

**EVALUACION TECNICO ECONOMICA DE MORTEROS MODIFICADOS CON
CENIZA PROVENIENTE DE LOCACIONES**

INFORME FINAL

LUIS ALEJANDRO AGUILAR PEDROZO

KAREN PAOLA BARRERA AMOROCHO



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

BUARAMANGA MAYO 2013

**EVALUACION TECNICO ECONOMICA DE MORTEROS MODIFICADOS CON
CENIZA PROVENIENTE DE LOCACIONES**

INFORME FINAL

LUIS ALEJANDRO AGUILAR PEDROZO

KAREN PAOLA BARRERA AMOROCHO

**Trabajo de grado para optar por el título de
ESPECIALISTA EN GERENCIA E INTERVENTORIA DE OBRAS CIVILES**

DIRECTOR

María Fernanda Serrano Guzmán

Ingeniera Civil

PhD.

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

BUCARAMANGA 2013

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Bucaramanga, Mayo 2013

DEDICATORIAS

Este logro va dedicado principalmente a Dios porque gracias a él estoy logrando una meta más, a mis padres Laura Esther Pedrozo de Aguilar y Luis Carlos Aguilar Palomino quienes siempre han estado apoyándome en cada paso que doy, mis hermanos Laura Luisa Aguilar y Alejandro Antonio Aguilar quienes han sido de gran ejemplo para mí.

Luis Alejandro Aguilar

Quiero dedicar este triunfo a Dios todo poderoso, por permitirme culminar una meta más. A mis padres José Manuel Barrera y Adelaida Amorocho quienes además de apoyarme han sido un soporte continuo para cumplir con mi desarrollo personal y profesional. A mis hermanos Manuel J. Barrea y Verónica Barrera por perseverar todo este tiempo junto a mí, y hacerme saber que este esfuerzo sería el principio de una vida exitosa para la familia entera. A Mi Colega Favorito, por creer que mi dedicación será el resultado de una excelente vida profesional para ti y para mí.

Karen Paola Barrera

AGRADECIMIENTOS

Principalmente a Dios que nos permitió obtener un logro más, logro que es de gran importancia para nuestra vida profesional y formación académica.

A la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, quien ha sido una herramienta muy importante para nuestra formación y obtención de este logro.

Al director del proyecto, PhD. María Fernanda Serrano Guzmán, quien ha sido pieza importante en la construcción de esta meta, con sus asesorías y consejos.

A nuestros Padres quienes han tenido fe y confianza en nosotros para la realización de una objetivo más.

Al personal de laboratorio, la Magister Luz Marina Torrado, Heli Rueda y Vicente Páez, por la constante compañía y guía en los ensayos realizados en los laboratorios.

A los docentes que dieron lo mejor de ellos, con sus enseñanzas y conocimientos para formarnos.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	13
1.1 JUSTIFICACIÓN.....	14
1.2 ALCANCE	14
1.3 OBJETIVOS	16
1.3.1 Objetivo general	16
1.3.2 Objetivos específicos	16
1.4 RELEVANCIA DEL ESTUDIO	17
1.5 ORGANIZACIÓN DE LA TESIS	17
2. MARCO TEORICO	18
2.1 PROPIEDADES DEL MORTERO	18
2.2 FLY ASH O CENIZA VOLANTE.....	19
2.2.1 Propiedades de las cenizas volantes	20
3. METODOLOGÍA	22
3.1 MATERIALES GRANULARES	22
3.1.1 Procedencia.....	22
3.1.2 Ensayos material granular	23
3.2 MATERIAL CEMENTANTE.....	23
3.3 RESISTENCIA A LA COMPRESION DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRAULICO	23
3.3.1 Elaboración de cubos de 2” de lado	23
3.3.2 Ensayo de los cubos de morteros.	24
4. RESULTADOS	25
4.1 CARACTERIZACIÓN GRANULAR.....	25
4.2 CARACTERIZACIÓN CEMENTO	27
4.3 RESISTENCIA DEL MORTERO EN FORMA DE CUBO DE 5CM X 5CM	27
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	28
5.1 ANALISIS TECNICO	28
5.2 ANÁLISIS ECONOMICO	29
5.3 EVALUACION TECNICO ECONOMICA.....	31

5.4 COMPARACIÓN DEL BENEFICIO DE LA CENIZA CON ESTUDIOS DE INDOLE SEMEJANTES	33
CONCLUSIONES.....	37
RECOMENDACIONES.....	39
BIBLIOGRAFIA.....	40
ANEXOS.....	42

LISTA DE TABLAS

		PAG
TABLA	1 Fecha ensayo de los cubos de morteros	23
TABLA	2 Gravedad específica y absorción de la arena	24
TABLA	3 Peso específico y absorción de la ceniza	24
TABLA	4 Resultados de resistencia del mortero modificado con ceniza	26
TABLA	5 Carga en relación de % en adición de ceniza	27
TABLA	6 Esfuerzo en relación de % en adición de ceniza.	27
TABLA	7 Evaluación económica mortero 1:4	29
TABLA	8 Porcentaje de aumento de resistencia.	30

LISTA DE FIGURAS

			PAG.
FIGURA	1	Granulometría obtenida en la arena	25
FIGURA	2	Granulometría obtenida en la ceniza.	25
FIGURA	3	Esfuerzo vs % adición de ceniza	28
FIGURA	4	Costo m3 mortero vs % adición ceniza	29
FIGURA	5	Costo beneficio del mortero modificado con ceniza	31

LISTA DE ANEXOS

			PAG.
ANEXO	1	Ensayo cubo de mortero convencional	38
ANEXO	2	Ensayo cubo de mortero con 10% de adición de ceniza	39
ANEXO	3	Ensayo cubo de mortero con 20% de adición de ceniza	40
ANEXO	4	Ensayo cubo de mortero con 30% de adición de ceniza	41
ANEXO	5	Ensayo cubo de mortero con 40% de adición de ceniza	42
ANEXO	6	Ensayo cubo de mortero con 50% de adición de ceniza	43
ANEXO	7	Densidad del cemento	44
ANEXO	8	Granulometría para agregados finos	45
ANEXO	9	Gravedad específica y absorción de los agregados finos	46
ANEXO	10	Equivalente de arena	47
ANEXO	11	Granulometría ceniza	48
ANEXO	12	Gravedad específica y absorción de la ceniza	49
ANEXO	13	Registro fotográfico	50

RESUMEN

TITULO: EVALUACION TECNICO ECONOMICA DE MORTEROS MODIFICADOS CON CENIZA PROVENIENTE DE LOCACIONES

AUTOR: AGUILAR PEDROZO, Luis Alejandro y BARRERA AMOROCHO, Karen Paola.

FACULTAD: INGENIERIA CIVIL

DIRECTOR (A): SERRANO GUZMAN, María Fernanda.

El presente estudio se ve enfocado a la factibilidad del uso de cenizas de locaciones petroleras en morteros, a través de la adición de cenizas de locaciones petroleras en porcentaje de peso de arena.

Para ello se realizaron ensayos a especímenes de morteros preparados utilizando porcentajes de 10%, 20%, 30%, 40% y 50% en ceniza en periodos de 24 horas, 3 días, 7 días y 28 días. Adicionalmente, se evalúan los costos de producción y la resistencia obtenida.

PALABRAS CLAVES: Mortero, ceniza volátil, resistencia, evaluación.

ABSTRACT

TITLE: TECHNICAL EVALUATION ECONOMIC modified mortars LOCATIONS FROM ASHES

AUTHORS: PEDROZO AGUILAR, Luis Alejandro and Amorocho BARRERA, Karen Paola.

FACULTY: INGENIERIA CIVIL

DIRECTOR: SERRANO GUZMAN, María Fernanda

The present study is focused on the feasibility of using oil ash locations in mortars, through the addition of oil ash locations sand weight percent.

Assays were performed for this mortar specimens prepared using percentages of 10%, 20%, 30%, 40% and 50% ash in periods of 24 hours, 3 days, 7 days and 28 days. Additionally, evaluating the costs of production and the strength obtained.

KEYWORDS: Mortar, fly ash, strength assessment.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad los productores de energía han sido afrontados por la crisis de responsabilidad ambiental que ellos asumen como importantes contaminantes, con respecto a la disposición final de los residuos inorgánicos. Un caso particular es la ceniza volante proveniente de locaciones petroleras, la cual se genera a raíz de la combustión de minerales como el carbón, o destilación del petróleo.

De igual manera la industria de la construcción toma papeles en el daño ambiental al ecosistema, mayor impacto en estos momentos uno de los mejores para este sector, al reducir los bancos de arenas y gravas, encontradas en los sedimentarios ríos y canteras, además de obtener altos costos en los precios de materias primas como las mencionadas con anterioridad.

Integrando el problema de los productores de energía e hidrocarburos, con el problema del sector construcción e infraestructura, surge la necesidad de investigar y plantear una solución que desembocaría en una relación costo beneficio positiva y recíproca.

Hace cerca de 20 años, se han hechos pruebas a este híbrido y nueva tecnología a nivel mundial, demostrando que las cenizas poseen características cementantes similares a las propiedades de la cal, lo cual ayudaría al fortalecimiento de una mezcla constructiva donde sea necesario el uso de material fino.

Por ello, en este tema de monografía, se plante una evaluación técnico económico de los morteros modificados con ceniza proveniente de locaciones petroleras.

1.1 JUSTIFICACIÓN

El mortero es un elemento de alto costo usado como material adherente en muchos procesos constructivos, representa menor cantidad ante el concreto en igual de costos, por ello es necesario el uso de nuevas tecnología en materiales para disminuir costos y aumentar propiedades físicas, como la resistencia a la compresión, que demandan menor cantidad de material frente a una mezcla convencional.

En Colombia a lo largo de los años el proceso de la mampostería es una de que requiere mayor cantidad de mortero, además de refinado de pisos y frisos, los cuales se interpretan un porcentaje representativos dentro de los capítulos a tener en cuenta en infraestructuras de tipo residencial. Es por tal motivo que se emplea la iniciativa de mejorar las características de morteros, utilizando nuevos materiales, con la finalidad de mejorar sus características mecánicas, es decir su resistencia a la compresión sin desmejorar la fluidez.

De esta manera nace la idea de implementar un nuevo material como lo es la ceniza proveniente de locaciones petroleras en los morteros, comprobando la resistencia deseable, para posteriormente ser estudiadas y ser implementadas de una manera segura.

La utilización de esta ceniza como material en una mezcla de mortero tiene como objeto genera nuevas tecnologías y darle un uso apropiado a un material que actualmente en Ecopetrol no tiene ningún tipo de manejo.

1.2 ALCANCE

En este proyecto se analizó la relación costo beneficio de la elaboración de morteros modificados con ceniza de locaciones petroleras. Para ello, se realizaron setenta y dos (72) probetas de mortero, doce (12) de ellas con testigos producidas de manera convencional. Las probetas restantes fueron preparadas con ceniza volante como proporción del agregado granular, en los porcentajes de 10%, 20%, 30%, 40% y 50%. Para evaluar la resistencia a la compresión se implementó la norma técnica del instituto nacional de vías, ensayo 323 “Resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico”, estallando los cubos de morteros de 5x5 cm² en los días 1, 3, 7 y 28. En la evaluación económica se elaboró un análisis de precios unitarios tipo de un mortero 1:4, de esta manera se calcula una

relación costo beneficio que indica la factibilidad de la producción del mortero modificado con ceniza volante.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Evaluar técnica y económicamente morteros modificados con ceniza proveniente de locaciones petroleras.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar la resistencia a la compresión de un mortero convencional y un mortero modificado con ceniza proveniente de locaciones petroleras.
- Definir el valor de producción de metro cúbico de un mortero convencional y un mortero modificado con ceniza proveniente de locaciones petroleras.
- Comparar las variables de resistencia junto con costo de producción para definir la relación costo beneficio de morteros convencionales y morteros modificados con cenizas volantes.

1.4 RELEVANCIA DEL ESTUDIO

Este estudio se cofinanció con fondos del convenio de colaboración Ecopetrol-ICP-UPB, liderado por el grupo DeCoR, en donde se presentan alternativas de utilización de la ceniza proveniente de locaciones petroleras. De esta manera, se establecen vínculos entre la Universidad y la Empresa.

1.5 ORGANIZACIÓN DE LA TESIS

Para la presentación del siguiente trabajo de grado se ha organizado la información de la siguiente manera: en el capítulo 1 se presenta el planteamiento del problema, alcance, justificación, objetivos y relevancia del estudio. En el capítulo 2 se encuentra el marco teórico soporte científico del trabajo realizado. En el capítulo 3 se describe la metodología empleada para la realización del estudio. En el capítulo 4 se muestran los resultados obtenidos en el estudio seguida del capítulo 5 en el cual se presenta el análisis de resultados del proyecto, la evaluación técnico económica de los morteros modificados con cenizas provenientes de locaciones petroleras, formando una relación costo beneficio. Posteriormente se realizan todas las conclusiones obtenidas a partir del estudio. Se finaliza con las referencias bibliográficas y la lista de anexos.

2. MARCO TEORICO

El mortero es una mezcla constituida por cemento, arena y eventualmente otro material conglomerante que con adición de agua reacciona y adquiere resistencia. También puede tener algún otro producto para mejorar su resistencia. (JASSNA ELIZABETH CHIGUAY VELASQUEZ VALDIVIA — CHILE2007)

2.1 PROPIEDADES DEL MORTERO

- **Manejabilidad:** Es una medida de la facilidad de manipulación de la mezcla, es decir, de la facilidad para dejarse manejar. La manejabilidad está relacionada con la consistencia de la mezcla en cuanto a blanda o seca, tal que como se encuentra en estado plástico; depende de la proporción de arena y cemento y de la forma, textura y módulo de finura de la arena. Para medir la manejabilidad del mortero se usa el ensayo de fluidez descrito en la Norma NTC No. 111, aunque en la práctica, hasta ahora, se ha definido por la apreciación del albañil. (ASTM C 150 (NTC 121 y NTC 321)
- **Retención de agua:** se refiere a la capacidad del mortero de mantener su plasticidad cuando queda en contacto con la superficie sobre la que va a ser colocado, por ejemplo un ladrillo. Para mejorar la retención de agua se puede agregar cal, o aumentar el contenido de finos en la arena, o emplear aditivos plastificantes o incorporadores de aire. La retención de agua influye en la velocidad de endurecimiento y en la resistencia final, pues un mortero que no retenga el agua no permite la hidratación del cemento. (ASTM C 150 (NTC 121 y NTC 321)
- **Retracción:** se debe principalmente a la retracción de la pasta de cemento y se ve aumentada cuando el mortero tiene altos contenidos de cemento. Para mejorar esta retracción y evitar agrietamientos es conveniente utilizar arenas con granos de textura rugosa, y tener en cuenta además que en clima caliente y de muchos vientos, el agua tiende a evaporarse mas rápidamente produciendo tensiones internas en el mortero, que se traducen en grietas visibles. La retracción es proporcional al espesor de la capa, a la riqueza en cemento de la mezcla y a la mayor absorción de la pared sobre la que se vaya a aplicar. (ASTM C 150 (NTC 121 y NTC 321)

- Adherencia: es la capacidad de absorber, tensiones normales y tangenciales a la superficie que une el mortero y una estructura, es decir a la capacidad de responder monóticamente con las piezas que une ante solicitudes de carga. En el caso de la mampostería, para obtener una buena adherencia es necesario que la superficie sobre la que se va a colocar el mortero sea tan rugosa como sea posible y tenga una absorción adecuada, comparable con la del mortero. (ASTM C 150 (NTC 121 y NTC 321)

2.2 FLY ASH O CENIZA VOLANTE

La ceniza volante consiste principalmente de silicatos vítreos (mineral que se encuentra en un 90 % en la corteza terrestre formado esencialmente de oxígeno, sílice, alúmina y hierro además de unos minerales secundarios tales como magnesio, azufre, sodio, potasio y carbono). (Guillen Villas José Antonio,2003)

La densidad de conjunto es aproximadamente de 0.89 g/cm^3 y el peso específico de las partículas oscila entre 2.0 y $2,9 \text{ g/cm}^3$. Estas son el resultado del carbón utilizado en la combustión de plantas eléctricas donde son llevados a un grado de finura tal para mezclarse con el aire caliente en precipitadores electrostáticos ya después de haber pasado por unidades de fogones/pulverización de carbón, y hornos de bajas presiones (Santaella, 2001)

Según la norma ASTM C618 la ceniza se catalogan en 2 clases:

- Clase C: cenizas volantes producidas a partir de la combustión de lignitos y carbones sub-bituminosos donde el contenido de cal está por encima del 15%, estos son requeridos en estructuras de altas resistencias iniciales, como hormigón pretensado además de ser muy útil para la estabilización de suelos.
- Clase F: provenientes de la combustión de antracita o lignito, estas contienen cantidades de cal por debajo del 15% pero son superiores a las clases C pues poseen una combinación de sílice, aluminio y hierro. Modera el calor de hidratación durante el curado de la mezcla haciéndolo óptimo para hormigones de alta resistencia y producción en masa. Se recomienda usar en hormigones donde estén expuestos a aguas subterráneas.

2.2.1 Propiedades de las cenizas volantes

Entre más alto sea el contenido de carbono en las cenizas volantes, más agua se necesita para producir una pasta normal.

La incorporación de cenizas volantes reduce en general la demanda de agua, mejora la trabajabilidad y reduce la segregación. Los beneficios asociados a las cenizas volantes pueden propiciar la reducción de la relación agua/cemento manteniendo la trabajabilidad. Estas tienen la propiedad de multiplicar las propiedades cementicias en la mezcla, reduciendo a su vez el porcentaje de poros.

Las adiciones al cemento son utilizadas para mejorar el desempeño del concreto luego del fraguado. Mejoran su trabajabilidad, durabilidad y resistencia. Las mezclas de concreto con elevados contenidos de cemento portland son susceptibles a la fisuración y a una mayor generación de calor, efectos que pueden disminuir al emplear ciertos tipos de adiciones.

Las cenizas volantes son un subproducto de los hornos que emplean carbón mineral como combustible para la generación de energía; la cantidad de ceniza volante en el cemento puede variar entre el 5% y el 65% en peso de los materiales cementantes según la fuente de la ceniza y el requerimiento del concreto.

El empleo de cenizas y otro tipo de materiales cementantes complementarios le permite a la industria del concreto utilizar millones de toneladas de escorias que de otra manera deberían desecharse en el mejoramiento de las mezclas de hormigón, disminuyendo las cantidades requeridas de cemento portland; sobre todo desde el punto de vista ambiental estas adiciones son la salida a dos problemas graves de la actual industria energética: el manejo de los desechos de combustión y la gran cantidad de energía requerida para fabricar cemento portland.

Las cenizas volantes generalmente reducen la demanda de agua para el asentamiento requerido del concreto. Por otro lado aunque en su etapa inicial generan velocidades de ganancia de resistencia más bajas que las convencionales incrementan el periodo de ganancia de dicha resistencia generando mayores resistencia finales que las mezclas que solo emplean cemento portland. Adicionalmente disminuyen el peso del concreto hecho que constituye una favorable noticia a toda la industria de la construcción.

Son diversos los centros investigativos que en la actualidad trabajan con la ceniza volante como aditivo del concreto principalmente porque no requieren tratamiento adicional, es decir que pueden aplicarse directamente a las mezclas en las proporciones adecuadas de acuerdo a los requerimientos del hormigón; en América principalmente, por causa de la existencia de este recurso como producto de la explotación minero energética, ha de ser sin duda un agente mejorador de la dinámica de la construcción en el futuro.

3. METODOLOGÍA

En el desarrollo del proyecto se emplearon varias etapas necesarias para avanzar y lograr cumplir los objetivos impuestos, a continuación se nombran y describen dichas fases.

3.1 MATERIALES GRANULARES

Al mencionar materiales granulares se refiere a la arena y ceniza que pasa a través del tamiz No. 16 siguiendo la norma I.N.V. 323-07, por ello es clave mencionar su procedencia y los ensayos a realizar para caracterizar dichos materiales.

3.1.1 Procedencia

Los materiales empleados para el proyecto tienen diferentes procedencias que se muestran a continuación:

- **Arena:** la cantidad este material empleado tiene como las orillas del río Chicamocha al oriente de Colombia, localizado en el departamento de Santander, sector Pescadero. Los recursos para la obtención de los distintos materiales fueron suministrados por el proyecto de investigación del grupo DeCoR de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, proyecto radicado en la Dirección General de Investigaciones de esta institución.
- **Ceniza:** las cenizas son provenientes de las locaciones petroleras, exactamente de la refinería de Ecopetrol, fue suministrada a la universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga a través de la directora de investigaciones, para realizar los correspondientes estudios e identificar posibles usos para estos residuos, disminuyendo el impacto ambiental del entorno y económico para la fabricación de las mezclas asfálticas.

3.1.2 Ensayos material granular

Se tomaron datos adicionales para caracterizar tanto la arena del río Chicamocha como la ceniza volante, por ello es indispensable realizar al menos los ensayos básicos para determinar las propiedades mecánicas de estos.

Los ensayos realizados son:

- Granulometría de agregados finos (INV. E-213)
- Gravedad específica y absorción de los agregados finos (INV. E-222)
- Equivalente de arena (INV. E-133)
- Contenido de materia orgánica para la ceniza (INV. E-212)

3.2 MATERIAL CEMENTANTE

El cemento utilizado se consiguió en el paquete comercial en ferretería en la región de Florida Blanca, y se le realizó el ensayo de densidad del cemento, empleando el frasco volumétrico de Chatelier y kerosene, aplicando el principio de Arquímedes.

La densidad del cemento se usa para determinar la calidad de este material, así mismo también para establecer la cantidad de material cementante usada dentro mezclas que requieran su uso como el concreto, mortero u otros.

3.3 RESISTENCIA A LA COMPRESION DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRAULICO

Para realizar el ensayo, se implementó la norma I.N.V. E-323, describiendo el procedimiento de producción de los cubos de morteros.

3.3.1 Elaboración de cubos de 2" de lado

La mezcla de mortero efectuada consistió en la relación de 1 a 2,75 de cemento y arena respectivamente, además de usar la relación de agua cemento de 0,485. Para la adición de ceniza se reemplaza en proporción de arena, y se forman 6 probetas por cada porcentaje de adición.

Luego de tener la mezcla en el flujo adecuado se vierte al molde y se compacta con 8 golpes por capa, para un total de 4 capas. Finalmente, se enraza y luego de 24 de fraguado se procede al curado del mortero durante 28 días.

3.3.2 Ensayo de los cubos de morteros.

Para ensayar los cubos se usa la prensa hidráulica y la mordaza para cubos. Las pruebas se le hacen al siguiente día después de la producción, al 3, 7 y 28 días de acuerdo a la norma INV 323. La fecha para ensayar los cubos se muestra en la tabla 1.

TABLA 1 Fecha de ensayo de los cubos de morteros.

% ceniza	Elaboración	1 día	3 días	7 días	28 días
10 y 20	06-nov	07-nov	09-nov	13-nov	04-dic
0 y 30	07-nov	08-nov	10-nov	14-nov	05-dic
40 y 50	13-nov	14-nov	16-nov	20-nov	11-dic

4. RESULTADOS

4.1 CARACTERIZACIÓN GRANULAR

Se usaron los resultados de los ensayos de granulometría y gravedad específica de AGUILAR Luis y AYALA Edward (Documento de Grado 2013), teniendo en cuenta que los resultados obtenidos son de materia granular de tamaño máximo de 3/8", mientras que la norma exige el uso de material que pase a través del tamiz No. 16.

En la tabla 2 se muestran el peso específico y absorción de la arena, mientras en la tabla 3 se presentan los datos respecto a la ceniza.

TABLA 2 Gravedad específica y absorción de la arena

DESCRIPCION	VALOR	UNIDAD
Gravedad esp. Bulk	2.62	g/cm ³
Gravedad esp. Bulk saturada y sup. Seca	2.64	g/cm ³
Gravedad esp. aparente	2.69	g/cm ³
Absorción	1.09	%

Datos en anexo 9

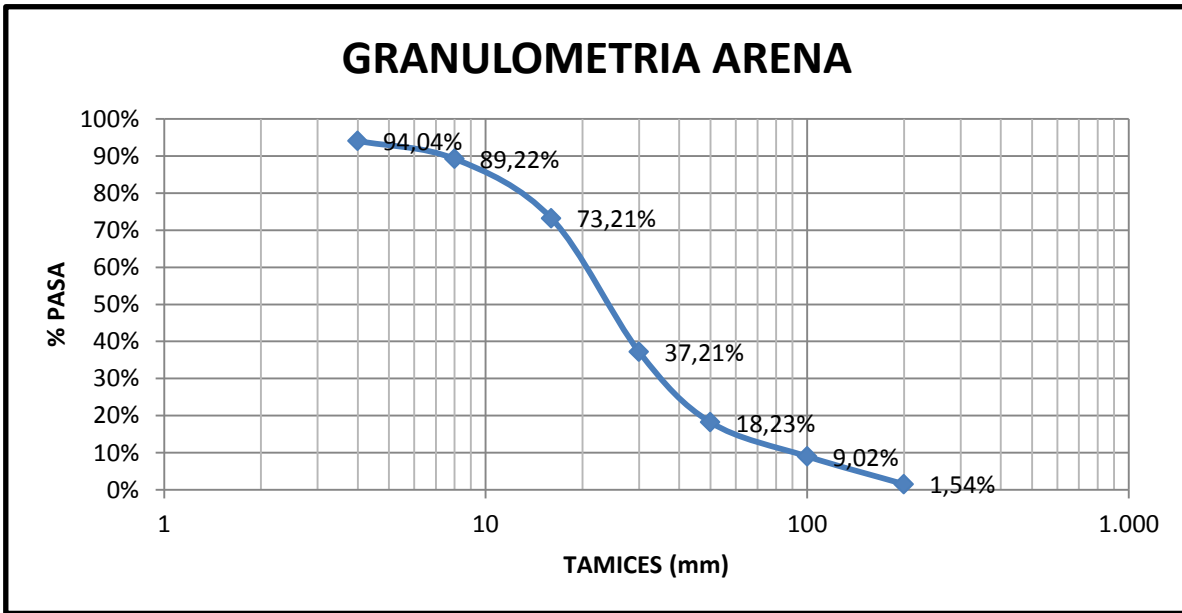
TABLA 3 Peso específico y absorción de la ceniza

Descripción	valor	unidad
Gravedad esp. Bulk	2.01	g/cm ³
Gravedad esp. Bulk saturada y sup. Seca	2.22	g/cm ³
Gravedad esp. aparente	2.55	g/cm ³
Absorción	10.52	%

Datos en anexo 12

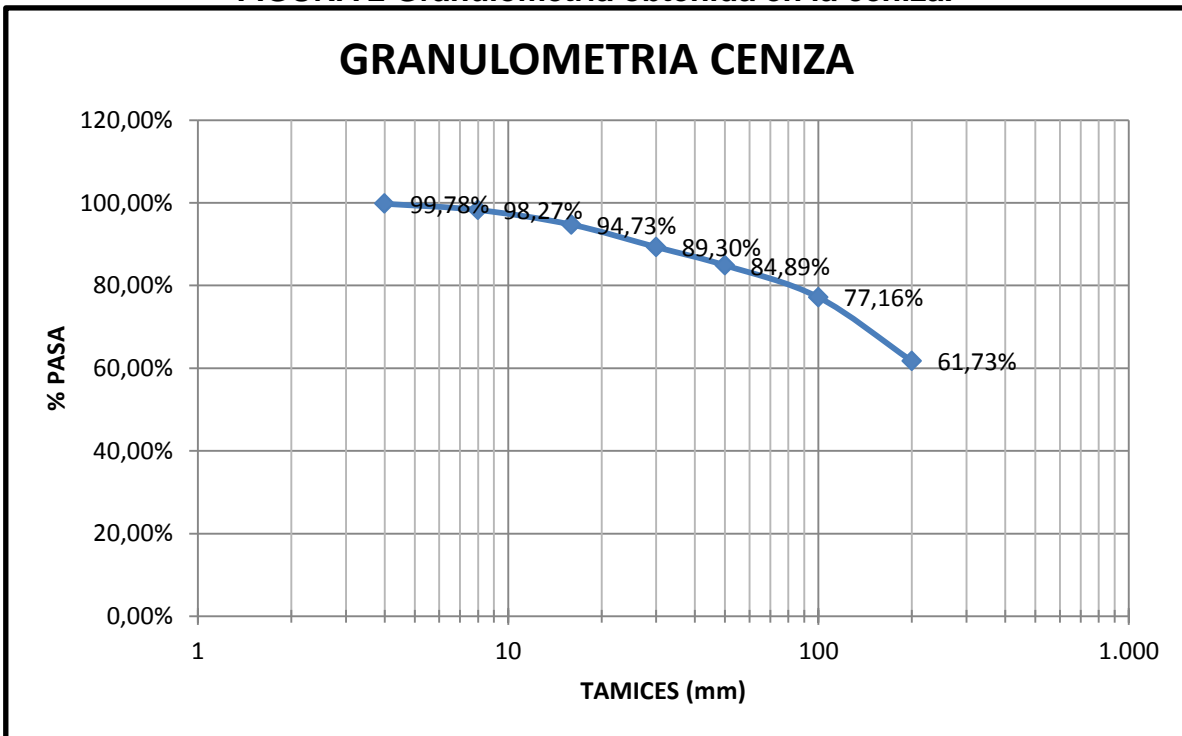
La granulometría de los materiales usados se ubica en la figura 1 y la figura 2, de la arena y ceniza respectivamente. (AGUILAR Luis y AYALA Edward, Documento de Grado 2013).

FIGURA 1 Granulometría obtenida en la arena.



Datos en anexo 8

FIGURA 2 Granulometría obtenida en la ceniza.



Datos en anexo 11

Además de tener datos relevantes como un 92% de equivalente de arena (datos y análisis en anexo 5) y un contenido de materia orgánica regular para la ceniza.

4.2 CARACTERIZACIÓN CEMENTO

Para caracterizar el cemento fue necesario realizar el ensayo de Densidad del cemento Portland I.N.V. E-307, empleado el frasco de chatelier y kerosene como fluido no adherente al cemento, obteniendo una densidad de 2.85 g/cm³, resultados en el anexo 7.

4.3 RESISTENCIA DEL MORTERO EN FORMA DE CUBO DE 5CM X 5CM

Los resultados obtenidos al ensayar los cubos en la prensa hidráulica, antes sometidos a la mordaza especial para los morteros. Los datos se muestran en la tabla 4.

TABLA 4 Resultados de resistencia del mortero modificado con ceniza

% ceniza	KN			
	Día 1	Día 3	Día 7	Día 28
0%	10.97	14.47	20.03	34.43
	8.94	16.03	18.58	37.88
	7.86	16.34	20.49	32.16
10%	6.93	17.69	30.84	42.57
	7.34	17.1	34.94	44.1
	7.22	16.53	32.98	42.88
20%	4.96	12.89	19.52	37.05
	4.59	12.55	18.93	18.86
	5	14.53	18.38	33.99
30%	8.07	11.49	15.18	18.83
	7.35	10.63	12.58	19.41
	6.51	11.37	15.34	18.58
40%	7.79	12.39	13.51	17.59
	7.99	10.58	13.75	18.62
	6.79	11.91	14.89	19.74
50%	4.7	6.92	10.71	13.71
	4.78	7.97	10.19	13.72
	5.06	8.71	9.75	12.47

Resultados en los anexo del 1 al 6.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para estimar el esfuerzo al que es sometido cada cubo, se asume que el área de o cara portante de la carga es regular para todos los cubos, es decir, es de 25 mm para todos los cubos.

5.1 ANALISIS TECNICO

En la tabla 5 se promedian los valores de las cargas obtenidas, con relación de los días del mortero sometido a curado y el porcentaje de adición de ceniza.

TABLA 5 Carga en relación de porcentaje% en adición de ceniza.

Carga (KN)				
% ceniza	Día 1	Día 3	Día 7	Día 28
0%	9.257	15.613	19.700	34.823
10%	7.163	17.107	32.920	43.183
20%	4.850	13.323	18.943	29.967
30%	7.310	11.163	14.367	18.940
40%	7.523	11.627	14.050	18.650
50%	4.847	7.867	10.217	13.300

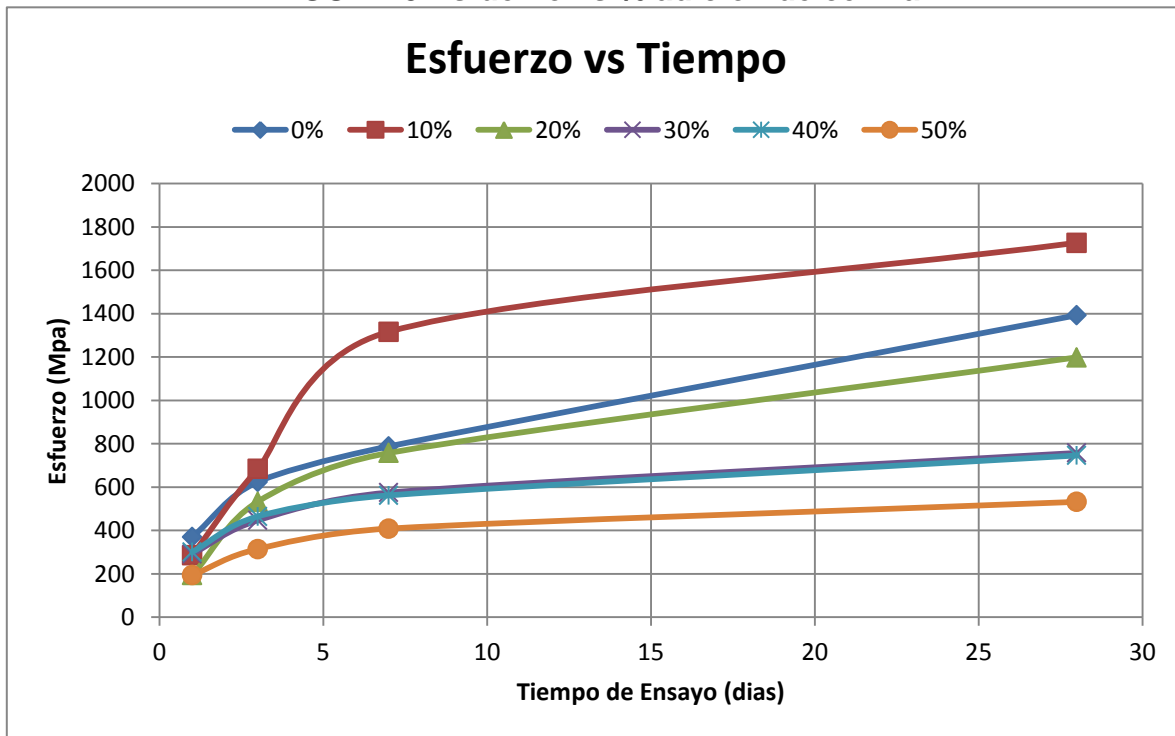
Además en la tabla 6 se calculan los esfuerzos, teniendo en cuenta lo mencionado con anterioridad acerca del área de influencia de la carga.

TABLA 6 Esfuerzo en relación de porcentaje en adición de ceniza.

Esfuerzo (MPa)				
% ceniza	Día 1	Día 3	Día 7	Día 28
0%	370.267	624.533	788.000	1392.933
10%	286.533	684.267	1316.800	1727.333
20%	194.000	532.933	757.733	1198.667
30%	292.400	446.533	574.667	757.600
40%	300.933	465.067	562.000	746.000
50%	193.867	314.667	408.667	532.000

Para identificar y diferenciar los esfuerzos relevantes en función de adición de ceniza se expone la figura 3.

FIGURA 3 Esfuerzo vs % adición de ceniza



Se observa que a partir del 20% de adición de ceniza, tiende a disminuir la resistencia de los cubos con respecto a las probetas testigos. Además de definir que el 10% de adición de ceniza muestra un aumento del 24% de resistencia a los 28 días, se observa que el mortero obtiene mayor solidez desde el 7 día, por ello es posible que la mayor resistencia se encuentre entre los valores del 5% y 10% de adición de ceniza.

5.2 ANÁLISIS ECONOMICO

Se determinan los costos necesarios para producir un mortero convencional, ante un mortero modificado con ceniza, en especial con 10% de adición de ceniza como proporción de la arena. En la tabla 7 se realiza una evaluación económica

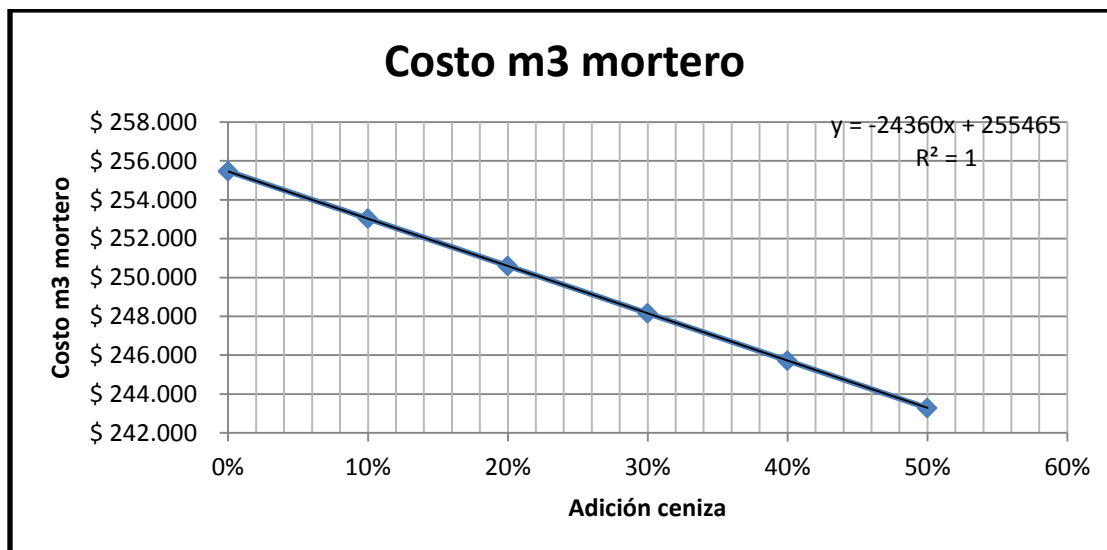
de acuerdo a un análisis de precios unitarios de un mortero 1:4, comparando el método convencional con el mortero modificado con ceniza.

TABLA 7 Evaluación económica mortero 1:4 convencional vs Modificado

Mortero M3 1:4			Convencional	10% adición ceniza	Convencional	10% adición ceniza
Material	Unidad	Precio unitario	cantidad		Precio parcial	
Cemento	Kg	\$ 500	364	364	\$ 182,000	\$ 182,000
Arena	M3	\$ 45,000	1.16	1.044	\$ 52,200	\$ 46,980
Ceniza	M3	\$ 25,000	0	0.116	\$ -	\$ 2,900
Agua	lt	\$ 50	182	182	\$ 9,100	\$ 9,100
Subtotal					\$ 243,300	\$ 240,980
Desperdicio 5%					\$ 12,165	\$ 12,049
total					\$ 255,465	\$ 253,029

La modificación del mortero preparado con ceniza representa un valor ganado de aproximadamente \$2.500 por m3 de mortero producido. De acuerdo al aumento de ceniza reemplazando la arena se disminuye el valor del metro cúbico producido de mortero como se ve en la figura 4. Sin embargo, los resultados a compresión indican que no es conveniente el reemplazo de la arena por un porcentaje mayor al 10% ya que la resistencia disminuye sensiblemente. Además, el uso de la ceniza disminuye los pasivos ambientales del proceso de producción de hidrocarburos, siendo este, un factor determinante para la modificación adecuada en la mezcla y su respectiva producción.

Figura 4 Costo m3 mortero vs % adición ceniza



5.3 EVALUACION TECNICO ECONOMICA.

Para el desarrollo del enfoque costo beneficio, se implementaron indicadores de aumento de resistencia en unidad de porcentaje, al igual que los costos de producción por metro cubico de mortero y el porcentaje adicionado de ceniza, denominando como parámetro de medida los resultados de las probetas testigos elaboradas en laboratorio.

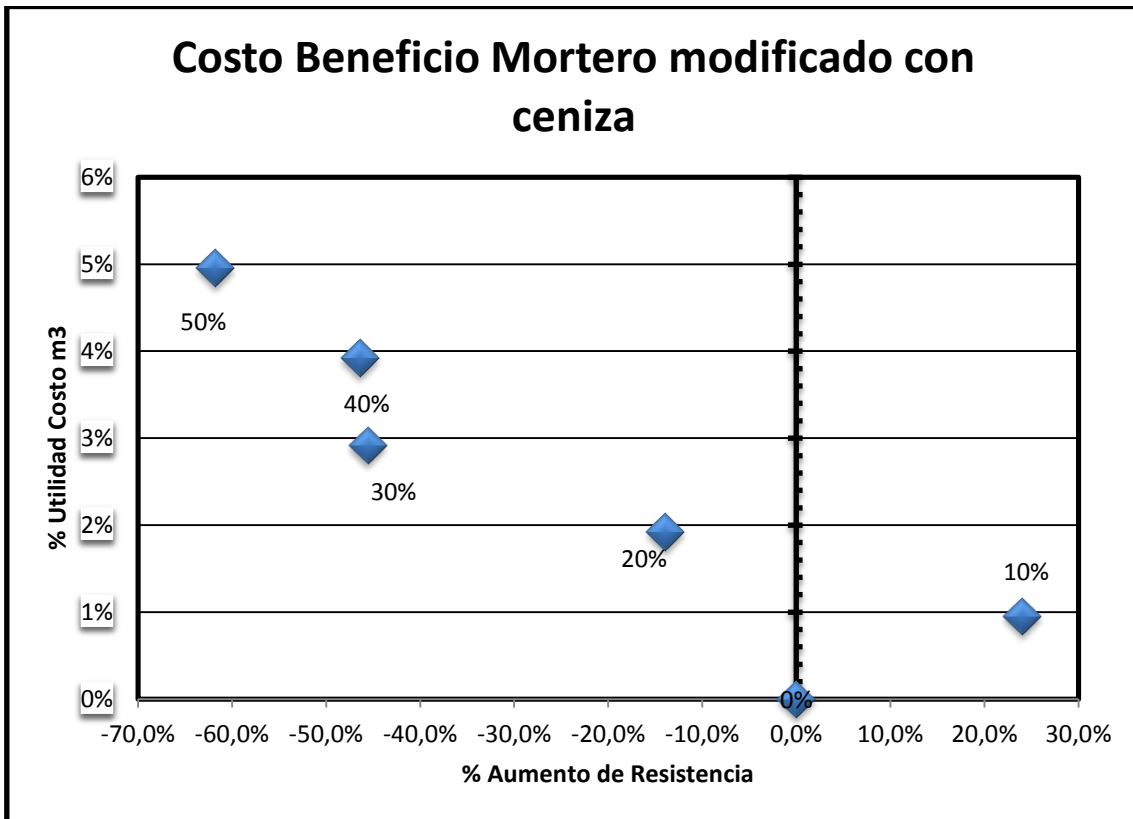
En la tabla 8 se muestra la variación de resistencia como porcentaje (agregado fino) de acuerdo a las variables mencionadas con anterioridad.

Tabla 8 Porcentaje de variación de la resistencia.

% aumento Esfuerzo				
% ceniza	Día 1	Día 3	Día 7	Día 28
0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
10%	-22.6%	9.6%	67.1%	24.0%
20%	-47.6%	-14.7%	-3.8%	-13.9%
30%	-21.0%	-28.5%	-27.1%	-45.6%
40%	-18.7%	-25.5%	-28.7%	-46.4%
50%	-47.6%	-49.6%	-48.1%	-61.8%

A partir de los resultados obtenidos se realiza la figura 5, donde se obtiene la relación costo beneficio del mortero modificado con ceniza.

Tabla 5 Costo beneficio del mortero modificado con ceniza



Las etiquetas en porcentajes a cada punto identifican el porcentaje en adición de ceniza al mortero, estos resultados se obtuvieron de los cubos ensayados a los 28 días.

5.4 COMPARACIÓN DEL BENEFICIO DE LA CENIZA CON ESTUDIOS DE INDOLE SEMEJANTES

Al comparar los beneficios que puedo ofrecer la ceniza con otros estudios basados en investigar el comportamiento mecánico de materiales indispensable para el desarrollo del sector infraestructura.

Para ello se comparó con dos anteriores estudios “Determinación de las propiedades mecánicas de una mezcla densa en caliente tipo 2 utilizando ceniza como proporción del agregado fino y como llenante mineral” de Aguilar Luis y Ayala Edward (Documento de grado 2013), y “Evaluación del comportamiento mecánico de morteros modificados con ceniza de locaciones petroleras” de Sarmiento Carlos y Arenas Julián (Documento de grado 2012).

En la trabajo de grado de Sarmiento y Arenas (Documento de grado 2012), se concluye que se disminuye de manera significativa la resistencia a la compresión al adicionar ceniza como porción del peso cemento. En este trabajo adelantado por los autores de la monografía se observa que se presentó un aumento cerca al 20% de resistencia a la compresión del mortero, pero al adicionar ceniza volante como proporción del agregado fino. Sin embargo, aunque se evidenció un aumento en la resistencia del material, la diferencia del costo representa un beneficio por el aprovechamiento de un residuo que en la actualidad presenta dificultades para su disposición final.

En la proyecto para optar por el título de ingeniero civil de Aguilar y Ayala, se evidencia de manera justificada el aumento de la estabilidad de una MDC-2, como la reducción en costo de producción de un metro cubico de esta misma, estableciendo una relación costo beneficio llamativa para las planta de producción de mezclas asfálticas, sin desvalorizar la sostenibilidad del proyecto. Comparando la situación anterior con el estudio realizado con morteros modificados con ceniza volante como proporción del agregado granular muestra un aumento no tan relevante como con las mezclas asfálticas pero si deseable, aunque al ser la ceniza el remplazante de la arena y no del cemento los costos de producción no se ven tan disminuidos, si se estima los beneficios con el ambiente en pesos de costos, no se desmerita el proyecto y estaría dentro de los tres pilares fundamentales de la sostenibilidad.

5.4.1 Comparación con estudio sobre evaluación de las propiedades mecánicas de morteros modificados con ceniza proveniente de la desorción térmica de agua de la industria petrolera (Serrano y otros 2013)

En el trabajo realizado por Serrano y otros (2013) se estudian las propiedades mecánicas de morteros modificados con ceniza proveniente de la desorción térmica de agua de la industria petrolera. En este caso, un total de doscientos cincuenta y seis (256) cubos de 50,8 mm de lado fueron preparados variando el módulo de finura de 1, 2.5 y 2.7. Cada cubo se ensayó a las 24 horas, 3,7 y 28 días después de fundidos y se sometieron a curado en agua. En este caso, el mortero fue preparado sustituyendo el peso cemento portland por peso ceniza en los porcentajes de 10%, 20%, 30%, 40% y 50%. Se insiste en este aparte, que en el estudio realizado por los autores de esta monografía, se reemplazó la ceniza volante como proporción del agregado fino, es decir, como proporción de la arena.

El estudio de Serrano y otros (2013) muestra que los materiales utilizados arrojaron una densidad promedio de la arena entre 2.51 g/cm³ y 2.64g/cm³, clasificándola en el sistema ASSTHO como A3, mientras que en la ceniza recibió un peso específico de 2,36 g/cm³.

La dosificación más favorable se encontró en la relación 10% ceniza y 90% cemento, donde se presentan resistencias similares a las testigos aunque no mayores, mientras que en el proyecto de modificación del mortero con ceniza como agregado fino, se halló la proporción 10% ceniza y 90% arena donde se obtuvo un aumento de resistencia de 8,5 KN ante las testigos (Serrano y otros, 2013).

5.4.2 Comparación con proyecto de grado, Evaluación del comportamiento mecánico de morteros modificados con ceniza de locaciones petroleras (Sarmiento y Arenas, 2012)

En este proyecto se realizaron 144 especímenes, 6 por cada dosificación, 72 probetas con un módulo de finura de 2.65 y otras 72 con 2,55 de módulo de finura, para el agregado fino. Se utilizó la ceniza como porcentaje en peso cemento (la diferencia de este proyecto con el desarrollado consiste en que reemplaza la ceniza y como actúa para la mezcla), con las relaciones de 100%, 90%, 80%, 70, 60%, y 50% de cemento, ensayándolos por medio de la norma ICONTEC 220.

Se obtuvo propiedades mecánicas en la ceniza similares a las del agregado fino en cuanto a la granulometría, peso específico y módulo de finura. Para diferenciar los módulos de finura se implementó el mismo material pero con diferente tamizado variando del tamiz 3/8" y el tamiz No. 8 hasta llegar al No. 200.

Con respecto al fraguado de mezcla se observó mayor tiempo en aquellos especímenes con adición de ceniza, al igual el flujo de la mezcla varia, por tanto, para una mejor fluidez del mortero modificado con ceniza volante requiere mayor relación agua cemento que en condiciones normales.

La mejor dosificación hallada es de 90% cemento 10% ceniza, en la cual se obtuvo una reducción de resistencia ante las probetas testigos de 12,4% y 29,2% para MF de 2,65 y 2,55 respectivamente. Mientras en la monografía trabajada la resistencia se aumenta en un 24% ante los especímenes de prueba, ya que no se reemplaza las propiedades cementantes que posee el cemento, por el contrario se le adicionan con la ceniza, con características similares a la cal, al reemplazar agregado fino dentro del mortero. (Aguilar y Ayala, 2012)

5.4.2 Comparación con proyecto de grado, determinación de las propiedades mecánicas de una mezcla densa en caliente tipo 2 utilizando ceniza como agregado fino y como llenante mineral (Aguilar y Ayala)

El proyecto se basó en la fabricación de 72 briquetas de mezcla asfáltica tipo 2 basadas en las especificaciones del INVIAS, para ello se usaron diferentes dosificaciones variando el porcentaje de ceniza en relación al peso del agregado fino, además de buscar el porcentaje óptimo de asfalto de la mezcla.

Se obtuvo el porcentaje óptimo de la mezcla de 4.5% de asfalto con una variación de ceniza/agregado fino de 30/70, donde se halló resultados de resistencia a la compresión de la mezcla para alto modulo, un flujo dentro de los límites y porcentajes de vacíos certeros que aseguran una rigidez y fluidez ante las diversidades que pueda ofrecer el factor climático.

Se obtuvo un ahorro cercano a los \$7000 pesos colombianos, demostrando la veracidad de realizar un proyecto con ceniza que garantiza sostenibilidad, ante el medio ambiente, sociedad y económicamente razonable.

Se recomendó realizar ensayos para medir las deformaciones permanentes y el envejecimiento de la carpeta asfáltica, además de estudios químicos. (Aguilar y Ayala, Documento de grado 2013). Se presenta este estudio para

reforzar el uso de la ceniza en aplicaciones ingenieriles, ya que en este caso fue utilizada en mezclas asfálticas.

Otros estudios similares, en donde se refuerza la aplicabilidad del uso de la ceniza en obras civiles, son los siguientes:

- Reemplazando el llenante mineral de una mezcla asfáltica por Fly ash, para una mezcla densa en caliente, elaborada con asfalto 60/70, se presenta un aumento del 19% de la resistencia para un remplazo del 20% del llenante mineral. La deformación permanente se mitigó en 10% y 38% para la sustitución del 20% y 45% de llenante mineral por ceniza volante. (Reyes y otros, 2006)
- Una mezcla densa en caliente tipo 2 para un nivel de trafico de 3, preparada con 70% finos y 30%, una adición del 15% de ceniza y 4.675% de asfalto, presenta mayores estabilidad y resistencia que las mezclas convencionales. (Orozco y Murillo, 2011)

CONCLUSIONES

Se realizaron los 72 cubos por el método expuesto en la norma INV. 323, tanto los hechos de manera convencional, como los modificados con ceniza. Por ello los materiales empleados fueron filtrados por el tamiz No. 16 además de obtener una granulometría que cumple con los requisitos de esta norma, para una arena y una ceniza con 3.07 y 0.97 de módulo de finura respectivamente, pero al usar todo el material sin filtrar, según lo indica la norma, se alcanza un módulo de finura del 3.36 en la arena, aunque la ceniza no supera el 1 de esta variable.

Para la resistencia al esfuerzo se implementó un área regular de 5 mm x 5 mm para la cara que soporta la carga aplicada al ensayar todo los cubos, obteniendo los resultados, que demuestran un aumento del 24.01% de resistencia de un mortero modificado con un 10% de adición de ceniza, mientras al continuar adicionando porcentajes se disminuye la resistencia con respecto a las probetas testigos.

El flujo de la mezcla no se realizó en laboratorio, pero para la elaboración de la mezcla se infiere que al aumentar las cenizas y por su gradación con tendencia de limos y arcillas, requiere mayor cantidad de agua, por tanto se incrementa la relación agua cemento, con el fin de alcanzar una fluidez que garantice el manejo de la mezcla para con ello verter a los moldes de los cubos 5x5.

Se reduce el costo de producción de un mortero al aumentar la ceniza, con un incremento de \$2.436 por cada 10% adición de ceniza en proporción del agregado necesario para realizar mortero, se evaluó de acuerdo al análisis de precios unitario de un metro cubico de mortero 1:4 contando solo con los materiales empleados, sin equipos, transporte ni mano de obra.

El costo beneficio de la producción del mortero se ubica en los valores positivos tanto de los índices usados de porcentaje en aumento de resistencia, como en porcentaje de utilidad en costo, comparándolas con las probetas testigos como parámetros. Además de tener en cuenta la ayuda al medio ambiente al solucionar el problema de manejo de estas cenizas provenientes de procesos de refinación del petróleo, que actualmente no poseen ningún uso.

La relación de adición de ceniza recomendada es del 10%, ya que es la única que presenta mejoría con respecto a la carga soportada, además de reducir los costos de producción de mortero 1:4 en un 1%, un valor llamativo para un proyecto de que requiera grandes cantidades de mortero. Sin embargo, es recomendable que se continúen los estudios hacia la química del mortero con el fin de determinar si ambientalmente es viable el uso de este residuo en los morteros. Adicionalmente, que las investigaciones futuras estén orientadas hacia la evaluación del comportamiento de las mezclas con porcentajes de ceniza entre el 0% y 15% como adición de la arena.

RECOMENDACIONES

Incluir como indicativo para el costo beneficio la variable ecosistema, empleando la matriz de Conesa y con ella todos los factores ambientales que trae consigo dicha metodología de evaluación de impacto.

BIBLIOGRAFIA

AGUILAR, Luis Alejandro y AYALA, Edward Andres. Determinación de las propiedades mecánicas de una mezcla densa en caliente tipo 2 utilizando ceniza como proporción del agregado fino y como llenante mineral. Tesis de grado para optar por el título de ingeniero civil. Bucaramanga. Universidad Pontificia Bolivariana. 2013.

Aldea C-M. y S. P. Shah (2011), Durability enhancements of cracked concrete by fibers, Special Publication, Volumen 276, Marzo.

Azevedo A. A, C. Martins y D. C. Dal Molin (2001), a Study of the Penetration of Chloride in Rice-Husk Ash Concrete, Special Publication 202, pp. 379-396, Agosto.

GRAMMES, Felix. Evaluación de las propiedades mecánicas de morteros modificados con ceniza proveniente de la desorción térmica de agua de la industria petrolera. 2013.

HERRERA GALVIS, Laura Paola. Utilización de cenizas volantes en concreto. Informe práctica empresarial para optar por el título de Ingeniera Civil. Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de Ingeniería Civil. Escuela de Ingenierías y Administración, 2001. 63 p.

HTTP: http://www.bdigital.unal.edu.co/6167/17/9589322824_Parte5.pdf

INSTITUTO TECNICO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACION. Normas técnicas colombianas (NTC), contenidas en la NRS-10.

SALAMANCA CORREA, Rodrigo. La tecnología de los morteros. En: Ciencia e ingeniería neogranadina. Diciembre, 2001. vol. 11, p 41-48. <http://www.umng.edu.co/www/resources/11art6.pdf>

SANCHEZ DE GUZMAN, Diego. Tecnología del concreto y del mortero. Biblioteca de la construcción. 5 ed. Santafé de Bogotá, D.C. – Colombia: Bhandar Editores, 2000. 349 p.

Santaella L. E., Caracterización fisicoquímica y mineralógica de las cenizas volantes, Revista Ciencia e Ingeniería Neogranadina, Universidad Militar Nueva Granada, Volumen Julio 010,pp.47-62.


SARMIENTO, Carlos Orlando y ARENAS, Julian Felipe. Evaluación del comportamiento mecánico de morteros modificados con ceniza de locaciones petroleras. Anteproyecto de trabajo de grado de Ingeniero Civil. Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de Ingeniería Civil. Escuela de Ingenierías y Administración, 2012. 18 p.

JASSNA ELIZABETH CHIGUAY VELASQUEZ VALDIVIA — CHILE2007

Guillen Villas José Antonio,2003


Norma ASTM C 150 (NTC 121 y NTC 321).

ANEXOS

Ensayo cubo de mortero convencional			
 <p style="font-size: 1.2em; font-weight: bold; margin: 0;">Universidad Pontificia Bolivariana</p> <p style="font-size: 0.8em; margin: 0;">SECCIONAL BUCARAMANGA</p>	Anexo No 1		
	FECHA DEL ENSAYO 7 Noviembre 2012		
	DIRECTOR (A) DEL PROYECTO María Fernanda Serrano		
ESTUDIANTES:	Luis Alejandro Aguilar Pedrozo	ID	126075
	Karen Paola Barrera Morocho		129307
NOMBRE DEL ENSAYO Resistencia a la compresión de mortero de cemento hidráulico		NORMA: INV.E-323	

TOMA DE DATOS				
	KN			
% ceniza	Día 1	Día 3	Día 7	Día 28
0%	10.97	14.47	20.03	34.43
	8.94	16.03	18.58	37.88
	7.86	16.34	20.49	32.16


RESULTADOS				
Esfuerzo	Mpa			
	Día 1	Día 3	Día 7	Día 28
% ceniza				
0%	438.8	578.8	801.2	1377.2
	357.6	641.2	743.2	1515.2
	314.4	653.6	819.6	1286.4
Promedio	370.27	624.53	788.00	1392.93

Ensayo cubo de mortero con 10% de adición de ceniza			
 Universidad Pontificia Bolivariana <small>SECCIONAL BUCARAMANGA</small>	Anexo No	2	
	FECHA DEL ENSAYO	6 Noviembre 2012	
	DIRECTOR (A) DEL PROYECTO	María Fernanda Serrano	
ESTUDIANTES:	Luis Alejandro Aguilar Pedrozo	ID	126075
	Karen Paola Barrera Morocho		129307
NOMBRE DEL ENSAYO			NORMA:
Resistencia a la compresión de mortero de cemento hidráulico			INV.E-323

TOMA DE DATOS				
% ceniza	KN			
	Día 1	Día 3	Día 7	Día 28
10%	6.93	17.69	30.84	42.57
	7.34	17.1	34.94	44.1
	7.22	16.53	32.98	42.88

RESULTADOS


Esfuerzo % ceniza	Mpa			
	Día 1	Día 3	Día 7	Día 28
10%	277.2	707.6	1233.6	1702.8
	293.6	684	1397.6	1764
	288.8	661.2	1319.2	1715.2
Promedio	286.53	684.27	1316.80	1727.33

Ensayo cubo de mortero con 20% de adición de ceniza			
 Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA	Anexo No		3
	FECHA DEL ENSAYO		6 Noviembre 2012
	DIRECTOR (A) DEL PROYECTO		María Fernanda Serrano
ESTUDIANTES:	Luis Alejandro Aguilar Pedrozo	ID	126075
	Karen Paola Barrera Morocho		129307
NOMBRE DEL ENSAYO		NORMA:	
Resistencia a la compresión de mortero de cemento hidráulico		INV.E-323	

TOMA DE DATOS				
% ceniza	KN			
	Día 1	Día 3	Día 7	Día 28
20%	4.96	12.89	19.52	37.05
	4.59	12.55	18.93	18.86
	5	14.53	18.38	33.99

RESULTADOS


Esfuerzo % ceniza	Mpa			
	Día 1	Día 3	Día 7	Día 28
20%	198.4	515.6	780.8	1482
	183.6	502	757.2	754.4
	200	581.2	735.2	1359.6
Promedio	194.00	532.93	757.73	1198.67

Ensayo cubo de mortero con 30% de adición de ceniza			
 Universidad Pontificia Bolivariana <small>SECCIONAL BUCARAMANGA</small>	Anexo No		4
	FECHA DEL ENSAYO		7 Noviembre 2012
	DIRECTOR (A) DEL PROYECTO		María Fernanda Serrano
ESTUDIANTES:	Luis Alejandro Aguilar Pedrozo	ID	126075
	Karen Paola Barrera Morocho		129307
NOMBRE DEL ENSAYO		NORMA:	
Resistencia a la compresión de mortero de cemento hidráulico		INV.E-323	

TOMA DE DATOS				
% ceniza	KN			
	Día 1	Día 3	Día 7	Día 28
30%	8.07	11.49	15.18	18.83
	7.35	10.63	12.58	19.41
	6.51	11.37	15.34	18.58

RESULTADOS


Esfuerzo % ceniza	Mpa			
	Día 1	Día 3	Día 7	Día 28
30%	322.8	459.6	607.2	753.2
	294	425.2	503.2	776.4
	260.4	454.8	613.6	743.2
Promedio	292.40	446.53	574.67	757.60

Ensayo cubo de mortero con 40% de adición de ceniza			
 Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA	Anexo No		5
	FECHA DEL ENSAYO		13 Noviembre 2012
	DIRECTOR (A) DEL PROYECTO		María Fernanda Serrano
ESTUDIANTES:	Luis Alejandro Aguilar Pedrozo	ID	126075
	Karen Paola Barrera Morocho		129307
NOMBRE DEL ENSAYO		NORMA:	
Resistencia a la compresión de mortero de cemento hidráulico		INV.E-323	

TOMA DE DATOS				
% ceniza	KN			
	Día 1	Día 3	Día 7	Día 28
40%	7.79	12.39	13.51	17.59
	7.99	10.58	13.75	18.62
	6.79	11.91	14.89	19.74

RESULTADOS

Esfuerzo % ceniza	Mpa			
	Día 1	Día 3	Día 7	Día 28
40%	311.6	495.6	540.4	703.6
	319.6	423.2	550	744.8
	271.6	476.4	595.6	789.6
Promedio	300.93	465.07	562.00	746.00

Ensayo cubo de mortero con 50% de adición de ceniza			
 Universidad Pontificia Bolivariana <small>SECCIONAL BUCARAMANGA</small>	Anexo No		6
	FECHA DEL ENSAYO		13 Noviembre 2012
	DIRECTOR (A) DEL PROYECTO		María Fernanda Serrano
ESTUDIANTES:	Luis Alejandro Aguilar Pedrozo	ID	126075
	Karen Paola Barrera Morocho		129307
NOMBRE DEL ENSAYO		NORMA:	
Resistencia a la compresión de mortero de cemento hidráulico		INV.E-323	

TOMA DE DATOS				
% ceniza	KN			
	Día 1	Día 3	Día 7	Día 28
50%	4.7	6.92	10.71	13.71
	4.78	7.97	10.19	13.72
	5.06	8.71	9.75	12.47

RESULTADOS

Esfuerzo % ceniza	Mpa			
	Día 1	Día 3	Día 7	Día 28
50%	188	276.8	428.4	548.4
	191.2	318.8	407.6	548.8
	202.4	348.4	390	498.8
Promedio	193.87	314.67	408.67	532.00

Densidad del cemento	
 <p>Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA</p>	Anexo No 7
	FECHA DEL ENSAYO 3 Diciembre 2012
	DIRECTOR (A) DEL PROYECTO María Fernanda Serrano
ESTUDIANTES:	Luis Alejandro Aguilar Pedrozo ID 126075 Karen Paola Barrera Morocho 129307
NOMBRE DEL ENSAYO Densidad del cemento hidráulico	NORMA: INV.E-307

TOMA DE DATOS			
Kerosene	lectura inicial	0.3	ml
en Chatelier	lectura final	22.4	ml
	cemento	63	gr
cemento (gr)	desperdicio g	2	gr
61	desperdicio %	3.3%	

TOMA DE DATOS

Volumen desplazado	22.1
Densidad cemento	2.85 g/cm ³

GRANULOMETRIA PARA AGREGADOS FINOS



**Universidad
Pontificia
Bolivariana**
SECCIONAL BUCARAMANGA

ANEXO 8

FECHA DEL ENSAYO
9 Octubre 2012

DIRECTOR (A) DEL PROYECTO
María Fernanda Serrano Guzmán

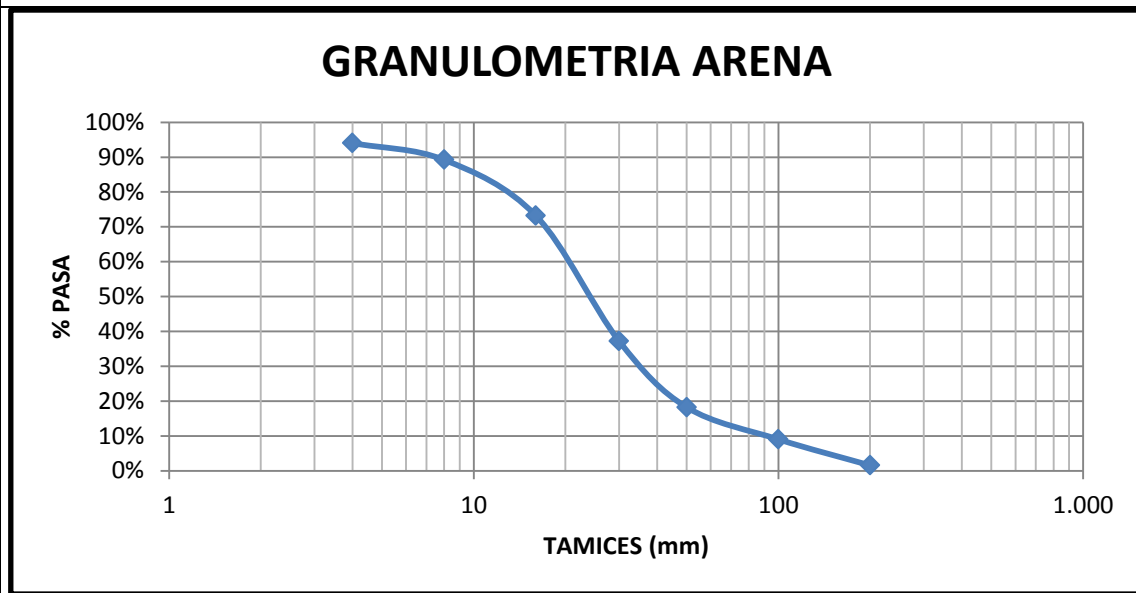
ESTUDIANTES: Luis Alejandro Aguilar Pedrozo ID 126075
Edward Andres Ayala Robayo 127557

NOMBRE DEL ENSAYO Granulometría para agregados finos **NORMA:** INV. E-213

TOMA DE DATOS

RETENCION				% PASA TOTAL	MF= 2.79
TAMIZ N°	PESO (g)	PORCENT AJE	% TOTAL		
4	215.25	5.96%	5.96%	94.04%	
8	173.8	4.81%	10.78%	89.22%	
16	578.18	16.02%	26.79%	73.21%	
30	1299.44	36.00%	62.79%	37.21%	
50	685.33	18.98%	81.77%	18.23%	
100	332.38	9.21%	90.98%	9.02%	
200	270.11	7.48%	98.46%	1.54%	
FONDO	47.33	1.31%	99.77%	0.23%	
TOTAL	3610	100.00%	-	-	

GRAFICA GRANULOMETRICA



Gravedad específica y absorción de los agregados finos



**Universidad
Pontificia
Bolivariana**
SECCIONAL BUCARAMANGA

ANEXO 9

FECHA DEL ENSAYO
12 Octubre 2012

DIRECTOR (A) DEL PROYECTO
María Fernanda Serrano Guzmán

ESTUDIANTES:	Luis Alejandro Aguilar Pedrozo	ID	126075
	Edward Andres Ayala Robayo		127557

NOMBRE DEL ENSAYO Gravedad específica y absorción de los agregados finos	NORMA: INV.E-223
--	----------------------------

TOMA DE DATOS

Peso	(g)	Nomenclatura
arena SSS	500	S
Pic + arena + agua	928.9	C
Picnómetro + agua	617.97	B
arena seca	494.59	A

CALCULOS

$Gsb = A/(B+S-C) =$	2.62 g/cm ³	Gravedad esp. Bulk
$Gsb_{SSS} = S/(B+S-C) =$	2.64 g/cm ³	Gravedad esp. Bulk saturada y sup. Seca
$Gsa = A/(B+A-C) =$	2.69 g/cm ³	Gravedad esp. aparente
$\% \text{ Absorción} = (S-A)\%/A =$	1.09 %	Absorción

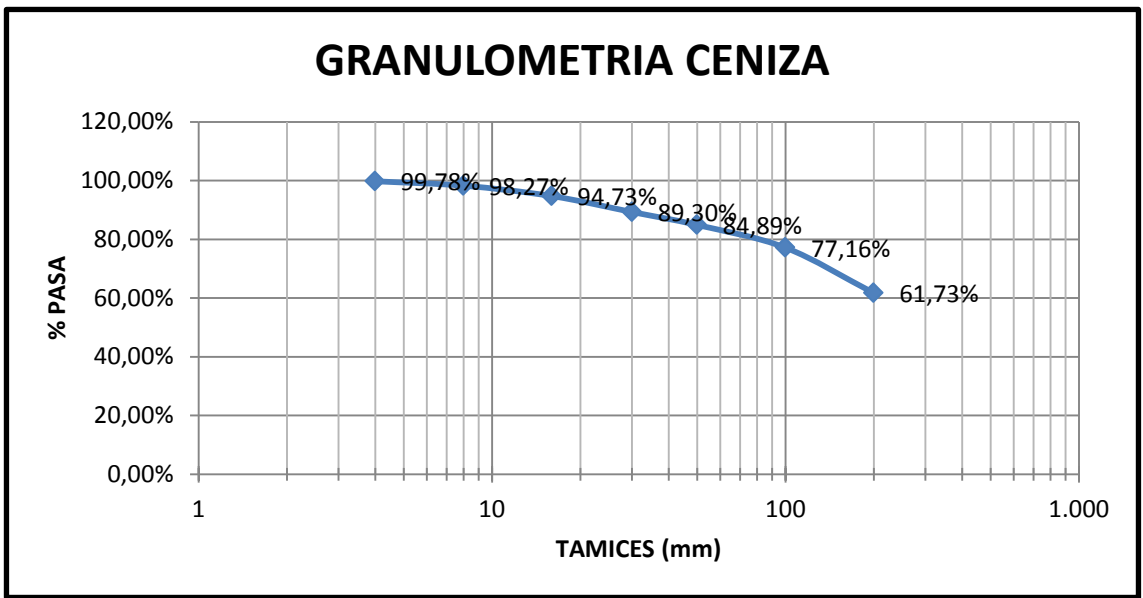
GRANULOMETRIA CENIZA	
 Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA	ANEXO 11
	FECHA DEL ENSAYO 2 Octubre 2012
	DIRECTOR (A) DEL PROYECTO María Fernanda Serrano Guzmán


ESTUDIANTES:	Luis Alejandro Aguilar Pedrozo Edward Andres Ayala Robayo	ID	126075 127557
---------------------	--	-----------	------------------

NOMBRE DEL ENSAYO	Granulometría para cenizas	NORMA:	INV.E-213
--------------------------	----------------------------	---------------	-----------

TOMA DE DATOS					
RETENCION					
TAMIZ N°	PESO (g)	PORCENTAJE	% TOTAL	% PASA TOTAL	
4	1.78	0.22%	0.22%	99.78%	MF= 0.56
8	12.11	1.51%	1.73%	98.27%	
16	28.4	3.54%	5.27%	94.73%	
30	43.53	5.43%	10.70%	89.30%	
50	35.43	4.42%	15.11%	84.89%	
100	62.01	7.73%	22.84%	77.16%	
200	123.802	15.43%	38.27%	61.73%	
FONDO	495.208	61.73%	100.00%	0.00%	
TOTAL	802.27	100.00%	-	-	

GRAFICA GRANULOMETRICA



Gravedad específica y absorción de la ceniza		
 Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA	ANEXO	12
	FECHA DEL ENSAYO	12 Octubre 2012
	DIRECTOR (A) DEL PROYECTO	María Fernanda Serrano Guzmán
ESTUDIANTES:	Luis Alejandro Aguilar Pedrozo Edward Andres Ayala Robayo	ID 126075 127557
NOMBRE DEL ENSAYO	Gravedad específica y absorción de la ceniza	NORMA: INV.E-222

TOMA DE DATOS		
Peso	(g)	Nomenclatura
arena SSS	443.48	S
Pic + ceniza + agua	861.92	C
Picnómetro + agua	617.97	B
arena seca	401.28	A

CALCULOS		
$Gsb = A/(B+S-C) =$	2.01 g/cm³	Gravedad esp. Bulk
$Gsb_{SSS} = S/(B+S-C) =$	2.22 g/cm³	Gravedad esp. Bulk saturada y sup. Seca
$Gsa = A/(B+A-C) =$	2.55 g/cm³	Gravedad esp. aparente
$\% \text{ Absorción} = (S-A)\%/A =$	10.52 %	Absorción

ANEXO 13 REGISTRO FOTOGRAFICO



Mezcla de mortero.



Compactación del mortero.



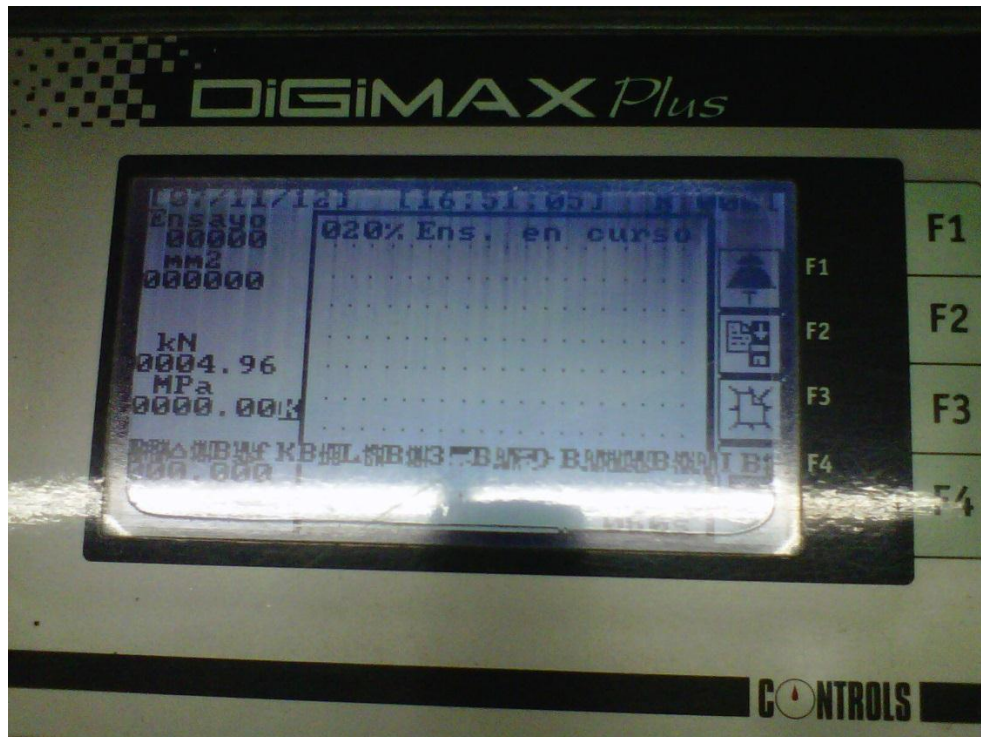
Reducción de vacíos con el martillo de caucho.



Cubos de morteros desencofrados.



Armado de prensa hidráulica y mordaza para ensayar los cubos de mortero.



Aplicación de la Fuerza.



Probeta ensayada y tipo de falla



Más probetas ensayadas con distintos tipos de fallas