

## CENIZA DE TOSTACION OXIDADA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCION

***Ing. Yoel Contreras Hernández<sup>(1)</sup>, Ing. Julio Cuní Calzada<sup>(2)</sup>, Téc. Elio Martínez Fuentes<sup>(3)</sup>, Ing. Luís Vilaú Urquiaga<sup>(4)</sup>, Ing. Rolando González Rodríguez<sup>(5)</sup>***

1- UEB Geólogo Minera, Empresa Geominera Pinar del Río; Km 11/2 carretera a Santa Lucía, Minas de Matahambre, Pinar del Río. [cimo@pri.minbas.cu](mailto:cimo@pri.minbas.cu)

2- Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA), Unidad de Investigación para la Construcción, Pinar del Río. Rafael Morales # 242, Sur, Altos, Pinar del Río. Email [eniap1@vega.inf.cu](mailto:eniap1@vega.inf.cu)

### Resumen

Para la realización de este trabajo, se determinó el comportamiento de las propiedades físico- mecánicas de las mezclas, diseñadas con ceniza de tostación oxidada, para establecer las dosificaciones y usos más adecuados de este material en los morteros y hormigones de construcción, evaluando un empleo del 10 % de ceniza en peso de la mezcla. Se realizó la caracterización química, física y mecánica de la ceniza de tostación oxidada; así como los demás materiales, aplicando los métodos normativos vigentes, lo que permitió establecer y evaluar las dosificaciones para los áridos y demás ingredientes en las mezclas, según los usos investigados en morteros y hormigones, considerando siempre que estas mezclas tienen que cumplir requisitos específicos en cuanto a la resistencia a la compresión y a la flexo – tracción tal y como reflejaron los ensayos. Fueron obtenidos valores de resistencia a la compresión mayores a los de las muestras patrones que establecen las Normas Cubanas, se logra disminuir el consumo de cemento y aditivo en las mezclas de hormigones logrando la relación 1/1 (1.0 kg de cemento por 1.0 m<sup>3</sup> de mezcla), para los morteros se obtienen mezclas adecuadas según los usos, empleando menos cemento en las dosificaciones, los resultados del trabajo nos permite además el empleo integral de un material que por décadas ha constituido un contaminante del medio ambiente.

### ABSTRACT

For the realization of this work, the behavior of the physical-mechanical properties of the mixtures designed with reduced material was determined; to establish the dosages and more appropriate uses of this material in the mortars and construction concretes, evaluating an employment of 10 % of ash in weight of the mixture. Chemical, physical and mechanical characterization of the reduced material it was done; as well as the other materials, applying the effective normative methods, that which allowed to settle down and to evaluate the dosages for the arid and other ingredients in the mixtures, according to the uses investigated in mortars and concretes, considering whenever that these mixtures have to complete specific requirements related with the compressive and flexural strength such and like the test reflected. Compressive strength values were obtained the compressive adults to those of the patron samples that establish the cuban norms; it is possible to diminish the cement consumption and preservative in the mixtures of concretes achieving the relationship 1/1 (1. 0 cement kg for 1. 0 m<sup>3</sup> of mixture). For the mortars appropriate mixtures are obtained according to the uses, using less cement in the dosages, the results of the work also allow us the integral employment of a material that has constituted a pollutant of the environment per decades.

### INTRODUCCION

Estados Unidos, España y Japón son los pioneros en estos proyectos; Italia, México, Colombia y otros países, se han incorporado para trabajar e invertir en tecnologías, que incorporan como material de construcción todo tipo de residuo que desde el punto de vista técnico y económico sea posible utilizar.

En Cuba es muy reciente la realización de trabajos encaminados al reciclaje de materiales sólidos como: cenizas, escorias, escombros, residuales de la construcción, desechos sólidos de la industria minera y metalúrgica entre otros. Pero los resultados obtenidos en los últimos veinte años son muy

alentadores; se destaca en estas investigaciones la Universidad Martha Abreu en Las Villas con las investigaciones más serias y fundamentadas científicamente.

Los depósitos de ceniza (*ashes*), los cuales son considerados un yacimiento artificial, se formó durante 40 años, producto a la explotación de la pirita de los yacimientos Mina Mella y el yacimiento Santa Lucía en la producción de ácido sulfúrico; las colas (cenizas) son el resultado de la tostación oxidada de la pirita en hornos de soleras múltiples, los sólidos se fueron depositando en los patios de Sulfometales hasta crear cinco depósitos con un volumen total aproximado de 800 000 toneladas; por cálculos topográfico realizado existen en los depósitos tres y cinco (concesionados actualmente) unas 400 000 toneladas. Todo el yacimiento desde el punto de vista medio ambiental significa un grave problema para el ecosistema costero y la población cercana al lugar, que durante años ha sufrido por la contaminación de los suelos y el aire.

Con el depósito de estas cenizas se ha afectado una amplia área de suelo que hoy permanece estéril por encontrarse cubierta por miles de toneladas de estas colas, a lo que se adiciona la afectación que sufre el manto freático por la filtración al subsuelo de las aguas ácidas generadas por las lluvias. En la siguiente imagen (figura No. 1) se observa la ubicación y el área en que se ubican los depósitos de ceniza en los patios de la UEB Producciones Industriales (antigua Empresa Sulfometales).



Figura 1: Vista aérea de la fabrica Sulfometales y los patios en que está depositada la ceniza de tostación oxidada.

En el trabajo se investigó la posibilidad de emplear en la construcción, la ceniza de tostación oxidada, existente de los depósitos 3 y 5; como se observa en las figuras 2 y 3.



Figura 2: Depósito 3 de la ceniza en el patio



Figura 3: Depósito 5 afectaciones al medio ambiente

La figura No. 3 refleja el impacto ambiental provocado a la zona costera por el depósito de las cenizas que se generaron producto de la tostación oxidante de los minerales de pirita de los yacimientos Mella y Santa Lucía, presentes en los patios de Sulfometales.

La extensión de estos dos depósitos es de: 0.56 hectárea, depósito 3 y 4.03 hectárea, depósito 5. Estos dos depósitos contienen: el depósito 3 es de 25538 toneladas de Cenizas y el depósito 5 es de 286288 ton de Cenizas. El depósito en su totalidad abarca 18.48 hectáreas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Áridos empleados en el diseño de las mezclas.** Evaluados según la **NC 175: 2002**, acápite 4.2. Áridos minerales.

Áridos de la Cantera Elpidio Berovides. Utiliza como materia prima formaciones de roca caliza dura de tonalidades rojizas. **Fracciones usadas:** - 4.76 mm, -2.38 mm, - 1.19 mm.

Áridos de la Cantera Reinaldo Mora. Utiliza como materia prima formaciones de roca caliza de color gris oscuro. **Fracciones usadas:** - 4.76 mm, -2.38 mm, - 1.19 mm.

Áridos de la Cantera Teté Contino. Utiliza como materia prima formaciones de roca caliza de color gris oscuro, con intercalaciones de cuarzo. **Fracciones usadas:** - 4.76 mm, -2.38 mm, - 1.19 mm.

Árido del Yacimiento Castellanos. Areniscas cuarzosas cuarcificadas de color gris con tonalidades pardo-rojizo, de textura estratificada, estructura de granos finos a medios redondeados. Cuarzo-feldespática, con predominio del cuarzo.

En la tabla No. I se pueden observar las características químicas de las areniscas del yacimiento Castellanos

Tabla I Características de la Arenisca Castellanos

No. de Muestras 18	Contenido en %											
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	ZrO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	PPI
Promedio	80,09	8,74	4,59	0,021	<0,017	0,371	0,47	0,016	0,05	0,713	0,28	2,26

Los resultados de la composición química de la arenisca son aceptados al evaluarlos con los parámetros químicos que exige la norma cubana **NC: 251: 2005**, acápite 4.3.3 *Impurezas*.

**Fracciones granulométricas usadas:** - 4.76 mm, -2.38 mm, - 1.19 mm.

### Adición, principales características

La Ceniza de Tostación Oxidada se incorpora en las mezclas de mortero y hormigón como una adición, porque cumple los requisitos exigidos por la norma **NC 175: 2002**, en el acápite 4.3 Adiciones;

Los resultados de los ensayos químicos realizados por el Laboratorio del CIPIMM, se muestran en la tabla a continuación.

Tabla. II: Composición química de la ceniza de tostación oxidada

Contenido en % de:	Muestra								
	1	2	14	16	19	21	22	23	24
Si O <sub>2</sub>	12.13	17.80	8.88	8.85	16.41	19.84	16.62	17.06	13.39
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.75	2.10	1.62	1.49	2.40	2.64	2.77	3.62	3.22
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	57.88	48.59	46.44	44.30	50.02	48.59	55.02	57.88	44.30
MnO	0.19	0.15	0.17	0.25	0.17	0.18	0.10	0.18	0.25
CaO	-2.5*10 <sup>-3</sup>	6.2*10 <sup>-2</sup>	0.10	7.2*10 <sup>-2</sup>	0.18	0.30	0.25	0.22	0.20
MgO	0.18	0.21	0.16	0.16	0.22	0.56	0.21	0.38	0.26
K <sub>2</sub> O	0.46	0.69	0.52	0.390.	0.43	0.42	0.50	0.83	0.79
TiO <sub>2</sub>	0.15	0.18	0.11	0.13	0.19	0.26	0.21	0.23	0.18
FeO	3.50	2.60	11.10	11.70	7.80	5.50	5.00	8.20	7.90
SO <sub>4</sub>	6.98	7.84	9.67	8.25	7.92	8.54	7.75	6.74	6.92
SO <sub>3</sub>	5.66	6.48	7.51	6.93	6.24	6.40	4.56	4.35	4.82
S total	7.76	9.98	14.84	17.27	10.39	10.28	9.21	10.96	11.56
PPI	10.81	13.29	17.72	18.75	13.16	12.78	12.82	12.95	13.11

Se evaluó la composición granulométrica según se expresa en la tabla III.

Tabla No. III: Ensayo de granulometría

Tamices	Peso inicial: 500 g			
mm	Peso Retenido Parcial	Peso Retenido Acumulado	% Retenido Acumulado	% Pasado
19.1	--	--	--	100
12.7	13.0	13.0	3	97
9.52	19.3	32.3	6	94
4.76	62.8	95.1	19	81
2.38	68.2	163.3	33	67
1.19	72.4	235.7	47	53
0.59	55.4	291.1	58	42
0.297	69.9	361.0	72	28
0.149	52.1	413.1	83	17
Fondo	86.2	499.3	--	--
Modulo de finura: 3.21				

## El Cemento empleado

Para los ensayos se empleo: el Cemento Portland P350 y PP 250, los más empleados en el País. Los cuales cumplen lo exigido por la norma **NC 95: 2001: Cemento Portland. Especificaciones.**

## Agua

Agua corriente, ya sea industrial o potable.

## MÉTODOS

### Métodos científicos aplicados

El trabajo realizado fue, sobre la base de la investigación descriptiva, según la clasificación realizada por **Coello Velásquez A. L., 2011.**

**Metodología de investigación:** Se aplicó el método histórico – lógico, el hipotético – deductivo apoyándose en la inducción incompleta, se elaboró una hipótesis de trabajo, partiendo del

conocimiento que existe del empleo de las mezclas patrones y las que están en aplicación en la actualidad, regidas por las normas cubanas. Fue aplicado como herramienta auxiliar los métodos computacionales que facilita el Excel para el procesamiento de los datos obtenidos.

### Las tareas de la investigación

- Recopilación y análisis de los trabajos relacionados con los materiales de construcción, así como la exploración de la problemática mundial, nacional y local de los materiales de construcción.
- La toma de las muestras y su preparación, empleando la homogenización, el cuarteo, la trituración y cribado de las mismas.
- Caracterización de la materia prima desde el punto de vista físico, mecánico y químico según corresponda.
- Diseño de las dosificaciones de los materiales según los usos a estudiar.
- Realizar los ensayos de resistencia a la compresión a los 7 y 28 días como se establecen por las normas cubanas, de acuerdo a los usos de las mezclas diseñadas.
- Establecer las dosificaciones adecuadas

### Procedimiento general para el diseño de mezclas.

Selección de las combinaciones posibles de áridos tomando como punto de partida el método del profesor **Vitervo O' Reilly**; autor de los Métodos para la dosificación del Concreto.

### Dosificaciones para los morteros con ceniza de tostación oxidada, aplicando cemento PP- 250

En el caso de las mezclas realizadas con las arenas artificiales de las plantas industriales, solo se realizan pruebas para las fracciones del tamiz 4.76 mm, por ser el corte que ejecutan estas plantas y el que emplea la industria de materiales de la construcción, Ver tablas IV.

Tabla IV: Dosificación de mortero con arena artificial una de las conteras de la provincia Pinar del Río.

Cantera: Elpidio Berovides					Tamiz 4.76 mm				
Proporción	Cemento	Arena	Ceniza	Agua	Densidad Material	Consumo por m <sup>3</sup>			
	kg	kg	kg	litros	kg/m <sup>3</sup>	Cemento	Arena	Ceniza	Agua
1:6:1	0.270	1.800	0.030	0.315	2112	236	1574	26	275
1:7:1	0.270	2.100	0.030	0.370	2134	208	1618	23	285
1:8:1	0.270	2.400	0.030	0.400	2140	186	1657	21	276
1:9:1	0.270	2.700	0.030	0.500	2134	165	1646	18	305

### Dosificaciones para hormigones con ceniza de tostación oxidada, aplicando cemento P 350

La elaboración de mezclas de hormigones hidráulicos requiere del empleo de áridos y agregados que reúnan las características que la **NC 251: 2005** exige,

Dosificaciones diseñadas para elaborar las mezclas para hormigón con empleo de ceniza de tostación oxidada. Se exponen a continuación un ejemplo de los diseños de mezclas, para cada resistencia a la compresión esperada, Ver tablas V.

### Dosificaciones para hormigones hidráulicos

Tabla V: Dosificación para una bolsa de cemento

Material	Valores de resistencia esperados					
	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	35.0
Cemento (bolsa)	1	1	1	1	1	1
Arena Artificial (kg )	3.12	2.60	2.06	1.84	1.56	1.32
Ceniza (kg )	0.71	0.57	0.49	0.41	0.35	0.29
Gravilla (kg )	4.17	3.44	2.78	2.44	2.08	1.76
Agua (kg )	39.1	31.5	25.9	22.5	17.8	15.5
Aditivo (kg )	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51

### Resultados de las mezclas ensayadas para definir las combinaciones adecuadas en los morteros de albañilería de acuerdo a la aplicación de estos en las construcciones.

Tabla No. IX: Mezclas óptimas para los morteros de albañilería según los usos.

No. Mortero	Proporciones Volumétricas			Consumo (kg/m³)				Densidad (kg/m³)	Resistencia a Compresión (MPa)	Requisitos del Mortero
	Cemento	Arena	Ceniza	Cemento	Arena	Ceniza	Agua			
1	1	3	1	365	1094	365	360	2183	25.5	Fluidez -94 - 100 mm Arena cernida p/ tamiz 4.76 mm
4	1	6	1	219	1316	219	354	2108	12.7	
5	1	7	1	199	1393	199	348	2140	10.0	
6	1	8	1	179	1430	179	346	2134	9.5	
Mortero óptimo para muros portantes de bloques y ladrillos (6)										
Mortero óptimo para muros no portantes de bloques y ladrillos (6)										
Mortero óptimo para pisos (4)										
7	1	3	1	336	1009	336	396	2077	20.8	Fluidez -95- 100 mm Arena cernida p/ tamiz 2.38 mm
10	1	6	1	207	1244	207	394	2053	8.8	
11	1	7	1	185	1292	185	392	2053	8.3	
12	1	8	1	165	1320	165	384	2034	7.4	
Morteros óptimos para resano grueso en exteriores (12)										
Morteros óptimos para resano grueso en interiores (12)										
13	1	3	1	326	979	326	420	2052	15.4	Fluidez -95- 100 mm Arena cernida p/ tamiz 1.19 mm
16	1	6	1	194	1164	194	417	1969	6.0	
17	1	7	1	173	1209	173	419	1974	4.8	
18	1	8	1	158	1263	158	411	1990	4.3	
Morteros óptimos para resano fino en exteriores (16)										
Morteros óptimos para resano fino en interiores (18)										

Los resultados de las mezclas para hormigón con empleo de ceniza de tostación oxidada y empleando árido de cada una de las canteras de la provincia se expone a continuación en la tabla.  
Procedencia del árido, cantera Elpidio Berovides



Tabla VI: Resultados de resistencia a la compresión promedio, a los 28 días

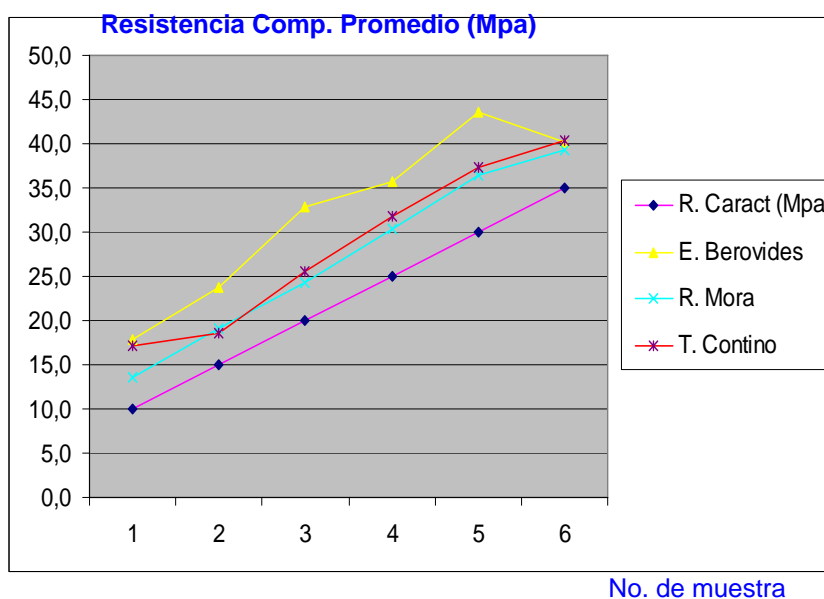
Propiedades de la Dosificación								
Resistencia compresión esperada (MPa)			10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	35.0
Resistencia Promedio obtenida (MPa)			17.9	23.7	32.8	35.8	43.6	40.2
Relación a/c *			0.92	0.74	0.61	0.53	0.42	0.37
Asentamiento (cm)			8.5	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
Proporción de los Áridos **	A+C:	50 %		P:	0		G:	50 %
Rendimiento Cemento			0.80	0.88	1.08	0.97	1.01	0.82

\* a/c --- relación agua/ cemento. \*\* A+C --- arena + ceniza; P --- piedra; G --- gravilla

Las mezclas cumplan con las características de resistencia que se establecen en la NC: 120: 2007.

El gráfico refleja el comportamiento de los valores de resistencia promedio con relación al número de muestras ensayadas para cada árido. La figura 4 así lo muestra.

Figura 4. Comportamiento de las mezclas elaborada con áridos de las distintas canteras



Las tres dosificaciones evaluadas presentan resultado de resistencia a la compresión promedio por encima de los parámetros exigidos en la norma, observando el comportamiento más estable y regular de los resultados de resistencia a la compresión, para las muestras realizadas con árido de la cantera Reinaldo Mora; aunque todas las dosificaciones cumplen y superan los valores exigidos.

## CONCLUSIONES

Se realizó una caracterización de los materiales a utilizar, demostrando que estos cumplen con los requisitos que exigen las normas cubanas; logrando conocer las propiedades de las mezclas de mortero y hormigón diseñadas con ceniza de tostación oxidada. Las mezclas y dosificaciones de morteros con adición de ceniza de tostación oxidada, cumplen los requisitos establecidos en las normas cubanas y se identificaron las más adecuadas según las aplicaciones.

Las dosificaciones ensayadas para morteros y hormigones adicionando un 10 % de ceniza de tostación oxidada, permite elaborar mezclas con valores de resistencia a la compresión superiores a los exigidos por las NC, en las mezclas ordinarias. El empleo de 10 % de ceniza de tostación oxidada en las mezclas permite disminuir en igual proporción el contenido de cemento a utilizar en cada mezcla y reduce el consumo del aditivo que se importa para ser empleado en el hormigón.

Se conforma una metodología para la realización de semejantes investigaciones con materiales similares al estudiado.

## RECOMENDACIONES

Debe realizarse un trabajo de investigación, en el campo del comportamiento estructural del hormigón cuando se produce la interacción entre las fases de los distintos materiales que conforman las mezclas, durante el fraguado del hormigón y el envejecimiento de este en diferentes condiciones atmosféricas. Esto garantizaría científicamente los resultados obtenidos hasta este momento.

## BIBLIOGRAFÍA

Archivo técnico Laboratorio ENIA, Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA), Unidad de Investigación para la Construcción, Pinar del Río. Rafael Morales # 242, Sur, Altos, Pinar del Río.

Coello Velásquez A. L., 2011. Curso de Metodología de la investigación científica. Programa de maestría de electromecánica.

DCMPT – 008 – 01. Determinación del contenido de Al, Fe, Cr, Ca, Mn, Mg y otros, mediante fusión con Metaborato de Litio por ICP. CIPIMM. La Habana, Cuba.

NC 175:2002 Mortero de Albañilería. Especificaciones. 1 Edición marzo de 2002. Oficina Nacional de normalización; calle E No. 261 Vedado, C. de la Habana, Cuba

NC: 251: 2005, Áridos para hormigones hidráulicos. Requisitos. 1 Edición, mayo de 2005. Oficina Nacional de normalización; calle E No. 261 Vedado, C. de la Habana, Cuba.

NC 95: 2001: Cemento Portland. Especificaciones. 1 Edición marzo de 2001. Oficina Nacional de normalización; calle E No. 261 Vedado, C. de la Habana, Cuba

O' Reilly, Vitervo Dr. Ing; Métodos para la dosificación del concreto. Folleto 1 edición 1997, MICONST, Cuba.

NC. 120: 2007: Hormigón Hidráulico. Especificaciones. 2 Edición, noviembre de 2007. Oficina Nacional de normalización; calle E No. 261 Vedado, C. de la Habana, Cuba

Plan de Manejo ambiental. DT. Empresa Geominera Pinar del Río, Cuba