono no quemado resultante de una combustión incontrolada. Por otro lado, la CCA -3 tiene un color gris, lo que indica la ausencia de contenido de carbono no quemado. (Ahsan & Hossain, 2018)

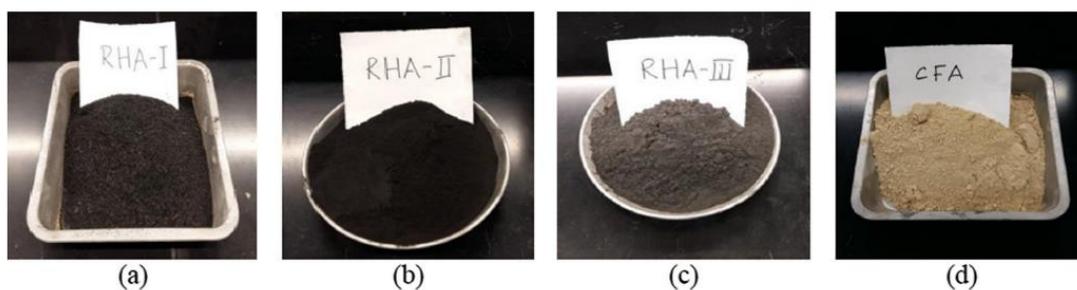
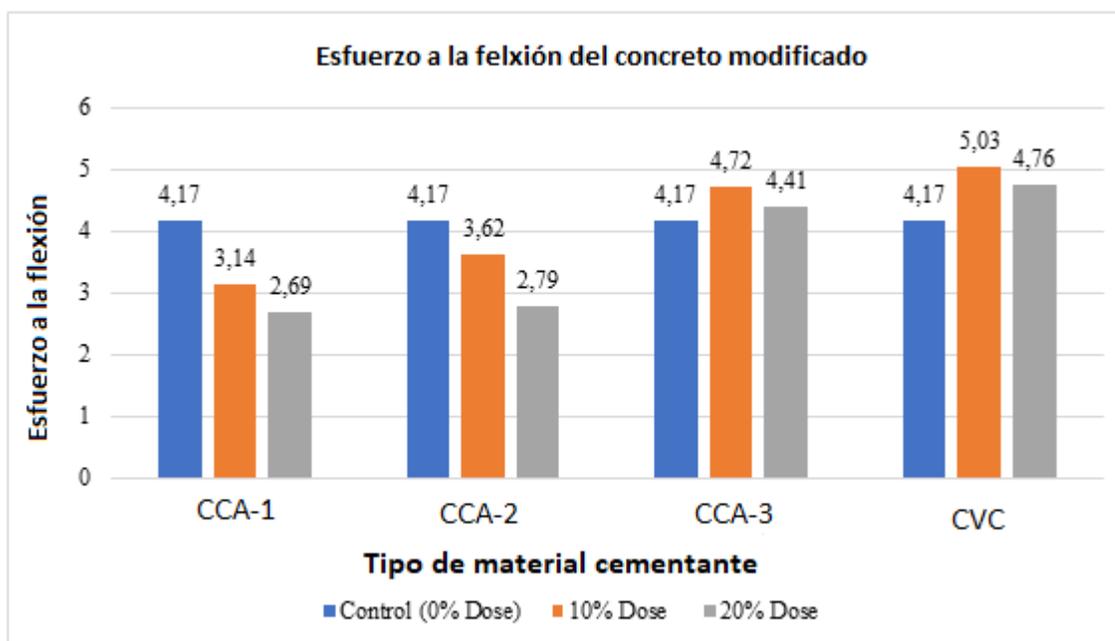


Ilustración 1. CCA usada en la investigación. Fuente. Ahsan & Hossain, 2018.

Para un mejor entendimiento de las imágenes y las gráficas mostradas cabe decir que la sigla “RHA” viene de “Rice Husk Ash” que al traducirlo al español vienen siendo “Ceniza

de Cascarilla de Arroz (CCA)” y “CFA” viene del término “Class C Fly Ash” que en español su traducción será “Cenizas Volantes de Clase C (CVC)”, dicho esto la investigación arrojó los siguientes resultados con respecto a la resistencia a la flexión del concreto una vez se aplicó la ceniza de cascarilla de arroz a la matriz del concreto:



Gráfica 4. Comparación de la fuerza de flexión del concreto modificado. **Fuente.** Ahsan & Hossain, 2018.

Los datos de la resistencia a la flexión, a menudo llamado módulo de ruptura, de las muestras de concreto probadas se presentan en la gráfica 4. Se observa que el resultado de la prueba de resistencia a la flexión también siguió una tendencia similar a la de la resistencia a la compresión y a la tracción. En comparación con el Control, el hormigón modificado con CCA-1 y CCA-2 arrojó una menor resistencia a la flexión, mientras que el hormigón modificado con CCA-3 mostró una mayor resistencia a la flexión. Las resistencias a la flexión del 10% del hormigón modificado con CCA -1 y CCA -2 fueron de 3,14 MPa y 3,62 MPa, respectivamente, lo que representaba aproximadamente el 75% y el 87% de la muestra de Control. Por otra parte, la misma dosis (10%) CCA -3 en las muestras de hormigón mostró un aumento en las resistencias a la flexión de alrededor del 13%, respectivamente, en comparación con la muestra de Control. Por otro lado, hubo un aumento en la resistencia a la flexión cuando se utilizó un 20% de CCA, pero fue menor

que la de las muestras modificadas con un 10% de CCA. Por lo tanto, desde la perspectiva del desarrollo de la resistencia a la flexión, se encontró que un CCA del 10% también era la mejor de las dos dosis consideradas en este estudio.(Ahsan & Hossain, 2018)

Tipo de material cementante flexión

Se puede observar igualmente como el hecho de que las mezclas de CCA-1 y CCA-2 que tienen un color más oscuro son las que tienen un comportamiento negativo con respecto a la resistencia a la flexión del concreto, esto se debe como al igual que a la resistencia a la compresión esas tonalidades oscuras se deben carbono no quemado, dando como resultado un mal comportamiento de la CCA al momento de ser incorporada a la matriz del concreto, por el contrario la mezcla con CCA-3 que tiene un color más grisáceo si presenta los resultados esperados al utilizar la CCA.

En la investigación de Andrés Salas, Silvio Delvasto, Ruby Mejía de Gutiérrez y David Lange de la que ya se habló anteriormente en la sección de resistencia a la compresión se indago sobre la resistencia a la flexión del concreto al momento de agregarle CCA a la matriz del concreto teniendo en cuenta los siguientes parámetros, el módulo de elasticidad y la fuerza de flexión se determinaron a los 56 días. Todas las pruebas se realizaron siguiendo las normas de la ASTM. (Salas et al., 2009) mezcla

Mezcla	E (GPa)	MOR (MPa)
CTRL (control)	29.1	3.7
CCAT	30.2	4.5
HS	31.8	5.1
CCAQ	32.1	5.4

Tabla 4. Módulo de elasticidad y fuerza a la flexión. Fuente. Salas et al., 2009.

En la tabla número 4 se ve reflejado el comportamiento positivo que se espera al momento de incorporarse la CCA a la matriz de concreto, ya sea de la CCA tratada tradicionalmente en donde el incremento con respecto a la muestra de control es del 4% para el módulo de elasticidad y del 21.6% para la fuerza de flexión y si es con la muestra tratada químicamente siendo estos incluso más favorables con un 10.3% para el módulo de elasticidad y 45.9%

para la fuerza de flexión, esto nos muestra claramente una mejoría considerable en la resistencia a la flexión del concreto al momento de agregar la CCA a la matriz del concreto, estos demuestran que la utilización de la CCA trae aspectos positivos en donde el concreto tiende a fallar en los momentos de ponerse a prueba.

3. EFECTO DE LA CCA EN LA RESISTENCIA A LA TENSION DE LA MEZCLA DE CONCRETO

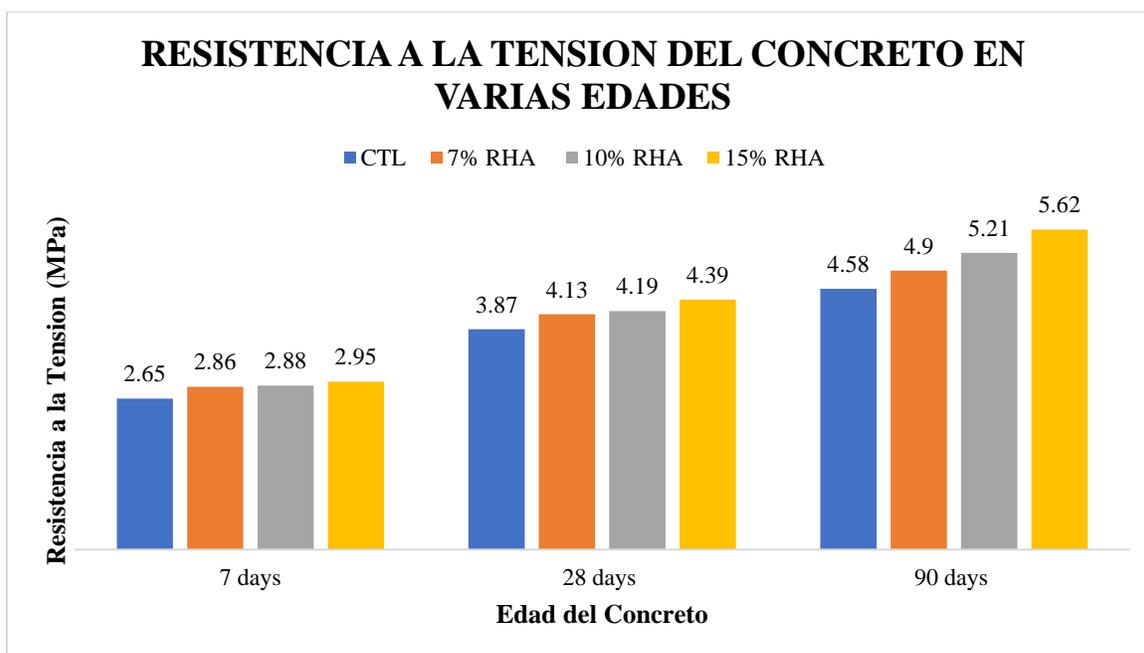
En el diseño de las estructuras la resistencia a tensión del concreto es una propiedad importante, se puede producir agrietamiento bajo algunas condiciones de carga al usar elementos de concreto reforzado o las condiciones ambientales críticas, por lo anteriormente dicho es necesario contar con ecuaciones que permitan predecir la resistencia a la tensión, partiendo de la resistencia a compresión axial del concreto, puesto que es la propiedad más estudiada de este.(Moreno & Varela-rivera, 2016)

Aplicando una fuerza de compresión diametral en la longitud de un espécimen de concreto cilíndrico a una velocidad que se encuentre dentro del intervalo hasta que la falla ocurra es el método de ensayo para determinar la resistencia a la tensión. Esta carga induce esfuerzos de tensión en el plano que contiene la carga aplicada y esfuerzos de compresión relativamente altos en el área inmediatamente circundante a la carga aplicada. Ocurre falla por tensión, no por compresión, debido a que las áreas de aplicación de carga se encuentran en estado de compresión triaxial, lo que les permite soportar esfuerzos de compresión mayores que los indicados en el resultado del ensayo de resistencia a la compresión uniaxial.(ICONTEC, 2000)

En la investigación de A. Ramezianpour de la que ya se ha hablado anteriormente en esta monografía también se hicieron estudios sobre el efecto que tiene la CCA en el concreto con respecto a la resistencia a la tensión del concreto siguiendo los mismos procedimientos del tratamiento a la CCA para optimizar las propiedades de esta y tengan un efecto positivo en el concreto y no uno negativo como se puede ver en la investigación de la universidad de Arkansas realizada por Ahsan y Hossain en el 2018 en donde se ve que al no tener una

quemada controlada de la CCA y queden restos de carbón sin quemar que perjudica al concreto.

Los estudios de A. Ramezaniapour con respecto a la tensión implementando CCA en la matriz del concreto fueron en cilindros de concreto testeados a los 7 días, 28 días y los 90 días en donde la mejoría de la resistencia a la tensión se puede ver desde el día 7 de las pruebas y mediante pasa el tiempo esa mejoría se incrementa de manera significativa como se ve en la siguiente gráfica:

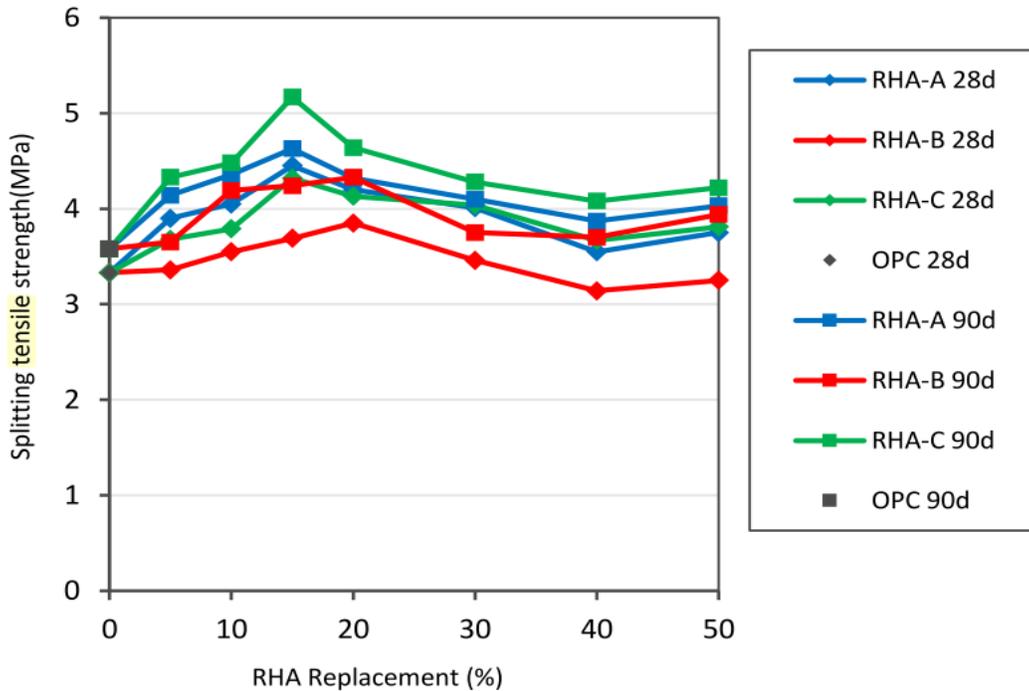


Gráfica 5. Fuerza a la tensión a varias edades de control. Fuente. Ramezaniapour et al., 2009.

La gráfica 5 muestra que el hormigón que contiene CCA tiene una mayor resistencia a la tensión de ruptura que el hormigón de control en todas las edades. Está claro que, a medida que la cantidad de CCA aumenta, la resistencia a la tensión aumenta hasta un 20% con respecto a la muestra de control (CTL en la gráfica). Por ejemplo, a los 90 días el hormigón con 15% de CCA tenía una resistencia a la tensión de 5,62 MPa en comparación con los 4,58 MPa del hormigón de control.(Ramezaniapour et al., 2009)

En diversas investigaciones se ha encontrado un comportamiento positivo en la resistencia a la tensión del concreto al utilizar CCA como lo demuestra Binyamien I. Rasoul, Friederike

K. Gunzel y M. Imran Rafiq en su documento titulado “El efecto de la ceniza de cascarilla de arroz en la resistencia y durabilidad del hormigón a un alto índice de sustitución” en donde muestran que incluso haciendo un reemplazo hasta del 50% de cemento portland ordinario por ceniza de cascarilla de arroz tiene mayor fuerza y durabilidad comparado con el cemento portland ordinario.



Gráfica 6. Porcentaje de reemplazo de CCA. Fuente. Rasoul & Rafiq, 2017.

Los resultados de la resistencia a la tensión de separación a los 28 y 90 días se presentan en la gráfica 6. A partir de la observación, la resistencia a la tensión de división a largo plazo es mayor que el control de todos los porcentajes de reemplazo de la CCA. El aumento de la resistencia a la tracción de división al 50% de reemplazo de CCA es 11,17%, 9,14% y 15,17% para CCA-A, B y C, respectivamente.(Rasoul & Rafiq, 2017)

4. EFECTOS DE LA CCA EN LA DURABILIDAD DEL CONCRETO

La durabilidad del concreto se define como la capacidad que tendrá este de soportar condiciones de trabajo para las que es diseñada la mezcla en la estructura, resistiendo además a los ataques físicos y/o químicos a los que se pueda ver expuesto por las condiciones ambientales. (*Durabilidad Del Hormigón, ¿qué Factores Le Afectan?* | Ingenieros Asesores, n.d.)

De la durabilidad del concreto dependerá al final la vida útil de la estructura para la cual este será o fue utilizado, por lo que es necesario que la mezcla sea compacta, homogénea, mínimamente porosa y resistente. (*Durabilidad Del Concreto* | ARGOS 360, n.d.)

Esto conlleva que al momento de diseñar una mezcla se tengan en cuenta los siguientes aspectos:

Porosidad – Cantidad de espacios vacíos que quedan en la masa de concreto. (*Durabilidad Del Concreto* | ARGOS 360, n.d.)

Absorción – Relación entre la cantidad de agua que penetra los poros saturables y el peso seco de la muestra penetrada por el agua. (*Durabilidad Del Concreto* | ARGOS 360, n.d.)

Permeabilidad – Depende de la granulometría de los agregados, la relación concreto-agregado, y los vacíos generados por los procesos de compactación. Se define como la capacidad que tiene un fluido de atravesar la mezcla. (*Durabilidad Del Concreto* | ARGOS 360, n.d.)

Compacidad del concreto – Afecta la solidez del material y es la capacidad que tienen los componentes sólidos de la masa de acomodarse. (*Durabilidad Del Concreto* | ARGOS 360, n.d.)

Hermeticidad – Capacidad del concreto de retener agua sin escapes visibles. (*Durabilidad Del Concreto* | ARGOS 360, n.d.)

Otros autores como lo son Rodríguez de Sensale en la Universidad de la Republica en Montevideo, Uruguay. Realizo una investigación Titulado “Efecto de la ceniza de cascarilla de arroz en la durabilidad de materiales cementantes”, demostró que la sustitución del cemento por CCA era algo beneficioso para la durabilidad que mejoro el comportamiento de la mezcla demostrando así que un reemplazo racional del cemento por CCA es algo factible.

En esta investigación se utilizaron dos tipos de CCA (una amorfa y otra parcialmente cristalina) con diferentes grados de sustitución y diferentes radios de agua – cemento. Los aspectos que se analizaron fueron: permeabilidad al aire, penetración de iones de cloruro, la expansión álcali – sílice, y la resistencia a los sulfatos y a los ácidos. Para la obtención de los resultados se comparó el comportamiento que tenían las mezclas con CCA con el comportamiento que presentan aquellas que no tienen CCA. (Rodríguez De Sensale, 2010)

Para un mejor entendimiento de los resultados a partir de este momento la ceniza de cascarilla de arroz amorfa será referida como CRHA y la parcialmente cristalina será llamada del modo RRHA.

Como se evidencia en la tabla 5, donde se muestran las proporciones de materiales usados en las diferentes mezclas de concreto, el estudio utilizó radios de agua – cemento de 0.32, 0.40 y 0.50, con porcentajes de sustitución de CCA de 5%, 10% y 15%. Se hicieron mezclas de control, es decir solo con cemento Portland tipo I y otras utilizando RRHA y CRHA, la prueba de slump se realizó inmediatamente al terminar de preparar la masa. El superplastificante, aunque usado en pequeñas cantidades fue más necesario para las mezclas que contenían CRHA, esto se debe a que este tipo de masa tiene una mayor demanda de agua. (Rodríguez De Sensale, 2010)

W/ (C + RH)	CCA (%)	CEMENTO (KG/M ³)	AGREGADO FINO (KG/M ³)	AGREGADO GRUESO (KG/M ³)	SUPERPLAST (%)		SLUMP (MM)	
					RRHA	CRHA	RRHA	CRHA
0.32	0	534	690	1050	0.52		60	
	5	507.5	690	1050	0.55	0.70	80	70
	10	481	690	1050	0.81	0.90	65	70
	15	454	690	1050	0.95	1.00	40	65
0.40	0	462	723	1018	0.10		50	
	5	439	723	1018	0.24	0.26	50	65
	10	416	723	1018	0.20	0.27	45	55
	15	393	723	1018	0.41	0.50	40	65
0.50	0	408	758	983	-		70	
	5	388	758	983	-	0.20	100	80
	10	367	758	983	-	0.30	95	80
	15	347	758	983	-	0.40	40	60

Tabla 5. Proporciones de la mezcla de concreto. **Fuente.** Rodríguez de Sensale, 2010.

Se prepararon tres muestras para cada análisis siguiendo las indicaciones del código Mercosur (NM), luego fueron etiquetadas y curadas, para finalmente ser desmoldadas y curadas nuevamente dependiendo del tipo de prueba al que iba a ser sometidas.

En la tabla 6 vemos cómo se comporta el concreto ante la permeabilidad del aire donde K representa la permeabilidad al gas y ρ la resistencia eléctrica. Se puede observar que la calidad del concreto en casi todas las muestras analizadas fue buena, exceptuando en el radio agua – cemento de 0.50 con la RRHA donde la calidad disminuyó de buena a normal, y el caso opuesto que sucedió con la CRHA en el radio agua – cemento de 0.32 y con porcentajes de reemplazo de CCA de 10% y 15% respectivamente donde la calidad aumentó a muy buena. En general no solo las muestras que contenían CCA mostraron mejores resultados, sino que aquellas que tenían el tipo de ceniza CRHA obtuvieron los mejores. (Rodríguez De Sensale, 2010)

$w/(c + RHA)$	RHA		RRHA		CRHA		
	(%)	$K_t (10^{-16} m^2)$	$\rho (k\Omega cm)$	Conc. Quality	$K_t (10^{-16} m^2)$	$\rho (k\Omega cm)$	Conc. Quality
0.50	0	0.079	10	Good	0.079	10	Good
	5	0.167	8	Normal	0.046	11	Good
	10	0.303	11	Normal	0.074	11	Good
	15	0.459	12	Normal	0.062	13	Good
0.40	0	0.018	13	Good	0.018	13	Good
	5	0.006	13	Good	0.009	15	Good
	10	0.043	12	Good	0.007	14	Good
	15	0.017	12	Good	0.029	17	Good
0.32	0	0.019	17	Good	0.019	17	Good
	5	0.029	15	Good	0.026	18	Good
	10	0.016	18	Good	0.001	17	Very Good
	15	0.011	17	Good	0.002	20	Very Good

Tabla 6. Permeabilidad al aire del concreto a la edad de 28 días. **Fuente.** Rodríguez De Sensale, 2010.

En la tabla 7 se muestra la profundidad de la penetración de los iones cloruros y el coeficiente de difusión (D) por inmersión en agua teniendo una concentración de cloruro igual al 5% por 21 días. Los resultados indican que las muestras que tenían CCA presentaron un mejor comportamiento, siendo de estas las que tenían un porcentaje de 15% de sustitución las mejores. Para el radio de agua – cemento de 0.50 los mejores resultados se obtuvieron con la CRHA, mientras que para los radios de 0.40 y 0.32 se obtuvieron RRHA. (Rodríguez De Sensale, 2010)

$w/(c + RHA)$	RHA	RRHA		CRHA	
	(%)	Depth Cl - (mm)	D (10 -6 mm ² /s)	Depth Cl - (mm)	D (10 -6 mm ² /s)
0.50	0	12.80	5.60	12.80	5.60
	5	12.40	5.30	12.06	5.01
	10	11.54	4.59	12.23	5.15
	15	11.88	4.86	11.43	4.50
0.40	0	9.59	3.17	9.59	3.17
	5	8.46	2.47	9.63	3.19
	10	8.82	2.68	9.78	3.29
	15	7.60	1.99	9.16	2.89
0.32	0	7.36	1.86	7.36	1.86
	5	8.48	2.48	7.76	2.07
	10	8.01	2.21	7.77	2.08
	15	6.90	1.64	7.33	1.86

Tabla 7. Penetración de iones cloruro en el concreto. Fuente. Rodríguez De Sensale, 2010.

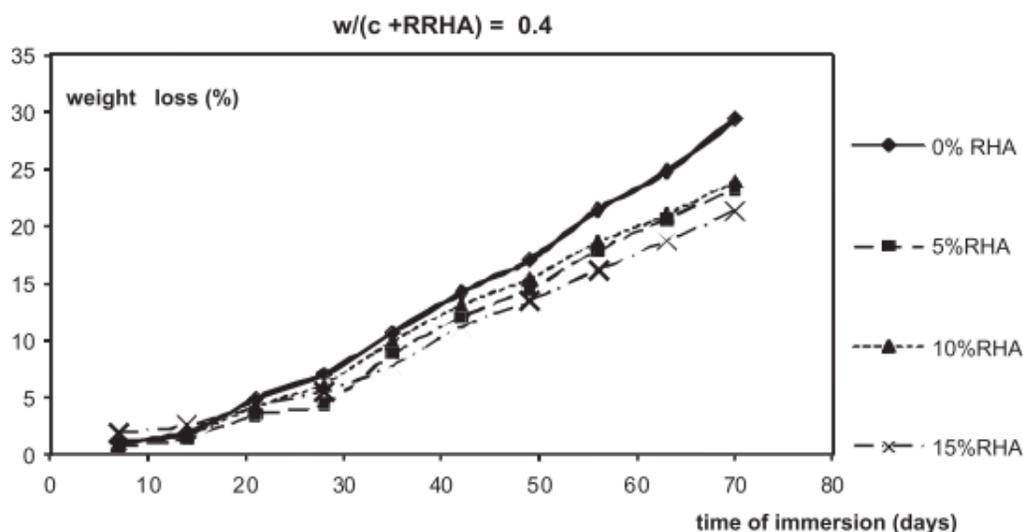
Los resultados mostrados en la tabla 8 se obtuvieron luego de que las muestras fueran sumergidas por 196 días en una solución del 5% de sulfato de sodio. Y se observa que al igual que en los puntos anteriores se obtuvieron mejores resultados en los especímenes que contenían CCA, mostrando una reducción en la expansión por ataque de sulfatos. Los mejores resultados se dieron con CRHA a mayores radios de agua – cemento. (Rodríguez De Sensale, 2010)

$w/(c + RHA)$	RHA (%)	RRHA	CRHA
0.5	5	18	59
	10	29	69
	15	49	85
0.40	5	23	43
	10	31	53
	15	95	71

0.32	5	22	11
	10	33	15
	15	82	55

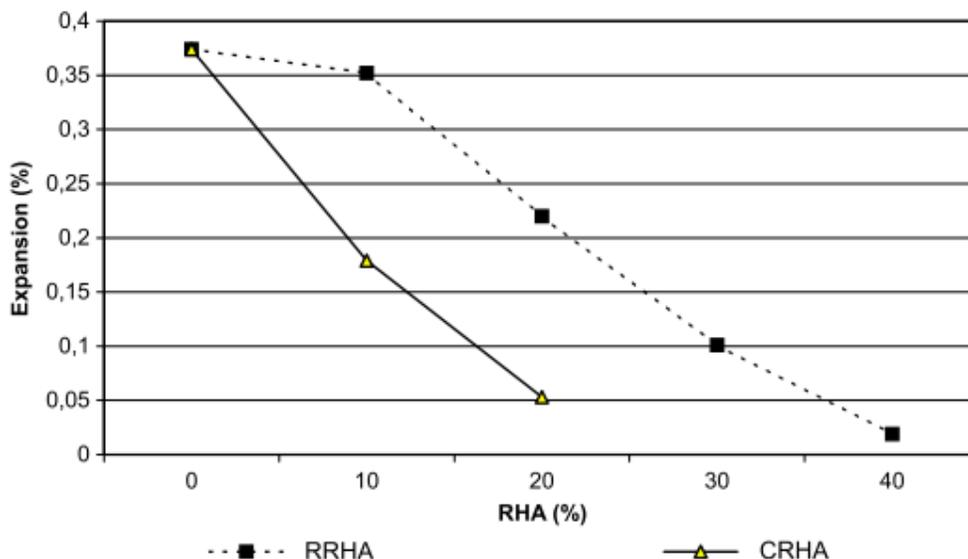
Tabla 8. Reducción en la expansión por sulfatos a las 28 semanas. **Fuente.** Rodríguez De Sensale, 2010.

Como se aprecia en la siguiente gráfica las muestras que contenían CCA fueron más resistentes a la solución hidro clorhídrica. Esto se puede atribuir en parte a la reacción puzolánica causada por el uso de ceniza de cascarilla de arroz que convierte el hidróxido de calcio en C – S – H. (Rodríguez De Sensale, 2010)



Gráfica 7. Porcentaje de pérdida de masa de las muestras sumergidas en 1% de solución de HCl. **Fuente.** Rodríguez De

Como se observa en la gráfica 8, los resultados mostraron que la expansión en las muestras que contenían CCA fue menor. Esto se puede atribuir a que la ceniza de cascarilla de arroz produce menos gel álcali – sílice de la reacción con los alcalinos liberados de la hidratación del cemento. (Rodríguez De Sensale, 2010)



Gráfica 8. Expansión vs RHA (%) a los 14 días en 1 N Na OH a 80°C, usando un agregado reactivo. Fuente: Rodríguez De Sensale.

CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta todas las variables analizadas en los diversos artículos científicos realizados por varios grupos de investigación a nivel nacional e internacional se obtienen las siguientes conclusiones:

La implementación de la CCA en la matriz del concreto presenta un efecto positivo en el comportamiento de su resistencia a la compresión donde el incremento a la resistencia a la compresión tiene un incremento entre 6% y 13% con diferentes porcentajes de reemplazo con respecto a las muestras de control inalteradas a los 28 días y porcentajes incluso mayores mediante el tiempo sigue transcurriendo teniendo porcentajes entre 12% y el 19% cuando el tiempo transcurrido es de 90 días comportamientos similares a estos se presentan igualmente en lo que son la resistencia a la flexión y tensión del concreto.

El implementar CCA como reemplazo por cemento trae consigo varios beneficios tales como el incremento de la resistencia a la compresión, flexión y tracción esto solo haciendo una quema controlada de la ceniza de cascarilla de arroz, pero cabe resaltar que diversas investigaciones realizadas demuestra que hacer tratamientos químicos tales como sumergir la cascarillas de arroz en ácido clorhídrico antes de realizar la quema consigo múltiples

mejorías además de un incremento significativo de resistencias previamente mencionadas, como lo son una mayor superficie específica lo que permite tener una mayor activación de la sílice que contiene la CCA, al igual que un incremento en la actividad puzolánica de esta misma.

El reemplazo del cemento por CCA en la mezcla de concreto trae consigo diversos beneficios desde distintos puntos de vista como lo son en su resistencia a la compresión, pero al mismo tiempo disminuye ciertos puntos importantes como lo son la manejabilidad generando así posibles problemas al momento de aplicarlo en distintas obras sin embargo problemas de este tipo son solucionados utilizando super plastificantes que le devuelven al concreto su comportamiento ideal.

El porcentaje de reemplazo de cemento por CCA ideal de hacer el tratamiento adecuado se encuentra entre el 10% y el 20%, este porcentaje varían en diversos estudios unos más cercanos al 10% y otros al 20% esto es debido a la composición química que tiene cada tipo de arroz, por eso lo ideal sería hacer un estudio con respecto al arroz a utilizar para saber qué porcentaje será el más adecuado para cada situación, porcentajes mayores o menores a estos rangos pueden resultar más perjudiciales para el concreto así que es mejor evitar los usos excesivos de la CCA para evitar problemas a futuro.

Una de las características más utilizadas con la CCA en los documentos tratados es la molienda de esta debido a que esto aumenta el comportamiento puzolánico de la CCA y debido a esto el concreto tenga una mejor durabilidad frente a diferentes factores. Esto también trae como consecuencia que el concreto al momento de reemplazar un porcentaje de cemento por el arroz es un aumento significativo en sus propiedades mecánicas como su módulo de elasticidad y una mayor dureza ya que el concreto tiene una mayor resistencia contra ataque con sulfatos o cloruros una vez la CCA se ha incluido en el concreto.

Por último, se debe agregar que los efectos positivos que surgen al implementar la CCA en la matriz del concreto pueden incrementarse mucho más si posteriormente a la calcinación controlada de la cascarilla de arroz se hacen diversos tratamientos a esta, ya sean tratamientos físicos como la molienda de la CCA o químicos como ya se ha comprobado

en diferentes partes de nuestra monografía. En nuestra opinión el paso a seguir para avanzar aún más con la implementación de la CCA en la matriz de concreto es enfocarse más en trabajar con los porcentajes más óptimos (entre el 10% y 20%) y obviar porcentajes fuera de este rango ya que, aunque pueden traer ciertos beneficios para el concreto no son lo suficientemente buenos para ser relevantes, además algo importante que añadir con nuestra investigación es que se demuestra que la implementación de la CCA es beneficiosa para el sector de la construcción, reduciendo los costos en las obras y ayudando a mitigar el impacto ambiental que la producción de concreto genera, planteando así la posibilidad de que este material sea utilizado en un futuras edificaciones.

<p>Resistencia a la compresión del concreto</p>	<ul style="list-style-type: none"> - El agregar CCA que ha sido calcinada en un ambiente controlado a la matriz de concreto aumenta su resistencia a la compresión. - El hacer un tratamiento extra ya sea químico o físico para mejorar las propiedades que aporta la CCA al concreto incrementa incluso más la resistencia a la compresión del concreto. - El porcentaje más adecuado de reemplazo de cemento por CCA para mejorar la resistencia a la compresión de este es del 10% ya que no disminuye tanto su trabajabilidad.
<p>Resistencia a la flexión del concreto</p>	<ul style="list-style-type: none"> - La resistencia a la flexión se ve afectada positivamente cuando se incluye CCA a la matriz de concreto. - Si la CCA presenta restos de carbono debido a una mala calcinación de la cascarilla de arroz presentara una reducción considerable (aproximadamente del 20%) del esfuerzo a la flexión del concreto.
<p>Resistencia a la tensión del concreto</p>	<ul style="list-style-type: none"> - El esfuerzo a la tensión del concreto a los 28 y 90 días presenta un incremento de hasta el 20% en algunos casos donde el reemplazo de cemento por CCA es igual o mayor e 15%

<p>Durabilidad del concreto</p>	<ul style="list-style-type: none"> - La implementación de CCA en la mezcla de concreto trae como consecuencia un aumento en la capacidad que tiene esta para soportar diferentes condiciones ambientales. - Los mejores resultados en la durabilidad del concreto se obtienen con porcentajes de sustitución entre el 10% y el 15%.
<p>Generales</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Un mal tratamiento de la cascarilla de arroz puede traer efectos negativos al concreto desde el momento en que este empieza a fraguar. - El uso de la cascarilla de arroz sin haber sido previamente calcinada para producir la ceniza o sin un buen tratamiento genera problemas en la mezcla dado que la CA es un material orgánico, que por ende tiene un proceso de descomposición, y además posee altas cantidades de impurezas que causan problemas en la mezcla. - Si además de solo calcinar de manera tradicional la ceniza de arroz para formar CCA se hacen tratamientos físicos como la molienda de la CCA o por el contrario la quema de la cascarilla de arroz se hace de manera química con ataques térmicos se pueden mejorar propiedades de la CCA como lo son la actividad puzolánica, la superficie específica además de una mejor reacción entre el agua y la CCA.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahsan, M. B., & Hossain, Z. (2018). Supplemental use of rice husk ash (RHA) as a cementitious material in concrete industry. *Construction and Building Materials*, 178, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.101>
- Bui, D. D., Hu, J., & Stroeven, P. (2005). Particle size effect on the strength of rice husk ash blended gap-graded Portland cement concrete. *Cement and Concrete Composites*, 27(3), 357–366. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2004.05.002>
- Camargo, N. R. (2015). La ceniza de cascarilla del arroz como aporte a la resistencia de del concreto hidráulico. *Revista Orinoquía, Ciencia y Sociedad*, 33–38.
- DANE. (2020a). *Estadísticas de Cemento Gris (ECG) Diciembre 2019*.
- DANE. (2020b). *Estadísticas de Cemento Gris (ECG) Enero 2020*.
- Durabilidad del concreto | ARGOS 360*. (n.d.). Retrieved February 18, 2021, from <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/durabilidad-del-concreto-definiendo-la-frase>
- Durabilidad del hormigón, ¿qué factores le afectan? | Ingenieros Asesores*. (n.d.). Retrieved February 18, 2021, from

<https://ingenierosasesores.com/actualidad/durabilidad-del-hormigon/>

Federación Nacional de Arroceros. (2017). *IV Censo Nacional Arroceros 2016*.

ICONTEC. (2000). NTC 722:2000. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 21–25. <http://www.elsevier.com/locate/scp>

ICONTEC. (2016). *Ntc 2871-16*.

Instron. (n.d.). *Compressive Strength - Instron*. Retrieved February 17, 2021, from <https://www.instron.us/en-us/our-company/library/glossary/c/compressive-strength>

Khan, R., Jabbar, A., Ahmad, I., Khan, W., Khan, A. N., & Mirza, J. (2012). Reduction in environmental problems using rice-husk ash in concrete. *Construction and Building Materials*, 30, 360–365. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.11.028>

Moreno, E. I., & Varela-rivera, J. (2016). *Resistencia a Tensión Del Concreto Tensile Strength of Concrete With High Absorption Limestone Aggregate*. 8. <http://www.scielo.org.mx/pdf/ccid/v8n1/2007-3011-ccid-8-01-00035.pdf>

National Ready Mixed Concrete Association. (2006). CIP 16 Resistencia a Flexión del concreto. *Concrete in Practice*, 2. <https://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP16es.pdf>

Ramezaniapour, A. A., Mahdikhani, M., & Ahmadibeni, G. (2009). The effect of rice husk ash on mechanical properties and durability of sustainable concretes. *International Journal of Civil Engineering*, 7(2), 83–91.

Rasoul, B., & Rafiq, M. I. (2017). *The Effect of Rice Husk Ash on the Strength and Durability of Concrete at High Replacement Ratio*. September. <https://doi.org/10.2412/mmse.31.86.30>

Rodríguez De Sensale, G. (2010). Effect of rice-husk ash on durability of cementitious materials. *Cement and Concrete Composites*, 32(9), 718–725. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2010.07.008>

- Salas, A., Delvasto, S., de Gutierrez, R. M., & Lange, D. (2009). Comparison of two processes for treating rice husk ash for use in high performance concrete. *Cement and Concrete Research*, 39(9), 773–778. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2009.05.006>
- Serrano, T., Borrachero, M. V., Monzó, J. M., & Payà, J. (2012). Lightweight mortars with rice husk: Mix design and properties evaluation. *DYNA (Colombia)*, 79(175), 128–136.
- Taylor, H. F. W. (1978). *La química de los cementos I*. Urmo.
- Técnica, N. (2010). *Concretos. ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto*. 571.
- Xu, W., Lo, Y. T., Ouyang, D., Memon, S. A., Xing, F., Wang, W., & Yuan, X. (2015). Effect of rice husk ash fineness on porosity and hydration reaction of blended cement paste. *Construction and Building Materials*, 89, 90–101. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.04.030>
- Zerbino, R., Giaccio, G., & Isaia, G. C. (2011). Concrete incorporating rice-husk ash without processing. *Construction and Building Materials*, 25(1), 371–378. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.06.016>