

Concreto Ligerio utilizando Cáscara de Nuez.

Lightweight Concrete using Nutshell.



M.C. Francisco Javier de la Cruz Acosta

Ingeniero Civil
Profesor-Investigador
Candidato a Doctor en Ingeniería
Profesor de la Facultad de Ingeniería Ciencias y Arquitectura de la Universidad Juárez del estado de Durango. México
E-mail: javi_fco2002@hotmail.com.



Dr. Agustín Sáenz López

Doctor en Ingeniería
Profesor-Investigador
Profesor de la Facultad de Ingeniería Ciencias y Arquitectura de la Universidad Juárez del estado de Durango. México
Coordinador de investigación FICA-UJED
E-mail: agusgplmx@yahoo.com.mx



Dr. Facundo Cortés Martínez

Doctor en Ingeniería
Profesor-Investigador
Profesor de la Facultad de Ingeniería Ciencias y Arquitectura de la Universidad Juárez del estado de Durango. México
E-mail: facundo_cm@yahoo.com.mx

Recibido: 14-12-14

Aceptado: 30-01-15

Resumen:

Una solución al problema de la densidad que presentan los concretos tradicionales son los concretos ligeros que son elaborados utilizando agregados ligeros. Estos han mostrado tener un gran potencial para desarrollar concretos más ligeros con suficiente resistencia para ser considerados en elementos estructurales, donde no se necesita mucha resistencia. En este trabajo se utilizó un subproducto agrícola que es la cáscara de nuez para la fabricación de un concreto ligero, la cantidad de cáscara de nuez que se agregó fue el 10%, 15% y 20% del peso del concreto. La mezcla consistió de un mortero de cemento, arena, agua, cáscara de nuez y humo de sílice, éste último se utilizó para estudiar el incremento en la resistencia en la compresión cuando se utiliza como agregado ligero cáscara de nuez. Entre los resultados obtenidos tenemos, que la

*M.C. Francisco Javier de la Cruz Acosta, Dr. Agustín Sáenz López, Dr. Facundo Cortés Martínez.
Concreto Ligero utilizando Cáscara de Nuez.*

resistencia de los cilindros en la prueba de compresión con solamente cáscara de nuez sin humo de sílice, tiene un valor óptimo con el 15% de cáscara de nuez cuando ésta se toma como un agregado grueso. Mientras que la mezcla de 15% de cáscara de nuez con diferentes porcentajes de humos de sílice, muestran una tendencia creciente de la resistencia a la compresión en todo el rango de proporciones que se investigó.

Palabras clave: Concreto liviano, Cáscara de nuez, Humo de sílice, Resistencia a compresión.

Abstract:

A solution to the problem of the density of the traditional concrete are the lightweight concrete that are developed using lightweight aggregates. These have been shown to have a great potential for developing concrete more light with sufficient strength to be considered in structural elements where it doesn't take much resistance. In this study we have used a agricultural byproducts which is pecan nut shell for the manufacture of a lightweight concrete, the amount of pecan nut shell that was added was 10 %, 15% and 20% of the weight of the concrete. The mixture consisted of a mortar with cement, sand, water, pecan nut shell and fume of silica, the latter was used to study an increase in the resistance in the compression when it is used pecan nut shell lightweight aggregate. Some of the results are that the resistance of the cylinders on the compression test with only pecan nut shell without fume of silica, has an optimum value with 15% of pecan nut shell when this is taken as a coarse aggregate. While the mixture of 15% of pecan nut shell with different percentages of silica fume, show a growing trend of the compressive strength in the entire range of proportions that it was investigated.

Keywords: Lightweight concrete, Nutshell, Silica Fume, Compressive strength

Introducción:

El concreto es un material masivo y pesado que es comúnmente usado en la construcción de grandes obras como edificios, puentes y muchas otras estructuras. El peso de este material es un parámetro negativo en el diseño de estas obras, por lo que una reducción en su peso ayudaría en gran medida a los diseñadores. Una alternativa del concreto tradicional es el concreto ligero, el cual presenta menos densidad pero que está acompañado de una menor resistencia. Actualmente existen una gran cantidad de concretos ligeros que están siendo manufacturados hoy en día que pueden ser útiles para otro tipo de estructuras y no necesariamente las grandes obras. Los romanos fueron los iniciadores de la elaboración de los concretos ligeros usando agregados naturales de los depósitos volcánicos. Después del desarrollo del cemento Portland al inicio de 1800, llevó tiempo el descubrir y desarrollar los agregados ligeros manufacturados hasta el inicio de 1900 que se pudo llevar al concreto ligero estructural, a una completa maduración. La idea principal de los concretos ligeros es reducir el peso muerto del concreto para ser usado en estructuras que permita al diseñador reducir el tamaño de los elementos estructurales así como las dimensiones de los cimientos.

Un concreto normal tiene una densidad aproximada de $2,500\text{kg/m}^3$ mientras que los concretos ligeros están en el rango de los $1,400\text{ Kg/m}^3$ y $2,000\text{ Kg/m}^3$. Muchos trabajos de investigación se han realizado para mejorar las propiedades del concreto ligero añadiendo nuevos materiales; los materiales pueden ser naturales, reciclados, sintéticos o subproductos de un proceso industrial. La idea principal de estos materiales ligeros es reemplazar los agregados o el cemento, o también como aditivo.

Entre los agregados ligeros que han sido investigados y que son subproductos de procesos industriales agrícolas tenemos, la palma de aceite, este subproducto es el que actualmente se ha investigado en más ocasiones [Abdullah, 1984, 1996; Okafor, 1988; Falad, 1992; Basri *et al.*, 1999; Mannan and Ganapathy, 2001; Mannan and Ganapathy, 2004; Teo *et al.*, 2007]. También se ha realizado investigación con semilla de dátil [Aka *et al.*, 2013]. Mazorca de maíz [Pinto *et al.* 2012]. En esta investigación se utiliza la cáscara de nuez como agregado ligero ya que este producto se genera en grandes cantidades anualmente en esta región como subproducto de un proceso industrial y se desea utilizarlo como un agregado ligero en la producción del concreto ligero.

La piedra pómez es uno de los agregados ligeros naturales más antiguos usados en la construcción. Durante la acción volcánica, la salida de gases del magma que se está enfriando produce pequeños huecos que da como resultado una estructura porosa en la piedra pómez. Amplias investigaciones han sido enfocadas en las propiedades del concreto con agregado ligero piedra pómez y su influencia en el porcentaje del mismo en la mezcla [Hossain *et al.* 2007. Hossain 2004. Hossain KMA. 2004. Hossain KMA. 2004. Gündüz *et al.* 2005. Yeginobali *et al.* 1998. Cavaleri *et al.* 2003. Gündüz *et al.* 2008.] Estas investigaciones indican que el concreto con agregado ligero piedra pómez puede satisfacer los requerimientos de los concretos estructurales semi-ligeros [Hossain *et al.* 2007. Hossain 2004. Hossain KMA. 2004. Hossain KMA. 2004. Gündüz *et al.* 2005.]. Las resistencia a la compresión (28-day) llegan a los 55 MPa que fueron alcanzadas incorporando agregados de piedra pómez de Turquía [Yeginobali *et al.* 1998]. Además, la efectividad del concreto con agregado ligero piedra pómez ha sido demostrada para paneles de pared estructural [Cavaleri *et al.* 2003].

Otro agregado ligero natural que se ha investigado en concretos semi-ligeros es la escoria volcánica, encontrando que este material puede ser usado en la producción industrial del concreto semiligero [Topcu 1997].

Entre los problemas que se han encontrado en la utilización de los agregados ligeros, es que estos presentan una muy alta absorción de agua, que tiende a reducir la trabajabilidad cuando se elabora la mezcla. Por lo tanto, los agregados son generalmente pre-humedecidos para evitar la absorción del agua y así afectar en lo mínimo la trabajabilidad; aun así se presenta una tendencia de incrementar la cantidad de agua, que llevaría a una reducción en la resistencia del concreto.

Como mencionamos anteriormente, una gran cantidad de trabajos se han llevado a cabo utilizando agregados ligeros naturales y artificiales para producir concreto ligero, sin embargo hasta ahora no se ha utilizado la cáscara de nuez como un agregado ligero para la elaboración de este concreto. La gran cantidad de este material que se produce anualmente y que es considerado como desecho es un incentivo para la investigación del concreto con este subproducto natural.

Materiales:

Cemento

En este trabajo se usó un cemento Gris CPC 30R. Norma NMX – C- 414 – ONNCCE.

Agregado Ligero

El agregado ligero que se usó fue arena de río y la cáscara de nuez, cuyas propiedades se presentan en la Tabla 1. La cáscara de nuez que fue empleada en la dosificación, fue triturada para después ser tamizada. La arena de río que se usó en las mezclas tenía un diámetro que variaba entre 0,0625 y 2 mm.



Foto 1: Preparando la Cáscara de nuez para peso volumétrico suelto y compacto (PVS Y PVC)

Tabla 1.- Características de los materiales Cáscara de Nuez y arena de río

Cáscara de nuez		Arena de Río	
Contracción lineal	-	Contracción lineal	1.5%
Materia orgánica	-	Materia orgánica	1.2%
Equivalente de arena	-	Equivalente de arena	48.5%
Módulo de finura	-	Módulo de finura	2.98
Peso vol. Suelto	450 kg/m ³	Peso vol. Suelto	1480 kg/m ³
Peso vol. Compacto	505 kg/m ³	Peso vol. Compacto	1535 kg/m ³
Color	Marrón claro	Perdida por Lavado	3.5%
Forma	Angular	Contaminación por Grava	1.8%
Densidad	0.7 g/cm ³	Densidad	2.62 kg/m ³
Absorción	38.5%	Absorción	7.25%

Humo de sílice (HS):

Es un material puzolánico de alta reactividad, subproducto del desecho de la fabricación de silicio metálico y aleaciones de ferrosilíce. Su proceso es resultado de la reducción de cuarzo de pureza elevada (SiO₂) con carbón en hornos de arco eléctrico, a temperaturas mayores a 2,000 °C. Debido a su finura varias veces superior a la del cemento, este compuesto mineral en la mezcla de concreto permite la disminución de los poros.

Agua

Agua Potable de la que se surte a la población de la ciudad de Gómez Palacio, Durango, México.

Método:

Se diseñó la mezcla siguiendo el método de volúmenes absolutos del Instituto Americano de Concreto (ACI 211). Se utilizó una relación A/C de 0.47 que corresponde a un concreto de calidad. Los materiales constituyentes para esta mezcla, fue arena, cemento gris, cáscara de nuez, después de mezclarlos se homogeneizaron utilizando una mezcladora eléctrica, enseguida se incorporó agua, para después agregar el humo de sílice. Para la homogeneización y el mezclado de la pasta, la mezcladora estuvo operando durante intervalos de 5 minutos, esto con el fin de ir verificando la consistencia de la mezcla, después de tres intervalos de 5 minutos se pudo apreciar una buena consistencia de la misma. La temperatura ambiente y la humedad durante la elaboración de la mezcla fueron de 32° grados centígrados y 30% de humedad, al vaciar la mezcla en los cilindros y vigas la temperatura inicial de la mezcla fue de 36° hasta llegar a los 39° centígrados. Las dimensiones de los cilíndricos fueron de 100 x 200 mm y las vigas de 150x150x600 mm.

Se elaboraron seis tipos de mezclas. En las tablas 2 a la 7 se presentan la dosificaciones que se elaboraron, las tres primeras corresponde a una mezcla con adición de cáscara de nuez del 10%,15 y 20%, sin agregar humos de sílice, mientras que en las tablas 5,6 y 7 se tiene una mezcla con 15% de cáscara de nuez y 10%,15% y 20% de humo de sílice.

Tabla 2: Datos de la dosificación de un concreto liviano 10% de cáscara de nuez

Materiales	Para 1m ³	Para la mezcla
Cemento	510 kg.	7.930 kg.
Arena	848 kg.	13.186 kg.
Agua	240 lts.	4.732lts.
Nuez	762 kg.	1.184 kg.

Tabla 3: Datos de la dosificación de un concreto liviano 15% de cáscara de nuez

Materiales	Para 1m ³	Para la mezcla
Cemento	510 kg.	7.930 kg.
Arena	848 kg.	13.186 kg.
Agua	240 lts.	4.732 lts.
Nuez	762 kg.	1.777 kg.

Tabla 4: Datos de la dosificación de un concreto liviano 20% de cáscara de nuez

Materiales	Para 1m ³	Para la mezcla
Cemento	510 kg.	7.930 kg.
Arena	848 kg.	13.186 kg.
Agua	240 lts.	4.732 lts.
Nuez	762 kg.	2.369 kg.

Tabla 5: Datos de la dosificación de un concreto liviano con el 15 % de cáscara de nuez y 10% de Humo de sílice

Materiales	Para 1m ³	Para la mezcla
Cemento	510 kg.	7.930 kg.
Arena	848 kg.	13.186 kg.
Agua	240 lts.	4.732 lts.
Nuez	762 kg.	1.777 kg.
Humo de sílice	51 kg.	0.793 kg.

Tabla 6: Datos de la dosificación de un concreto liviano con el 15% de cáscara de nuez y 15% de Humo de sílice

Materiales	Para 1m ³	Para la mezcla
Cemento	510 kg.	7.930 kg.
Arena	848 kg.	13.186 kg.
Agua	240 lts.	4.732 lts.
Nuez	762 kg.	1.777 kg.
Humo de sílice	76.5 kg.	1.189 kg.

Tabla 7: Datos de la dosificación de un concreto liviano con el 15% de cáscara de nuez y 20% de Humo de sílice

Materiales	Para 1m ³	Para la mezcla
Cemento	510 kg.	7.930 kg.
Arena	848 kg.	13.186 kg.
Agua	240 lts.	4.732 lts.
Nuez	762 kg.	1.777 kg.
Humo de sílice	102 kg.	1.586 kg.

M.C. Francisco Javier de la Cruz Acosta, Dr. Agustín Sáenz López, Dr. Facundo Cortés Martínez.
Concreto Ligero utilizando Cáscara de Nuez.

Las probetas fueron desmoldadas a las 24 horas, en total se hicieron 60 probetas, fueron 20 vigas y 40 cilindros.

Para el curado se sumergieron en agua en su totalidad las muestras de concreto liviano, durante 28 días, para después ser ensayadas en la maquina universal.

Resultado y discusión:

Las pruebas a que fue sometido el concreto ligero desarrollado con cáscara de nuez y humo de sílice, fueron la densidad, resistencia a la compresión, la resistencia a la flexión y factor de compactación. Los resultados y la discusión de estas pruebas se presentan a continuación.

Factor de compactación

Los valores para el factor de compactación de las mezclas se muestran en la tabla 8, observamos que hay poca reducción del factor de compactación con el 15% de cascara de nuez y 10% de humo de sílice, pero que se incrementa conforme se incrementa el humos de sílice, hasta llegar a un 20% de reducción del factor de compactación. Comparados con los valores reportados en la literatura, los valores con el 15% y 20% de humo de sílice, son iguales y más grande respectivamente con el mayor valor de factor de compactación reportado para concretos ligeros [Javed Ahmad Bhat, 2012].



Foto 2. Llenado de la tolva superior para la prueba de factor de compactación.

Tabla 8.- Factor de Compactación con 15% de cáscara de nuez y 10%,15% y 20%, humo de sílice.

Mezcla	Factor de compactación	Factor de compactación (reducción)
Sin nuez, sin H.C.	0.960	
15% de cascara de nuez y 10% de humo de sílice.	0.935	2.67%
15% de cascara de nuez y 15% de humo de sílice.	0.870	10.34%
15% de cascara de nuez y 20% de humo de sílice.	0.800	20%

Resistencia a la compresión

Se prepararon muestras cilíndricas de concreto, sin agregado ligero y con agregado ligero, sirviendo como referencia las primeras muestras para las que contenían agregado ligero. La resistencia de compresión de las muestras de referencia (sin agregado ligero y sin humo de sílice) dio un valor medio de 150 Kg/cm². Estas muestras de referencia contenían solamente cemento, agregado fino y agua. Todas las muestras fueron ensayadas en la Máquina Universal Hidráulica. A una velocidad de 2.5 kg/cm²/seg. Los resultados de las muestras con los agregados ligeros se muestran en las Tablas 9, 10 y 11.

En la tabla 9 tenemos las pruebas de concreto con 10%,15% y 20% de cáscara de nuez sin contenido de humo de sílice, así como los valores de la desviación estándar de los resultados. Los porcentajes con respecto de la muestra de referencia (cemento, arena y agua), de esta tabla muestran que con el 10% de agregado ligero la resistencia a la compresión disminuye un 26.5% de la mezcla de referencia, pero ya con el 15% tenemos solamente una disminución del 8.16% para después caer al 14.06% con el 20% de la cáscara de nuez, esto nos indica que el 15% de cáscara de nuez es la cantidad con la cual tiene una menor disminución respecto a la resistencia a la compresión. Se desconoce la razón por la cual el 15% de cáscara de nuez incrementa la resistencia a la compresión, es necesario llevar a cabo estudios que permitan explicar dicho fenómeno. En la última columna de la tabla 8 se muestra los valores de la desviación estándar.

Por lo que podemos suponer que con este porcentaje de cáscara de nuez, el mortero sufre una disminución en la resistencia a la compresión que se encuentra entre 26.5% y 8.16%, comparados con los otros trabajos sobre los concretos tenemos que, cuando se utiliza como agregado ligero desecho de llantas de vehículos tenemos una disminución del 80.3% [El-Gammal 2010]. Cuando se utiliza huesos de animal triturados tenemos una disminución en la resistencia a la compresión del 30% cuando se reemplaza el 50% del agregado grueso con partículas de hueso del mismo tamaño [Javed Ahmad Bhat 2012]. Para el concreto ligero utilizando pulpa de papel de desecho, tenemos una reducción del 31.6% en la reducción de la resistencia a la compresión, cuando se agrega un 20% de pulpa de papel en la mezcla. Cuando se utiliza semilla de dátil como reemplazo del agregado grueso tenemos una reducción del 9.1% cuando se reemplaza 25% del agregado grueso por semilla de dátil.

Del análisis anterior podemos observar que la cáscara de nuez comparado con estos agregados ligeros se encuentra entre los componentes ligeros que menos reduce la resistencia a la compresión de las pasta elaboradas con estos componentes.

En la tabla 10, se muestran los resultados de las pruebas de compresión con las muestras cilíndricas hechas con un concreto que contenía 15% de cáscara de nuez y 10%, 15% y 20% de humo de sílice, así como los valores de la desviación estándar de los resultados. Con el 10% de humos de sílice, vemos que se tiene una disminución en la resistencia a la compresión del 4.89% con respecto de la muestra de referencia, pero conforme se incrementa el contenido de sílice, hasta alcanzar un 5.57% de resistencia mayor que el valor de referencia cuando se agrega el 20% de humos sílice. Este comportamiento es el reportado por otras publicaciones [Debabrata 2013] que mencionan que el humo de sílice incrementa la resistencia del concreto cuando éste se mezcla con agregado ligero, sin embargo hasta ahora no se tenía conocimiento que este mismo comportamiento se llevara a cabo con la cáscara de nuez.

Tabla 9.- Resistencia a la compresión del concreto con 10%, 15% y 20% de cáscara de nuez, con un tiempo de curado de 28 días.

% de cáscara de nuez	Resistencia en kg/m ²	% Que disminuye con el concreto normal	Desviación Estándar
10%	118.50	-26.5	2.6378
15%	138.68	-8.16	2.0227
20%	131.50	-14.06	2.3765

Tabla 10.- Resistencia a la compresión del concreto con 15% de cáscara de nuez y con 10%, 15% y 20% de humo de sílice en los porcentajes y con un tiempo de curado de 28 días.

% de humo de sílice	Resistencia en kg/m ²	% de incremento con el concreto normal	Desviación Estándar
10%	143.00	-4.89%	2.3344
15%	148.92	-0.72%	3.7520
20%	158.85	5.57%	1.5027

En la tabla 10, se muestran los resultados de las pruebas a un concreto sin cáscara de nuez y con 10%, 15% y 20% de humo de sílice, así como los valores de la desviación estándar. Aquí se observa que las muestras de concreto sufren un incremento en la resistencia, que es por arriba de la resistencia de la muestra de referencia, en la literatura [Debabrata 2013] se reporta que los incrementos de la resistencia para un concreto normal con 10%, 15% y 20% de humo de sílice, es de 3.8% de incremento, mientras que en este trabajo se obtuvo un incremento (máximo) del 18.5% para un concreto ligero sin agregado grueso.

Para el concreto mezclado con humo de sílice y una relación agua/cemento del 0.42 [Katkhuda 2009], parecida a la relación con que se elaboró la pasta de este trabajo, nos da un incremento creciente conforme se agrega el humo de sílice hasta llegar al 33.3% de incremento en la resistencia a la compresión, con una adición del 25% de humo de sílice, como en este trabajo se tiene un 18.5% de incremento para el 20% de humo de sílice, podemos decir que la pasta con estas características presenta el mismo incremento en la resistencia a la compresión que el concreto adicionado con humo de sílice.

Tabla 11.- Resistencia a la compresión del concreto con humo de sílice en los porcentajes 10%,15% y 20%, sin cáscara de nuez y con un tiempo de curado de 28 días.

% de humo de sílice	Resistencia en kg/m ²	% de incremento con el concreto normal	Desviación Estándar
10%	155.7	3,8%	1.9121
15%	160.2	6.8%	3.5865
20%	177.8	18.5%	4.2948

En la literatura existen muy pocos trabajos realizados con pasta de cemento mezclado con agregado ligero, la mayoría de los trabajos se realizan substituyendo el agregado grueso o el agregado fino (arena).

Resistencia a la flexión:

Las muestras para las pruebas de flexión fueron vigas prismáticas de 150x150x600 mm. Ensayadas en la misma máquina, Los resultados de la prueba de la viga que nos sirvió de referencia nos dan un valor de 17.13 kg/cm². De la tabla 10 vemos que con 10% de cáscara de nuez existe una disminución en la resistencia a la flexión del -7.7%, pero que se incrementa conforme se incrementa el contenido de cáscara de nuez, hasta llegar a un 2.7%, este último valor casi corresponde a los valores de resistencia a la flexión de la viga de referencia por lo que podemos mencionar que aun cuando la cáscara de nuez disminuye la resistencia a la flexión el humo de sílice lo incrementa hasta alcanzar el valor de la muestra de referencia.



Foto 3.- Prueba a Flexión con agregado Cáscara de Nuez y Humo de Sílice, con diferentes porcentajes

Tabla 12.- Resistencia a la Flexión del concreto con 15% de cáscara de nuez y con humo de sílice en los porcentajes 10%,15% y 20%, con un tiempo de curado de 28 días.

% de humo de sílice	Resistencia en kg/cm ²	% de incremento con el concreto normal	Desviación Estándar
10%	15.80	-7.7%	1.7595
15%	17.28	0.87%	0.8471
20%	17.60	2.7%	0.9435

Densidad

Para aplicaciones estructurales del concreto ligero, la densidad es a menudo más importante que la resistencia [Javed Ahmad Bhat 2012]. En la tabla 14, se muestra los resultados de la densidad de la mezcla de concreto con 15% de cáscara de nuez y con 10%,15% y 20% de humo de sílice. Se observa una disminución en la densidad con respecto a la del concreto de referencia con solamente 15% de cáscara de nuez, es debido al incremento en el peso del humo de sílice que se agrega al concreto pero conservando la misma cantidad de cemento que en la muestra de referencia. Estos valores de densidad corresponden a los concretos ligeros que se encuentran entre los 1,400 kg/m³ y los 1,800 kg/m³ que la literatura de esta área reporta como concretos de tipo ligero [Javed Ahmad Bhat, 2012]. Los valores aquí obtenidos son 1,523.47 kg/m³, 1,549.02 kg/m³ y 1,601.19 kg/m³ para los porcentajes de 10%, 15% y 20% de humo de sílice respectivamente.

Tabla 14.- Densidad de concretos con 15% de cáscara de nuez y 10%,15% y 20%, humo de sílice

% de humo de sílice	Densidad en kg/m ³
10%	1,523.47
15%	1,549.02
20%	1,601.19

Conclusiones:

Los resultados de este trabajo de investigación en los concretos livianos serán los siguientes:

- 1.- Con un 15% de cáscara de nuez sin humo de sílice, se obtuvo un resultado sorprendente, el cual no se esperaba, ya que se obtiene un valor máximo en la resistencia a la compresión, que está por arriba de las dosificaciones con el 10% y 20%, por qué se obtiene este resultado, todavía no se puede explicar, ya que se esperaba que la resistencia a la compresión disminuyera conforme se incrementara el porcentaje del agregado ligero, es necesario hacer mas estudios para poder explicar este fenómeno.
- 2.- En las pruebas de resistencia a la flexión para muestras con 15% de cáscara de nuez y 10%, 15% y 20% de humo de sílice, no se encontró alguna variación significativa con respecto al concreto normal, en la misma dosificación pero sin cáscara de nuez y humo de sílice.
- 3.- La cáscara de nuez puede ser usado como un agregado ligero de un mortero, y con humo de sílice se puede obtener un mortero con características de resistencia a la compresión y a la flexión semejantes al mortero normal.
- 4.- Las mezclas con 15% de cáscara de nuez y con 10%, 15% y 20% de humo de sílice, presenta un incremento creciente en la resistencia a la compresión, conforme se incrementa el porcentaje de sílice.
- 5.- El humo de sílice mejora la unión entre la cáscara de nuez y la pasta de cemento incrementando la resistencia a la compresión de la mezcla.

Referencias:

- Abdullah A.A.A. 1984. Basic Strength Properties of Lightweight Concrete Using Agricultural Wastes as Aggregates. Proceedings of International Conference on Low-cost Housing for Developing Countries, Roorkee, India.
- Aka Adefemi; Muhammad Hassan Nensok; Ephraim Tersoo Ka'ase; Idris Abubakar Wuna. (2013) Exploratory Study of Date Seed as Coarse Aggregate in Concrete Production, Civil and Environmental Research, Vol 3, No.1.
- Basri H.B., Mannan M.A. and Zain M.F.M. 1999. Concrete using waste oil palm shells as aggregate. Cem. Con. Res. 29: 619-622.
- Cavaleri L, Miraglia N, Papia M. 2003. Pumice concrete for structural wall panels. Engineering Structures, No. 1, 25(2003) 115-25.
- Debabrata Pradhan, D. Dutta. 2013. Influence of Silica Fume on Normal Concrete. Debabrata Pradhan et al. Int. Journal of Engineering Research and Applications. Vol. 3, Issue 5, Sep-Oct 2013, pp.79-82
- El-Gammal, A., Abdel-Gawad A. K., El-Sherbini Y., Shalaby A.. 2010. Compressive Strength of Concrete Utilizing Waste Tire Rubber. Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences (JETEAS) 1 (1): 96-99
- Falade F. 1992. The use of palm kernel shells as coarse aggregate in concrete. Journal of Housing Science. 16(3): 213-219.

*M.C. Francisco Javier de la Cruz Acosta, Dr. Agustín Sáenz López, Dr. Facundo Cortés Martínez.
Concreto Ligero utilizando Cáscara de Nuez.*

Gündüz L, Uğur İ. 2005. The effects of different fine and coarse pumice aggregate/ cement ratios on the structural concrete properties without using any admixtures. *Cement and Concrete Research*, No. 9, 35(2005) 1859-64.

Gündüz L. 2008. The effects of pumice aggregate/ cement ratios on the low-strength concrete properties. *Construction and Building Materials*, No. 5, 22(2008) 721-8.

Hossain KMA, Lachemi M. 2007. Design, strength, durability and fire resistance of lightweight concrete with pumice aggregate. *ACI Materials Journal*, No. 5, 104(2007) 449-57.

Hossain KMA. 2004. Properties of volcanic pumice based cement and lightweight concrete. *Cement and Concrete Research*, No. 2, 34 (2004) 283-91.

Javed Ahmad Bhat, Reyaz Ahmad Qasab and A. R. Dar. 2012. MACHINE CRUSHED ANIMAL BONES AS PARTIAL REPLACEMENT OF COARSE AGGREGATES IN LIGHTWEIGHT CONCRETE. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*. VOL. 7, NO. 9, SEPTEMBER 2012 ISSN 1819-6608

Katkhuda H., Hanayneh B., Shatarat N.. 2009. Influence of Silica Fume on High Strength Lightweight Concrete. *World Academy of Science, Engineering and Technology* Vol.3 2009-10-29

Mannan M.A. and Ganapathy C. 2001. Mix design for oil palm shell concrete. *Cem. Con. Res.* 31: 1323-1325.

Mannan M.A. and Ganapathy C. 2004. Concrete from an agricultural waste oil palm shell (OPS). *Buil. Environ.* 39: 441-448.

Okafor F.O. 1988. Palm Kernel Shell as a Lightweight Aggregate for Concrete. *Cem. Con. Res.* 18: 901-910.

Pinto J, Vieira B, Pereira H, Jacinto C, Vilela P, Paiva A, Pereira S, Cunha V, Varum H (2012). Corn cob lightweight concrete for non-structural applications. *Construction and Building Materials* 34 (2012) ,pag 346-351

Teo D.C.L., Mannan M.A., Kurian V.J. and Ganapathy C. 2007. Lightweight concrete made from oil palm shell (OPS): Structural bond and durability properties. *Buil. Environ.* 42: 2614-2621.

Topcu I.B. 1997. Semi-lightweight concretes produced by volcanic slags, *Cem. Concr. Res.* 27(1): 15- 21.

Yeginobali A, Sobolev KG, Sobolev SV, Tokyay M. 1998. High strength natural lightweight aggregate concrete with silica fume. *Sixth CANMET/ACI/JCI conference: Fly ash, silica fume, slag and natural Pozzolans in concrete*, V.M. Malhotra, ed., American Concrete Institute, Farmington Hills (MI), SP-178, 1998, pp. 739-58.