

Tipo de artículo: Artículo de Revisión

## Revisión bibliográfica sobre la escoria de acería como complemento del cemento hidráulico Holcim Fuerte

### *Bibliographic review on steel mill slag as a complement to Holcim Fuerte hydraulic cement*

Anthony Michael Morán Menéndez<sup>1</sup> , <https://orcid.org/0000-0002-7171-5084>

Glider Nunilo PARRALES Cantos<sup>2</sup> , <https://orcid.org/0000-0002-2233-8825>

Daniel David Carvajal Rivadeneira<sup>3</sup> , <https://orcid.org/0000-0002-5288-5483>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Técnicas, Universidad Estatal del Sur de Manabí, UNESUM, Jipijapa, Manabí, Ecuador. [moran-anthony@unesum.edu.ec](mailto:moran-anthony@unesum.edu.ec)

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Técnicas, Universidad Estatal del Sur de Manabí, UNESUM, Jipijapa, Manabí, Ecuador. [glider.parrales@unesum.edu.ec](mailto:glider.parrales@unesum.edu.ec)

<sup>3</sup> Facultad de Ciencias Técnicas, Universidad Estatal del Sur de Manabí, UNESUM, Jipijapa, Manabí, Ecuador. [daniel.carvajal@unesum.edu.ec](mailto:daniel.carvajal@unesum.edu.ec)

\* Autor para correspondencia: [moran-anthony@unesum.edu.ec](mailto:moran-anthony@unesum.edu.ec)

#### Resumen

Evaluar, mediante ensayos de laboratorio la compresión, con dosificaciones de mortero convencional y mortero con escoria, Acería del Ecuador C.A. ADELCA, sustituyendo un por ciento del cemento Portland. Los resultados obtenidos muestran la posibilidad del empleo de la escoria como componente en mezclas de morteros y su utilidad en la actividad constructiva.

**Palabras clave:** Construcción; mezcla; escoria; ensayo.

#### Abstract

Evaluate, by means of laboratory tests the compression, with dosages of conventional mortar and mortar with slag, Acería del Ecuador C.A. ADELCA, replacing it with one percent Portland cement. The results obtained show the possibility of using slag as a component in mortar mixtures and its usefulness in construction activity.

**Keywords:** Construction; mixture; human waste; test.

**Recibido:** 12/12/2020

**Aceptado:** 23/01/2021

## Introducción



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

Las nuevas tendencias en la construcción, basadas en la búsqueda de estructuras resistentes, con un diseño armónico estructural, se han visto en la necesidad de nuevos materiales que se integren a la amplia lista de existentes. Se han generado nuevas áreas de investigaciones en busca de ellos, mostrando sus propiedades físico-químicas.

La producción metalúrgica se encuentra estrechamente ligada al desarrollo de nuevos productos constructivos, como son las denominadas escorias, que no son más que un subproducto de la fabricación de los aceros y otros metales. Los denominados cementos siderúrgicos tienen propiedades superiores a los cementos Portland ordinarios, tales como: menor calor de hidratación, alta resistencia a los sulfates y al agua de mar, así como una reducción muy apreciable a la reacción árido-álcalis.

El proceso de elaboración del acero en ADELCA es a partir del horno de arco eléctrico (HAE), el residuo a estudiar es denominado escoria de acería de horno de arco eléctrico. La escoria generada en esta empresa constituye una fuente de materia prima que actualmente no es aprovechada en la y que en tiempos donde las reservas naturales se agotan cada vez más. Se hace necesario el ahorro de energía debido al precio del petróleo, es fundamental evaluar las vías para su explotación y consumo.

Las escorias de alto horno son materiales muy utilizados como adición activa para la elaboración de distintos cementos comerciales. Sin embargo, existen aún muchas interrogantes en torno a las escorias y fundamentalmente respecto a los factores o parámetros que afectan su comportamiento hidráulico.

El estudio de la adición de escorias al cemento, se inicia en Alemania, debido a su alto desarrollo en la siderurgia. Su objetivo era un mejor aprovechamiento de la escoria, así como los beneficios económicos. Estas mezclas se empleaban en cimentaciones y obras marítimas. En otros países se utilizaron para mejorar el rendimiento del cemento. Existían grandes dudas de la utilización de la escoria como aditivo, temiéndose que esta reaccionara con los aceros provocando su corrosión y un lento fraguado. Silva, O (2019)

En la producción, del cemento adicionado con escoria, se observa la disminución de hasta un 40% de su costo, debido a la utilización de la escoria como sustituto del Clinker, ahorrándose así el combustible para la producción del mismo. En su utilización como sustituto del cemento, ya elaborado, hasta un porcentaje determinado, el ahorro es mayor teniendo en cuenta que la escoria de acería es un subproducto.

La investigación desarrollada en la tesis doctoral de Luciana Amaral De Lima (Amaral, L, 1999), para el estudio de hormigones con escoria de horno eléctrico como árido se utilizó cemento CEM-45A y arena de sílice de dos tamaños granulométricos: el que pasa por tamiz 0,074 mm y el tamiz 0,60, para evaluar el comportamiento de la escoria como adición y como árido se ha determinado la resistencia mecánica de:

- Pastas de escoria como adición.



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

- Morteros con escoria como ligante.
- Morteros con escoria como árida fina

A efectos de comparar las resistencias de la escoria con la del cemento y verificar su comportamiento en el tiempo se ha fabricado pastas de escoria (< 0,6 mm), pastas de cemento y pasta con mezcla de escoria y cemento al 50 % en volumen. Se ha fabricado cinco probetas cilíndricas de 20 x 50 mm y se las ha curado en cámara húmeda por 28 días. El resultado es la media aritmética de las cinco determinaciones de resistencia a compresión.

Se ha estudiado la resistencia a compresión y a flexo-tracción siguiendo la norma [UNE EN 196-1, 1987]. Los ensayos se realizaron en 3 probetas prismáticas de 40x40x160 mm, siendo el resultado de la resistencia a flexo-tracción la media de las tres determinaciones y la resistencia a compresión la media de las seis determinaciones de los cubos resultantes del ensayo a flexo-tracción. La serie de los morteros con escoria ha sido dosificada utilizando la dosificación del mortero de referencia en volumen.

Lo anterior permite plantear el problema de investigación: Evaluar una mezcla de mortero convencional mediante ensayos, con dosificaciones de escoria ADELCA planta Milagros, y cemento Portland.

Como hipótesis se presenta:

Si se elaboran dosificaciones de morteros con escoria de ADELCA planta Milagros, a partir de ensayos de laboratorio se obtienen, valores de resistencia similares a los de morteros convencionales.

Como objetivo principal:

Evaluar una dosificación de mortero convencional, con las dosificaciones de morteros con escoria de ADELCA planta Milagros, sustituyendo cemento Portland.

Los objetivos específicos que se plantean en esta investigación:

Realizar ensayos de laboratorio, a partir de las características químicas de la escoria que permitan obtener resultados del empleo de la escoria como sustituto de un por ciento de cemento en una mezcla de mortero.

El campo de estudio se centra en los materiales de construcción con contenido de mortero de escoria para mezcla de mortero y se evalúa la escoria procedente de la Planta ADELCA, planta Milagros.

## **Materiales y métodos**

Para realizar la presente investigación, se definen los métodos investigativos a utilizar son los siguientes:

Documental: Análisis bibliográfico, entrevista con especialistas de ADELCA planta Milagros, y usuarios que están empleando la escoria sin haber realizado un estudio previo de la misma.



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

Análisis: Determinar las variables y para la dosificación de la mezcla de mortero utilizando un por ciento de escoria en sustitución del cemento portland.

Experimental: Se expondrá una síntesis de los ensayos realizados a los componentes y los resultados obtenidos de ellos, así como los resultados de las roturas de las probetas y otros parámetros.

## Resultados y discusión

El cemento como material fundamental en la elaboración del hormigón, definiéndose como un componente que posee propiedades adhesivas y cohesivas, que le da la posibilidad de aglutinar fragmentos minerales formando un compacto (Neville, 1999). En este trabajo se utilizará el cemento hidráulico de uso común en el Ecuador Holcim fuerte, con la siguiente composición (NTE INEN 490):

Tabla 1. Composición del cemento Holcim Fuerte según fabricante

	<b>Cemento Holcim Fuerte</b>	<b>RTCR 479:2015</b>
<b>Clinker</b>	45 - 64	45 - 64
<b>Adiciones minerales</b>	36 - 55	36 - 55
<b>Otros</b>	0 - 5	0 - 5

Tabla 2. Composición química del cemento

<b>Típica composición de óxido</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Composición normal</b>	<b>Porcentaje</b>
CaO	63	C <sub>3</sub> S	10.8
SiO <sub>2</sub>	20	C <sub>2</sub> S	54.1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6	C <sub>3</sub> A	16.6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3	C <sub>4</sub> AF	9.1
MgO	1.5	Compuestos menores	-
SO <sub>3</sub>	2		
K <sub>2</sub> O	1		
Na <sub>2</sub> O	1		
Otros	1		



Pérdida de ignición	2		
Residuo insoluble	0.5		

Fuente: (Neville 1999)

A continuación se muestran un resumen de las principales investigaciones revisadas sobre el objeto de estudio:

La investigación: “*Caracterización de las escorias de acería de la Empresa, hormigones y producto de la construcción Metalúrgica Antillana de Acero José Martí de la Habana para su empleo como árido y adición en morteros*” realizado por Orieta Soto Izquierdo y Nelson Díaz Brito del Departamento de Materiales del Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría en la Habana Cuba.

La escoria se hidrata lentamente y que a los noventa días las resistencias de la pasta con 50 % de escoria es muy semejante a la pasta de cemento Portland. En el caso de los morteros en que la escoria ha sido utilizada como ligante, la resistencia adquirida es muy baja. Los morteros fabricados con escoria como árido fino poseen resistencia a compresión a 28 días 52 % mayor que la resistencia adquirida por el mortero de referencia y resistencia a flexo-tracción 33 % mayor que la resistencia del mortero de referencia. Se concluye que la utilización de la escoria como árido en morteros aporta resistencia mejorando el comportamiento mecánico.

El estudio de la escoria de acería como adición al cemento se realizó según la Norma Americana ASTM C311, el cual, consistió en la confección de probetas de mortero patrón y probetas de mortero de escoria, y en esta última se le adicionó al cemento un 20% de escoria de acería. La dosificación empleada fue tomada según la norma americana ASTM C311, aplicada tanto para el mortero patrón como para el mortero con un 20% de adición de escoria de acería, con el objetivo de comprobar si este residuo tiene actividad puzolánica.

## Característica de la escoria de la planta ADELCA “Milagro”

La composición química depende de, entre otros factores, del tipo de acero que se esté fabricando, la calidad de la chatarra que se emplee como materia prima y el propio proceso de producción del acero. Sin embargo, los porcentos en masa de los componentes fundamentales de las escorias muestran una uniformidad en su cantidad, sin importar el país de procedencia.

Esta empresa produce aceros al carbono y aleados. El material de carga principal para la chatarra de hierro fundido, chatarra de recirculación (residuos del proceso) y ferroaleaciones, además de la utilización de otros materiales formadores de escoria como la cal y la fluorita. La tabla 3 muestra una comparación de la composición química de la escoria de ADELCA con la de otros países.

Tabla 3. Comparación de la composición química de la escoria de ADELCA con la de otros países.

Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	FeO (%)	CaO (%)	MgO (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Fe (%)
---------------------------------------	---------------------------------------	------------	------------	------------	----------------------	-----------



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

<b>Alemania</b>	1	4	31	32	10	15	11
<b>EUA</b>	1.8	8	18	41	10	17	20
<b>Italia</b>	1	7	20	41	8	14	24
<b>España</b>	1	9	34	28	6	13	19
<b>Brasil</b>	1.5	6	30	33	10	18	20
<b>Japón</b>	2	5	19	40	4	25	23
<b>ADELCA planta Milagros</b>	1-2	1-5	17-30	30-40	3-11	11-18	16-25

## Ensayo: Análisis granulométrico

Para el mortero es de gran importancia el tamaño de los granos o partículas de los áridos y específicamente la proporción en que se encuentren los mismos. Estos factores tienen una gran influencia en el comportamiento del mortero en cuanto a la facilidad de mezclado, transporte, colocación y compactación.

Agregado: El agregado proveniente de la mina Uruzca, es de origen ígneo, se le realizó el análisis granulométrico según la norma ASTM C 136 “Especificación estándar para agregados para concreto”. Para el logro del mejor aprovechamiento de la capacidad hidráulica de la escoria esta se molerá previamente antes del ensayo. El resultado de este ensayo muestra que el agregado y la escoria de aceria tienen una graduación dentro de los límites establecidos por ASTM C33, resultados que se observan en las siguientes tablas.

**Tabla 4.** Tamiz

Tamiz	Abertura del Tamiz (mm)	Masa(g) retenida	Masa (g) Acumulada	% Retenido	% Retenido acumulado	% pasa
11/2 ‘	37.5	0	0	0	0	100
1’	25	82.4	82.4	1.79	1.79	98.2
1/2 ‘	12.5	3240.8	3323.2	70.56	72.35	27.6
4	4.75	1098.1	4421.3	23.91	96.26	3.7
8	1.18	171.8	4593.1	3.74	100	0
<b>Sumatoria</b>		<b>4593.1</b>				



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

Fuente elaboración propia.

**Tabla 5.** Grano Fino

Tamiz	Abertura del tamiz (mm)	Masa (g) Retenida	Masa (g) acumulada	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasa
4	4.76	15.8	15.8	0.44	0.44	99.6
8	2.36	634.9	650.7	17.55	17.99	82.0
16	1.18	1063.7	1714.4	29.40	47.39	52.6
30	0.6	989.6	2704.0	27.35	74.74	25.3
50	0.3	441.7	3145.7	12.21	86.95	13.0
100	0.15	123.2	3268.9	3.41	90.36	9.6
200	0.075	244.5	3513.4	6.76	97.12	2.9
<b>Bandeja</b>	<b>0</b>	<b>104.3</b>	<b>3617.7</b>	<b>2.88</b>	<b>100</b>	<b>0.0</b>
<b>Sumatoria</b>		<b>3617.7</b>				

Fuente elaboración propia

Las elaboraron dos tipos de mezclas, siguiendo el procedimiento de la norma ASTM C 192, una que denominamos H el 100% de volumen de cemento es del Holcin fuerte y la otra que denominaremos E del volumen del cemento el 50% será sustituido por escoria de acería.

De cada mezcla se fabricaron 8 probetas, a las cuales se le retiraron de los moldes a las 24 horas y se curaron según norma ASTM C39 (2018) y la ACI 318 -14 (2014). A cada cilindro se le pule las caras antes de realizar el ensayo, según lo especificado en la norma ASTM C 39 (2018).

**Tabla 6.** Elaboración de especímenes

Edad de ensayo	Ensayos	Dimensiones	Tipo de mezcla	ID
3 días	fc, Vp, R	100x200	H	HA1
3 días	fc, Vp, R	100x200	H	HA2
3 días	fc, Vp, R	100x200	E	EA1
3 días	fc, Vp, R	100x200	E	EA2



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)**

7 días	fc, Vp, R	100x200	H	HB1
7 días	fc, Vp, R	100x200	H	HB2
7 días	fc, Vp, R	100x200	E	EB1
7 días	fc, Vp, R	100x200	E	EB2
14 días	fc, Vp, R	100x200	H	HC1
14 días	fc, Vp, R	100x200	H	HC2
14 días	fc, Vp, R	100x200	E	EC1
14 días	fc, Vp, R	100x200	E	EC2
180 días	fc, Ed, Ec	150x300	H	HD1
180 días	fc, Ed, Ec	150x300	H	HD2
180 días	fc, Ed, Ec	150x300	E	AD1
180 días	fc, Ed, Ec	150x300	E	AD2

Fuente elaboración propia

En la Tabla 6:

Fc: Resistencia a la compresión.

Vp: Velocidad de pulso

R: Numero de rebotes

Ed: Módulo de elasticidad dinámico

Ec: Modulo de elasticidad estático.

Velocidad de puso ultrasónico: El ensayo para determinar la velocidad de propagación de los pulsos de ondas de esfuerzos longitudinales a través del hormigón, se realiza según norma ASTM 597. Es un ensayo no destructivo que determina la homogeneidad y la calidad del material, indicando la presencia de huecos y grietas

Se utilizó un instrumento ultrasónico. Se realizaron 5 pruebas con los dos transductores ubicado en el centro de cada cara y las mediciones se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 7.** Identificación de las probetas de ensayo

Probetas	V 1(m/s)	V2(m/s)	V3(m/s)	V4(m/s)	V5(m/s)	Promedio (m/s)	Promedio (m/s)
HA1	3770	3590	3570	3080	3540	3510	3480
HA2	3590	3550	3610	3020	3480	3450	
EA1	3020	3140	3060	3110	3450	3156	3192
EA2	3010	3240	3360	3250	3280	3228	
HB1	3720	3700	3720	3730	3750	3724	3719
HB2	3680	3730	3710	3750	3700	3714	
EB1	3690	3670	3740	3680	3710	3698	3701
EB2	3740	3710	3690	3740	3640	3704	
HC1	4050	4050	4070	4070	4050	4058	4107



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)**

HC2	4140	4180	4140	4140	4180	4156	4352
EC1	4310	4290	4350	4260	4350	4312	
EC2	4420	4380	4310	4460	4390	4392	

Fuente elaboración propia

Número de rebotes: En este ensayo se determina la propiedad de absorber energía cuando es deformado el material y liberarla después de ser descargada la misma, evaluando así la resistencia del material. La energía absorbida depende de la rigidez del elemento ensayado. Es un ensayo no destructivo más utilizado en la construcción.

Utilizando el martillo para hormigón Matest 380-1 y empleando la norma ASTM C805 se realizaron un total de 10 pruebas en cada una de las caras en cada uno de los cilindros. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 8.** Número de rebote

ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Pro	Pro.
HA1	20	20	22	20	16	18	20	22	18	18	19.4	19.2
HA2	20	14	26	18	18	24	16	18	16	20	19.0	
EA1	14	15	15	18	16	16	16	14	14	16	15.4	16.3
EA2	15	15	19	16	17	17	17	18	19	19	17.2	
HB1	24	24	26	24	24	24	26	24	24	24	24.4	24.9
HB2	26	26	28	24	26	26	24	26	24	24	25.4	
EB1	21	24	23	20	20	20	21	24	23	19	21.5	22.3
EB2	22	24	24	22	23	23	22	23	24	24	23.1	
HC1	26	24	26	26	28	24	26	26	24	30	26.0	26.7
HC2	28	28	28	26	26	28	28	26	28	28	27.4	
EC1	29	29	31	32	30	30	30	30	29	29	29.9	30.1
EC2	31	30	29	29	31	30	32	30	30	30	30.2	

Fuente elaboración propia

Resistencia a la compresión: Es el valor obtenido al dividir el esfuerzo máximo soportado por el hormigón por el área de la sección transversal de una probeta o espécimen.

El ensayo de prueba estándar para la resistencia a la compresión de muestras cilíndricas, definida por la norma ASTM C39, consiste en aplicar una carga axial de compresión a los cilindros o núcleos moldeados, a una velocidad establecida, hasta que ocurre una falla y nos da el esfuerzo máximo que puede soportar.

Se utilizará para este ensayo una prensa cuyas especificaciones están normadas, bloques de apoyo, indicador de carga y espaciadores. Se ensayaron los 16 cilindros a compresión en correspondencia a la norma ASTM C39 y los resultados aparecen en la siguiente tabla.

**Tabla 9.** Resistencia a la compresión

Probetas	Resistencia a la compresión (MPa)	Promedio (MPa)
HA1	20.7	20.9
HA2	21.1	
EA1	17.9	17.4
EA2	16.8	



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)**

HB1	25.1	24.1
HB2	23.1	
EB1	22.9	22.4
EB2	21.8	
HC1	29.4	28.3
HC2	27.1	
EC1	28.1	28.7
EC2	29.2	
HD1	46.1	46.0
HD2	45.9	
ED1	59.2	59.8
ED2	60.4	

Fuente elaboración propia

Módulo de elasticidad estático del hormigón: El módulo de elasticidad estático del hormigón se determina a través de la prueba de compresión especificada en la norma ASTM C 469, se utilizará cilindros de hormigón de 150 mmx300mm, se aplica una carga axial hasta que el mismo falle. Las deformaciones longitudinales y transversales son medidas durante toda la prueba. El equipo de medición consta de una máquina de prueba, un compresómetro y un extensómetro.

**Tabla 10. Módulo de elasticidad del hormigón**

ID	Ec(Gpa)	Promedio Ec(GPa)
HD1	23.6	23.2
HD2	22.8	
ED1	31.2	31.7
ED2	32.3	

Fuente elaboración propia

Módulo de elasticidad dinámico del hormigón: El módulo de elasticidad dinámico de Young o dinámico de rigidez, según la norma ASTM C215(2013), consiste en la medición de las frecuencias resonantes transversales, longitudinales y torsionales fundamentales de cilindros de hormigón y el valor del mismo depende de la resistencia del hormigón.

El equipo de medición consta de dos partes de resonancia forzada con un circuito de conducción que posee: oscilador de audio de frecuencia variable, circuito de captación con su unidad, amplificador, indicador, un soporte y un impactador amplificador, además de un impactador, cuyas características también son determinada por la norma.

**Tabla 11. Módulo de elasticidad dinámico**

ID	Ed(Gpa)	Promedio EdGPa)
HD1	28.5	27.5
HD2	26.5	
ED1	35.4	35.2
ED2	34.9	

Fuente elaboración propia.



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

## Análisis de los resultados

Efecto de la sustitución del cemento Portland en el número de rebotes: En el gráfico se observa el aumento del número de rebotes con la edad de ensayo. Es de destacar que hasta la edad de 7 días los rebotes son mayores en la mezcla H que los de la mezcla E (sustitución de cemento por Escoria) A los 28 días de edad de ensayo el número de rebotes es mayor en las mezclas E en un 112 %

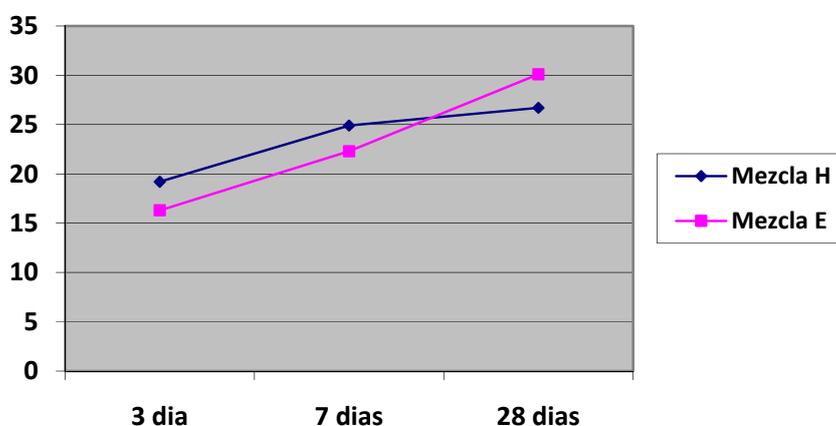


Gráfico número de rebote contra edad de ensayo

Efecto de la sustitución del cemento Portland en la velocidad de pulso: En el siguiente grafico se observa el crecimiento de la velocidad de pulso respecto a la edad de ensayo. A la edad de 3 días hasta los 7 días la velocidad de pulso es mayor en las mezcla H que la mezcla E Con la sustitución del cemento por escoria se observa que a los 28 días la velocidad de pulso ultrasónico es mayor en estas probetas en un 106 %

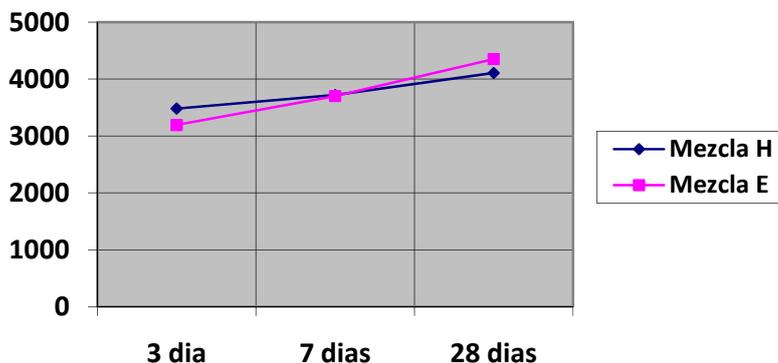


Gráfico pulso ultrasónico contra edad de ensayo



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

Efecto de la sustitución del cemento Portland en la resistencia a la compresión: En los ensayos de resistencia a la compresión se observan valores a partir de los 28 días de edad muy superiores en los hormigones con adición de escorias con respecto a la otra mezcla lográndose valores hasta de 130%

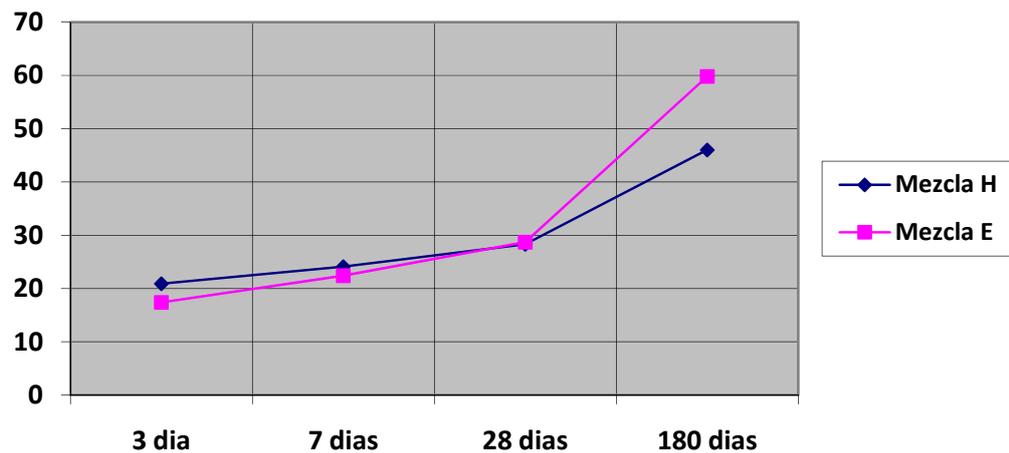


Gráfico resistencia a la compresión contra edad de ensayo

Efecto de la sustitución del cemento Portland en los Módulos de Elasticidad Dinámico y Módulo de Elasticidad Estático: En los resultados de Módulo de Elasticidad Dinámico y el Módulo de Elasticidad Estático para probetas de 180 días de edad, se observó que eran mayores para las mezclas con adición de escoria de acería en un 128% y 136% respectivamente

## Conclusiones

La escoria de alto horno de ADELCA puede ser utilizada como sustituta del cemento en porcentos menores del 50% La mezcla de hormigón con escoria de acería presenta mejores resultados a las diferentes propiedades mecánicas a partir del periodo entre los 7 y 28 días de edad, observándose que a los 28 días de edad para ensayo ya son superiores a los presentados por el convencional

El ensayo para determinar el número de rebotes no dando resultados confiables como consecuencia de que el área de ensayo era muy pequeña y los cilindros no se encontraban empotrados, notándose ligeros movimientos que podían influir en su resultado.

## Recomendaciones

Ampliar las investigaciones sobre este tema, en especial la evaluación de las propiedades mecánicas del cemento con escoria entre las edades de 7 y 28 días, así como a más de 180 días.



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

Estudiar la influencia del porcentaje de escoria sustituyendo el cemento.

Estudiar el desempeño de los diferentes cementos utilizados en el Ecuador al ser sustituido un por ciento de ellos por escorias en la elaboración de concretos.

## Conflictos de intereses

Los autores de la presente investigación declaran que no poseen conflictos de intereses.

## Contribución de los autores

Conceptualización: Anthony Michael Morán Menéndez, Glider Nunilo PARRALES Cantos, Daniel David Carvajal Rivadeneira.

Curación de datos: Anthony Michael Morán Menéndez, Glider Nunilo PARRALES Cantos, Daniel David Carvajal Rivadeneira.

Análisis formal: Anthony Michael Morán Menéndez, Glider Nunilo PARRALES Cantos.

Investigación: Anthony Michael Morán Menéndez, Glider Nunilo PARRALES Cantos.

Metodología: Anthony Michael Morán Menéndez, Glider Nunilo PARRALES Cantos.

Administración del proyecto: Glider Nunilo PARRALES Cantos.

Recursos: Glider Nunilo PARRALES Cantos, Daniel David Carvajal Rivadeneira..

Software: Anthony Michael Morán Menéndez, Daniel David Carvajal Rivadeneira.

Supervisión: Glider Nunilo PARRALES Cantos.

Validación: Anthony Michael Morán Menéndez, Daniel David Carvajal Rivadeneira.

Visualización: Anthony Michael Morán Menéndez, Daniel David Carvajal Rivadeneira.

Redacción – borrador original: Anthony Michael Morán Menéndez, Glider Nunilo PARRALES Cantos, Daniel David Carvajal Rivadeneira.

Redacción – revisión y edición: Anthony Michael Morán Menéndez, Glider Nunilo PARRALES Cantos, Daniel David Carvajal Rivadeneira.

## Financiamiento

La investigación no requirió fuente de financiamiento externa, ha sido financiada por los autores.

## Referencias



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

- Amaral, L(1999) Tesis de doctorado” Hormigones con escoria de Horno eléctrico como aridos , propiedades, durabilidad y comportamiento” Universidad de Cataluña, España
- ASTM Standard C805. (2013). Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete. ASTM INTERNATIONAL.
- ASTM Standard C469. (2014). Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson’s Ratio of Concrete in Compression. ASTM INTERNATIONAL.
- ASTM Standard C39. (2018). Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. ASTM INTERNATIONAL.
- ASTM Standard C33. (2016). Standard Specification for Concrete Aggregates. ASTM INTERNATIONAL.
- ASTM Standard C215. (2008). Standard Test Method for Fundamental Transverse, Longitudinal, and Torsional Resonant Frequencies of Concrete Specimens. ASTM INTERNATIONAL.
- ACI 318S. (2014). Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural: American Concrete Institute.
- ASTM Standard C597. (2016). Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete. ASTM INTERNATIONAL.
- ASTM C 136 Metodo de ensayo normalizado para la determinación granulométrica de agregados finos y gruesos ASTM INTERNATIONAL.
- ASTM C 311 Standard test methods for sampling and testing fly ash or natural pozzolans for use as mineral admixtur in Portland cement concrete. ASTM INTERNATIONAL.
- NTE-INEN-490. (2011). *Cementos Hidráulicos. Requisitos*. Norma Técnica Ecuatoriana: Quinta Revisión
- Neville, A. M. (1999). *Concrete Technology (1 ed.)*. Pearson Education.
- Silva ,O(2019) “Recorriendo la historia de los cementos adicionados con escoria de alto horno” Revista Argos Colombia, Recuperado de <http://www.360enconcreto.com>
- Soto, O, Soto, I; Díaz, N(2007)“ Caracterización de las escorias de acería de la empresa metalúrgica Antillana de acero “José Martí” de la Habana para su empleo como árido y adición de morteros, hormigones y productos de la construcción”, Minerva, Cuba, Recuperado [www.fipai.org.br/Minerva%2007\(01\)%2007.pdf](http://www.fipai.org.br/Minerva%2007(01)%2007.pdf)

