

## UTILIZACIÓN DE LODOS PROCEDENTES DEL LAVADO DE ÁRIDOS NATURALES EN LA PRODUCCIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

***Rayda Crespo Castillo, Rafael Jiménez Chappotin***

*Centro Técnico para el Desarrollo de los Materiales de la Construcción Carretera Casablanca y calle 70, Reparto Bahía, Regla, Ciudad de la Habana, Cuba. CP 11200 E-mail [raida@ctdmc.co.cu](mailto:raida@ctdmc.co.cu), E-mail [chappotin@ctdmc.co.cu](mailto:chappotin@ctdmc.co.cu),*

### RESUMEN

Durante el proceso de lavado de los materiales agregados, de origen calizo (rocas, arenas, gravas, etc.) se generan lodos constituidos por un alto contenido de finos, que a pesar de sus grandes posibilidades de aplicación, no cuentan con destino alguno para ser empleados y se concentran en grandes volúmenes, resultando una molestia desde el punto de vista medio ambiental.

Este trabajo tiene como objetivo, la caracterización física, química y mineralógica de los lodos de las plantas La Victoria y Dragón Camoa para valorar su empleo en la producción de otros materiales de construcción, específicamente para morteros y elementos cerámicos..

Se realizaron los ensayos determinados para los materiales tradicionales (arena y arcillas), siguiendo las normas nacionales establecidas.

Esta evaluación tiene una gran importancia, pues en la literatura consultada no se cuenta con antecedentes de estudios realizados a estos materiales de desecho. Además el aprovechamiento de los lodos del lavado de áridos como materia prima o agregados en otros sectores de la construcción constituye una opción para conservar nuestras reservas naturales, minimizar los costos de producción y que se reduzcan totalmente los riesgos que una deposición inadecuada pueda ocasionar.

Del análisis de los resultados se concluye que los lodos estudiados para la elaboración de morteros no se consideran adecuados en aplicaciones que demanden una alta resistencia. Para su empleo en la industria cerámica deben ser combinados con distintos tipos de arcillas plásticas para la producción de ladrillos cerámicos.

### ABSTRACT

The wastes of the washing process of calcareous aggregates contained mud. These constitute great quantities and then were considerate agent of the environment pollution. The recycling and reuse of these muds are probable but it's necessary to know their properties and performers.

This article related the research of the use of mud come from the process of Victoria and Dragón Camoa mines. Extend to different test according the Cubans standards to evaluate the physical chemistry and mineralogical properties and prove their use as construction materials, specifically as aggregate in mortars and raw material in ceramic bricks.

Was showed the employees on low performer mortar and the ceramic bricks but combined with others kinds of plastic clays in different proportions. These results constitute an option to sustainable production process of calcareous aggregates and mitigate the risks of environment pollution.

### INTRODUCCIÓN

En la sociedad actual se tiene muy en cuenta la protección del medio ambiente, la reducción del consumo energético, la preservación de las fuentes de materias primas y la reducción de residuos. Los residuos deben ser estabilizados para así evitar su efecto nocivo. Se debe garantizar la seguridad ambiental en el vertido de aquello que, por razones tecnológicas o económicas, no haya podido ser reutilizado.

Es muy alta la cantidad de residuos que no puede volver a incorporarse a los ciclos naturales o a las líneas de producción industrial, por las vías hasta ahora conocidas.

Este puede llegar a ser un problema crítico si no hallamos una solución, y mayor será el problema cuanto más nos tardemos en llegar a ésta, por esta razón la investigación de nuevas vías de tratamiento resulta imprescindible.

Los volúmenes almacenados desde hace más de 25 años, además de no permitir la reutilización de estas lagunas o diques en la actualidad, dificulta el movimiento de los cargadores en el patio y la traslación de los residuales hasta su depósito.

Por lo que se impone la necesidad de Identificar industrialmente nuestros residuales del proceso de beneficio de la masa minera, así como su posible uso en nuestra rama industrial u otra cualquiera en el país. Por otra parte, el medio ambiente se beneficiaría tanto por la renovación del paisaje como por rescate de áreas ocupadas que pudieran tener otra utilización.

### **1.1 Lodos del lavado de áridos en las plantas La Victoria y Dragón Camoa.**

#### **C. P. 301 “Victoria II”**

Este es un centro productor de Arena Calcárea (fracción 5 – 0,15 mm), un producto beneficiado hidráulicamente por hidrociclizado, y que genera importantes volúmenes de residuales, en referencia cuantitativa.

La instalación tiene una capacidad disponible de 142 884 m<sup>3</sup>/año, desaprovechándose un 22%, que se clasifica como Lodos residuales de Beneficio, y que son depositados en el Dique para Lodos.

Los volúmenes varían a partir de la masa minera con que se alimentan estos centros productores y las características predominantes en sus yacimientos mineros, formados, mayoritariamente por arenisca calcárea de dureza media y baja. Su característica fundamental es la composición margosa clara y algo de arcilla.

De acuerdo a los volúmenes de producción, se genera un residual, que asciende a 31 430 m<sup>3</sup>/año, que son tratados primariamente en una planta de espesado y clarificación completa suministrada por ERAL. SA, que recupera agua en la planta mediante la floculación, bombeándose lo precipitado, con una composición de un 20% de sólidos, para decantar en lagunas de sedimentación donde el agua limpia recuperada se tributa a una estación de rebombeo, como otra opción de alimentación de agua industrial al proceso productivo. El volumen promedio decantado anual: 6 286 m<sup>3</sup>

Los residuales de estos centros productores no están clasificados aún.

#### **C. P. 206 “Dragón-Camoa”**

Esta instalación se alimenta de los frentes de canteras del Yacimiento San José Sur.

La capacidad disponible de producción de esta planta es de 230 400 m<sup>3</sup>/año.

El 36% que se separa es clasificado como relleno destinado a alimentar el CP – 207 II, (Beneficiadora de Áridos). En este centro productor se benefician las fracciones 20 – 10 mm Gravilla, 10 – 5 mm Granito, y 5 – 0,15 mm Arena Calcárea.

De acuerdo a los volúmenes de producción, se genera un residual que se deposita en los diques para lodos, que asciende a 134 835 m<sup>3</sup>/año, con una composición de un 35% de sólidos para decantar, de lo que se recupera el 45% para su venta como RECEBO, de acuerdo a la NC 54 - 383: 1985 “Recebo. Especificaciones de Calidad”.

Este residual es rico en arcillas rojas y claras y en margas claras y en ocasiones arcillosas, en dependencia del bloque y el nivel que se haya explotado en el Yacimiento San José Sur.

El Volumen promedio decantado anual es de 47 190 m<sup>3</sup>,

Actualmente han aumentado los por cientos de producción, debido a que el material extraído del yacimiento es muy fino y al pasar por las máquinas de lavado se van muchos finos por los tamices que deben tener una abertura de 6 – 8 mm.

Los residuales de estos centros productores no están caracterizados aún.

La población cercana refiere su empleo como material en la elaboración de morteros para repellos finos en algunas obras sin estudios previos.

El desperdicio que se obtiene en ambas plantas no está constituido químicamente por elementos nocivos para el hombre, por lo que su manipulación es similar a la de cualquier material de construcción. Reviste gran importancia desde dos puntos de vista: primero el hecho de obtener ganancias para el entorno que se alivia de un material indeseable, y segundo, desde el punto de vista económico consiste en un ahorro considerable de arena (entre un 25 y 35 %), para obtener ganancias para la industria con un material bajo en el costo que puede ser utilizado para sustituir otros que sí cuesta producir.

## 1.2 Objetivos del trabajo

- Caracterización de los lodos procedentes de las plantas La Victoria y Dragón Camoa.
- Evaluar la posible reutilización de los lodos como material de construcción (morteros de albañilería, ladrillos cerámicos), con propiedades mecánicas similares, a las de los productos tradicionales.

## MATERIALES Y METODOS

Por las perspectivas económicas que representa este trabajo se realizó el estudio del comportamiento de los morteros con adición de los lodos del lavado de áridos de las plantas La Victoria y Dragón Camoa, observando las dosificaciones propuestas, y verificando el cumplimiento de sus propiedades al ser comparadas con las obtenidas en los morteros tradicionales, comprobando así la calidad del producto para ser empleado en determinadas aplicaciones en el sector de la construcción.

### 2.1 Evaluación de los lodos para la elaboración de morteros de albañilería.

#### 2.1.1 Caracterización de los materiales

Para los materiales que serán estudiados (cemento, arena, hidrato de cal y lodos de las plantas La Victoria y Dragón Camoa) se determinan los siguientes parámetros:

- Caracterización física: humedad, densidad y granulometría.
- Caracterización química: porcentaje de los minerales predominantes.
- Caracterización mineralógica: Para determinar la composición mineralógica del lodo se realizó el análisis de difracción de rayos X.

#### 2.1.2 Cemento

Se utilizó un Cemento Portland P- 350 de marca 35 MPa (350 kg/cm<sup>2</sup>) procedente del Mariel, Provincia Habana, y que cumple con lo establecido en la NC-54-205-80 cuyas características químicas, físicas y físico-mecánicas aparecen a continuación:

Tabla I.- Análisis químicos del cemento.

Material	Mineral predominante, (%)							
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	PPI	RI
Cemento Portland P- 350	18.34	4.75	2.90	61.87	2.29	2.95	4.53	1.67

Tabla II.- Ensayos físicos del cemento PP 350 del Mariel.

Ensayos Físicos	Valor obtenido
Peso específico, (g/cm <sup>3</sup> )	3.05
S.E. Blaine, (cm <sup>2</sup> /g)	3315.93
Consistencia normal, (%)	24.8
Tiempo de fraguado inicial, (seg.)	85 min
Tiempo de fraguado final, (min.)	3 h 40 min.

Tabla III.- Composición mineralógica.

Composición mineralógica	Valor obtenido, (%)
C3S	45
C2S	17
C3A	5.3
C4AF	9.5

### 2.1.3 Arena

Las arenas utilizadas para la fabricación de las probetas son procedentes de las plantas La Victoria y Dragón Camoa.

Tabla IV.- Caracterización química de las arenas.

Material	Mineral predominante, (%)								
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	PPI	RI	Carbonatos totales
Arena V.	15.94	4.35	3.66	39.80	1.28	0.17	32.91	9.59	77.76
Arena D.C.	2.06	0.96	0.64	43.59	5.74	0.028	42.76	2.89	96.78

Tabla V.- Caracterización físico- mecánica de las arenas la Victoria y Dragón Camoa

Ensayos	UM	Arena Victoria	Arena Dragón Camoa
Peso volumétrico suelto. PVS.	(g/cm <sup>3</sup> )	1464	1638
Peso volumétrico compactado. PVC.	(g/cm <sup>3</sup> )	1542	1670
Peso específico corriente. PEC.	(g/cm <sup>3</sup> )	2,60	2,59
Peso específico aparente. PEA.	(g/cm <sup>3</sup> )	2,78	2,72
Peso específico saturado. PES.	(g/cm <sup>3</sup> )	2,65	2,64
Absorción	(%)	1,95	1,6
Tamiz 200	(%)	2,2	3,4

Tabla VI.- Análisis granulométrico Arena Victoria

Tamiz (mm)	Retenido Parcial (g)	Retenido Parcial (%)	Retenido Acumulado (g)	Retenido Acumulado (%)	Pasado
9.52	0.0	0,0	0.0	0,0	100
4.76	47.8	10	47.8	10	90

2.38	112.0	22	159.8	32	68
1.19	96.5	19	256.3	51	49
0.595	81.3	16	337.5	68	32
0.297	88.5	18	426.0	85	15
0.149	50.3	10	476.3	95	5
Fondo	23.8	5	500.0	100	0
Modulo de finura	3.4				
Tamiz 200, (%)	2.2				
Azul de Metileno, (g/kg)	2.0				

Tabla VII.-Análisis granulométrico Arena Dragón Camoa

Tamiz (mm)	Retenido Parcial, (g)	Retenido Parcial, (%)	Retenido Acumulado, (g)	Retenido Acumulado, (%)	Pasado
9.52	0.0	0.0	0.0	0.0	100
4.76	48.6	9.7	48.5	9.7	90
2.38	140.1	29.2	194.0	38.9	61
1.19	128.4	25.7	323.1	64.6	35
0.595	74.0	14.9	397.0	79.5	20
0.297	52.7	10.5	450.2	90.1	10
0.149	28.0	5.7	478.7	95.7	4
Fondo	21.3	4.3	500.0	100	0
Modulo de finura	3.8				
Tamiz 200, (%)	5.4				
Azul de Metileno, (g/kg)	2.25				

#### 2.1.4 Cal

La cal debe ser hidratada antes de emplearla en la elaboración del mortero, Esto mejora la plasticidad de la mezcla.

Tabla VIII.- Caracterización físico química de la cal

Material	Mineral predominante, (%)					
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>
Cal	0.80	2.29	1.96	54.43	1.02	0.23
Determinación de la Perdida Por Ignición (PPI)						37.03
Determinación del Residuo Insoluble (RI)						0.61
Determinación de los Carbonatos Totales						98.68
Determinación de Oxido de Calcio Aprovechable						62.91
Determinación del Hidrato de Cal Aprovechable						83.91
Determinación del Peso Especifico (g/cm <sup>3</sup> )						2.45
Determinación del Peso Volumétrico kg/m <sup>3</sup> )						700

#### 2.1.5 Lodos

Los lodos utilizados para la fabricación de las probetas son procedentes del lavado de áridos de las plantas La Victoria y Dragón Camoa y están constituidas por fracciones finas de naturaleza caliza.

Se les realizó el muestreo y la caracterización fisicoquímica y mineralógica.

Lodo Victoria: Residuo de color gris- (Humedad (38.05 %),

Lodo Dragón Camoa: Residuo de color carmelita claro- (Humedad (20.30 %)

Tabla IX.- Caracterización química de los lodos.

Muestra	SiO <sub>2</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	PPI (%)	RI (%)	CaOH (%)	Carbonatos Totales, (%)
Lodo Victoria	18.02	2.72	1.06	43.63	1.42	0.04	31.95	15.62	0.31	88.87
Lodo Dragón	3.40	1.81	1.48	45.41	1.74	0.08	43.10	4.45	0.15	89.08

Tabla X.- Caracterización física de los lodos

ENSAYOS	UM	Lodo Victoria	Lodo Dragón Camoa
Peso volumétrico suelto. PVS.	(g/cm <sup>3</sup> )	1110	1330
Peso volumétrico compactado. PVC.	(g/cm <sup>3</sup> )	1270	1460
Peso específico corriente. PEC.	(g/cm <sup>3</sup> )	2.62	2.53
Peso específico aparente. PEA.	(g/cm <sup>3</sup> )	2.66	2.69
Peso específico saturado. PES.	(g/cm <sup>3</sup> )	2.63	2.59

Tabla XI.- Análisis granulométrico Lodo Victoria

Tamiz (mm)	Retenido Parcial (g)	Retenido Parcial (%)	Retenido Acumulado (g)	Retenido Acumulado (%)	Pasado
9.52	0	0	0	0	100
4.76	29.0	6	29	6	94
2.38	66.3	13	95.3	19	81
1.19	86.8	17	182	36	64
0.595	109.3	22	291.3	58	42
0.297	87.8	18	379	76	24
0.149	61.8	12	440.8	88	12
Fondo	59.3	12	500	100	0
Modulo de finura	2.8				
Tamiz 200, (%)	13				
Azul de Metileno, (g/kg)	2.25				

### Caracterización mineralógica Lodo Victoria

Los diagramas se han obtenido a partir de un ensayo de Difracción de Rayos X realizado en el Laboratorio del CEADEN.

En la figura observamos un fondo elevado correspondiente a la fracción amorfa del lodo, que mayoritariamente es la parte orgánica del mismo. Los minerales inorgánicos más abundantes del lodo son la calcita CaCO<sub>3</sub> y el cuarzo αSiO<sub>2</sub> mas ferrosilita (Fe<sub>2</sub>Mg)SiO<sub>3</sub>, del grupo de las piroxenas. Otro dato importante es que no hay presencia de fracción arcillosa en el lodo seco.

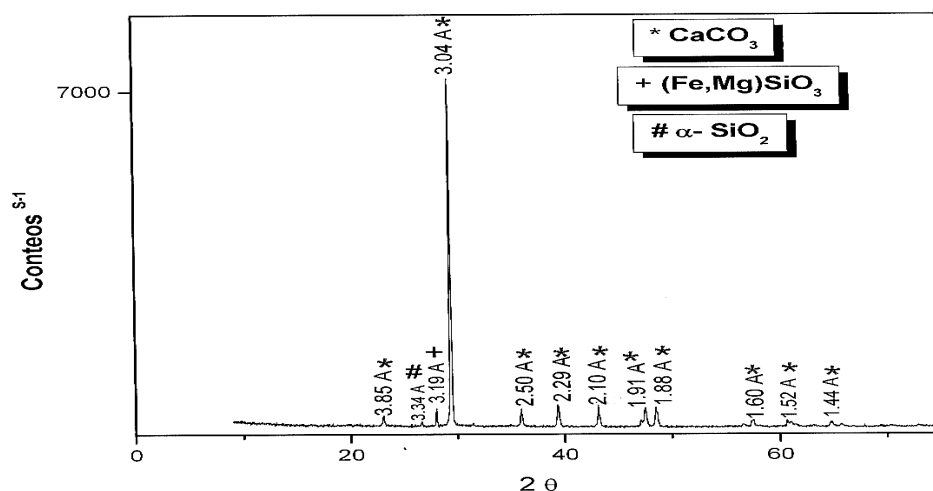


Figura 1.- Lodo Arena Victoria

Tabla XII.- Análisis granulométrico Lodo Dragón Camoa

Tamiz (mm)	Retenido Parcial, (g)	Retenido Parcial, (%)	Retenido Acumulado, (g)	Retenido Acumulado, (%)	Pasado
9.52	5.5	1.0	5.5	1	99
4.76	52.5	11	58.0	12	88
2.38	55.8	11	113.8	23	77
1.19	50.5	10	164.3	33	67
0.595	38.8	8	203.0	41	59
0.297	78.8	16	281.8	56	44
0.149	108.5	22	390.3	78	22
Fondo	109.8	22	500	100	0
Modulo de finura	2.2				
Tamiz 200, (%)	39.2				
Azul de Metileno, (g/kg)	2.0				

### Caracterización mineralógica Lodo Dragón Camoa

La característica granulométrica del lodo es como las de un árido fino. Para determinar la composición inorgánica cristalina del lodo de Dragón se realizó el análisis de difracción de rayos X, así tendremos la caracterización mineralógica del lodo sin tamizar.

Las fases mayoritarias presentes en la muestra de lodo son de ankerita ( $\text{CaMg}_{0.27}\text{Fe}_{0.73}\text{CO}_3$ )<sub>2</sub>) y Calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) y cuarzo ( $\alpha\text{SiO}_2$ ) mas ferrosilita,  $((\text{Fe}_2\text{Mg})\text{SiO}_3)$ , del grupo de las piroxenas.

No se observó presencia de fracción arcillosa. El oxido de silicio que aparece como fase minoritaria está en coherencia con el análisis semicuantitativo de la muestra, un 51,42 % de calcita, 4,18% de cuarzo, y 44.40% de ankerita. No hay presencia de arcillas en el lodo seco.



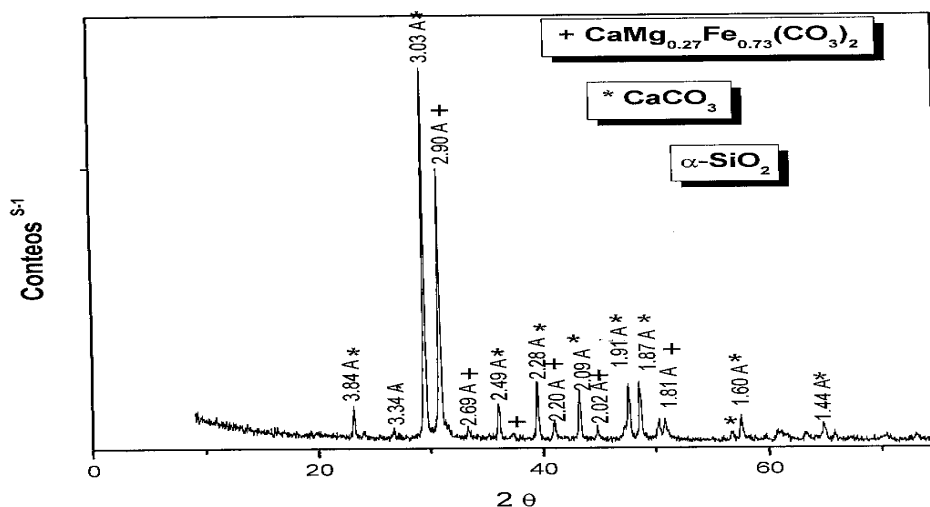


Figura 2.- Lodo Dragón Camoa

El lodo puede reaccionar con facilidad con los minerales de la arcilla y con el cuarzo, que le aporta compacidad a las piezas.

## 2.2. Proceso de fabricación de las probetas

En la fabricación de morteros, se precisa conocer bien las propiedades físico- mecánicas de los materiales y la naturaleza de sus componentes, de esta forma podemos determinar las resistencias características de dichos morteros y el uso posterior al que serán destinados.

Para la elaboración de los morteros se realizaron tres dosificaciones patrones, sin adición de lodos y posteriormente las variantes con el empleo de los residuos al 5 % y 10 %. Se tuvieron en cuenta los requisitos establecidos en las normas de especificación cubanas para morteros de albañilería.

Las probetas se prepararon en los moldes con las dimensiones 40x40x160 mm a los que se les realizaron ensayos para evaluar las propiedades mecánicas y la durabilidad, y fueron desmoldados a las 24 h para ser colocados en la cámara húmeda hasta su fecha de ensayo.

## Ensayos realizados

- **Absorción por capilaridad:** Las probetas se colocan verticalmente sobre una bandeja, que posee un lecho de arena humedecida, y por sucesivas pesadas a través del tiempo hasta alcanzar su peso máximo, determinamos la absorción por capilaridad. Esta operación se repitió a las edades de 24h, 48h, 120h, 7d, 14d, y 28d, hasta que los valores son casi estables.

- **Adherencia:** Este ensayo consiste en extraer mediante una prensa de mano la chapilla que se adhiere untada con la resina epoxi a la superficie del mortero, registrándose de esta forma la carga máxima, y el tipo de rotura que presenta.
- **Ensayos de resistencias mecánicas (Flexión y Compresión):** Consistió en la evaluación de la influencia de las resistencias mecánicas en las distintas dosificaciones de áridos teniendo en cuenta su granulometría y proporción a/c.
- **Absorción por capilaridad:** Se determina la cantidad de agua que llega a absorber el mortero después de curado, nos da una idea de la porosidad de la pieza.
- **Durabilidad a largo plazo:** Se midió mediante el intemperismo, observando la erosión de las muestras colocadas a la intemperie.



En este proceso juega un importante rol la durabilidad que presente el mortero, es decir el tiempo que sea capaz de mantener inalterables sus propiedades aún bajo la influencia de varios factores como por ejemplo el grado de agresividad del medio ambiente, las diferencias de temperaturas, las lluvias, los agentes corrosivos, las sales, las propiedades de los materiales que componen la mezcla (su trituración y finura), la tecnología de la producción, así como los métodos de ensayos utilizados en la evaluación de los mismos ya sean destructivos (resistencia a flexo-compresión) o no destructivos (ultrasonidos, radiaciones).

El diseño experimental se basó en la evaluación de diferentes dosificaciones, siguiendo la norma cubana NC 175:2002 para alcanzar un valor mínimo de resistencia a la compresión que cumpliera con los parámetros necesarios para su utilización.

Estuvo conformado:

1. En función de la procedencia de los lodos:
  - Lodos procedentes de la Planta Victoria.
  - Lodos procedentes de la Planta Dragón Camoa.
2. Utilizando el lodo como árido exclusivo con incorporación de cemento y cal, se elaboraron morteros en las dosificaciones 1:3:1, 1:4:1, 1:4:2
3. Variando la proporción de lodo como adición: 5%, 10%, de cada lodo respecto al peso del cemento, en función de la edad a la que se realizarán los ensayos: 3, 7, 28 días

#### **Determinación de las propiedades reológicas y físico- mecánicas del mortero con la adición de lodos del lavado de áridos.**

Por las perspectivas económicas que representaba este trabajo se realizó un estudio del comportamiento del lodo con el uso del cemento, observando las dosificaciones propuestas, y verificando el cumplimiento de las propiedades y la calidad del producto.

Inicialmente se comenzó a trabajar con una relación agua/cemento de 0.5, observándose una rápida absorción del agua por parte de los finos presentes en las muestras. Finalmente se trabajó buscando una fluidez en la mesa de sacudidas de  $110 \pm 10$  mm, para obtener mezclas laborables

Tabla XIII.- Resultados de los ensayos con la arena y el lodo de la planta La Victoria

Patrón Arena Victoria LV	Resistencia Flexión, (Mpa)			Resistencia Compresión, ( Mpa)			Absor. Capilar	Adher,
	3	7	28	3	7	28		
1:3:1	0.9	2.19	4.1	1.32	4.96	12.22	12.50	0.57
c/ lodo	0.8	1.1	2.8	1.04	6.33	7.65	14.05	0.32
1:4:1	1.1	1.9	4.1	1.20	4.80	9.2	12.62	0.51
c/ lodo	1.0	1.1	1.4	1.0	2.47	5.8	14.87	0.16
1:4:2	2.2	1.38	1.89	2.29	3.28	6.62	12.73	0.45
c/ lodo	1.6	1.8	1.8	1.29	1.85	4.98	15.23	0.12
1:6:2	0.9	1.0	1.44	1.61	1.91	5.36	13.08	0.12
c/ lodo	0.8	1.0	1.3	1.17	2.73	3.62	16.78	0.10

Tabla XIV.- Resultados de los ensayos con la arena y el lodo el lodo de la planta Dragón Camoa

Patrón Arena Dragón LD	Resistencia. Flexión, ( Mpa)			Resistencia. Compresión, ( Mpa)			Absorc Capilar 72 h, (%)	Adher.
	3	7	28	3	7	28		
1:3:1	1.7	2.3	2.86	3.9	6.0	8.95	12.50	0.50
c/ lodo	0.9	2.19	2.65	2.57	4.3	8.30	13.41	0.15
1:4:1	1.1	1.3	2.5	4.0	4.1	7.2	14.27	0.40
c/ lodo	0.9	1.2	2.0	3.0	3.5	6.7	15.55	0.12
1:4:2	1.0	1.0	2.2	3.0	2.3	5.2	14.41	0.40
c/ lodo	0.6	0.7	1.2	2.0	3.1	4.3	17.67	0.10
1:6:2	0.8	1.0	0.94	2.0	2.4	2.91	15.33	0,15
c/ lodo	0.6	1.4	1.5	1.2	2.0	2,1	18.60	0

Las propiedades de resistencia y absorción de los morteros fueron determinadas y comparadas con respecto a las del patrón sin adición.

Para ambos casos se valoró la obtención de una resistencia a la compresión de 5,2 MPa o más, correspondiente al mortero de colocación 1:4:2.

Tabla XV.- Resultados de los ensayos de resistencia mecánica de los morteros con adición del 5 % y 10% de lodos de las plantas Victoria y Dragón Camoa (con respecto al peso del cemento)

	Resistencia. Flexión, (Mpa)			Resistencia. Compresión. (Mpa)			Absorción Capilar, (%)	Adherencia
	3	7	28	3	7	28		
1:3:1 LV	2.8	3.9	5.1	7.3	9.9	11.2	12.59	0.20
5%	1.9	2.1	2.8	6.2	9.0	10.2	12.62	0.17
10%	1.4	1.9	2.2	6.0	8.8	9.6	12.88	0.15
1:4:1 LV	2.6	2.5	4.7	5.7	6.3	8.7	11.62	0.16
5%	1.7	2.2	3.8	4.7	5.5	8.0	12.58	0.15
10%	1.0	2.0	2.5	4.2	4.6	6.9	12.89	0.15
1:4:2 LV	1.5	2.6	4.5	5.0	5.1	5.8	11.95	0.12
5%	1.4	1.4	3.6	4.9	5.1	5.6	12.03	0.10
10 %	1.2	1.4	3.3	4.8	6.0	4.9	14.63	-
1:3:1 LD	2.5	3.6	4.5	5.1	6.6	10.7	11.50	0.18
5%	1.3	1.7	3.1	4.7	5.4	8.2	11.78	0.15
10 %	1.1	1.3	3.0	4.0	4.8	7.0	14.42	0.12
1:4:1 LD	2.2	2.6	4.2	4.3	5.2	7.4	12.93	0.15
5%	1.4	1.5	3.6	4.8	5.0	5.9	13.63	0.10
10%	1.4	1.5	3.3	4.9	6.3	4.8	15.13	0.06
1:4:2 LD	2.0	1.7	3.0	2.8	4.9	5.3	13.20	0.10
5%	1.4	1.6	2.9	2.6	3.7	5.0	15.35	0.10
10%	1.0	1.2	2.2	2.0	2.2	4.0	16.41	-

A medida que disminuye el consumo de cemento y se aumenta la proporción de árido, la mezcla requiera más agua, aumentando la relación a/c.

### 2.3 Evaluación de los lodos para la elaboración de ladrillos cerámicos.

El material para ser empleado en producciones cerámicas debe tener determinadas características, entre ellas se contemplan:

- la composición mineralógica, (son silicatos de alúmina hidratados con elementos alcalinos y alcalino térreos, cuyas propiedades físico químicas dependen de su estructura, (partículas planas y conductoras de agua)
- el tamaño de grano inferior a los 2 mm.
- adquieren plasticidad al ser mezclados con agua,
- sonoridad y dureza al ser expuestos a altas temperaturas ( mayor de 750°C)

Fueron tomadas 2 muestras, correspondientes a lodos de las plantas La Victoria y Dragón Camoa, para ser caracterizadas y evaluada su posible utilización como adiciones en la industria de cerámica roja. Para las dosificaciones se empleó la arcilla El Jardín, de Artemisa.

#### 2.3.1 Ensayos realizados.

##### Humedad:

Este ensayo tiene como objetivo determinar el contenido de humedad de una muestra para explicar el comportamiento de este material ante cambios de volumen, cohesión, y de estabilidad mecánica. Para la ejecución del ensayo las muestras son colocadas en estufa a 110°C hasta peso constante, aproximadamente 24 horas. Las muestras mostraron los siguientes valores a su llegada al laboratorio:

Tabla XVI.- Ensayo de humedad de las muestras

Muestras	Humedad, (%)
Lodo Victoria	68.06
Lodo Dragón	6.38
Arcilla El Jardín	2.12

Tabla XVII.- Caracterización química arcilla El Jardín:

Muestra	Mineral predominante, (%)									
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	PPI	RI
Arcilla El Jardín	66.94	12.67	7.66	1.48	1.35	0.10	0.24	0.08	5.65	82.48

##### Ensayo de Granulometría por vía húmeda:

Con el objetivo de detectar alteraciones en la composición de los lodos se les realizó el análisis granulométrico, por la serie de tamices (2mm, 1mm, 0,5mm, y 0,063mm, y menor que 0,063). También se le realizó el análisis químico del residuo seco del agua de lavado ante la presencia del HCl, para detectar la presencia de materia inorgánica y sales contaminantes que provoquen eflorescencia.

El ensayo de granulometría enfocado en la evaluación como materia prima para la cerámica roja se realiza siguiendo el procedimiento establecido en la NC 54 - 314 y tiene como objetivo la clasificación del material pasado por las mallas para obtener la granulometría por retenidos, así como la evaluación de estos, y en específico del porcentaje de partículas por debajo de la fracción menor de 2 mm de diámetro, que podría ser clasificada como arcilla natural.

Como se observa en los resultados de la tabla, ambos lodos presentan gran cantidad de retenidos en las fracciones correspondientes a los materiales desgrasantes, lo que afecta sus propiedades plásticas, es decir, que a mayor contenido de impurezas se obtiene una pasta menos plástica (arcilla magra) al amasarla con agua.

Tabla XVIII.- Resultados del ensayo de granulometría por vía húmeda

Tamiz, (mm)	Arcilla El Jardín	Lodo Victoria	Lodo Dragón
2	3.06	-	-
1	1,10	0.15	0.1
0,5	0,9	0.6	0.35
0,063	10.84	13.90	12.95
Fondo	84.10	85.35	86.6

#### Características de los retenidos:

La arcilla El Jardín es una arcilla fina con alguna presencia de carbonatos en el tamiz de 1 mm. En las muestras de lodos, en ambos casos se aprecia un material fino con partículas por debajo de 1 mm de diámetro y con abundante materia orgánica. Hay presencia de pequeñas piedras blancas de carbonato, y además pequeños puntos brillantes que pudieran corresponder con la presencia de minerales como el cuarzo (forma cristalina de la sílice).

#### Ensayo de plasticidad:

La determinación del ensayo de plasticidad del material fue realizada siguiendo los procedimientos establecidos en la NC 54:315: 85, y están basados en la determinación del límite plástico, límite líquido y el índice de plasticidad de los materiales arcillosos al mezclarse con agua, este método no indica cual es el agua óptima de amasado, pero sí señala los límites entre los que se debe buscar. Atendiendo a la clasificación internacional la clasificación de las características plásticas del material se realiza en dependencia del valor del índice de plasticidad calculado.

IP 0 - 30      Material arcilloso poco plástico o arenosos  
IP 30 - 50      Material de mediana plasticidad  
IP > 30      Material muy plástico

Tabla XIX.- Resultados del ensayo de plasticidad

	UM	Arcilla El Jardín	Lodo Victoria	Lodo Dragón
Límite Líquido	(%)	64	19.52	18.23
Límite Plástico	(%)	15.67	37.38	31.70
Índice Plasticidad	-	48.38	17.86	13.47

#### Conformación de las probetas:

El objetivo principal de la conformación de probetas es preparar a escala de laboratorio una masa consistente que represente las dosificaciones empleadas en las plantas de producción, y que asegure

una uniformidad en los resultados de los ensayos posteriores, logrando una mejora de las propiedades mecánicas.

Una vez conformadas las probetas de arcilla se les realiza el ensayo de sensibilidad al secado, contracción a la seca, contracción a la quema después de la cocción a diferentes temperaturas, la absorción de agua y la determinación de las resistencias mecánicas.

#### **Sensibilidad al secado:**

La determinación de la sensibilidad al secado se realiza, con el objetivo de conocer la relación entre la humedad y las contracciones de las briquetas durante el proceso de secado, siguiendo el procedimiento de ensayo recogido en la NC- 54-182.

El secado es una fase fundamental en el proceso cerámico, pues la humedad está localizada tanto en el interior como en la superficie de la pieza. Si el proceso de secado se lleva a cabo muy bruscamente la pieza se puede agrietar, deformar o sufrir alabeos debido a que la parte exterior se seca casi completamente y se contrae, mientras que el interior queda húmedo.

El coeficiente de sensibilidad ( $K_c$ ), depende de la plasticidad de la arcilla.

$K_c < 1$  Material arcilloso poco plástico y poco sensible al secado  
 $K_c = 1-1,8$  Material semiplástico y medianamente sensible al secado  
 $K_c = 1,8- 2,5$  Material plástico y sensible al secado  
 $K_c > 2,5$  Material muy plástico y muy sensible al secado

**Contracción a la seca:** Para los materiales cerámicos el valor de la contracción a la seca oscila entre 8 -10 %, y se relaciona con la humedad de formado y la plasticidad.

Tabla XX.- Resultados del ensayo de contracción a la seca de la Arcilla El Jardín.

Muestra	Humedad de formado, (%)	Contracción a la seca, (%)	Observaciones
Arcilla El Jardín.	23.3	8.40	Color carmelita, formado fácil, algunas grietas de formado

#### **Contracción a la quema:**

La evaluación de este parámetro es de vital importancia debido a que da una medida de la unión de las partículas después de cocida las piezas, y mediante su control, se pueden lograr productos cerámicos mas o menos densos para cada una de las mezclas.

De acuerdo a las temperaturas de quema (750°C, 800°C, y 850°C.) se definirá el posible uso y el elemento cerámico que se fabrique en cada caso.

#### **Absorción:**

Con este ensayo se determina la cantidad de agua que llega a absorber el elemento cerámico después de horneado, nos da una idea de la porosidad de la pieza.

#### **Cocción de las probetas de la arcilla El Jardín:**

El proceso de cocción de las probetas con la arcilla El Jardín se realizó a las temperaturas siguientes: 750°C, 800°C, y 850°C.

Tabla XXI.- Cocción de las probetas de la arcilla El Jardín.

Temp. °C	Absorción (%)	Contracción total (%)	Observaciones
750	15.1	4.53	Color carmelita - rosado oscuro, muchas grietas, algunos puntos blancos, sonido hueco
800	14.9	4.42	Sonido hueco, color carmelita claro, algunos puntos blancos
850	11.4	4.37	Sonido claro, color carmelita - rosado, algunos puntos blancos

Teniendo en cuenta los bajos valores de plasticidad obtenidos en los lodos se hizo necesaria la dosificación de cada uno de ellos con una arcilla para obtener una muestra laborable, y poder determinar su uso como adición a las mezclas cerámicas.

Fueron estudiadas tres dosificaciones para cada lodo. En el proceso de elaboración de las probetas las muestras de lodos se comportaron como materiales desengrasantes, lo que conllevó a que se empleara mas agua en su conformación (25-30%). Las muestras fueron difíciles de trabajar y dar forma.

Después de la cocción el enfriamiento se realizó lentamente para no producir agrietamientos ni tensiones internas, todas las probetas mantuvieron su forma, y mostraron un color carmelita claro, siendo mas tenue en la muestra Lodo Victoria y más intenso en la muestra Lodo Dragón Camoa. Se observaron pequeñas grietas superficiales en la muestra Victoria.

### Resistencias mecánicas

La resistencia mecánica caracteriza la capacidad de los objetos cerámicos de resistir golpes y cargas sin sufrir roturas durante su uso y manipulación, depende de modo directo del porcentaje del componente arcilla y granulometría.

Tabla XXII.- Ensayos de cocción de las dosificaciones de las muestras de lodos y arcillas.

Proporción, %			Índice de Plasticidad	Coef. Sens.	Temp. Horno, °C	Contracción %		Absorc. (%)	Resist. Compr. (Kg/cm <sup>2</sup> )	Observ.
Lodo Victoria	Arcilla El Jardín					Seco	Cocido			
AV1	30	70	32.79	0.60	750	6.7	0.48	26	100,3	Sonido claro, pocas grietas, color carmelita con algunos puntos oscuros
					800	6.3	0.53	28	104,6	
					850	5.9	1.24	33	110,0	
AV2	25	75	34.55	0,72	750	6.6.	1.0	23	105,9	Sonido claro,

					800	6.8	0.46	27	145,3	grietas, color crema con puntos blancos y oscuros.
					850	5.7	0.8	31	152,5	
AV3	20	80	39.76	0.83	750	5.3	0.28	25	141,3	Sonido claro, grietas, color carmelita con puntos oscuros
					800	5.5	0.16	26	158,0	
					850	5.1	0.33	27	174,6	
Lodo Dragón		Arcilla								
AD1	30	70	10.02	0.77	750	9.4	0.40	17.81	136.0	Sonido claro, grietas, color carmelita con algunos puntos
					800	8.9	0.27	19.88	146.6	
					850	9.0	0.30	23.24	155.7	
AD2	25	75	10.65	0.68	750	9.0	0.22	15.33	161.9	Sonido claro, grietas, color rosado-carmelito so con puntos oscuros
					800	8.9	0.26	16.09	164.3	
					850	8.7	0.30	17.77	165.7	
AD3	20	80	13.47	0,81	750	8.3	0.25	12.83	187.0	Sonido claro, grietas, color crema oscuro con puntos blancos y oscuros.
					800	8.0	0.40	13.01	189.6	
					850	7.0	0.27	13.89	190.3	

## RESULTADOS

### Análisis de los resultados obtenidos.

#### 3.1 Resultados de los Ensayos para morteros.

El lodo Dragón Camoa presenta un por ciento de material más fino que el tamiz 200 por encima de lo especificado en la norma cubana NC 657: 2008. Para lograr una fluidez de 100-110 mm se trabajó con una relación a/c alta, debido a la alta absorción de estos tipos de áridos. A medida que aumenta el por ciento de adición de lodos se observa en las probetas una demora en el endurecimiento y en algunos casos se deforman levemente ante cierta presión.

CUARTA CONVENCION CUBANA DE CIENCIAS DE LA TIERRA, GEOCIENCIAS 2011.

Memorias en CD-Rom, La Habana, 4 al 8 de abril de 2011. ISBN 978-959-7117-30-8



**Ensayos de absorción por capilaridad:** Se presenta un aumento acelerado en las primeras edades y se estabiliza a partir de 24 h. Los valores obtenidos corresponden con los límites para los morteros tradicionales elaborados con arenas calizas (12-25 %).

**Ensayos de adherencia:** La adherencia en todas las muestras es muy baja, (0.0 – 0.2) muy por debajo de la de morteros tradicionales.

**Ensayos de resistencia a la compresión:** La disminución de la cantidad de cemento en las dosificaciones influye de manera destacada en los valores de las resistencias mecánicas. Los valores de resistencias mecánicas demostraron que las muestras pueden ser empleadas en labores de albañilería donde no se requiera de altos valores de resistencia acorde a lo plasmado en la norma (2.4 y 12.4 MPa)

**Ensayos de durabilidad:** En el ensayo de durabilidad a largo plazo no se aprecian cambios en su aspecto externo, ni muestras de erosión.

### **3.2 Resultados de los ensayos para ladrillos cerámicos.**

Las muestras de lodos evaluadas de las plantas Victoria y Dragón Camoa presentan características semejantes a la de los materiales magros y de poca plasticidad.

**Conformación de la probeta:** Aunque las muestras finalmente se conformaron con una terminación aceptable, de forma general, presentaron una superficie muy arenosa. No se observaron deformidades en sus lados, pero sí agrietamiento en la superficie de las probetas. En este caso ambas muestras mostraron valores elevados de contracción, lo que pueden provocar grandes tensiones durante el secado.

**Plasticidad:** El índice de plasticidad en todos los casos se comportó con valores por debajo de 30, típico de materiales poco plásticos.

**Coeficiente de sensibilidad:** Todas las muestras presentaron un coeficiente de sensibilidad  $K_c < 1$ , correspondiente a materiales poco plásticos y poco sensibles al secado, es decir que industrialmente no sufren grandes cambios al secar.

**Absorción:** Los valores de absorción obtenidos se corresponden con el rango permisible para la producción de ladrillos macizos (18- 25 %), para ladrillos grado B y de 20% para ladrillos grado A. El % de absorción para cada una de las muestras, no arroja cambios significativos en las diferentes temperaturas.

**Resistencia a compresión:** De forma general a medida que se aumenta el por ciento de lodos decae la resistencia a compresión, sin embargo los valores obtenidos cumplen con las exigencias básicas que se especifican en la NC 54-160 para la resistencia a la compresión de 100-180 kg/cm<sup>2</sup> para ladrillos grado B y de 100 kg/cm<sup>2</sup> para ladrillos grado A. La dosificación 20% de lodos – 80% arcilla fue la que mostró mejores resultados para ambas muestras.

## **CONCLUSIONES**

A partir de los resultados anteriores se han obtenido las siguientes conclusiones sobre las posibilidades de aplicación para este tipo de material así como las recomendaciones para futuros trabajos sobre el tema:

Los morteros con adición de lodos procedentes de la planta Victoria obtuvieron mayores resistencias que los que tenían dicha adición de lodos procedentes de la planta Dragón Camoa.

La presencia de lodo hace que disminuya la resistencia mecánica del mortero. Esta disminución es importante considerarla ante la afectación que puede causar la aplicación práctica de esta adición. Los discretos valores de resistencias mecánicas indican que las muestras pudieran ser empleadas en ciertas labores de albañilería, pues oscilan entre 2 - 13 MPa y la norma admite valores entre 2.4 y 12.4 MPa.

Dadas las características de los materiales estudiados, dentro de sus límites plásticos en ninguno de los dos casos es aconsejable el uso de estos lodos para aplicaciones estructurales en la construcción, su resistencia a la compresión muestra valores muy discretos, no adecuados para una producción industrial.

Pudieran ser utilizados solo como mortero de asentamiento, material de relleno u otra aplicación sin necesidad de resistencia alta. Se recomienda usar cal en lugares donde puede ser atacado por el intemperismo.

Por otra parte para su uso en la elaboración de ladrillos cerámicos, los lodos provenientes del lavado de áridos no deben emplearse de forma independiente, sino combinados o mezclados con distintos tipos de arcillas plásticas.

Como desgrasantes en la producción de cerámica roja, pueden ser utilizadas para: soportar mejor los cambios de temperatura, bajar el punto de fusión de algunas arcillas plásticas para reducir su excesiva plasticidad, para aumentar la porosidad, facilitar el secado del objeto, y por tanto la permeabilidad de la pieza.

Las propiedades mecánicas de la arcilla que se use van a determinar la calidad de las piezas elaboradas con lodos, en este caso el aporte se manifestaría en la disminución de peso en las piezas.

De acuerdo a los resultados obtenidos con las mezclas de lodo Victoria y Dragón Camoa estos residuos constituyen una buena alternativa para la fabricación de piezas de mampostería pero se debe tener buen control sobre ellos porque pierden rápidamente sus propiedades con la humedad, y el tiempo.

De acuerdo a la norma NC 54-160 las muestras obtenidas en las diferentes mezclas con lodo son aptas para divisiones internas, pero se debe revisar la absorción para verificar buena adherencia con el mortero, y controlar las temperaturas para evitar microfisuras.

La ampliación del intervalo de temperaturas de quemas por encima de 900°C puede validar el comportamiento de estos lodos en aspectos como el aumento de la resistencia a la compresión y la disminución de la absorción.

## BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, J. L., Gayoso R. Tesis de maestría. " Morteros de albañilería para edificaciones nuevas y antiguas". Diciembre, 1996.
- Mazza y otros. "Principios Generales de la Cerámica", Italia, 1980.
- Menéndez, J. " Una lección sobre morteros. Ingeniero Civil y Arquitecto. Revista IMCYC, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto Vol. 23, No.175, Noviembre 1985.
- Revista "Hormigón y Concreto". Revista Técnica. Febrero 1997, No 768 España.
- Singer F y Singer S. "Cerámica Industrial", Tomos 8, 9,10, Edición Olmo, España, 1971.

Compendio de normas.

- NC 54 205: 80. Cemento Portland. Especificaciones de calidad.  
NC 54 207: 82. Cementos. Ensayos físico- mecánicos.  
NC 44-18:84. Minerales. Arena Sílice. Análisis Químico  
NC 54-27:85. Cales y Calizas. Determinación de carbonatos totales (CT)  
NC 178: 2002- Áridos. Análisis granulométrico.  
NC 179: 2002- Áridos. Determinación del contenido de partícula de arcilla. Método de ensayo.  
NC 54-29: 84- Materiales y productos de la construcción. Áridos. Toma de muestras.  
NC 54-395: 87- Materiales de la construcción. Áridos. Términos y definiciones.  
NC 180: 2002- Áridos. Determinación de partículas ligeras. Método de ensayo.  
NC 181:2002-: Áridos. Determinación del peso volumétrico. Método de ensayo.  
NC 182: 2002- Áridos. Determinación del material mas fino que el tamiz de 0.074 mm (no. 200).  
Método de ensayo.  
NC 185: 2002- Áridos. Determinación de Impurezas orgánicas  
NC 186:2002 Arena. Peso específico y absorción de agua  
NC 187:2002 Árido grueso. Peso específico y absorción de agua  
NC 251: 2002- Áridos para hormigones hidráulicos — Requisitos  
NC-54- 160 "Materiales y productos de la construcción. Ladrillos macizos. Especificaciones de la calidad"  
NC 656: 2002- Morteros de albañilería. Dosificaciones  
NC 54 175: 2002. Morteros de albañilería. Especificaciones de calidad.  
UNE 933-9:1998 Ensayo para determinar las propiedades geométricas de los áridos.  
Parte 9: Evaluación de los finos. Ensayo del Azul de metileno.  
Norma ASTM C –144-84 " Áridos para morteros de asiento en muros de bloques y ladrillos"  
Norma ASTM C –897-95 "Áridos para morteros de repellos y recubrimientos".