

# EVALUACIÓN DEL POLVO GENERADO EN HORNOS DE ARCO ELÉCTRICO COMO PIGMENTO PARA LOSAS HIDRÁULICAS

## EVALUATION OF THE GENERATED POWDER IN ELECTRIC ARCH FURNACE AS PIGMENT FOR HYDRAULIC FLAGSTONES

Yunaydi Paumier Castañeda. Máster en Electromecánica. Profesor Asistente. Instituto Superior Minero Metalúrgico, Cuba. [ypaumierc@ismm.edu.cu](mailto:ypaumierc@ismm.edu.cu)

Dariennis Rodríguez Hernández. Ingeniera en Metalurgia y Materiales. Empresa Golden Hill-Tunas, Cuba

Gualberto Rosales Martín. Máster en Metalurgia. Empresa Acinox-Tunas, Cuba

Yoannis Cano Reynosa. Máster en Medioambiente. Profesor Asistente. Instituto Superior Minero Metalúrgico, Cuba. [ycano@ismm.edu.cu](mailto:ycano@ismm.edu.cu)

### **Resumen**

En este trabajo se evaluó el polvo generado en el taller de acería de la Empresa Acinox- Las Tunas como pigmento para losas hidráulicas. Se caracterizó química y mineralógicamente el polvo mediante los métodos de Difracción de Rayos X (DRX) y Fluorescencia de Rayos X (FRX) donde se obtuvo que la fase mineral predominante es la espinela magnética (Zn-Mn) con un 51 %. Los análisis realizados a las losas hidráulicas arrojaron una resistencia al desgaste entre 0,06 y 0,08 g/cm<sup>2</sup>, una resistencia a la flexión promedio de 3,1 MPa y la absorción de agua entre 8,5 y 10,3 %, según la norma establecida para pigmentos en losas hidráulicas, estos valores obtenidos demuestran que el polvo de acería puede ser empleado para este fin.

**Palabras claves:** losas hidráulicas, pigmentos, polvo de acería

### **Abstract**

In this paper dust generated in the steelmaking shop Company Acinox-Las Tunas as a pigment for hydraulic slabs we were evaluated. The powder was characterized by chemical and mineralogical by the methods of X-Ray Diffraction (XRD) and X-Ray Fluorescence (XRF) which was obtained that the mineral phase is predominant magnetic

spinel (Zn-Mn) with a 51 %. Tests on hydraulic slabs showed a wear resistance between 0,06 and 0,08 g / cm<sup>2</sup>, a tensile strength of 3,1 MPa average flexural and water absorption between 8,5 and 10,3 %, according to the standard established for pigments in hydraulic slabs, these obtained values prove that the dust of steel mill can be used to this end.

**Key Words:** Hydraulic slabs, pigments, dust of steel mill

## **1. Introducción**

En la Empresa Acinox - Las Tunas, es un propósito darle utilidad al polvo finamente disperso generado por el horno de arco eléctrico, debido a que estos polvos están compuestos por elementos provenientes del acero, de la escoria y de la carga, incluyendo hierro, cinc y metales pesados como el plomo y el cadmio, que se volatilizan durante el proceso. Estos polvos se arrojaban a la atmósfera a través de la chimenea, influyendo negativamente sobre el ambiente laboral y geográfico, ahora se recuperan en las casas de humos. Una vez recuperados surge el interrogante de qué hacer con ellos. En nuestro país no existen procesos de fabricación de pigmentos, una de las alternativas para la disminución de los polvos puede ser su empleo como pigmento.

Pappalardo (1999) realizó un sistema portátil PIXEL para la caracterización in situ de pigmentos negro y rojo en el Neolítico, Edad del Cobre y la Edad del Bronce Cerámica. Las mediciones mediante el uso de un sistema portátil de PIXEL recientemente desarrollado y se llevaron a cabo en el museo arqueológico de Licata (Sicilia). Los resultados confirman la presencia de manganeso en pigmentos negros de cerámica de estilo Castelluccio e indican, por primera vez, una fuerte presencia de manganeso en la cerámica edad de cobre del estilo Serraferlicchio, y en la cerámica neolítica del estilo Serra d'Alto.

Beovide et al (2001) expone una primera aproximación arqueométrica al estudio del uso de los pigmentos en el marco de la organización tecnológica de las sociedades prehistóricas del bajo río Santa Lucía. Se analizó, de forma exploratoria, la composición química y mineralógica de potenciales colorantes hallados en contextos arqueológicos y

residuos de pigmentos en materiales cerámicos. Se identificaron componentes mineralógicos como hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) y goethita ( $\text{FeO}(\text{OH})$ ).

Nicolalde (2008) utilizó polvos de acerías en la producción de bloque y adoquines, donde obtuvo resultados de resistencia similares o superiores a los obtenidos empleando solamente cemento. Esto valida a este residual como un material alternativo en la producción de elementos estructurales para la construcción y los viales.

Fuentes-Díaz (2009) estudió la separación magnética de los polvos recolectados en los electrofiltros de la fábrica Ernesto Che Guevara con el objetivo de mejorar sus características para dicho empleo como pigmento cerámico.

Díaz-Catalán & Romero-López (2014) analizó las propiedades físicas y mecánicas de concretos estructurales arquitectónicos al utilizar pigmentos orgánicos e inorgánicos en su fabricación, para saber si al utilizar pigmentos orgánicos no se alteran las propiedades mecánicas del concreto.

### **Objetivo del trabajo**

Evaluar los polvos generados en el taller de acería como pigmento para losas hidráulicas.

## **2. Materiales y métodos**

### **2.1. Toma de la muestra**

Se tomó una muestra del polvo en la descarga del transportador sinfín de la planta depuradora de Humo, truncando totalmente el flujo cada 5 minutos durante el proceso de evacuación del polvo, de aproximadamente 5 kg por cada turno de trabajo. El proceso se efectuó en tres días consecutivos en el horario comprendido entre las ocho y nueve de la mañana.

### **2.2. Caracterización química y mineralógica del polvo de acería**

Utilizando el Método de Difracción de Rayos X (DRX) se realizó un estudio mineralógico del polvo, donde se confirmaron las fases mineralógicas presentes en el mismo (tabla 1) y mediante el Método

de Fluorescencia de Rayos X (FRX) se determinó la composición química de las muestras (tabla 2).

Tabla 1. Resultado semicuantitativo promedio obtenido por DRX, en (%)

<b>Fase mineral</b>	<b>Fórmula</b>	<b>Polvo (%)</b>
Espinel magnética	$[Zn^{2+}, Fe^{2+}, Mn^{2+}][Fe^{3+}, Mn^{3+}]_2O_4$	51
Wuistita	FeO	4
Fayalita	$Fe_2SiO_4$	6
Carbonato de calcio	$CaCO_3$	7
Silicato dicálcico	$Ca_2SiO_4$	8
Hematita	$Fe_2O_3$	11
wollastonita	$Fe_2SiO_4$	6
cuarzo	$SiO_2$	6
óxido mixto de Pb (II, III)	$Pb_2O_3$	1

Tabla. 2. Composición química promedio del polvo generado en el horno de arco eléctrico de Acinox - Las Tunas

Contenido de los elementos mayoritarios en forma de óxidos (%)	
Na <sub>2</sub> O	3,30
MgO	2,70
P <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,40
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,50
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,90
SiO <sub>2</sub>	5,40
MnO	9,40
CaO	7,30
ZnO	5,60
PbO	0,23
SO <sub>3</sub>	3,20
K <sub>2</sub> O	1,40
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<b>52,5</b>
Otros	5,70

### 2.3. Ensayos físicos - mecánicos realizados a las losas hidráulicas

Para comprobar que el polvo de la planta depuradora de humos luego de aplicado como pigmento a las losas hidráulicas cumple con las condiciones requeridas, se le realizarán ensayos de resistencia a la flexión, al intemperismo, al desgaste y absorción de agua en la

Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA) en la provincia de Holguín.

### **2.3.1. Resistencia al desgaste**

**La resistencia al desgaste de la loseta (dg) se calcula sobre la siguiente ecuación:**

$$d_g = \frac{m_1 - m_2}{a} \left( \frac{g}{cm^2} \right) \quad (2.1)$$

Dónde:

$m_1$ : es la masa del testigo antes del ensayo (g)

$m_2$ : es la masa del testigo después del ensayo (g)

$a$ : es el área del testigo ( $cm^2$ )

### **2.3.2. Resistencia a la flexión**

La resistencia a la flexión (r) se calculó según la fórmula siguiente:

$$r = \frac{3 \cdot f \cdot d}{2 \cdot b \cdot e^2} \text{ (MPa)}$$

(2.3)

Dónde:

$f$ : es la fuerza de rotura ( $N/cm^2$ )

$d$ : es la distancia entre los centros de apoyo (cm)

$b$ : es el ancho del testigo (cm)

$e$ : es el grosor del testigo (cm)

### **2.3.3. Absorción de agua**

La absorción de agua (ab) se calculó por la fórmula siguiente

$$ab = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \cdot 100$$

(2.3)

Dónde:

$m_1$ : es la masa del testigo seco (g)

$m_2$ : es la masa del testigo húmedo (g)

### **2.3.4. Resistencia al intemperismo**

Fueron escogidas 3 losas después de aplicarle el polvo como pigmento,

las cuales serán expuestas por un período de 5 meses a los rayos ultravioletas (UV) para comprobar su resistencia a la decoloración.

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1. Determinación de la resistencia al desgaste

La resistencia al desgaste de las losas hidráulicas (dg) se calculó mediante la ecuación (2.1). Los resultados se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Mediciones de las probetas para el cálculo de resistencia al desgaste.

Ensayos	1	2	3	4
m <sub>1</sub> (g)	138	145	144	138
m <sub>2</sub> (g)	135	141	140	134
área (a) (cm <sup>2</sup> )	49	49	49	49

Sustituyendo los resultados en la ecuación 2.1.

$$dg_1 = \frac{138 - 135}{49} = 0,06 \text{ (g/cm}^2\text{)}$$

$$dg_2 = \frac{145 - 141}{49} = 0,08 \text{ (g/cm}^2\text{)}$$

$$dg_3 = \frac{144 - 140}{49} = 0,08 \text{ (g/cm}^2\text{)}$$

$$dg_4 = \frac{138 - 134}{49} = 0,08 \text{ (g/cm}^2\text{)}$$

Como se puede apreciar a partir de los resultados anteriores, las losas presentan una resistencia al desgaste entre 0,06 y 0,08 g/cm<sup>2</sup>, según la norma NC 238:2008, cuando se le aplica el pigmento a las losas hidráulicas debe tener una resistencia al desgaste menor de 0,22 g/cm<sup>2</sup>, o sea, que este resultado está dentro de la norma establecida, esto demuestra que el polvo generado en la Planta Depuradora de Humo de Acinox-Tunas cumple con las condiciones de resistencia al desgaste para ser aplicado a las losas hidráulicas.

#### 3.2. Determinación de la resistencia a la flexión

La resistencia a la flexión (r) se calculó mediante la ecuación 2.2. Los datos para dicho cálculo se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Mediciones de las probetas para el cálculo de la resistencia a la flexión.

Ensayos	u/m	1	2	3	4	5	6	7	8
Dist. e/ centros de apoyo (d)	mm	65	65	65	65	65	65	65	65
Ancho del testigo (b)	mm	70	70	70	70	70	70	70	70
Grosor total (e)	mm	20	20	19,8	19,8	20	20	20	20
fuerza rotura (f)	N	560	700	960	1060	1020	1000	900	800

$$r_1 = \frac{3 \cdot 560 \cdot 65}{2 \cdot 70 \cdot 20^2} = 2,0 \text{ (MPa)}$$

$$r_2 = \frac{3 \cdot 700 \cdot 65}{2 \cdot 70 \cdot 20^2} = 2,4 \text{ (MPa)}$$

$$r_3 = \frac{3 \cdot 960 \cdot 65}{2 \cdot 70 \cdot 19,8^2} = 3,4 \text{ (MPa)}$$

$$r_4 = \frac{3 \cdot 1060 \cdot 65}{2 \cdot 70 \cdot 19,8^2} = 3,8 \text{ (MPa)}$$

$$r_5 = \frac{3 \cdot 1020 \cdot 65}{2 \cdot 70 \cdot 20^2} = 3,6 \text{ (MPa)}$$

$$r_6 = \frac{3 \cdot 1000 \cdot 65}{2 \cdot 70 \cdot 20^2} = 3,5 \text{ (MPa)}$$

$$r_7 = \frac{3 \cdot 900 \cdot 65}{2 \cdot 70 \cdot 20^2} = 3,1 \text{ (MPa)}$$

$$r_8 = \frac{3 \cdot 800 \cdot 65}{2 \cdot 70 \cdot 20^2} = 2,8 \text{ (MPa)}$$

$$r_{promedio} = \frac{2,0 + 2,4 + 3,4 + 3,8 + 3,6 + 3,5 + 3,1 + 2,8}{8} = 3,1 \text{ (MPa)}$$

Los resultados anteriores muestran que las losas presentan una resistencia a la flexión promedio de 3,1 MPa, según la norma NC 238:2008, cuando se le aplica la fuerza de rotura a las losas hidráulicas luego de haber aplicado el pigmento, debe tener una resistencia a la flexión mayor e igual de 3,0 MPa, quiere decir que el resultado obtenido se encuentra dentro de la norma establecida, esto evidencia que el polvo de la acería cumple con la norma establecida en cuanto a la resistencia a la flexión para ser aplicado a las losas hidráulicas.

### 3.3. Cálculo de la absorción de agua

Utilizando la ecuación 2.3 se calculó la absorción de agua de las losas

hidráulicas. Los datos se muestran en la tabla 5.

Tabla 3.4 Mediciones para el cálculo de la absorción de agua.

Peso húmedo ( $m_2$ ) (g)	g	1920,0	1960,0	1985,0
P ( $m_1$ ) (g)	g	1770,0	1780,0	1800,0
Absorción	%	8,5	10,1	10,3

$$ab_1 = \frac{1920 - 1770}{1770} \cdot 100 = 8,5 \%$$

$$ab_2 = \frac{1960 - 1780}{1780} \cdot 100 = 10,1 \%$$

$$ab_3 = \frac{1985 - 1800}{1770} \cdot 100 = 10,3 \%$$

En los resultados anteriores se muestra que la absorción de agua obtenida para las losas varía entre 8,5 y 10,3 %, según la norma NC 238:2008, cuando se le aplica el pigmento a las losas hidráulicas, éstas deben poseer una absorción de agua menor del 12 %, o sea, los resultados obtenidos se encuentran dentro de la norma establecida, esto evidencia que el polvo generado en la Planta Depuradora de Humo de Acinox-Tunas cumple con la norma establecida en cuanto a la absorción de agua para ser aplicado a las losas hidráulicas.

### 3.4. Resistencia al intemperismo

En la figura 1 se muestra una de las muestras expuestas al intemperismo luego de transcurrir cinco meses.



Figura 1. Muestra expuesta al intemperismo.

Para demostrar la resistencia al intemperismo, o sea, la resistencia a la decoloración, las losas hidráulicas fueron expuestas a los Rayos Ultravioletas (UV) por un período de 5 meses, ya que los UV pueden decolorar, pasado este tiempo se pudo observar que las muestras no

presentaron cambios de coloración (figura 1), a partir de esto se puede afirmar que los polvos de acería mantienen su color cuando son aplicados como pigmentos en losas hidráulicas.

Según los análisis realizados: composición química y mineralógica, análisis de resistencia al desgaste, resistencia a la flexión, absorción de agua y resistencia al intemperismo, los resultados obtenidos en cada uno de ellos demuestran que el polvo generado por la planta depuradora de humos de la empresa Acinox-Las Tunas cumple con las características químicas y mineralógicas para ser utilizado como pigmento y al mismo cumple con la norma establecida para ser aplicado como pigmento en las losas hidráulicas (Ver anexo 1).

#### **4. Conclusiones**

1. Se demostró, a partir de la caracterización química y mineralógica, así como de las pruebas experimentales realizadas, que el polvo generado en el horno de arco eléctrico de Acinox - Las Tunas puede ser empleado como pigmento en la producción de losas hidráulicas.
2. Los análisis realizados a las losas arrojaron una resistencia al desgaste entre 0,06 y 0,08 g/cm<sup>2</sup>, resistencia a la flexión promedio de 3,1 MPa y absorción de agua entre 8,5 y 10,3 %, estos valores cumplen con la norma establecida para pigmentos en losas hidráulicas, lo que evidencia que el polvo de acería puede ser utilizado con este fin.

#### **5. Referencias**

1. Pappalardo, L. 1999. A Portable PIXEL System for the In-situ Characterization of Black and Red Pigments in Neolithic, Copper Age and Bronze Age Pottery. 150(1):576-580. Impact Factor: 1.12 · DOI: 10.1016/S0168-583X(98)01001-5
2. Beovilde, L. *et al.*, 2001. Contenedores, instrumentos y pigmentos: una aproximación arqueométrica a los procesos de producción y uso en las sociedades del holoceno tardío en los humedales de Santa Lucía, Uruguay.
3. Nicolalde S. V. 2008. Utilización de escorias y polvos de acería en la producción de bloques y adoquines.

4. Fuentes Díaz. 2009. Empleo de la separación magnética para mejorar las características del polvo de NiO de la planta Ernesto Che Guevara, para su empleo como pigmento cerámico. Trabajo de diploma. ISMM Moa.
5. Díaz Catalán. 2014. Estudio comparativo entre la utilización de pigmentos de tipo orgánicos y minerales en concretos estructurales arquitectónicos. tesis de grado. Cartagena De Indias.