Producción de hormigones verdes con la adición de Cement – Kiln – Dust (CKD)

R. Hernández- Saturno*

*Ing.rhenzelhs@yahoo.es

Facultad de Arquitectura y Urbanismo F.A.U, Universidad Central de Venezuela U.C.V, Caracas D.C - Venezuela

RESUMEN

En este trabajo se presentan los resultados de estudios de pastas de cemento con la adición de Cement - Kiln - Dust (CKD) en un rango del 1 al 10% en incrementos del 2%, y la durabilidad esperada. El objetivo es demostrar la factibilidad técnica del uso del CKD como una adición para producir hormigones verdes. Es una investigación de compilación (Eco, U., 1977), se analizan los resultados obtenidos por diversos investigadores tales como: Saleh Abd El-Aleem Mohamed El-Awney y Magdy Ali Abd-El-Aziz, Mohamed Heikal, Mohammed Khudhair, en la cual se realiza un análisis deductivo - explicativo y original por parte del autor. De los resultados se desprende la factibilidad técnica de producir hormigones verdes con CKD.

Palabras claves

Cement – Kiln – Dust; CKD; Hormigón Verde; adición; OPC

ABSTRAC

This paper presents the results of studies of cement pastes with the addition of Cement - Kiln - Dust (CKD) in a range of 1 to 10% in increments of 2%, and the expected durability. The objective is to demonstrate the technical feasibility of using CKD as an addition to produce green concrete. It is a compilation research (Eco, U., 1977), the results obtained by various researchers such as: Saleh Abd El-Aleem Mohamed El-Awney and Magdy Ali Abd-El-Aziz, Mohamed Heikal, Mohammed Khudhair are analyzed, in which a deductive - explanatory and original analysis is carried out by the author. The results show the technical feasibility of producing green concrete with CKD.

Keywords

Cement – Kiln – Dust, CKD, Green Concrete, addition, OPC

RESUMO

Este artigo apresenta os resultados de estudos de pastas de cimento com a adição de Cement - Kiln - Dust (CKD) em uma faixa de 1 a 10% em incrementos de 2%, e a durabilidade esperada. O objetivo é demonstrar a viabilidade técnica do uso da CKD como adição à produção de concreto verde. Trata-se de uma pesquisa de compilação (Eco, U., 1977), os resultados obtidos por vários pesquisadores como: Saleh Abd El-Aleem Mohamed El-Awney e Magdy Ali Abd-El-Aziz, Mohamed Heikal, Mohammed Khudhair, nos quais uma análise dedutiva - explicativa e original

é realizada pelo autor. Os resultados mostram a viabilidade técnica da produção de concreto verde com CKD.

Palavras-chave

Cement - Kiln – Dust; CKD; Concreto Verde; adição; OPC

1. INTRODUCCIÓN

El Cement – Kiln – Dust , CKD, es un polvo que tiene como origen el proceso industrial de producción de cemento. En algunos países se llega a producir hasta un 20%, (la media mundial 10%) de este material siendo tratado como un desecho industrial (Hernández –Saturno Rhenzel,2020) que conlleva a una deposición en áreas destinadas de acuerdo a normativas muy exigentes y específicas para su gestión y deposición como un residuo contaminante ambiental con riesgo elevado a la salud. La Environmental Protection Agency - EPA - posee los estándares **EPA530-F-99-023**, establecidos para la gestión del CKD. Ahora bien, siendo este residuo un material con un origen similar al cemento se ha pensado la posibilidad de producir pastas, morteros y hormigones incorporando el CKD como una adición menor en aquellos casos donde no se puede reincorporar al horno rotativo para cemento. Se ha pensado en producir hormigones con porcentajes menores al 10% de CKD para disminuir costos de producción de mezclas para viviendas sociales, mejoramiento del terreno y aplicaciones no estructurales. Se presentan resultados de diversos estudios realizados por investigadores tales como: Saleh Abd El-Aleem Mohamed El-Awney y Magdy Ali Abd-El-Aziz, ambos de la Fayoum University, Mohamed Heikal de la Benha University Mohammed Khudhair de la Université Ibn Tofail, y M. Maslehuddin, O.S.B. Al-Amoudi, M.K. Rahman, M.R. Ali, M.S. Barry del Center for Engineering Research, Research Institute, King Fahd University of Petroleum and Minerals, indicados en las referencias y se consultó material editado por los siguientes autores: Al-Harthy et al., 2003; Amin et al., 1995; Babaian et al., 2003; Batis et al., 2002; Bhatti, 1984, 1985, 1986; Dyer et al., 1999; El-Sayed et al., 1991; Heikalet al., 2002; Kjellsen et al., 1992; Konsta-Gdoutos and Shah, 2003; Ramakrishnan, 1986; Ramakrishnan and Balaguru, 1987; Salem and Ragai, 2001; Shoaib et al., 2000; Taylor,1997.

2. EL CKD: PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS

De las pastas adicionadas con CKD poco se sabe sobre su forma de comportarse a largo plazo en las obras civiles de concreto armado, por la condición de desecho industrial que lo estigmatiza. En la búsqueda de reducir el impacto ambiental en dos sentidos principales, a. en la producción de Cemento Verde (Green Cement), ya que la producción del cemento Portland ordinario conlleva un importante consumo en energía y materia prima; y b. En la condición de darle uso a los desechos industriales, convirtiendo al CKD en un sub. Producto con valor técnico y comercial, y mitigar su deposición como desecho contaminante en aquellas plantas que no pueden reciclarlo introduciéndolo como materia prima en el horno de calcinación de la materia mineral; se han adelantado un importantes número de estudios alrededor del mundo para corroborar si las adiciones del CKD solas o en conjunto con algún material de características puzolánica si permiten producir pastas y hormigones de comportamiento admisible tanto en su condición fresca como endurecida, así también como es el efecto en la durabilidad a largo plazo.

Cabe decir, que en algunos estudios se ha determinado que reintroducir el CKD en el horno de calcinación afecta negativamente la resistencia obtenida del Clinker mientras que en algunas plantas se han logrado cementos con mejores comportamientos en diversidad de aspectos, y se presume que estos contrastes dependen de las propiedades de la materia prima, el proceso y del CKD resultante que puede también presentar variaciones químicas y mineralógicas muy dispersas.

Como es conocido, el proceso para la producción del cemento consiste en la trituración y mezcla de diversos componentes minerales que una vez sometidos a un proceso de calcinación en un horno rotatorio capaz de generar temperaturas entre los 1300 y 1500°C aproximadamente. De este proceso se obtiene un compuesto al que denominamos universalmente como Clinker, el cual una vez pasado por un proceso de molienda y adicionado con sulfato de calcio obtenemos el cemento portland, siendo un proceso semejante el de otros cementos como el siderúrgico, puzolánico, entre otros. En el proceso de calcinación de la materia mineral molida se requiere de un sistema de escape de gases, el cual consiste en sistemas de tuberías con dispositivos para filtrar partículas sólidas que son capturadas mediante dispositivos electroestáticos capaces de retener en un alto porcentaje las partículas PM10 en el sistema. ya que por ser de una elevada finura pueden estar en suspensión en los gases de combustión, el material sólido retenido en esos filtros es el denominado CKD. Ver figura #1. En conclusión, el CKD es una mezcla de material mineral (M.M) cruda, materia mineral (M.M) de calcinación incompleta y partículas de Clinker que de acuerdo a la planta y a la materia prima utilizada pueden estar en proporciones diferentes. Aunque por lo general tiene aspectos semejantes al cemento ordinario es frecuente la posibilidad de tener coloraciones diversas, a veces con tonos marrones a semejanza de las arcillas o gris carbón y cualquier tonalidad posible entre estos, debido a que sus tres compuestos principales: M.M. Cruda + M.M. de calcinación incompleta + Clinker, pueden tener un origen en una materia prima con características mineralógicas diversas y estar en proporciones diferentes de acuerdo a la planta, y el proceso asociado para producir el cemento, lo que se traduce en cambios sustanciales en las proporciones de los compuestos químicos que son parte del polvo, estos resultados fueron obtenidos mediante ensayos de refracción de Rx, En la Tabla #1, se puede apreciar de forma comparada la composición típica del Cemento Portland, y el CKD. El CKD tiene cierta capacidad cementante y aglomerante debido a la presencia de material original del Clinker y por la presencia de cal libre en forma de CaO. El CKD tiene marcadas diferencias en su composición química respecto al Cemento ordinario también conocido como OPC (Ordinary Portland Cement). En su composición química es una constante la presencia de potasio soluble y compuestos sódicos que podrían ser la razón de su marcada alcalinidad (pH entre 12 y 14), por lo cual al hacer contacto con el agua, estos compuestos, son los responsables de una reacción exotérmica con el resultado de la evaporación de una fracción del agua. Los valores de densidad típicos del CKD están comprendidos entre 2,42 y 2,96 g/cm³, la cual es sustancialmente menor a la del cemento ordinario. Una característica que es sumamente importante es la superficie específica que está comprendida en un rango amplio (4.000 a 14.000 cm²/g) superior en todo caso a la del OPC.

Fig. #1. Esquema de la producción del cemento y del CKD. Fuente: El-Mohsen M. Et Al

Si algo evidencia el análisis químico del CKD respecto al cemento portland son las menores proporciones de Sílice y Calcio, los cuales son fundamentales para la obtención de productos de hidratación como el SCH “*Silicato de Calcio Hidratado*” que es el capaz de traducir su existencia mineralógica en valores de resistencia mecánica de la pasta endurecida, como también se evidencia la presencia contraproducente de elevadas cantidades de *álcalis y cal libre*.

Tabla #1, Comparación composición típica entre OPC y CKD (Lizarazo-Claisse, 2009)*

Prod.	SiO ₂	MnO	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	MgO	Na ₂ O	LOI
OPC	21,06	----	63,3	0,12	----	4,9	2,4	2,7	0,75	0,1	2,7
CKD	12,9	0,02	43,3	3,32	0,06	3,5	2,12	6,75	2,5	3,32	10,23

*1. Valores actualizados por el autor del trabajo; 2. Los valores presentados representan promedios, en el caso del CKD corresponde a rangos amplios

Cal Libre OPC: 0,22; CKD: 2,59

3. METODOLOGÍA

Se han escogido dos trabajos de investigación de entre muchos, esencialmente basados en tres criterios, el primero de ellos que los resultados fueran congruentes con la teoría de la química de los cementos, la segunda que reuniera los ensayos fundamentales donde se desea enfocar el actual trabajo, enfocado a la producción de hormigones y no en propósitos ingenieriles de otra índole que son muchos, y con el rango de adición bajo para que los resultados a su vez fueran congruentes con el propósito de obtener un hormigón verde con menores pérdidas de las propiedades fundamentales del hormigón ordinario que se usa como control, ya que la mayoría o combina el CKD con terceras sustancias o utilizan proporciones muy elevadas del CKD que por supuesto darán resultados muy diferentes al control, y enfoque al menos uno de los trabajos el aspecto de la durabilidad mediante algún ensayo que corrobore las conclusiones más allá de lo teórico. Por lo antes expuesto se escogieron estudios de M. Maslehuddin et Al y Saleh Abd El-Aleem et Al por ser los que satisfacían los criterios establecidos.

Se utiliza una matriz cementosa a base de Portland I, a la cual se le sustituye una fracción del cemento por una adición de CKD en la misma proporción en peso. La adición va desde 0% para el Control, hasta 10% para las pastas experimentales, con un incremento del 2% en CKD. Sobre la pasta en estado fresco y endurecido se aplican ensayos típicos para caracterizar el hormigón según los estándares ASTM respectivos. Ver tabla #2.

3. 1. Grupo de ensayos (Todos según ASTM respectivo)

Se hacen ensayos a pequeñas cantidades de CKD sustituyendo la misma proporción de cemento Portland I, también indicado como OPC. Las variaciones van desde 0 al 10% en incrementos de 2%. En la tabla #3 se muestran las proporciones de agua respecto al cementante, ver tabla #3. Los resultados se muestran gráficamente a continuación en las figuras #2 al #7,

Tabla #2, Composición de los especímenes investigados (Saleh Abd El-Aleem et Al,2005)

Mezcla N°	%OPC	%CKD
I.1	100	00
I.2	98	02
I.3	96	04
I.4	94	06
I.5	92	08
I.6	90	10

Tabla #3, Relaciones Agua/Cementante para todos los especímenes (Saleh Abd El-Aleem et Al,2005)

Mezcla N°	I.1	I.2	I.3	I.4	I.5	I.6
Relación A/Sólido*	0,485	0,492	0,510	0,536	0,545	0,595

*Relación agua - sólidos cementantes; siendo sólidos S: (OPC + CKD) si CKD>0%, para CKD: 0% entonces es la relación Agua / Cemento: A/C

Los ensayos se estructuran sobre hormigón fresco y sobre hormigón endurecido, y durante el proceso de fraguado y toma de resistencias.

En primera instancia se procura saber cómo se ven afectadas las propiedades reológicas y el proceso de fraguado de pastas con sin CKD y otras con esta adición de acuerdo a proporciones indicadas anteriormente. Por ello se gráfica el tiempo inicial y final del fraguado y la consistencia de la pasta de acuerdo se van incrementando la presencia del CKD hasta un 10%. Los resultados fueron graficados y pueden ser revisados en la figura #2.

Figura #2, Consistencia y tiempos de fraguado inicial y final de acuerdo a las variaciones de contenido de CKD. (Saleh Abd El-Aleem et Al, 2005)

En un segundo grupo de ensayos se busca determinar si la presencia del CKD en proporciones que van en un rango del 2 al 10% aportan la formación de cal libre sobre aquella que se forma en el proceso de fraguado de la pasta control (OPC sin adición), ya que es un factor importante que influiría sobre la durabilidad de las estructuras. De estos pueden ser vistos los resultados en la siguiente figura #3.

Figura #3, Contenido de cal libre de acuerdo a la variación de CKD sustituto del OPC y a la edad de curado. (Saleh Abd El-Aleem et Al, 2005)

Otro grupo de ensayos de vital importancia es determinar la físico-química vinculada a la hidratación del cemento y del cemento portland ordinario OPC con una adición de CKD hasta en un 10%. En ellos se determina los porcentajes de agua libre o evaporable y la químicamente vinculada como un indicador de la hidratación real del cristal de cemento para la formación de S-C-H. Ambos están resumidos en las figuras #4 y #5.

Figura #4, Cantidad de agua no vinculada químicamente de acuerdo a la variación de CKD sustituto de OPC y dependiente del tiempo de curado. (Saleh Abd El-Aleem et Al, 2005)

Figura #5, Cantidad de agua químicamente combinada de acuerdo al porcentaje de OPC sustituido por CKD en función del tiempo de curado. (Saleh Abd El-Aleem et Al, 2005)

El ensayo fundamental de toda evaluación de hormigón endurecido es el de la resistencia a compresión, en este caso se desea conocer como se ve afectada la resistencia en función de dos variables, la edad de la probeta, lo cual es un estándar, y la que realmente ocupa a estos estudios, que es ver como la adición en diversas proporciones del CKD puede variar la resistencia a compresión para cada una de las edades indicadas. La figura #6 puede verse los resultados de forma gráfica.

Figura #6, Evolución del valor de la resistencia a compresión para el OPC con diferentes porcentajes de CKD de acuerdo a la edad del espécimen ensayado. (Saleh Abd El-Aleem et Al, 2005)

En unos ensayos realizados por Mohammed Khudhair de la Université Ibn Tofail se obtuvo información sobre la expansión, ya que ciertas sustancias químicas pueden provocar reacciones de expansión intolerables para el uso común del hormigón es importante corroborar si la presencia excesiva de Álcalis, cloruros e Hidróxido de Calcio puedan generar cambios sustanciales del volumen. En Figura #7, la gráfica indica incrementos tolerables.

Figura #7, Valor de la expansión del cemento de acuerdo con la fracción sustituida por CKD. (Mohammed Khudhair, 2016)

3. 2. Análisis de los resultados

3.2.1. *Tiempos de fraguado Inicial y final, y la consistencia, Figura #2*

Como es sabido la finura del CKD es mayor que la del cemento OPC siendo valores que frecuentemente se encuentran entre los 4000 y los 14000 cm²/kg. Así mismo los pesos específicos del CKD y del OPC no son coincidentes, lo que hace que al sustituirse OPC por CKD se introduce igual peso, pero a diferentes densidades implica mayor masa del CKD. También se ha mencionado que el CKD es una mezcla de materia mineral sin calcinar, semi.-calcínada y calcínada (Clinker) y estas proporciones entre sí pueden variar.

Como consecuencia de lo antes mencionado se deduce:

- a. La añadidura de CKD permite una mejor dispersabilidad del cemento Portland ya que actúa como una adición mineral tipo filler. Esto facilita la hidratación de la partícula del cemento causando una aceleración del proceso de fraguado. A mayor cantidad de CKD, mejor es la dispersión del cemento dentro del rango 0-10% de CKD, estando más marcado el efecto entre 2 y 8% ya que a 10% hay un cambio de pendiente del *Final Set* y una reducción del espacio tiempo entre el inicial y el final, lo que hace presumir que este efecto se logra siempre y cuando no se supere el 10% ya que a mayor cantidad podrían variar negativamente los resultados o ser invariables respecto al 10% estabilizándose. Entonces el CKD puede ser considerado como un acelerante de fraguado, mientras se adicione en una proporción menor o igual al 10%.
- b. La hidratación temprana del OPC facilitada por la presencia del CKD no se traduce en incremento de resistencia final y de aquellas iniciales de OPC + CKD respecto al control, debido a la reducción de la cantidad de cemento ya que hubo una sustitución directa en porcentaje en peso.
- c. En la consistencia se evidencia que un incremento en la demanda de agua para la hidratación que seguramente es a consecuencia directa de la sustancial disminución del tamaño de la partícula del CKD respecto al OPC con el consiguiente incremento de la superficie específica.
- d. La presencia del CKD a medida que se incrementa su porcentaje aumenta el agua para una consistencia normal. Esto puede atribuirse a altas cantidades de álcalis, sulfatos y sales volátiles y las razones arriba señaladas.
- e. Una mayor cantidad de cal también acelera el proceso de fraguado por lo que afecta los valores de Tiempo inicial y final, y el CKD aporta cal.

3.2.2. *Cal Libre, figura #3*

- a. El incremento de la cal libre deriva inicialmente por el aporte de cal libre que hace directamente el CKD, ya que posee porcentajes elevados de esta sustancia
- b. Aquella que es liberada por la hidratación del cemento formando C-S-H.
- c. Por formación del Hidróxido de Calcio por la hidratación del Clinker contenido en el CKD y el calcio que aporta.

3.2.3. *Agua Libre y Agua químicamente vinculada, figura #4 y #5*

- a. El incremento del agua libre respecto al control en la medida que se aumenta el porcentaje del CKD se debe principalmente a dos razones:
 - a.1 Una relación agua/sólido A/S mayor que la A/C del control ya que se requiere un mayor porcentaje para lograr los mismos valores de asentamiento o Trabajabilidad de las mezclas.
 - a.2 Porque una parte del CKD no vincula químicamente el agua ya que no tienen capacidad puzolánica en estado crudo.
- b. Al no tener capacidad puzolánica una fracción del CKD, no es capaz de formar esa fracción productos de hidratación C-S-H, por lo que el agua que se agrega no se puede combinar en la misma proporción respecto al control, según se explica en el apartado 1.b anterior, manteniéndose libre ya que ella no se combina. A mayor porcentaje de CKD mayor cantidad de agua libre.

3.2.4. Resistencia a compresión (ASTM C-109), figura #6

Se aprecia en las gráficas que en adiciones con contenidos hasta 6% de CKD la caída de resistencia respecto al control es escasa y poco determinante, en cambio en porcentajes de CKD entre 8 y 10% se evidencia una caída pronunciada de la resistencia a compresión. En todos los casos la resistencia se incrementa con el aumento de la edad, que es lo normal en cualquier mezcla con cemento. La caída de resistencia se puede pensar que es a causa de:

- a. Un incremento de los poros de la pasta y de la interface con los agregados, debido a un incremento de la relación agua/cemento a medida que se incrementa el contenido de CKD por dos razones:
 - a.1 Se adiciona más agua para mantener la consistencia
 - a.2 El agua vinculada es menor y el agua libre mayor.
- b. Presencia de partículas muy finas de CKD de la fracción mineral cruda en la interface
- c. Mayor cantidad de Hidróxido de Calcio en la interface
- d. Un incremento de cal libre en la pasta. De acuerdo se incrementa el CKD, aumenta la cal libre, y la consecuencia es que la cal en exceso hace más débil y frágil la pasta endurecida.
- e. El efecto Packing de las partículas de CKD sin reaccionar, que debe ser mayor en mezclas con superiores cantidades de CKD.
- f. La mayor expansión de los productos de hidratación en hormigones con superior fracción de CKD como sustituto directo de OPC.
- g. La combinación de todos estos efectos.

3.2.5. Expansión del Cemento, figura #7

Se puede notar en la figura #6 un incremento de los valores de expansión del cemento endurecido mayor al control para valores superiores o iguales al 6% de CKD, pero estos en ningún caso se supera los límites de la norma EN 196-3 + A1. Seguramente esta expansión se debe a la presencia del magnesio en la composición química del CKD.

4. DURABILIDAD

4.1. Reacción Álcalis – Sílice RAS

En el CKD están presentes importantes cantidades de álcalis y otros químicos que pueden contribuir a la formación de reacciones de álcali Sílice. Por lo que se recomienda usar una puzolana para mitigar los efectos negativos indicados en puntos anteriores, reducir los álcalis y la cal libre y proveer de mejores resistencias mecánicas. Adicionalmente es recomendable con el

uso del CKD sin puzolanas procurar agregados de muy baja a nula potencialidad de ocurrencia de esta reacción con los álcalis del cemento.

4.2. Corrosión del acero de refuerzo

La adición del CKD en un rango superior al 5% incrementa la cantidad de cloruros en la pasta de cemento de tal forma que produce una importante caída de los valores de resistividad para un nivel de humedad entre los 3 y 4,5%, de acuerdo a unos estudios reportados por M. Maslehuddin, O.S.B. Al-Amoudi, M.K. Rahman, M.R. Ali, M.S. Barry del *Center for Engineering Research, Research Institute, King Fahd University of Petroleum and Minerals, Dhahran 31261, Saudi Arabia*. Para una adición del 5% de CKD la resistividad es menor pero poco sensible respecto al Cemento Portland tipo I al 100%. Ver figura #8

5. CONCLUSIONES

5.1 La producción de cemento y Hormigones verdes pueden ser producidos con la adición del CKD para aprovechar un desecho industrial contaminante, aunque se reconoce que el uso de esta sustancia en mezclas de cemento Portland causa una caída de resistencias, estas tienen suficiente magnitud para considerarlas estructurales. Ya que la combinación OPC+CKD permite producir hormigones con resistencia estructural suficiente para la construcción de ciertas obras a nivel de estructuras de viviendas sociales, pavimento interior, morteros para pega de bloques y revestimientos enlucido de paredes.

5.2 El provecho del CKD como una adición al Hormigón a base Cemento Portland también denominado OPC eleva la cantidad de cal libre en la pasta, pero esto al contrario de lo pensado, lejos de ser un problema debe ser visto como una ventaja porque permite adicionar cantidades mayores de una puzolana de origen industrial con la misma condición del CKD como descarte tales como el Sílica Fume, el Fly Ash, o las escorias de alto horno. El provecho de CKD con una puzolana refuerza el carácter ecológico o verde del hormigón.

Figura #8, Variación de la Resistividad eléctrica de acuerdo a la humedad para varios porcentajes de CKD (M. Maslehuddin et Al, 2009)

5.3 El uso de una combinación de CKD + Puzolanas contribuye al consumo de la cal libre, mejora la interface con el agregado grueso, reduce la porosidad, incrementa las resistencia por varias vías, combina químicamente un porcentaje de agua mayor, permite reducir el consumo del Cemento OPC, entre otros beneficios que directamente se ven maximizados con la participación del CKD en la mezcla que sin su adicción.

5.4 La producción mezclas con CKD como sustituto parcial del cemento Portland contribuye a la reducción de costos financieros, ambientales y a mejorar la rentabilidad de las empresas del sector cemento.

5.5 El uso de una puzolana con el CKD mejora el desempeño a largo plazo y la durabilidad de las obras de hormigón, por lo que es recomendable combinar el OPC con el CKD + Puzolanas.

6. REFERENCIAS

El-Mohsen M. Et Al.(2015), "*Mechanical Properties Of Self-Consolidating Concrete Incorporating Cement Kiln Dust*", HBRC Journal Volume 11, Issue 1.

EPA, (1999), "*Management Standards Proposed for Cement Kiln Dust Waste*", EPA530-F-99-023 Fact Sheet.

Hernández Saturno, Rhenzel. (2020), "*Factibilidad De Uso del Cement – Kiln - Dust (CKD) En El Mejoramiento Y Estabilización De Suelos Granulares Y Cohesivos*", Congreso Venezolano De Geotecnia 2020, Caracas, Venezuela

M. Maslehuddin *, O.S.B. Al-Amoudi, M.K. Rahman, M.R. Ali, M.S. Barry (2009), "*Properties of cement kiln dust concrete*", Construction and Building Materials 23 (2009) 2357–2361.

M. Maslehuddin, O.S.B. Al-Amoudi, M.K. Rahman, M. R. Ali & M.S. Barry, "*Properties Concrete incorporating Cement Kiln Dust*", King Fahd University of Petroleum and Minerals, Dhahran 31261, Saudi Arabia.

Saleh Abd El-Aleem et Al. (2005), "*Effect of Cement Kiln Dust Substitution on Chemical and Physical Properties and Compressive Strength of Portland and Slag Cements*", Arabian Journal For Science And Engineering

Umberto Eco. (1977), "*Come Si Fa Una Tesi Di Laurea*", Milano, Italia.