

## COMPORTAMIENTO DE LA CENIZA DEL BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR MOLIDA EN LA REACCIÓN ÁLCALIS SÍLICE EN EL HORMIGÓN

Ariel E Irazusta<sup>1</sup>, Mario D Luna<sup>1</sup>, H Daniel Anaya<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratorio de Ensayo de Materiales, Dpto. de Construcciones y Obras Civiles, Facultad de Ciencias Exactas Tecnología, UNT, S. M. de Tucumán, [danaya@herrera.unt.edu.ar](mailto:danaya@herrera.unt.edu.ar)

### RESUMEN

---

El residuo industrial de la ceniza del bagazo de la caña de azúcar (CBCA) proveniente de los ingenios tucumanos, viene siendo estudiado como material de construcción, en busca de reducir su alto impacto ambiental, para tratar de reutilizar la mayor cantidad posible. Se hicieron estudios de sus propiedades físicas, químicas y su comportamiento puzolánico para comprobar su aptitud como adición mineral activa, se utilizó el material en estado natural y para mejorar su efecto puzolánico se molieron hasta la finura del cemento. En el presente se estudia el uso de la CBCA y su comportamiento frente a la reacción álcalis sílice (RAS) del hormigón, usando el residuo industrial en estado natural y también molido con una finura parecida a la del cemento. Se usó en reemplazo del 20 % de parte del cemento Pórtland para estudiar la posible inhibición de la RAS, usando el método acelerado de la barra de mortero según la norma IRAM 1674. Los resultados indican que tanto la CBCA en estado natural como molida logran una atenuación de la reacción siendo más importante con la ceniza molida, sin lograr la inhibición.

**Palabras claves:** residuo, medio ambiente, CBCA, RAS, atenuación.

### INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción busca optimizar recursos y emplear materiales que no sean indispensables, se sabe que la construcción forma parte del desarrollo de una sociedad, pero también estos proyectos de construcción son responsables de la generación de residuos contaminantes para el medio ambiente, es por ello por lo que la construcción no es ajena a la problemática del impacto ambiental y la ingeniería busca la sostenibilidad en los proyectos.

En ese sentido la construcción como industria busca crear nuevos materiales aprovechando los desechos de otras industrias, como es el caso del residuo de la cascara de arroz [1] y los residuos agroindustriales de la industria del azúcar, como así también reciclar materiales lo cual en la actualidad es aplicada en distintos campos de la ciencia. La ciencia de los materiales busca materiales alternativos que le brinden valor y mejoren el rendimiento de otros materiales como es el caso del hormigón. Por lo tanto, con la investigación sobre el uso de la CBCA y el cemento pórtland en el diseño del hormigón podremos determinar los desempeños mecánicos óptimos del hormigón, así como su durabilidad ante los agentes agresivos, esto favorecerá directamente a los productores de caña de azúcar y principalmente a las poblaciones afectadas por este residuo industrial, ya que se podrá usar la CBCA para los diseños de mezclas por durabilidad y así obtener un

hormigón mejorado que será usado, según sus características, en elementos estructurales, morteros, bloques de hormigón o cualquier mezcla a base de cemento pórtland que se vea optimizada a partir de la adición de CBCA.

Las cenizas del bagazo de la caña de azúcar, como material de construcción que pueda aportar un valor agregado extra a este residuo, viene siendo estudiado desde hace mucho tiempo, especialmente en aquellos países en que la industria de la caña de azúcar es principal, como es el caso de Cuba [2], Brasil [3], Perú [4] y Colombia [5] como también en países del sudeste asiático (Tailandia e India) [6], donde la actividad es importante y el manejo de este residuo se convirtió en una gran preocupación por el alto impacto ambiental que causaba.

El Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la Universidad Nacional de Tucumán, en trabajos previos viene estudiando las cenizas de los ingenios tucumanos, realizando caracterización física y química de un residuo de CBCA representativo de la producción de los ingenios de Tucumán, con estudios de microscopía de barrido, difracción de rayos x, contenido de materia orgánica, entre otros. El objetivo principal fue encontrar un uso adecuado para este residuo agrícola que es generado. Mezclado en morteros y hormigones, contribuye a disminuir el impacto ambiental de este residuo. Técnicas experimentales fueron aplicadas para la caracterización del CBCA, como para la evaluación de su uso en los morteros

En trabajos previos, Gutiérrez et al [7], Isasmendi et al [8] se caracterizó física y químicamente una muestra representativa de la producción de los ingenios de Tucumán de la ceniza de bagazo de caña. Se hicieron los estudios necesarios para conocer la potencial puzolanidad de este residuo. Las cenizas utilizadas se usaron solamente tamizadas, sin quemar nuevamente ni triturar, debido a que se quería evaluar el potencial del material tal como se lo obtiene de los ingenios. Se obtuvieron resultados muy importantes que sirvieron para la elaboración de este proyecto: La ceniza de bagazo estudiada, tiene en su composición sílice en estado amorfo y ésta reacciona con el hidróxido de calcio; y además se ha puesto de manifiesto actividad puzolánica en morteros de cemento y cal. Posteriormente, el estudio realizado por González Billón et al [9] se evaluó el comportamiento de las CBCA procedentes de 7 de los 15 ingenios de la provincia y en dos condiciones de finura, la ceniza en estado natural y sometida a un proceso de molido aumentando su finura cercana a la del cemento. Los resultados demostraron que algunas cenizas, dependiendo de ciertos factores, mejoraban su actividad puzolánica.

Este trabajo empleará las CBCA como adición mineral para reemplazar parte de la cantidad de cemento buscando evaluar los efectos potencialmente deletéreos que se producen por la RAS en los hormigones. Se usaron cenizas procedentes de 3 ingenios y se evaluó para dos estados de las cenizas, en estado natural y molidas. Para este estudio se utilizará el método acelerado de barra de mortero según la norma IRAM 1674 [10].

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo Principal**

Evaluar el comportamiento de la CBCA, residuo industrial puzolánico procedente de 3 ingenios azucareros, como posible inhibidor de la reacción álcalis-sílice en el hormigón usando el método acelerado de la barra de mortero s/IRAM 1674

## Objetivos Específicos

- Realizar la caracterización de la ceniza del bagazo de la caña de azúcar en estado natural, a través de ensayos físicos (peso específico, granulometría), y la puzolanicidad con estudios físicos-mecánico con cemento y difractométricos para evaluar su morfología.
- Realizar la caracterización de la ceniza del bagazo de la caña de azúcar finamente molida en un proceso industrializado, a través de ensayos físicos (peso específico, granulometría), y la puzolaneidad con estudios físicos-mecánico con cemento y difractométricos para evaluar su morfología
- Lograr la valoración del residuo de la ceniza de bagazo de la caña de azúcar mediante su reutilización de manera efectiva y disminuir el impacto que esta genera en el medio ambiente.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Cemento

Se seleccionó un cemento sin adiciones para calificar apropiadamente la reactividad del material. El cemento empleado es un cemento pórtland normal CPN40 según Norma IRAM 50.000 con un álcali como óxido de sodio equivalente de 1,05 %. Es un cemento de alto álcalis y con una densidad absoluta de  $\rho_{\text{cemento}} = 3,14 \text{ g/cm}^3$

### Agregados

Los agregados utilizados son provenientes de canteras ubicadas en la cuenca del Río Salí, que es el material utilizado habitualmente en Tucumán por su amplia disponibilidad. La caracterización petrográfica y mineralógica de estos agregados define [11]: Al agregado fino de origen granítico en gran porcentaje cuarzosa; con feldespato y en muy baja proporción, mica blanca, se observan también fragmentos líticos de origen metamórficos como pizarras y sedimentos compuestos por areniscas y limonitas rojas. El cuarzo, se presenta en la forma tensionada, como micro o criptocristalino junto con las pizarras, donde también se encuentra este mismo tipo de cuarzo. Y al agregado grueso, en su mayoría compuesto por rocas metamórficas como las pizarras y filitas que contiene un predominio de minerales como el cuarzo en la forma tensionada, como micro o criptocristalino y en menor cantidad, rocas ígneas como el granito, monzogranito y basalto cuyos minerales constitutivos también es el cuarzo, altamente tensionados y que hacen a este agregado como potencialmente reactivo.

Se empleó arena y agregado grueso natural caracterizado por pruebas granulométricas según normas IRAM 1505 [12]. En la Tabla 1 se muestra su caracterización.

**Tabla 1:** Caracterización de los agregados.

Materiales	Diám. Max. (mm)	Mód. finura	Absorción (%)	Densidad a granel (seco)	Densidad relativa
Ag. Fino		3,05	0,98	1630	2,645
Ag. Grueso	32				2,67

El agregado grueso fue triturado, luego se tamizó y se separó en las diferentes fracciones para preparar los morteros para los ensayos de RAS.

## Ceniza del bagazo de la caña de azúcar (CBCA)

En base a los distintos proyectos de investigación que se fueron desarrollando en el laboratorio, se eligieron tres cenizas de los ingenios La Florida, Cruz Alta y La Trinidad que mejores resultados arrojaron en trabajos anteriores [9].

La muestra de la CBCA seleccionadas fueron extraídas del lugar de origen, acopiadas en el laboratorio y recibieron un tratamiento previo, como secadas en aire y posteriormente se eligió el tamiz #40 para tamizarlas para descartar todo el material no deseado como las fibras de bagazo, suelo, hojas u otros desechos y materia orgánica que pueda haberse mezclado con las cenizas en su deposición final. Una vez acondicionadas se procedió a su caracterización.

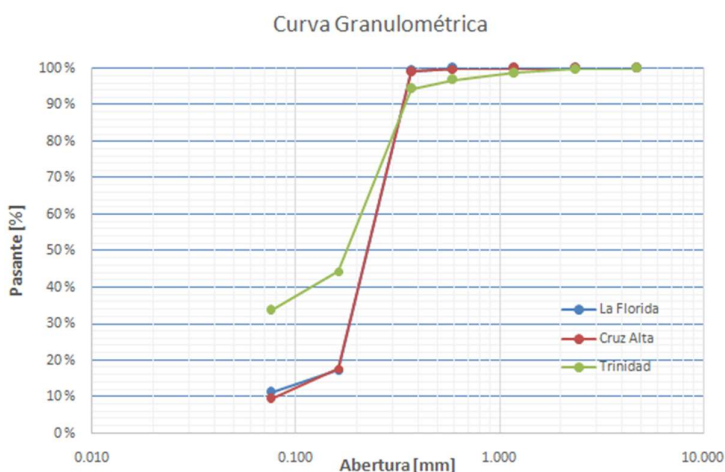
Las cenizas fueron usadas en dos condiciones, sin moler y posteriormente molidas a una finura parecida al del cemento

## Caracterización de la CBCA

Para realizar la caracterización de la CBCA se realizaron los siguientes ensayos:

- ✓ Granulometría.
- ✓ Módulo de fineza.
- ✓ Peso unitario.
- ✓ Peso específico.
- ✓ Contenido de materia orgánica.
- ✓ Difractometría de rayos X.

En la Figura 1 se muestra un gráfico con las curvas granulométricas de las cenizas.



**Figura 1:** Granulometría CBC- Laboratorio de Sedimentología Fundación Miguel Lillo.

En la Tabla 2 se presentan las propiedades físicas: densidad a granel suelto y compactado, densidad relativa, según norma IRAM 1520 y 1533 [13, 14], realizado con querosén; el contenido de material con tamaño inferior a 0,0039 mm, que nos da un índice de la finura de las tres cenizas molidas mediante análisis granulométrico para determinar porcentaje de fracción tamaño arcilla por el método del pipeteado, y el contenido de Materia Orgánica (M.O.) por pérdida por ignición que implica la destrucción climatizada de la materia orgánica presente en la CBCA. La pérdida por ignición consiste en someter a la ceniza por un proceso de calentamiento a una temperatura de 400° a 500°C durante un promedio de 6 a 8 horas. El contenido de materia orgánica se la calcula como la diferencia entre el peso

inicial y el peso final de la muestra dividido por el peso inicial y multiplicado por 100. (M.O.%).

**Tabla 2:** caracterización de la ceniza del bagazo de la caña de azúcar.

Ingenios	Mód. de finura	Densidad a granel (suelto)	Densidad a granel (Compactado)	Densidad relativa kg/m <sup>3</sup>	M.O. (%)	Porcentaje inferior a 0,0039 mm
La Florida	0,83	123	201	1667	19,82	11,16
Cruz Alta	0,83	351	443	2273	15,25	1,48
La Trinidad	0,66	248	303	1923	17,63	0,58

En la Tabla 3 se detalla la composición de las muestras, determinada sobre la base de los difractogramas obtenidos de las cenizas sin moler (S/M) y molidas (M). Para el análisis composicional se usó un equipo "Diffractometersystem=XPERT-PRO" y los preparados fueron irradiados con un anticátodo de Cu, entre 10° 2θ y 70° 2θ, por el método del polvo.

**Tabla 3:** Composición de las muestras.

Ingenios	condición	
La Florida	S/M	cuarzo $\alpha$ , cristobalita $\alpha$ , feldespato potásico, amorfos
	M	cuarzo $\alpha$ , cristobalita $\alpha$ , feldespato potásico, amorfos
Cruz Alta	S/M	cuarzo $\alpha$ , cristobalita $\alpha$ , amorfos
	M	cuarzo $\alpha$ , cristobalita $\alpha$ , amorfos
La Trinidad	S/M	cuarzo $\alpha$ , cristobalita $\alpha$ , feldespato potásico, amorfos
	M	cuarzo $\alpha$ , cristobalita $\alpha$ , feldespato potásico, amorfos

### Evaluación de la reactividad puzolánica con cemento portland

Para evaluar la reactividad puzolánica mediante la resistencia mecánica se realizaron pastones de cemento pòrtland normal y de cemento portland normal con CBCA, utilizando las muestras de CBCA de cada ingenio. Para realizar el ensayo se siguieron los lineamientos de la Norma IRAM 1654 [15]. En la Tabla 4 se presentan los resultados del índice de puzolanidad de las cenizas en las dos condiciones (S/M y M) y con los porcentajes de incremento del índice de puzolanidad:

**Tabla 1:** Índice de puzolanidad.

Muestra	Estado	Resistencia del mortero (MPa)	Índice de puzolanidad	Incremento puz. Molida/ Sin moler (%)
Patrón	-	33,0	100	-
La Florida	Sin moler	16,9	51	157,37
	Molida	43,7	132	
Cruz Alta	Sin moler	20,4	62	101,28
	Molida	41,1	124	
La Trinidad	Sin moler	20,7	63	97,73
	Molida	40,9	124	

Se observó que las probetas preparadas con las cenizas molidas tuvieron las mayores resistencias, superando las resistencias de las probetas patrón, en cambio, las resistencias de las probetas preparadas con las cenizas sin moler tuvieron resistencias pobres, incluso

menores a las resistencias de las probetas patrón. Esto se puede ver en el incremento del índice de puzolanicidad en el caso de las cenizas molidas.

## EVALUACIÓN DE LA RAS. MÉTODO ACELERADO DE LA BARRA DE MORTERO

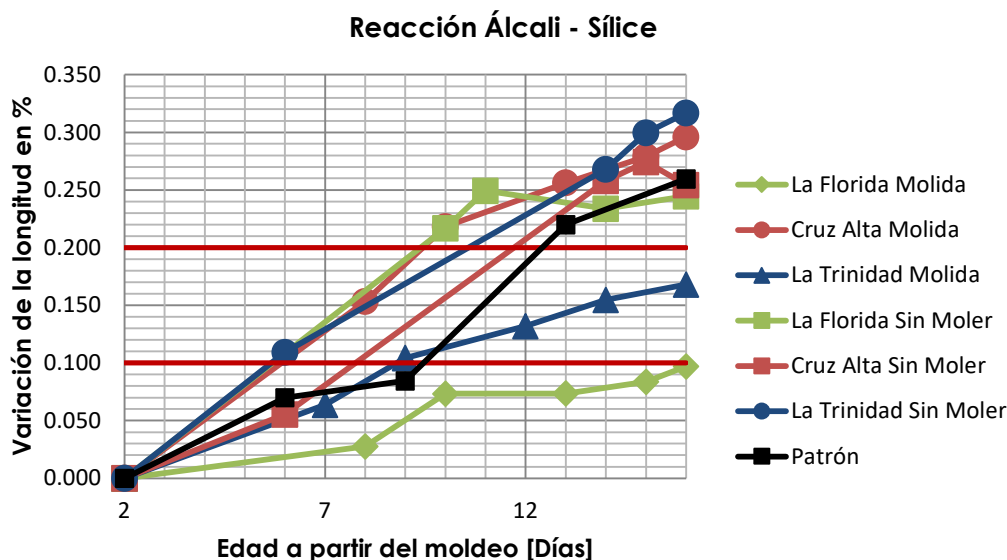
La evaluación del comportamiento de las cenizas en estudio frente a la reacción álcalis sílice (RAS) se realizó mediante el ensayo acelerado de barras de mortero (IRAM 1674 o ASTM 1260).

En la Tabla 5 se resumen las expansiones producidas en el mortero patrón y en los morteros realizados con las cenizas de los ingenios. Para los morteros se usó una combinación del 40 % de arena y el 60 % de agregado grueso molido

**Tabla 5:** Variación de longitud de los morteros estudiados

Probetas	Estado	Variación de Longitud a 16 días (%)
Mortero Patrón	-	0,260
La Florida	Sin moler	0,245
	Molida	0,097
Cruz Alta	Sin moler	0,254
	Molida	0,296
La Trinidad	Sin moler	0,317
	Molida	0,170

En la Figura 2 se grafican los resultados obtenidos de todas las cenizas, tanto molida como sin moler, y del mortero patrón para poder compararlos entre sí.



**Figura 2:** Comparación de resultados.

## ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

La combinación de agregados evaluada (40 % de agregado fino y 60 % de agregado grueso) produjo una expansión de 0,260 % clasificándolos como potencialmente reactivos, como se muestra en el mortero patrón.

Los morteros preparados con las CBCA sin moler no sólo no atenúan la expansión debida a la RAS sino que, en algún caso (La Trinidad), la potencian, lo que debe ser atribuido a la falta de molienda de la ceniza (Figura 1). En efecto, en una ceniza excesivamente “gruesa” existirán partículas de sílice altamente reactiva (cristobalita y amorfos, Tabla 3) que, por su tamaño, funcionan de manera equivalente a las partículas del agregado fino reactivo que pueden reaccionar perjudicialmente con el cemento pòrtland con los álcalis y ciertas condiciones ambientales. Por último, la baja actividad puzolánica de esta ceniza “gruesa” (índice de actividad puzolánica < 75 %) es incapaz de reducir los álcalis y/o consumir el hidróxido de calcio del mortero para inhibir la reacción.

En el caso de los morteros preparados con las cenizas molidas, éstas logran atenuar la reacción, como es el caso de las cenizas de La Trinidad (0,170 %) el de La Florida (0,097 %) menor al límite del 0,100 %. Las cenizas del ingenio de Cruz Alta (0,296 %) produjo una expansión mayor al del mortero normal, promoviendo a la RAS a pesar de la finura obtenida en la molienda.

Teniendo en cuenta los resultados de la caracterización física y química de las cenizas, el contenido de materia orgánica y los índices de puzolanidad obtenido, tanto para el caso de las cenizas sin moler y molida. En el caso de las sin moler, además de que no se puede clasificar como puzolánica, según este índice debe ser mayor al 75 %, se puede apreciar que el reemplazo de un 20 % de ceniza por el cemento tampoco disminuye los álcalis existentes de manera significativa como para atenuar esta reacción sin llegar a inhibir y en algunos casos favorece al RAS

## CONCLUSIONES

- Las cenizas de la caña de azúcar (CBCA) sin moler, puede llegar a favorecer el desarrollo de la RAS debido a su finura y la presencia de material amorfo (cristobalita), su uso podría implica riesgos de expansiones en el hormigón. Se puede estudiar usar este residuo con alternativas para mitigar el problema, como evaluar su comportamiento con otros cementos, o la combinación de este residuo con otras adiciones minerales.
- Las cenizas de la caña de azúcar (CBCA) molidas presentaron un mejor comportamiento, que puede llegar a inhibir la reacción (caso de las cenizas que provienen del Ingenio La Florida) o atenuar la reacción (Cenizas del Ingenio La Trinidad).
- En el caso de la ceniza molida del Ingenio La Trinidad, que exacerba la reacción, con una expansión de 0,17 % de los morteros con el método acelerado (IRAM 1674), se puede evaluar su comportamiento mediante el método del prisma de hormigón (IRAM 1700).
- Esta atenuación de la RAS que se observa en los morteros con presencia de CBCA se ve claramente afectada y favorecida cuando la ceniza es previamente sometida a un proceso de molienda, lo que contribuye a potenciar su actividad puzolánica y a eliminar las partículas reactivas (cristobalita) más gruesas que actúan como focos de expansión
- Probablemente el contenido de materia orgánica también tenga influencia en el comportamiento de las cenizas ante la RAS, pero entendemos que la ligera diferencia de contenido de materia orgánica entre las tres cenizas no justificaría por sí sola la notable diferencia en el comportamiento de las mismas en la RAS.

## REFERENCIAS

- [1] Zerbino R, Giaccio G, Batic OR, Isaias GC, "Alkali-silica reaction in mortars and concrete incorporating natural rice husk ash", *Construction and Building Materials*, 36, (2012), 796-806, [www.elsevier.com/locate/conbuildmat](http://www.elsevier.com/locate/conbuildmat). <http://ri.conicet.gov.ar/handler/11336/79139>
- [2] Martirena F, Resumen de tesis Doctoral "Una alternativa ambientalmente compatible para disminuir el consumo de aglomerantes de clínker de cemento Portland: el aglomerante cal-puzolana como adición mineral activa", La Habana, Cuba (2004).
- [3] Cordeiro GC, Toledo Filho RD, Tavares LM, Fairbairn EMR, "Pozzolanic activity and filler effect of sugar cane bagasse ash in Portland cement and lime mortars", *Cement & Concrete Composites*, Vol. 30, (2008), 410-418.
- [4] Oliveira de Paula M, Ferreira Tinoco IF, de Souza Rodrigues C, Osorios Saraz JA, "Ceniza de bagazo de caña de azúcar como material de sustitución parcial del cemento portland", *Dyna*, revista de la Facultad de Minas, Uni. Nac. De Colombia, Vol.77 no.163, (2010), 47-54.
- [5] Vidal D, Torres J, González LO, "Ceniza de bagazo de caña para elaboración de materiales de construcción: estudio preliminar", *Revista Momento*, Revista de Física N° 48E de la Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia, (2014). <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/momento>.
- [6] Ganesan K, Rajagopal K, Thangavel K, "Evaluation of bagasse ash as supplementary cementitious material", *Cement & Concrete Composites*, Vol. 29, (2007), 515-524.
- [7] Gutiérrez R, Proyecto Final: "Valoración de la CBCA como componente de un cemento romano", tesina de grado, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Univ. Nac. de Tucumán, Tucumán, Argentina, (2014), 77p.
- [8] Isasmendi C, "Estudio del comportamiento de la CBCA en morteros", tesina de grado, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Univ. Nac. de Tucumán, Tucumán, Argentina, (2014), 122 p.
- [9] González Billón AG, Las Heras AR, "Caracterización de las cenizas de bagazo de la caña de azúcar para ser usadas en materiales de construcción", Proyecto Final carrera de Ing. Civil. (2017).
- [10] Norma IRAM 1674: Agregados. Determinación de la reactividad alcalina potencial. Método acelerado de la barra de mortero, (1997).
- [11] Anaya HD, "Estudio de agregados para hormigones resistentes a la reacción álcali-sílice", tesis de Magister, Universidad Nacional de Tucumán, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Tucumán, (2010), 114 p.
- [12] Norma IRAM 1505: Agregados. Análisis granulométrico. (2005).
- [13] Norma IRAM 1520: Agregados finos. Métodos de laboratorio para la determinación de la densidad relativa real, de la densidad relativa aparente y de la absorción de agua. 14 p. (2002).
- [14] Norma IRAM 1533: Agregados gruesos. Método de laboratorio para la determinación de la densidad relativa real, de la densidad relativa aparente y de la absorción de agua. (2002).
- [15] IRAM 1654-1: Puzolanas y cenizas volantes silíceas. Parte 1 - Métodos de ensayo físicos. (2015).