LA FORMACIÓN DE INGENIEROS:
UN COMPROMISO PARA EL
DESARROLLO Y LA SOSTENIBILIDAD
15 al 18 DE SEPTIEMBRE 2020
www.acofi.edu.co/eiei2020

LADRILLO MACIZO ESTRUCTURAL DE CONCRETO HIDRÁULICO CON INCORPORACIÓN AL 12% DE CENIZA DE LODO DEPURADO

Yosi Esneider Aldana Gualtero, Juan José Porras Barrero, Ancízar Barragán Alturo

Universidad Piloto de Colombia
Girardot, Colombia

Resumen

El presente proyecto se origina desde el planteamiento de una serie de problemas presentados en diferentes ámbitos de nuestra comunidad. Desde la perspectiva ambiental, los procesos arraigados al sector industrial provocan anomalías en los elementos naturales de su entorno. En el caso particular de la producción de cemento, se evidencia una afectación en los cuerpos de agua y superficie terrestre (específicamente en las zonas establecidas como canteras de extracción de materia prima). De igual forma, la calidad del aire y repercusión del estado de la atmósfera (debido a la combustión en el proceso de gestación del Clinker).

Por otra parte, trasladando nuestra atención en otro espacio ligado a las incidencias negativas en el ambiente, hallamos las plantas de tratamiento de aguas residuales, cuyo propósito radica en el tratamiento de las aguas denominadas como sanitarias o excedentes de procesos comunes en zonas residenciales, industriales, etc. Sin embargo, un gran porcentaje de estas instalaciones no cuentan con el manejo adecuado de sus residuos finales, por lo cual se opta por verter estos compuestos en cuerpos de agua cercanos, perjudicando la integridad de las fuentes hídricas.

Por otro lado, en la circunscripción social correspondiente a este proceso investigativo, se determinó una preocupación referente a la condición en la mampostería de las viviendas en las zonas rurales, generado por factores como la vetustez, material de fabricación, proceso constructivo y demás compendios que no convergen con los parámetros estipulados en el reglamento colombiano de construcción sismo-resistente (NSR-10) exponiendo la integridad/bienestar de sus habitantes. Bajo los argumentos previamente expresados, subyace la conjetura que pretende aprovechar el material contaminante (lodo depurado en PTAR) para su implementación en mezclas de concreto (a través de su calcinación, obteniendo una ceniza que sustituirá el componente cementante en un 12% de

su constitución total, reduciendo la capacidad destructiva del proceso de elaboración del cemento anteriormente indicado) originando un producto final de alta calidad (un ladrillo macizo de carácter estructural f_c = 21 MPa) y bajo un precio acorde a las necesidades de las comunidades ubicadas en las zonas veredales adscritas al municipio de Tocaima-Cundinamarca.

Palabras clave: Eco-bloque; CLD; prefabricados

Abstract

The present project originated from the statement of a series problems presented in different ambits of our community. From the environmental perspective, the process ingrained to industrial sector cause anomalies in the natural resources of environment. A particular case of the cement production, this evidence an affectation in the water bodies and earth's surface (specifically in zones established as quarry extractions of raw materials). Likewise, the air quality and repercussion of state of the atmosphere (Due to the combustion clinker process). On the other hand, transferring our attention in other spaces associated to negative environmental impacts, found the sewage treatment plants, the purpose of which lies in the treatment of the waters called as sanitary or surplus common processes in residential areas, industrials, etc. However, a high percentage of this installations haven't with an adequate operation of final waste, therefore is choose then pour these compounds in water bodies near, hurting the water sources integrity.

Moreover, in the social area correspondent to this investigation process, it was made a preoccupation referent to condition in the masonry of the dwellings in rural areas, generated by factors as the antiquity, material construction, constructive process and others compendiums that was not converge with the parameters stipulated in the Colombian regulation of earthquake-resistant construction (NSR-10) explained the integrity/welfare of their habitants. Under the arguments previously expressed, underlies the conjecture pretend to take advantage of the pollutant material (sewage sludge in PTAR) for his implementation in mixtures of cement (through his calcination, getting an ash that replacement the cement on a 12% of his total constitution, reducing the destructive capacity of the cement process elaboration previously mentioned) causing a final product of high quality (a solid brick of character structural f = 21 MPa) and under a price in accordance with the requirements of the communities located in the village area assigned to municipality of Tocaima-Cundinamarca.

***Keywords**: Eco-block; SSA; precast*

1. Introducción

La edad contemporánea se ha caracterizado por su régimen capitalista. Dicho sistema se sustenta bajo la noción de producción masiva requerida para satisfacer la voraz demanda de un consumismo desenfrenado. Consecuentemente, dichas actividades y sus productos/servicios finales generan desechos manifestados de forma sólida, liquida o gaseosa. Por lo general, los residuos sólidos y líquidos provienen de establecimientos industriales (con una composición abundante de

sustancias tóxicas) y se depositan de forma insensata en cuerpos de agua que paralelamente abastecen comunidades. En el contexto nacional, las cuencas del Magdalena y Cauca (fundamentales por su distribución geográfica) contienen en diversos de sus afluentes presencia de metales pesados. De acuerdo con (IDEAM, 2019) se evidencio Al, Cd, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn y Mg derivados de labores fabriles y mineras. Por ende, el recurso hídrico se somete a una serie de técnicas que permiten eliminar los agentes contaminantes, lo cual se lleva a cabo en las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR).

No obstante, gran parte del territorio colombiano no cuenta con las instalaciones para este menester y en algunas zonas poseen la planta, pero no cuenta con la infraestructura suficiente para un proceso de disposición adecuado del material depurado, por lo cual, se opta por verterlo en los cauces hídricos. Sin embargo, analizando la composición de dicha materia, se aprecian elementos como el aluminio y el hierro trascendentales en las características mecánicas del concreto. Ahora, relacionando la premisa planteada anteriormente con el noveno y onceavo objetivo de desarrollo sostenible (industria, innovación e infraestructura y producción y consumo responsable, respectivamente) expuestos por las naciones unidas en busca de trascender y erradicar los modelos productivos dañinos o inadecuados (en el caso del cemento, por ejemplo) se pretende aprovechar dicha materia prima considerada como "desecho" y transformarla en un elemento que sustituya en un porcentaje determinado (12% parcialmente a falta de pruebas de laboratorio) al cemento en la mezcla de concreto.

2. Metodología

El proceso investigativo se ha desarrollado a través de una metodología de exploración científica (elaborando la comprobación de una hipótesis planteada en la literatura académica-investigativa en Europa) estribada en componentes cualitativos (evaluación del estado de viviendas, impacto ambiental) y cuantitativos (diseño de mezcla, análisis mecánico y físico del espécimen bajo los requerimientos normativos de calidad expuestos por la Norma técnica colombiana - NTC).

2.1. Exploración de campo

2.1.1. Planta de tratamiento de aguas residuales – Municipio de Guamo, Tolima.

En primera instancia, se llevó a cabo la indagación en algunas de las PTAR de la región con el propósito de analizar la viabilidad para generar una exploración de campo en las instalaciones. En base a lo previamente nombrado, se optó por la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio del Guamo-Tolima. Por lo cual se realizó el respectivo desplazamiento con el propósito de evidenciar los procesos generados (teniendo en cuenta que el planteamiento investigativo original se llevó a cabo en Alicante, España por lo cual las condiciones variarían en este y otros aspectos). Se determinó que el proceso realizado en territorio colombiano difiere al presentado en territorio español ya que se omite la última fase, consistente en calcinar el lodo depurado a una temperatura de 500 °C. De igual manera, se evidenció que dicha materia excedente se vertía en un afluente hídrico próximo.

Por ende, se solicitó extraer una lonada (equivalente a 50 kg aprox.) de material con el propósito de someter dicha muestra a un proceso de adecuación (calcinación y trituración) para incorporarlo a la mezcla de concreto y realizar las respectivas pruebas.

2.2. Adecuación de materia prima

La transformación del lodo depurado a ceniza se desarrolló en un horno casero (debido a la carencia de un adecuado dispositivo). Se ingresó el material y se verificó la temperatura de calcinación (Se requería como mínimo 200 °C para garantizar la pulverización y la erradicación de contenido orgánico). Mediante la implementación de un termómetro infrarrojo se obtuvieron cifras de 397 °C. Este proceso de incineración se efectuó durante 24 horas.

Posteriormente, se efectuó la molienda manual del elemento resultante (cuyo contenido poseía partículas de mayor tamaño) adquiriendo el siguiente producto:

Figura 1: Ceniza de lodo depurado

Fuente: Autoría propia.

2.3. Pruebas de laboratorio (agregados)

Para efectuar el diseño de mezcla era necesario analizar las especificaciones físicas y mecánicas de los agregados que se emplearán en el proyecto. Lo anterior, se puede verificar a través de unos ensayos establecidos y contrastando los resultados con unos datos estandarizados, concatenado en unas normas expedidas por la norma técnica colombiana (NTC). Por ello, se realizaron 6 pruebas de laboratorio para finos (arena) y gruesos (grava):

- Granulometría (NTC 177)
- Gradación (NTC 174)
- MUC y MUS (NTC 92)
- Absorción y densidad - finos (NTC 237)
- Absorción y densidad - gruesos (NTC 176)
- Desgaste (NTC 98)

2.4. Diseño de mezcla

Mediante el sometimiento de los agregados adquiridos (finos y gruesos) a las pruebas establecidas por la NTC verificando sus diversas propiedades físicas y mecánicas, se determinó así su viabilidad con respecto a las exigencias o necesidades generadas en el proyecto u obra. De igual forma, ello

es fundamental en el desarrollo del diseño de la mezcla que será empleada en el proceso constructivo. Por consiguiente, bajo el cumplimiento de las respectivas normas que competen la evaluación y análisis de los agregados, el paso siguiente consistirá en diseñar la mezcla. De esta manera, para abordar más profundamente en torno al diseño de mezcla es indispensable identificar 7 pasos o etapas que la componen:

1. Selección del asentamiento.
2. Selección del tamaño máximo del agregado.
3. Determinación del contenido de aire y agua en la mezcla.
4. Determinación de la resistencia promedio de diseño requerida *f´cr.*
5. Selección de la relación agua/cemento.
6. Calculo del contenido de cemento.

2.5. Proceso de mezcla

En primera instancia, se determinó la masa de cada uno de los componentes de acuerdo al diseño de mezcla y a su vez, dichas cantidades se fraccionaron en dos porciones uniformes, con el fin de realizar dos vertidos de cada material garantizando la unión adecuada de los elementos. Este proceso se desarrolló en una mezcladora eléctrica con el propósito de obtener una composición homogénea del concreto.

Posteriormente, se vertieron los agregados gruesos y finos en ese orden respectivo; finalmente se adicionó el cemento. Cabe resaltar que cada añadidura de material iba contigua a una dosis de 500 ml de agua. Bajo la supervisión visual de la contextura de la pasta parcial, se procede a realizar el vaciado de la otra fracción de material y se realiza el mismo procedimiento mencionado anteriormente. Para la mezcla con sustitución se generó un procedimiento similar al previamente referenciado con la salvedad de la ceniza agregada al final.

Este proceso se prolongó por 7 min aproximadamente y se retiró una muestra de mezcla para determinar su asentamiento a través del cono de Abrams. Una vez se identifica la consistencia adecuada, se procede a incorporar el concreto en las respectivas formaletas. El proceso de desencofrado se efectúa al cumplir las 24 horas.

Finalmente, se procede a depositar las probetas en un depósito de agua durante 7 y 14 días (lapsus de tiempo determinados para llevar a cabo las pruebas de compresión).

2.6. Falla de especímenes

Inicialmente se planteó fabricar seis elementos cilíndricos y seis ladrillos macizos (tres especímenes con una composición estándar de concreto y tres con sustitución al 15%) con el propósito de contrastar el comportamiento de un ejemplar con mezcla común (cuyos parámetros físicos y mecánicos están establecidos) y otro con sustitución. Por lo cual, se desarrollaron las pruebas de falla para evaluar la resistencia a 14 días de edad. De esta forma, se llevó a cabo la falla de las probetas en el laboratorio adscrito a la universidad Piloto de Colombia.

Para ello, se implementó una máquina de ensayo a compresión y se dispusieron de tres cilindros de concreto hidráulico estándar y tres con sustitución. Así mismo, se sometieron a falla los ladrillos

macizos con el objetivo de evaluar su comportamiento, ya que la información obtenida no aporta ningún indicio más allá de acompañar el análisis de las probetas cilíndricas.

Culminado el proceso previamente mencionado y evidenciando resultados desfavorables (expuesto a profundidad en el próximo capítulo) se determinó reducir la sustitución a un 12% y realizar nuevamente el proceso expresado desde el apartado "diseño de mezcla".

3. Análisis de datos

3.1. Diseño de mezcla

Durante el proceso de diseño, obtenemos el peso seco (expresado en Kg) del agua (paso 3 – Determinación del contenido de aire y agua de la mezcla), cemento (paso 6 – contenido de cemento) y agregados (Estimación de las proporciones de los agregados). Basado en lo anterior, se adquirieron las proporciones para un metro cúbico de concreto.

Tabla 1. Proporciones para un metro cúbico de concreto hidráulico.

Materiales	Peso seco Kg/m³	Peso específico o Densidad gr/cm³	Volumen absoluto Lt/m³	Proporciones	
				Peso	Volumen
Cemento	408,70	3,15	129,74	1,00	1,00
Agua	188,00	1,00	188,00	0,46	1,45
Agregado grueso	894,98	2,38	376,04	2,19	2,90
Agregado fino	912,51	2,98	306,21	2,23	2,36
TOTAL	**2404,19**		**1000,00**		

Consecuentemente, se identificaron las dimensiones de la probeta cilíndrica y el ladrillo macizo estándar con mezcla de concreto ordinaria, para establecer la cantidad de cada componente (expresado en Kg/m3) de acuerdo con las proporciones. Sin embargo, en el proceso de mezcla se requirió incrementar la cantidad de agua con respecto al planteamiento generado en el diseño, por lo cual se ajustó la cantidad de agua para el concreto estándar y con sustitución.

Tabla 4. Proporciones de material para espécimen cilíndrico – Mezcla estándar.

MEZCLA ESTÁNDAR		
Materiales	**Peso seco total Kg/m³**	**Volumen absoluto total Lt/m³**
Cemento	14,02	4,45
Agua	6,45	6,45
Agregado grueso	24,89	10,46
Agregado fino	19,22	6,45
TOTAL	**64,59**	**27,81**

Tabla 5. Proporciones de material para espécimen cilíndrico – Mezcla con 15% sustitución.

MEZCLA CON SUSTITUCIÓN		
Materiales	**Peso seco total Kg/m³**	**Volumen absoluto total Lt/m³**
Cemento	11,92	4,45
Agua	6,45	6,45
Agregado grueso	24,89	10,46
Agregado fino	19,22	6,45
Ceniza	2,10	
TOTAL	**64,59**	**27,81**

Con base en los ensayos de compresión, se estableció inviabilidad para implementar la sustitución al 15%. Por lo cual, se determinó intentar con 12%, modificando su ficha técnica.

Tabla 6. Proporciones de material para espécimen cilíndrico – Mezcla con 12% sustitución.

MEZCLA CON SUSTITUCIÓN		
Materiales	**Peso seco total Kg/m³**	**Volumen absoluto total Lt/m³**
Cemento	12,34	4,45
Agua	6,45	6,45
Agregado grueso	24,89	10,46
Agregado fino	19,22	6,45
Ceniza	1,68	
TOTAL	**64,59**	**27,81**

3.2. Falla de especímenes

Inicialmente se llevó a cabo el proceso de falla de las probetas con sustitución al 15% así como de los ladrillos macizos (esto último con el propósito de analizar el comportamiento del elemento). En la tabla 9, se evidencia que los especímenes #1 y #3 no cumplen con la resistencia esperada a la edad de 14 días de acuerdo con las tablas 7 y 8.

Tablas 7-8. Límite máximo y límite mínimo de porcentaje de resistencia esperada.

Límite máximo				
Tiempo (día)	**3**	**7**	**14**	**28**
% Resistencia esperada	**47%**	**68%**	**85%**	**105%**
	9,729	**12,834**	**16,767**	**21,735**

Límite mínimo				
Tiempo (día)	**3**	**7**	**14**	**28**
% Resistencia esperada	39%	62%	81%	100%
	8,073	14,076	17,595	20,7

Tabla 9. Resultados del ensayo de falla de especímenes con sustitución al 15%.

ESPÉCIMEN	CARGA (KN)	ÁREA (m2)	RESISTENCIA (Kg/cm2)	RESISTENCIA (Mpa)	RESISTENCIA DE DISEÑO (Mpa)	TIEMPO (Días)	% ALCANZADO
1	**241,2**	**0,0184**	**134**	**13**	**20,7**	**14**	**69%**
2	**324,6**	**0,0184**	**180**	**18**	**20,7**	**14**	**85%**
3	**190,8**	**0,0184**	**106**	**10**	**20,7**	**14**	**50%**

Consecuentemente, se modificó el porcentaje de sustitución por 12% y se obtuvieron los siguientes resultados con mayor favorabilidad:

Tabla 10. Resultados del ensayo de falla de especímenes con sustitución al 12%.

ESPÉCIMEN	CARGA (KN)	ÁREA (m2)	RESISTENCIA (Kg/cm2)	RESISTENCIA (Mpa)	RESISTENCIA DE DISEÑO (Mpa)	TIEMPO (Días)	% ALCANZADO
1	169	0,0184	94	9	20,7	3	69%
2	179	0,0184	99	10	20,7	3	47%

Nota: Cabe resaltar que se dispusieron inicialmente tres especímenes para falla, sin embargo, una de las probetas quedo descartada debido a inconvenientes en su capa exterior (Compactación insuficiente en el proceso de mezcla).

4. Conclusiones

- El diseño de mezcla del ladrillo macizo estructural con sustitución al 15% no cumple con la resistencia establecida en la normatividad, sin embargo, con un porcentaje del 12% obtenemos un resultado favorable a un periodo de tiempo de 3 días.
- Mediante los ensayos de laboratorio se comprobó el cumplimiento de las especificaciones mecánicas conforme a lo establecido por la normatividad.
- El método ACI.2.1.1. nos garantiza un proceso de diseño adecuado conforme al tipo de investigación experimental.
- Se evidenció un comportamiento permeable en la materia prima.

5. Recomendaciones

En la metodología desarrollada se expresa un proceso relacionado con la calcinación del lodo depurado, el cual se desarrolla en un horno casero generando una combustión que incide en la contaminación de la atmosfera y se manifestaría como una contradicción en nuestro propósito de contrarrestar la contaminación. Por ello, se plantea un sistema de biomasa que permita reditуar las altas temperaturas obtenidas con el propósito de producir energía eléctrica.

6. Referencias

Artículos de revistas

- Pérez Carrión, M., Baeza-Brotons, F., Payá, J., Saval, J., Zornoza, E.,Borrachero, M., & Garcés, P. (2014). Potential use of sewage sludge ash (SSA) as a cement replacement in precast concrete blocks. Materiales de construcción, pp. 27-33.

- Argiz, C., Menéndez, E., & Sanjuán, M. (2013). Efecto de la adición de mezclas de ceniza volante y ceniza de fondo procedentes del carbón en la resistencia mecánica y porosidad de cementos Portland. Materiales de construcción, pp. 49-64.
- Canul, J., Moreno, E., & Mendoza Rangel, J. (2016). Efecto de la ceniza volante en las propiedades mecánicas de concretos hechos con agregado calizo triturado de alta absorción. Revista ALCONPAT, pp. 235 - 247.
- Herrera Durán, A. & Rivera Torres J. (2007). Concreto para uso estructural, económico, durable y sustentable con alto contenido de ceniza volante. Revista de divulgación científica y tecnológica, pp. 39-52.
- Ossa, M. & Jorquera, H. (1984). Cementos con cenizas volantes. Materiales de construcción. Vol. 34.

Libros

- Sanchez, D. (1986). Tecnología del concreto y del mortero.
- IDEAM (2019). Estudio Nacional del Agua 2018. Bogotá: Ideam: 452 pp.

Sobre los autores

- **Juan José Porras Barrero**: Estudiante de ingeniería civil fase de pregrado. juan-porras1@upc.edu.co
- **Yosi Esneider Aldana Gualtero**: Estudiante de ingeniería civil fase de pregrado. yosies@hotmail.com
- **Ancízar Barragán Alturo**: Licenciado en matemáticas y física. Magister en educación de la Universidad del Tolima. g-barragan@unipiloto.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2020 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)