

**EVALUACION DE LA PIEDRA BARICHARA Y CENIZA EN MORTEROS 1:1 DE
CONSISTENCIA SECA APLICABLE PARA ELABORACION DE BALDOSAS**

MATEO SARMIENTO GOMEZ

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2015**

**EVALUACION DE LA PIEDRA BARICHARA Y CENIZA EN MORTEROS 1:1 DE
CONSISTENCIA SECA APLICABLE PARA ELABORACION DE BALDOSAS**

MATEO SARMIENTO GOMEZ

Director:

PhD. MARIA FERNANDA SERRANO GÚZMAN

Directora general de investigaciones

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA

ESCUELA DE INGENIERÍAS

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

BUCARAMANGA

2015

NOTA DE ACEPTACION

Presidente del Jurado

Jurado

Bucaramanga, marzo de 2015

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo está dedicado al Gran Arquitecto de Universo, por ser el motor que me concede día a día la oportunidad de vivir y gozar de este mundo.

A mi madre Edelmira Gómez de Sarmiento por ser la persona que siempre cree en mí y ser el apoyo imprescindible para realizar el sueño de ser un profesional.

Mi padre Antonio Sarmiento que con su optimismo fomento mis ganas de sobresalir.

A la Doctora María Fernanda Serrano Guzmán por su entrega y respaldo para culminar este proyecto y además por cultivar la semilla de la investigación que muchas satisfacciones me ha otorgado.

Al personal de laboratorio de materiales y geotecnia de la Universidad Pontificia Bolivariana por brindarme las facilidades de trabajar en sus instalaciones.

A los muchos compañeros y amigos de estudio que de alguna forma me ayudaron a culminar el ciclo profesional.

MATEO SARMIENTO GOMEZ

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	11
1. FORMULACION DEL PROBLEMA	14
2. OBJETIVOS	15
2.1 OBJETIVO GENERAL	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3. JUSTIFICACION	16
4. ALCANCE	17
5. ESTADO DEL ARTE	18
6. MARCO TEORICO	19
6.1 DEFINICIÓN DE MORTERO	19
6.2 TIPOS Y USOS DE MORTERO	19
6.3 ESTUDIOS PREVIOS SOBRE EL USO DE LA PIEDRA BARICHARA	20
7. METODOLOGIA	22
7.1 ETAPA DE CAMPO	22
7.2 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS	23
7.3 CARACTERIZACIÓN	24
7.4 PREPARACION DE LAS MEZCLAS DE MORTERO	26
7.4.2 Procedimiento para la preparación de morteros	27
7.4.3 Procedimiento para elaborar las baldosas	31
8. RESULTADOS	39
9. ANALISIS DE RESULTADOS	51
9.1 MUESTREO	51
9.2 METODOLOGÍA ESTADÍSTICA	52
9.2.1 Distribución de la resistencia a compresión en las tres mezclas propuestas	53
9.2.2 Comparaciones de resistencia a compresión por mezclas de morteros	56
9.2.3 Comparación de la resistencia a flexión de baldosas elaboradas con las mezclas	57

10. CONCLUSIONES	59
11. TRABAJOS FUTUROS	61
BIBLIOGRAFIA	62
ANEXOS	64

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Canteras y talleres	22
Figura 2. Trituración y acopio	23
Figura 3. Granulometría general de los materiales en estudio	24
Figura 4. Penetración del aparato Vicat.	26
Figura 5. Tipos de agregado y mezcla de los mismos	28
Figura 6. Cubos elaborados	31
Figura 7. Baldosas de fabricación industrial	32
Figura 8. Molde construido (20x20 cm)	32
Figura 9. Limpieza y ajuste del Molde	33
Figura 10. Molde con placa de asbesto-cemento	33
Figura 11. Papel absorbente	34
Figura 12. Enrasado de la mezcla	34
Figura 13. Apisonado de la mezcla	34
Figura 14. Capa de cemento seco	35
Figura 15. Molde preparado	35
Figura 16. Ubicación del molde en la maquina universal	36
Figura 17. Panel de control de la maquina universal	36
Figura 18. Baldosa terminada	37
Figura 19. Secado de baldosas	37
Figura 20. Curva granulométrica Fino barichara	39
Figura 21. Granulometría fino convencional	40
Figura 22. Granulometría Ceniza	42
Figura 23. Granulometría relación 60%-40%	44
Figura 24. Granulometría relación 75%-25%	45
Figura 25. Ensayo a compresión 24 horas	47
Figura 26. Ensayo a compresión 3 días	47
Figura 27. Compresión 7 días	48
Figura 28. Compresión 28 días	48

Figura 29. Muestras utilizadas para los diferentes materiales propuestos	53
Figura 30. Resistencia media de las mezclas en el tiempo.	55

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Matriz experimental	28
Tabla 2. Limites granulométricos	29
Tabla 3. Relación A/C para cada una de las mezclas	30
Tabla 4. Gravedad específica Barichara	40
Tabla 5. Gravedad específica convencional	41
Tabla 6. Gravedad específica	42
Tabla 7. Densidad del cemento	43
Tabla 8. Tiempos de fraguado	43
Tabla 9. Gravedad específica agregado 60%-40%	45
Tabla 10. Ensayo de absorción	49
Tabla 11. Ensayo de desgaste por abrasión	50
Tabla 12. Ensayo resistencia por flexo tracción	50
Tabla 13. Potencia mínima del test para diferentes tamaños de muestra	52
Tabla 14. Numero de muestras	53
Tabla 15. Prueba de normalidad para la resistencia de morteros.	54
Tabla 16. Resistencia de las mezclas en los diferentes días evaluados.	55
Tabla 17. Comparaciones de resistencia a compresión por mezclas de morteros	56
Tabla 18. Comparación de la resistencia a flexión de baldosas elaboradas con las mezclas	57
Tabla 19. Comparaciones de los porcentajes de absorción de las baldosas entre las mezclas.	58
Tabla 20. Resistencia al desgaste por abrasión de baldosas entre mezclas.	58

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Granulometría	65
Anexo 2. Gravedad específica	68
Anexo 3. Líneas de tendencia	70
Anexo 4. Tiempos de fraguado	72
Anexo 5. Pruebas de normalidad	73

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: EVALUACIÓN DE LA PIEDRA BARICHARA Y CENIZA EN MORTEROS 1:1 DE CONSISTENCIA SECA APLICABLE PARA ELABORACIÓN DE BALDOSAS

AUTOR(ES): Mateo Sarmiento Gómez

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR(A): PhD. MARIA FERNANDA SERRANO GÚZMAN

RESUMEN

La piedra Barichara es un material de construcción muy utilizado por su versatilidad y estética pero genera a su vez gran cantidad de residuos, no utilizables produciendo un gran impacto ambiental. El propósito de este trabajo fue utilizar mediante la trituración de la piedra Barichara como agregado fino para elaboración de mezclas de morteros de consistencia seca aplicables en la fabricación de Baldosas, en combinación con material convencional (Arena de río) y una proporción de ceniza de locaciones petroleras como adición al cemento. Tanto los materiales como las mezclas preparadas se sometieron a ensayos de laboratorio según las normas de calidad colombianas con el fin de analizar la calidad de los materiales y la resistencia de los mismos. Una vez obtenidos los resultados se procedió a la elaboración de las baldosas y prueba de resistencia a flexión, absorción, y abrasión con el fin de conocer su calidad para este uso.

PALABRAS CLAVES:

Morteros, agregados, baldosa.

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: EVALUATION OF THE STONE BARICHARA AND ASH IN MORTARS 1:1 OF DRY APPLICABLE CONSISTENCY FOR PRODUCTION OF TILES.

AUTHOR(S): MATEO SARMIENTO GÓMEZ

FACULTY: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR: PpD. MARÍA FERNANDA SERRANO GUZMÁN

ABSTRACT

Barichara stone is a material used in construction due to its versatility and aesthetics, which generates in turn great quantity of residues, not usable causing a great environmental impact. the main goal of this project was to use crushing barichara stone and preparing mixtures of dry mortars, both used for the manufacture of tiles, including conventional materials as sand of river and a proportion of ash coming from hydrocarbon production added as proportion of cement. all materials used were tested according with the colombian quality standard. once obtained the results is proceeded to the production of the tiles following the requirements exposed in the technical norm, already elaborated and tested for bending, absorption, and abrasive behavior order to recommend the use of barichara stone.

KEYWORDS:

mortars, aggregates, tile.

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

INTRODUCCION

El mortero es un material altamente utilizado en la industria de la construcción, compuesto de la mezcla de agregados, cemento hidráulico y agua, en proporciones definidas, poseyendo cada uno de estos ingredientes unas características fundamentales para cumplir su función específica garantizando la calidad del producto.

El incremento del índice de construcción en el país genera una gran demanda en los materiales básicos para la elaboración de concretos y morteros, como es el caso de los agregados convencional cuya sobreexplotación ha venido generando un gran impacto ambiental en los últimos años.

Los agregados no convencionales son una alternativa para el reciclaje de sub productos generados por actividades extendidas en algunos lugares, como lo es el caso de este proyecto, fundamentado en el aprovechamiento de los retales de la piedra Barichara producto de las labores de esculpido y tallado artesanal, material que por su tamaño (< 10 cm) es rechazado, produciendo un aumento de residuos que dan mal aspecto y a la vez contaminan el paisaje.

1. FORMULACION DEL PROBLEMA

La roca arenisca como roca sedimentaria se caracteriza por su baja resistencia, facilitando el corte y la talla de la misma; en el entorno local se destaca la piedra Barichara por su variedad de tonalidades y texturas que la convierten en material de construcción ideal para aplicaciones arquitectónicas y estéticas.

La explotación artesanal y muchas veces indiscriminada debido a la gran demanda del material en bruto está ocasionando el deterioro del entorno donde se extrae y generando una gran cantidad de residuos.

El presente trabajo plantea el uso de dicho material como sustituto de los agregados utilizados en la preparación de mezclas de mortero para la elaboración de baldosas, dándole así un uso justificado al material considerado residuo contaminante sin algún valor comercial.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar morteros 1:1 elaborados con cemento, ceniza, agregados finos de piedra de Barichara y convencionales

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar la ceniza, piedra Barichara, cemento y agregado natural según normas para preparación de morteros.
- Determinar la relación Agua/Cemento necesaria para la elaboración de morteros 1:1 de consistencia seca.
- Comparar el comportamiento mecánico de mortero 1:1 con agregados convencionales y con agregados no convencionales
- Evaluar el comportamiento mecánico de baldosas monocapa preparadas con mortero 1:1

3. JUSTIFICACION

Barichara es uno de los dieciocho municipios que conforman la Provincia Guanentina. Está ubicado a 24 Kilómetros de San Gil, 9 kilómetros de Guane, 118 Kilómetros de Bucaramanga capital del departamento y 445 Kilómetros de la capital de la república (Bogotá),

El desarrollo socioeconómico del municipio de Barichara en la zona rural gira alrededor de la agricultura y la ganadería, mientras que en el sector urbano está el comercio, manufacturas, artesanías y alfarería. Actividades enfocadas al turismo que se han convertido en el eje del desarrollo urbano; De las 354 microempresas existente en el municipio, 50% (177), son de carácter artesanal, el 22.6% se dedican a la alfarería y el 9.6% a la talla en piedra.

Actualmente los proyectos arquitectónicos enfocados a preservar la cultura y reflejar las virtudes del pueblo santandereano, escogen la piedra de Barichara por sus características como el color, la textura y la trabajabilidad que se le puede otorgar a este material para ajustarlo a los diferentes requerimientos estéticos y estructurales.

Actualmente el aprovechamiento de dicho material se realiza de manera netamente artesanal, afectando el paisaje de las zonas de explotación, con los residuos propios de la producción y acondicionamiento de los elementos fabricados de esta roca arenisca.

Los residuos se pueden clasificar dependiendo de su tamaño, desde grandes rocas de tamaños y pesos considerables, pasando por tamaños reducidos hasta material fino. Surge la idea de su utilización en la producción en materiales de construcción, analizando primero sus características mecánicas únicas del material como también en las mezclas de mortero ya preparadas.

4. ALCANCE

Este trabajo puede convertirse en referencia técnica para futuros proyectos de investigación así como para personal perteneciente a la cadena productiva que utiliza la piedra de Barichara como fuente de ingreso.

Se elaborarán mezclas de mortero en proporción 1:1 y consistencia seca utilizando agregados convencionales y agregados finos de piedra de Barichara obtenida de las canteras y talleres de explotación en los municipios de Villanueva y Barichara.

También se tendrá en cuenta la utilización de la ceniza de locaciones petroleras como material cementante en las mezclas de mortero, esto con el fin de emplear este residuo provisto por Ecopetrol, entidad que financia este proyecto en el marco del acta de cooperación AC-02 perteneciente al convenio marco ICP-5211508 entre la Universidad Pontificia Bolivariana y el Instituto Colombiano del Petróleo.

5. ESTADO DEL ARTE

El uso del mortero en el campo de la construcción es muy diverso, en Colombia es muy empleado como material de construcción para pañetes, pega de mampostería, nivelación de ante pisos y en elaboración de pisos y baldosas.

Además del cemento, el material primordial para la elaboración es el agregado fino, ya que de este depende la resistencia y la calidad del producto a elaborar y en el caso específico es el mortero.

Los agregados deben cumplir con ciertos requisitos tanto físicos, químicos y mecánicos para ser considerados refinados en la elaboración de morteros, así como la dosificación óptima que garantice la resistencia y la fluidez deseada para la mezcla.

El aprovechamiento de material de desecho como los residuos de roca arenisca resultado de la transformación de manera artesanal en las canteras y talleres de los municipios de Villanueva y Barichara del departamento de Santander, para elaboración de morteros de calidad y a su vez ayudar con el grave problema ambiental que generan ya que no son dispuestos de manera adecuada contaminando grandes extensiones de tierra.

6. MARCO TEORICO

Después del concreto el material más utilizado en la industria de la construcción es el mortero, por lo tanto hay que tener en cuenta el cuidado en su elaboración en cualquiera que sea su utilización.

6.1 DEFINICIÓN DE MORTERO

El mortero es una mezcla homogénea de un material cementante (cemento), un material de relleno (agregado fino), agua y aditivos. Prácticamente es un concreto sin el agregado grueso.

6.2 TIPOS Y USOS DE MORTERO

Atendiendo a su endurecimiento se pueden distinguir dos tipos de morteros. Los aéreos que son aquellos que endurecen al aire al perder agua por secado y fraguan lentamente por un proceso de carbonatación, y los hidráulicos o acuáticos que se endurecen bajo el agua, debido a que su composición les permite desarrollar resistencias iniciales relativamente altas.

- **Morteros calcáreos:** Son aquellos en los que interviene la cal como aglomerante y se utiliza en trabajos de embellecimiento de interiores que requieren esquinas perfectas.
- **Morteros de yeso:** se preparan con yeso hidratado con agua y se elabora a medida que se necesita, pues comienza a fraguar a los cinco minutos y termina más o menos en un cuarto de hora.

- **Morteros de cal y cemento:** son aconsejables cuando se busca una trabajabilidad, buena retención de agua y alta resistencia, en estos morteros se utiliza mortero y cal en proporciones definidas según sea su uso.
- **Morteros de cemento:** son los más empleados, se componen de arena y cemento portland. Este mortero tiene altas resistencias y sus condiciones de trabajabilidad son variables a la proporción de cemento y arena usados.

En mortero de cemento al igual que el concreto, las características de la arena, tales como granulometría, módulo de finura, forma y textura de las partículas, así como el contenido de materia orgánica, juegan un papel decisivo en su calidad¹.

Si el mortero tiene muy poco cemento la mezcla se hace áspera y poco trabajable ya que las partículas de arena se rozan entre sí, pues no existe suficiente pasta de cemento para que actúe como lubricante.

Por otro lado si el mortero es muy rico, es decir con alto contenido de cemento, es muy resistente pero con alta retracción en el secado, es decir muy susceptible de agrietarse.

En Colombia el uso del mortero de cemento es ampliamente difundido y se dosifican las proporciones en peso de cemento y arena.

6.3 ESTUDIOS PREVIOS SOBRE EL USO DE LA PIEDRA BARICHARA

Se cuenta con un estudio ejecutados por el estudiante Cristián Toloza **“EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO FISICO- MECANICO DE LA PIEDRA BARICHARA COMO AGREGADO EN LA PREPARACION DE MEZCLAS DE**

¹ SANCHEZ DE GUZMAN, Diego. Tecnología del mortero y el concreto. 5 ed. Bogotá :Bhandar Editores, 2001. P.303-310. ISBN 958-9247-04-0

CONCRETO", en donde se encontró que los agregados provenientes de la piedra Barichara clasificados por su procedencia y tonalidad se comportaron de maneras satisfactoria en los ensayos de compresión a la edad de 28 días.

Adicionalmente, en el trabajo de grado de los estudiantes Yimer Laguado y Luis Carlos Cuenca, **EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO - MECÁNICO DE LA PIEDRA DE BARICHARA Y CENIZA COMO AGREGADO EN LA PREPARACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA ADOQUINES** fue una referencia para el desarrollo de esta investigación. En este estudio se reportó la reducción de hasta un 10% de los costos de fabricación de concretos para unidades de mampostería.

Por otro lado, existen referencias científicas de los trabajos adelantados con la piedra y que fueron presentados en la revista Facultad de Ingeniería de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia en el que intervinieron María Fernanda Serrano Guzmán, Diego Darío Pérez Ruiz, Mateo Sarmiento Gómez, Cristhian Toloza. En este artículo, titulado **"VALORACIÓN DEL RESIDUO DE PIEDRA PARA PREPARAR CONCRETO PARA SENDEROS PEATONALES: CASO PIEDRA BARICHARA**, donde se presentan alternativas para la utilización de la piedra de Barichara como material de pavimentación de vías vehiculares.

Adicionalmente, en el **Sexto encuentro nacional de expertos en residuos sólidos "Convirtiendo los residuos sólidos en energía: hacia la sustentabilidad."** Sociedad Mexicana de ciencia y tecnología aplicada a residuos sólidos A.C. Universidad Autónoma de Nayarit, México se llevó una ponencia y se elaboró un artículo contenido en las memorias del evento, trabajo en el que participaron María Fernanda Serrano Guzmán, Diego Darío Pérez Ruiz, Mateo Sarmiento Gómez, Cristhian Toloza, donde se elaboraron morteros de bajas resistencias utilizando la piedra Barichara como principal agregado para las mezclas de morteros.

7. METODOLOGIA

En cumplimiento de los objetivos propuestos y tomando en cuenta que este trabajo de grado está vinculado directamente en el acta de cooperación AC-02 del convenio macro ICP5211508 entre la Universidad Pontificia Bolivariana desde la Dirección General de Investigaciones y el Instituto Colombiano del Petróleo, se hace necesario la aplicación de una metodología para realizar diferentes mezclas de morteros y elaboración de especímenes bajo los parámetros de la normativa técnica Colombiana, empleando como materia prima la piedra de Barichara y la ceniza de locaciones petroleras facilitada por el ICP.

7.1 ETAPA DE CAMPO

Esta fase de estudio se realizó en las canteras y talleres artesanales en el municipio de Villanueva Santander (figura 1), efectuando una inspección técnica para verificar la presencia del material.

Figura 1. Canteras y talleres



Fuente: Autor

La selección del material se hizo tomando en cuenta la cantidad, diversidad de colores y tonalidades de la piedra, también teniendo en cuenta la localización para facilitar la recolección y transporte. Por esto se optó por obtener el material de la cantera propiedad de la señora Paulina Becerra, ubicada en la vereda Carrizal por su cercanía al casco urbano, variedad de colores y por qué funciona hay mismo un taller artesanal.

7.2 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

Una vez recolectado y clasificado se procede a su trituración (figura 2) para tener un material de tamaño homogéneo que facilita su traslado y su análisis de laboratorio.

Figura 2. Trituración y acopio



Fuente: Autor

La clasificación de efectuó teniendo en cuenta su color y abundancia en la cantera, la selección fue piedra de color rojo, muy utilizada para elaborar pisos y chapas para andenes, también la roca de color blanco utilizada para esculturas y fachadas. También se recolecto material de los talleres, ya que en estos trabajan con gran variedad de colores y texturas.

7.3 CARACTERIZACIÓN

Se realizaron los ensayos indispensables para cada muestra de piedra, agregados convencionales y demás materiales necesarios para determinar su eficiencia según la normatividad vigente y exigida para la elaboración de la mezclas de mortero.

Granulometría de Agregados fino (NTC-1522)

Según lo estipulado en la norma se realiza el tamizado de las muestras de aproximadamente 3000 gramos de material seco en al horno y haciéndolo pasar por la serie de tamices 1 ½", 1", 3/4", ½", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100, N°200 y Fondo (Figura 3).

Figura 3. Granulometría general de los materiales en estudio



Fuente: Autor

- Densidad y la absorción del agregado fino (NTC-237)

Este ensayo evalúa la masa por unidad de volumen del material, necesaria para determinar el volumen que ocupa el agregado en las mezclas de mortero.

- Densidad del cemento hidráulico (NTC-221)

Determina el peso específico del cemento hidráulico, indispensable para el cálculo de proporciones de la mezcla y en nuestro caso para determinar qué efecto tiene la ceniza adicionada como porcentaje en peso del cemento.

- Consistencia normal del cemento hidráulico (NTC-110)

Determina la cantidad de agua necesaria para que la pasta de cemento alcance una fluidez y plasticidad ideal para determinar los tiempos de fraguado, estabilidad de volumen entre otros.

Para dicho ensayo se utiliza el aparato de Vicat, el cual mide la penetración alcanzada por una aguja normalizada en la pasta elaborada con cemento y diferentes cantidades de agua.

- Tiempos de fraguado del cemento hidráulico (NTC-109)

Es el tiempo que transcurre desde que se adiciona agua al cemento para formar la pasta, perdiendo su viscosidad y generando una reacción exotérmica, a media que sucede el endurecimiento de la pasta al punto que en que su penetración por el aparato Vicat (figura 4) sea mínima, se contabiliza este tiempo el cual viene a ser la cantidad necesaria para que el pasta de cemento este fraguada y vaya adquiriendo su resistencia.

Figura 4. Penetración del aparato Vicat.



Fuente: Autor

7.4 PREPARACION DE LAS MEZCLAS DE MORTERO

Los morteros se clasifican según sus proporciones y materiales los hace aptos para cada uno de sus diferentes usos. Generalmente por cuestiones comerciales y económicas, se utiliza la proporción $1:n$ representada por unidad de cemento n unidades de agregado fino.

Al ser este un proceso experimental por la utilización de piedra Barichara, material relativamente nuevo en la elaboración de unidades de mampostería y el comportamiento de la ceniza de locaciones petroleras adicionadas al cemento portland, se decidió utilizar una proporción 1:1 siendo esta ideal para la producción de las mezclas y como referente de control para futuras investigaciones.

Se determinaron tres diferentes mezclas de mortero [M1, M2, M3] tomando M1 como muestra testigo confeccionada con Cemento y Agregado fino Convencional, la mezcla M2 al igual que la anterior pero con adición de un porcentaje de 5% en peso de Ceniza a la proporción del cemento, y por último la mezcla M3 con 5% en

peso de ceniza y como agregado fino una dosificación entre piedra Barichara y agregado convencional.

7.4.1 Determinación de la relación agua-cemento (A/C). Al objetivo del trabajo evaluar las mezclas de morteros para elaboración de baldosas de cemento y según la norma Baldosas de Cemento (NTC-1085) se hace necesario establecer una relación A/C que me permita obtener una mezcla de mortero de consistencia seca.

Con base al ensayo de fluidez de morteros de cemento hidráulico (NTC-111) y partir de varias pastas de cemento cada una con diferentes contenido de agua para determinar los porcentajes de flujo diferentes para así poder construir una gráfica que relacione el porcentaje de flujo y la relación agua cemento, y ajustar con una línea de tendencia exponencial la cual determinaremos la ecuación de dicha línea que es de la forma $A/C = Ke^{bn}$, donde **A/C** es la relación agua-cemento, **n** es la proporción de la mezcla, **b** es un factor que relaciona la consistencia requerida, módulo de finura, forma y textura de la arena, **k** es el valor de la relación agua-cemento para la consistencia requerida en términos de fluidez de la pasta².

Se hace necesario la preparación de pastas de cemento con y sin ceniza y pastas de mortero con las tres mezclas descritas anteriormente, esto con el fin de comparar el porcentaje de flujo y su comportamiento en presencia del agregado fino.

7.4.2 Procedimiento para la preparación de morteros. Según la matriz experimental (tabla 1) la cantidad de muestras para determinar la resistencia de morteros se cuantifica en seis (6) especímenes por mezcla de concreto siendo

² SANCHEZ DE GUZMAN, Diego. Tecnología del mortero y el concreto. 5 ed. Bogotá :Bhandar Editores, 2001. P.303-310. ISBN 958-9247-04-0

estos cubos de 5 cm de lado y elaborados según la norma *Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico usando cubos de 50 mm (NTC-220)*.

Tabla 1. Matriz experimental

Matriz experimental de ejecución de ensayos					
Mezcla Mortero/Tiempo curado	24 horas /cantidad	7 días /cantidad	14 días /cantidad	14 días /cantidad	Total
mortero convencional (arena + cemento)	6	6	6	6	24
mortero modificado (arena + cemento con 5% de ceniza como porcentaje en peso)	6	6	6	6	24
mortero modificado (arena 75% convencional y 25% barichara +cemento con 5% de ceniza como porcentaje en peso)	6	6	6	6	24
				Total	72

Fuente: Autor

Para el agregado en estudio se optó por utilizar un agregado uniforme, es decir una mezcla de agregados de diferentes colores encontrados en la cantera y talleres (figura 5), esto dado por la escases de material color blanco, por la mezcla involuntaria en el proceso de trituración y por qué la mayoría de material fue suministrado en los talleres artesanales.

Figura 5. Tipos de agregado y mezcla de los mismos



Fuente: Autor

Hay que definir la granulometría indicada en la norma *Especificaciones de los Agregados Para Concreto (NTC -174)* que debe cumplir los límites de gradación (Tabla 2) y módulos de finura en el rango de 2.3 y 3.1.

Tabla 2. Límites granulométricos

Límites granulometría NTC-174		
Tamaño mm	% PASA	% PASA
9,5	100	100
4,75	95	100
2,36	80	100
1,18	50	85
0,6	25	60
0,3	10	30
0,15	2	10

Fuente: Icontec

Desafortunadamente el módulo de finura de la piedra de Barichara es 1.75 quedando por fuera del rango permitido, además la curva granulométrica está por fuera de los límites, todo esto provocado por la fragilidad de la roca arenisca de la cual proviene la piedra Barichara, la opción más apropiada para remediar este inconveniente es combinar el material de estudio con agregado fino convencional procedente de material aluvial siendo este idóneo por su módulo de finura de 2.85 y la curva adecuada con los límites granulométricos, evaluándose las proporciones 60% convencional – 40% Barichara y 75% convencional – 25% Barichara, siendo este último el que más se ajusta a los márgenes de la norma y con MF: 2,55.

Para el caso de la ceniza facilitada por el Instituto Colombiano del Petróleo, se realizó el ensayo de granulometría encontrándose un módulo de finura de 2.14, es preciso aclarar que el mejores resultados es conveniente hacer pasar la ceniza previamente secada al horno por el tamiz número 40 [0.355 mm] ya que por la humedad natural que posee la ceniza y la gran cantidad de grumos presentes que hacen más difícil su manipulación.

Se definió un valor 5% de porcentaje en peso del cemento siguiendo las conclusiones y recomendaciones expuestas en el trabajo previo de los estudiantes Diego Alexander Guerrero Vargas, Didier Alberto Chávez García, titulado **EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO SIMPLE (3000PSI) UTILIZANDO CENIZA COMO PORCENTAJE DEL CEMENTO. – BUCARAMANGA; UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA-SECCIONAL BUCARAMANGA, 2013**. En la cual sugieren que el porcentaje de 5% es el más indicado por los efectos obtenidos en los ensayos de resistencia, sobrepasando a los resultados esperados.

Para conseguir una mezcla de consistencia seca se hace necesario definir una relación Agua-cemento exacta, esto se logró por medio de la correspondencia existente entre el porcentaje de flujo de la pasta de mortero y su relación agua-cemento, para cada una de las mezclas anteriormente indicadas con muestras de 1000 gramos cada una, con incrementos del 2% en la relación A/C se confeccionaron pastas para determinar flujos mayores al 50%, esto para llevar desde la consistencia seca 80%, pasando por la plástica 110%, hasta llegar a una consistencia fluida 130%. A partir de varios ensayos proyectamos una línea de tendencia exponencial con la cual podemos extrapolar un valor de relación agua-cemento equivalente a la consistencia deseada, que en nuestro caso es consistencia seca [60%].

Tabla 3. Relación A/C para cada una de las mezclas

Mezcla Mortero	Cemento [gr]	Ceniza [gr]	Agregado fino [gr]	A/C	Agua [MI]
M1 mortero convencional (arena + cemento)	1500	0	1500	0,378	567
M2 mortero modificado (arena + cemento con 5% de ceniza como porcentaje en peso)	1425	75	1500	0,372	558
M3 mortero modificado (arena 75% convencional y 25% barichara +cemento con 5% de ceniza como porcentaje en peso)	1425	75	1125 Convencional 375 Barichara	0,377	565,5

Fuente: Autor

Inicialmente se tomaron 1500 gramos de cemento y 1500 gramos de agregado fino para elaborar seis cubos de 50 mm de lado, con la relación agua cemento obtenida a partir de las gráficas calculamos el volumen de agua necesaria (tabla 3), una vez mezclados los materiales se vierte en cada uno de los moldes a manera de 3 capas compactadas y enrasadas (Figura 6), pasadas 24 horas se desencofran y rotulan los cubos e inmediatamente se sumergen en las pilas de curado hasta que cumplan el tiempo necesario para su ensayo a compresión.

Figura 6. Cubos elaborados



Fuente: Autor

7.4.3 Procedimiento para elaborar las baldosas. Para su producción se decidió manejar las baldosas monocapa de superficie lisa, por cuestiones prácticas por ser el tipo de baldosa más elemental por cuestiones de fabricación, resistencia y aspecto. Dicha decisión fue tomada al no tener referentes de fabricación en la institución y así sentar referencia para futuras investigaciones sobre este tema.

Se realizó una visita a un fabricante local (figura 7) con el fin de conocer más sobre el proceso industrial de elaboración y obtener recomendaciones sobre los productos con de mayor acogida comercial, materiales utilizados y calidad de los mismos.

Figura 7. Baldosas de fabricación industrial



Fuente: Prefabricados DIPRECO. Girón, Santander

Siguiendo la norma *Baldosas de cemento (NTC-1085)* la cual expone los tipos, tamaños comerciales como los requisitos de calidad para la producción de baldosas, al no contar con la herramienta mecánica y los moldes para la fabricación de baldosas, se optó por ordenar la construcción de un molde (figura 8.), con el cual se fabricaron baldosas con las dimensiones mínimas exigidas por la norma en mención.

Figura 8. Molde construido (20x20 cm)



Fuente: Autor

Para el proceso de elaboración se definieron tres lotes de quince unidades cada uno, confeccionados mediante la compresión de las mezclas de mortero 1:1 descritas anteriormente. Se utilizaron 5000 gramos de mezcla de mortero para

elaborar una fracción de cinco baldosas, pero en esta oportunidad hubo que variar la relación A/C, esto debido a que el procedimiento de elaboración la mezcla de mortero es sometida a una esfuerzo de compresión, haciendo que la humedad propia de la mezcla brote por la juntas del molde.

En las figuras 1,2,3,4 se muestra el procediendo de elaboración de una baldosa, como primer paso hay que ajustar el molde para que la dimensiones no varíen una con otra, a continuación se introduce una placa plana de asbesto-cemento (Etherboard) junto a un papel adsorbente con el fin de hacer una manipulación más cómoda y desprender la placa de la baldosa fácilmente, en seguida se vierte en el molde la mezcla, enrasándola y ejerciendo una pequeña presión en las cuatro esquinas para desalojar los vacíos.

Figura 9. Limpieza y ajuste del Molde



Fuente: Autor

Figura 10. Molde con placa de asbesto-cemento



Fuente: Autor

Figura 11. Papel absorbente



Fuente: Autor

Figura 12. Enrasado de la mezcla



Fuente: Autor

Figura 13. Apisonado de la mezcla



Fuente: Autor

Es necesario una vez dispuesta la mezcla en el molde, verter una cantidad de cemento seco esparcido sobre toda la capa superior antes de colocar la tapa

metálica, esto con el fin de que esta capa adicional absorba el agua desalojada por la presión ejercida por la prensa (figura 14,15).

Figura 14. Capa de cemento seco



Fuente: Autor

Figura 15. Molde preparado



Fuente: Autor

Por no contar el laboratorio con la maquinaria indicada para elaboración de baldosas, se empleó la maquina universal como herramienta idónea para el trabajo, ya que con ella se puede controlar de manera manual la presión ejercida sobre la mezcla, que en nuestro caso es de $55 \text{ KN} \pm 0.5$.

Una vez preparado el molde se ingresa bajo el cabezal fijo de la maquina universal, con los controles manuales se desplaza la mesa móvil hasta lograr que

toque la tapa metálica del molde con el cabezal fijo, ya centrada la formaleta se procede a accionar la maquina universal hasta que esta ejerza la presión indicada sobre el molde (figuras 15,16).

Figura 16. Ubicación del molde en la maquina universal



Fuente: Autor

Figura 17. Panel de control de la maquina universal



Fuente: Autor

Una vez ejecutado el trabajo con la maquina universal se separa la formaleta lateral para poder así retirar la placa de asbesto-cemento junto con la baldosa ya elaborada, la cual se dispone en un lugar adecuado para un secado parcial y que

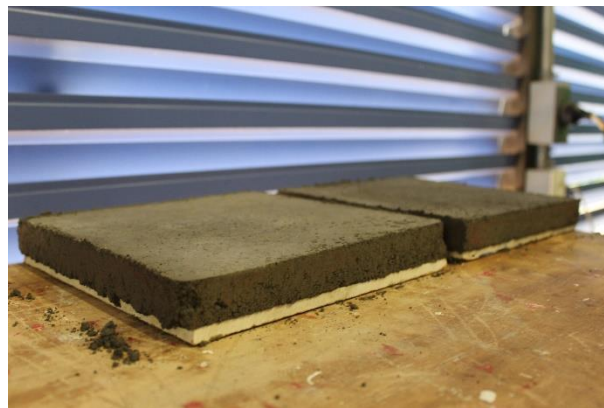
luego de 24 horas se dispondrán a sumergir las baldosas debidamente rotuladas con el tipo de mezcla y fecha de fabricación en las pilas de curado (figuras 17, 18).

Figura 18. Baldosa terminada



Fuente: Autor

Figura 19. Secado de baldosas



Fuente: Autor

Una vez se cumplan los 28 días de curado se retiran los especímenes, estos se marcan con un número de serie para proceder a realizar los ensayos exigidos por la norma para muestras no menores a cinco unidades.

- *Absorción de agua*, radica en determinar la cantidad de agua que puede absorber la baldosa, se determina la masa **m1** de una probeta saturada y

superficialmente seca, luego se ingresa al horno con temperatura controlada por 24 horas, para posteriormente tomar una nueva masa **m2**, y se determina el porcentaje de absorción mediante la siguiente ecuación

$$\%abs. = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1} \right) \times 100$$

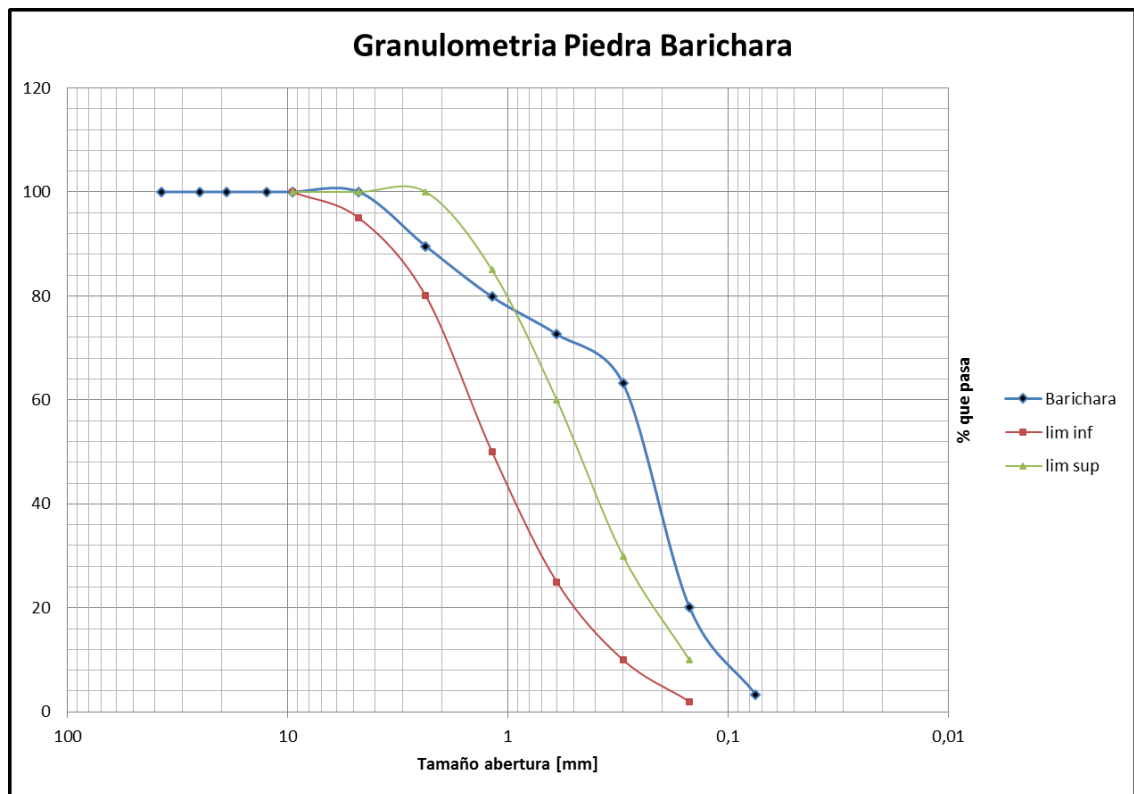
- *Resistencia a la flexión*, consiste en aplicar una carga creciente en el punto medio de la losa, soportada en sus extremos hasta ocasionar su rotura.
- *Resistencia al desgaste*, se fundamenta en infringir una huella en la cara lisa de la baldosa por medio de la abrasión con arena que pasa por un disco que gira en condiciones determinadas, midiéndose así la longitud de la huella producida.

8. RESULTADOS

Materiales granulares: a partir de la metodología expuesta, se realizaron los ensayos pertinentes para los agregados finos convencionales y Barichara para establecer su calidad y su comportamiento físico-mecánico.

Piedra de Barichara: al ser un material proveniente de la roca arenisca tiene una composición muy frágil evidenciado por el alto porcentaje de desgaste en la máquina de los ángeles (>70%) y una densidad de 2.37 g/cm^3 , obteniéndose así un módulo de finura bajo (MF: 1.75) clasificándose como un material muy fino. El comportamiento de la curva granulométrica no se encuentra dentro de los límites establecidos por la norma NTC-174.

Figura 20. Curva granulométrica Fino barichara



Fuente: Autor

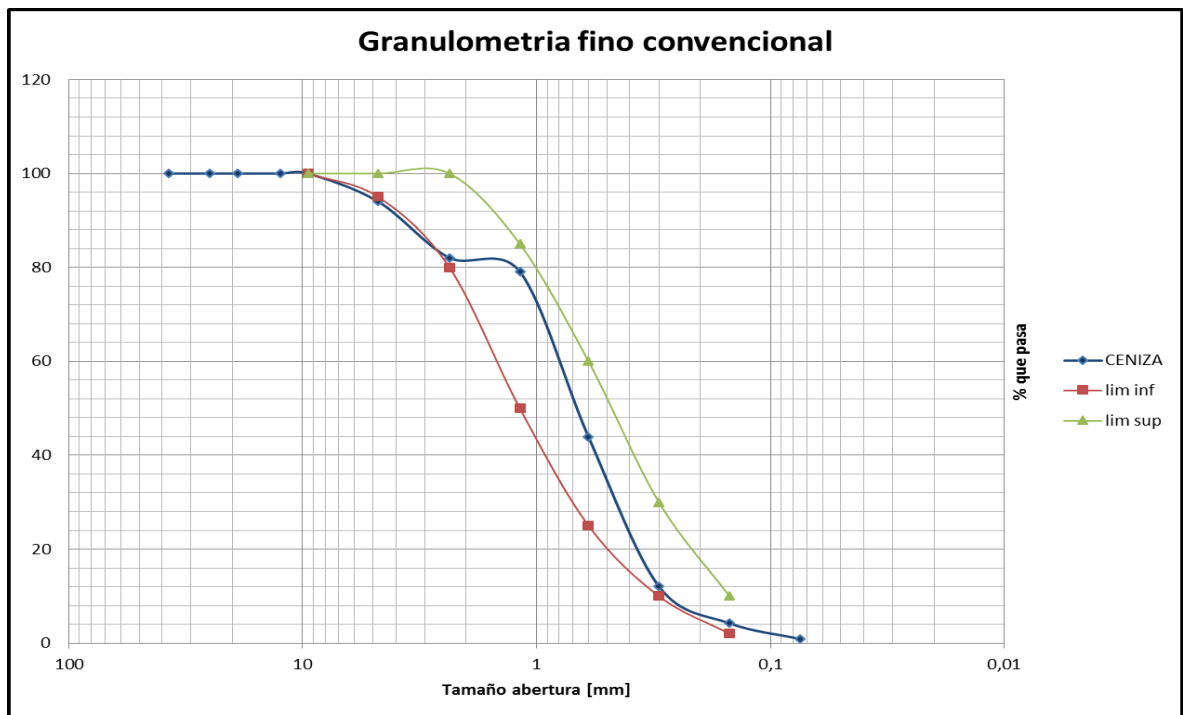
Tabla 4. Gravedad específica Barichara

GRAVEDAD ESPECIFICA AGREGADO BARICHARA		
Masa del picnómetro vacío	144,8	g
Masa del picnómetro lleno de agua	655,4	g
Masa de la arena superficialmente seca	500	g
Masa del picnómetro + Arena + Agua	927,6	g
Masa del recipiente (platon)	193	g
Masa del recipiente + Arena seca	676,6	g
Masa de la arena seca	483,6	g
Masa del Agua	16,4	g
Absorción (%)	3%	
Densidad aparente	2,37	g/cm³

Fuente: Autor

Material convencional: agregado fino proveniente de explotación aluvial en el municipio de Floridablanca Santander, material ideal ya que cuenta con un módulo de finura de 2.85 y densidad aparente de 2.67 g/cm³, además su granulometría se encuentra bien distribuida dentro los limites.

Figura 21. Granulometría fino convencional



Fuente: Autor

Tabla 5. Gravedad específica convencional

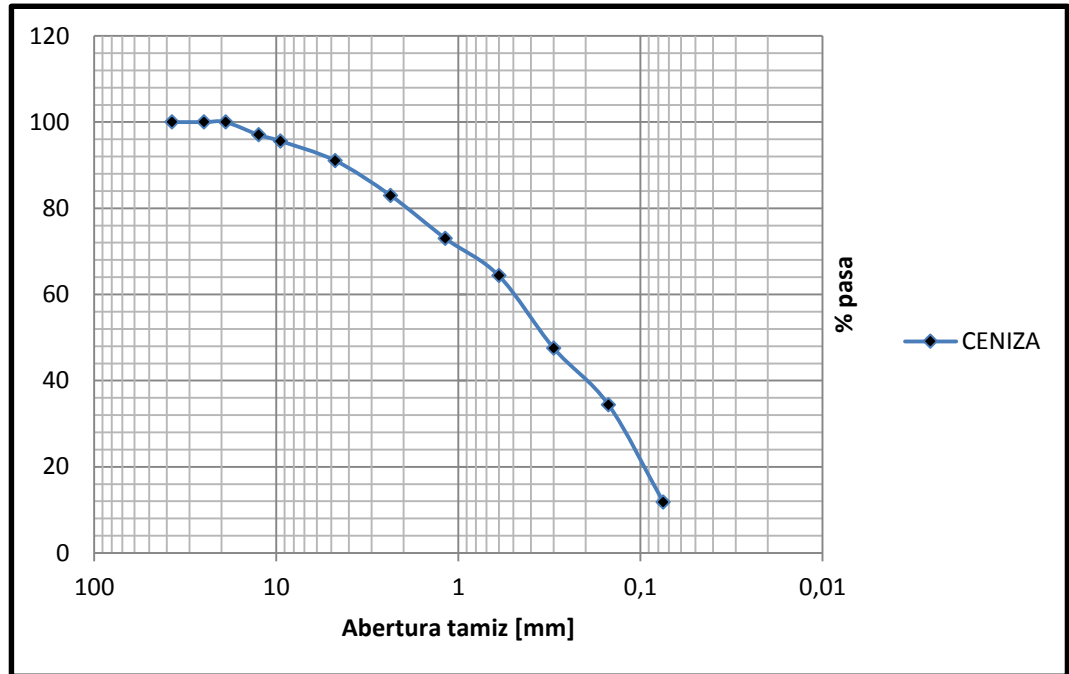
GRAVEDAD ESPECIFICA AGREGADO CONVENCIONAL		
Masa del picnómetro vacío	146,6	g
Masa del picnómetro lleno de agua	648,5	g
Masa de la arena superficialmente seca	500	g
Masa del picnómetro + Arena + Agua	942,2	g
Masa del recipiente (platon)	193	g
Masa del recipiente + Arena seca	683,8	g
Masa de la arena seca	490,8	g
Masa del Agua	9,2	g
Absorción (%)	2%	
Densidad aparente	2,54	g/cm³

Fuente: Autor

Ceniza Volante: el uso de materiales cementantes suplementarios bien en aumento, por razones económicas y cuestiones ambientales, sus propiedades químicas y mecánicas los hacen materiales alternativos para la elaboración de concretos y morteros, para nuestro caso utilizamos ceniza volante obtenida como subproductos de la ignición y calcinación de lodos procedentes de perforaciones petroleras, material facilitado por el Instituto Colombiano del Petróleo.

El material en estudio se clasificó como una ceniza de clase N, de acuerdo a su granulometría y peso específico indicados en la norma Cenizas Volantes y Puzolanas Naturales, Calcinadas o Crudas, Utilizadas como Aditivos Minerales en el Concreto de Cemento Portland (NTC-3493)

Figura 22. Granulometría Ceniza



Fuente: Autor

Tabla 6. Gravedad específica

Muestra:		Ceniza
Gravedad específica aparente	2,42	gr/cm ³
Gravedad específica Bulk SSS	2,17	gr/cm ³
Gravedad específica Bulk	1,998	gr/cm ³
Absorción	8,7	%

Fuente: Autor

Material cementante: se utiliza un cemento Portland tipo A de la marca comercial Holcim®, para efectuar los ensayos de calidad del cemento utilizados en la fabricación de morteros, consignados en las normas técnicas para la densidad del cemento (NTC-221), consistencia normal (NTC-110) y tiempos de fraguado (NTC-118).

Tabla 7. Densidad del cemento

Peso específico cemento		
	cantidad	unidad
masa muestra	64	Gr
Lectura inicial	0,2	cm ³
Lectura final	22,3	cm ³
vol liquido desplazado	22,1	cm ³
$Densidad = \frac{masa\ muestra}{L_{inicial} - L_{final}}$		
densidad de la muestra	2,90	gr/cm³
peso específico relativo	2,90	gr/cm³

Fuente: Autor

Tabla 8. Tiempos de fraguado

tiempo [min]	penetracion [± 0,5 mm]
0	40
15	40
30	38
45	38
60	36
75	32
90	26
97,5	25
105	24
120	15
135	6
150	3
165	1
180	1
195	1
210	0,2
225	0,2
240	0
Tiempo de fraguado:	
1,65 horas	

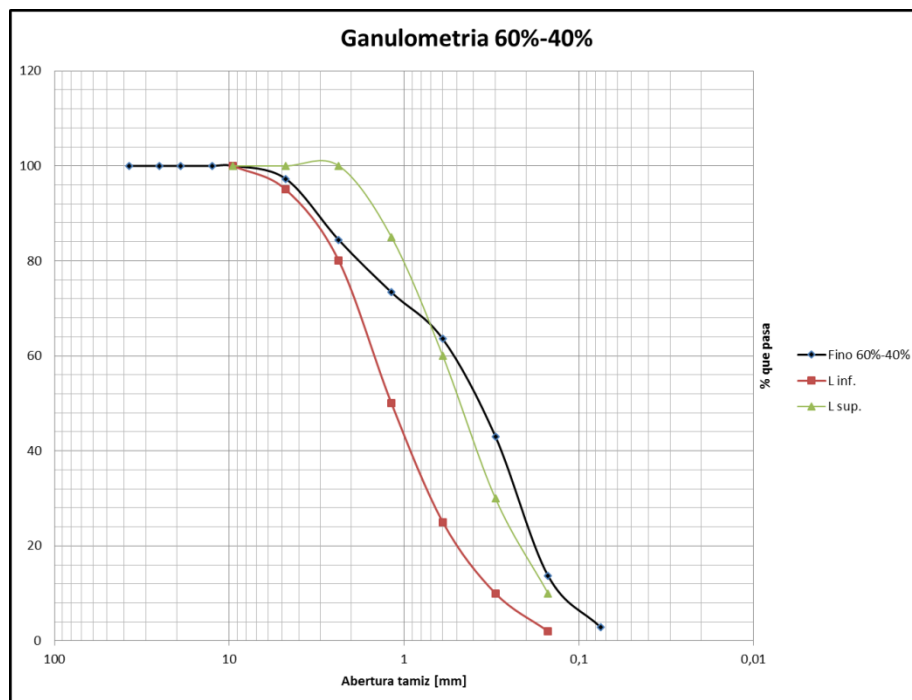
Fuente: Autor

Al no cumplir el requerimiento de la norma NTC-174 la cual enuncia que pasa la utilización de agregados finos para morteros su módulo de finura no debe menor de 2.3 ni mayor a 3.1, esto concibe una contrariedad, como se vio anteriormente el módulo de finura y el comportamiento granulométrico de la piedra barichara originan una limitación para su uso de manera única como agregado para mezclas de mortero.

Para solventar esto, se combinaron en proporción definida una cantidad de agregado convencional mezclándolo con el agregado barichara esto con el fin de ajustar los parámetros físico-mecánicos, recurrimos a los porcentajes de 60%-40% y 75%-25%. Siendo el agregado convencional el de mayor porcentaje.

Siendo esta combinación un nuevo agregado, se procede a realizar sus ensayos reglamentarios para confirmar la eficacia de sus propiedades.

Figura 23. Granulometría relación 60%-40%



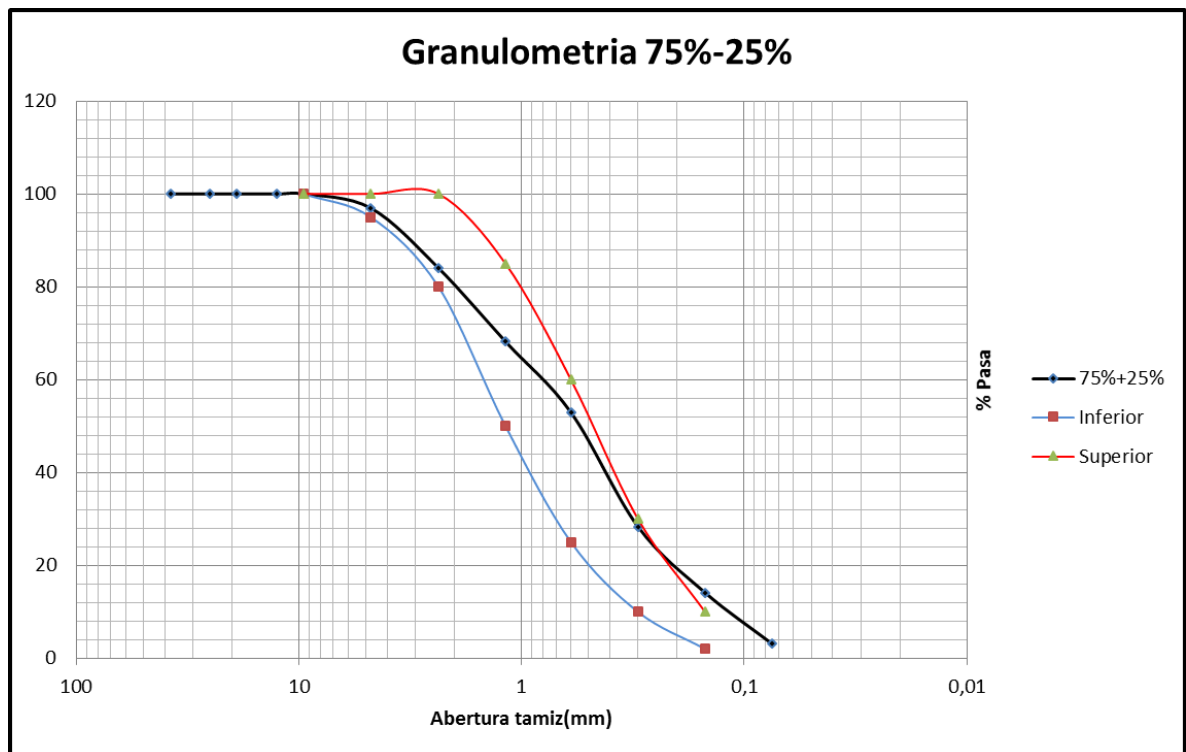
Fuente: Autor

Tabla 9. Gravedad especifica agregado 60%-40%

GRAVEDAD ESPECIFICA AGREGADO FINO 60%-40%		
Masa del picnómetro vacío	144,8	g
Masa del picnómetro lleno de agua	594,8	g
Masa de la arena superficialmente seca	500	g
Masa del picnómetro + Arena + Agua	926,6	g
Masa del recipiente (platon)	193	g
Masa del recipiente + Arena seca	673,4	g
Masa de la arena seca	480,4	g
Masa del Agua	19,6	g
Absorción (%)	4%	
Densidad aparente	3,36	g/cm³

Fuente: Autor

Figura 24. Granulometría relación 75%-25%



Fuente: Autor

Figura 27. Gravedad especifica agregado 75%-25%

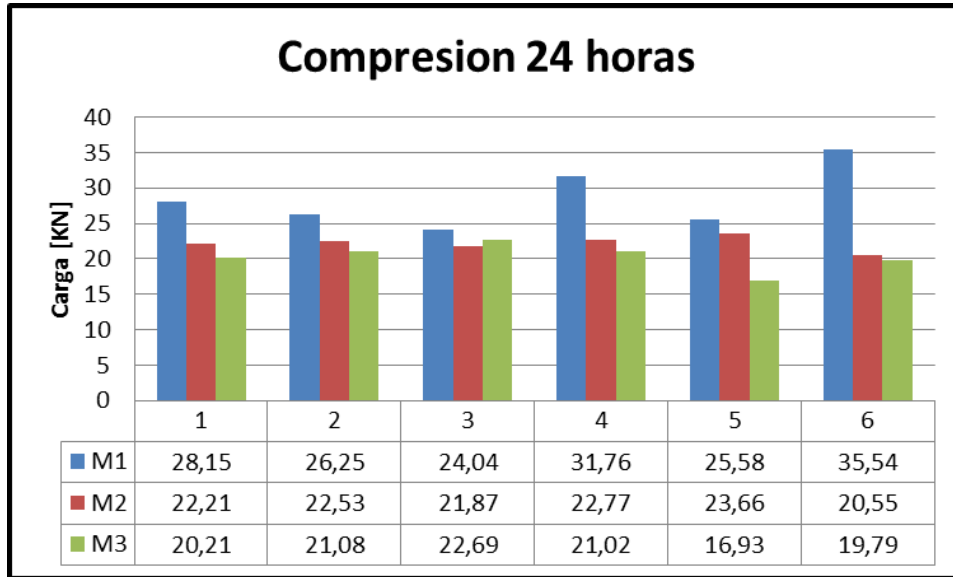
GRAVEDAD ESPECIFICA AGREGADO FINO 75%-25%		
Masa del picnómetro vacío	144,8	g
Masa del picnómetro lleno de agua	697,4	g
Masa de la arena superficialmente seca	500	g
Masa del picnómetro + Arena + Agua	1007	g
Masa del recipiente (platon)	193	g
Masa del recipiente + Arena seca	687,6	g
Masa de la arena seca	494,6	g
Masa del Agua	5,4	g
Absorción (%)	1%	
Densidad aparente	2,70	g/cm³

Fuente: Autor

Ambos agregados tuvieron un aumento en el valor de su módulo de finura, quedando así dentro de rango exigido, pero el comportamiento de la curva granulométrica se vio mejor evidenciado en el agregado 75%-25% ya que se encuentra comprendida en su mayor parte entre los límites establecidos, verificando lo consignado en la norma NTC-174.

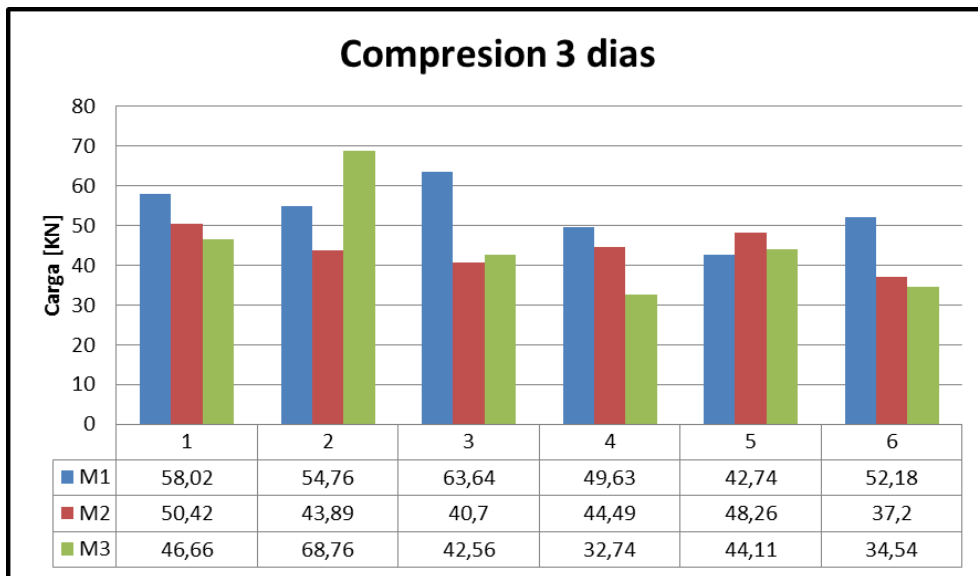
Con el agregado definido se realiza los especímenes de mortero correspondientes y preservándolos sumergidos para su curados en tiempo necesario (24 horas, 3, 7 y 28 días) hasta realizar su rotura por compresión.

Figura 25. Ensayo a compresión 24 horas



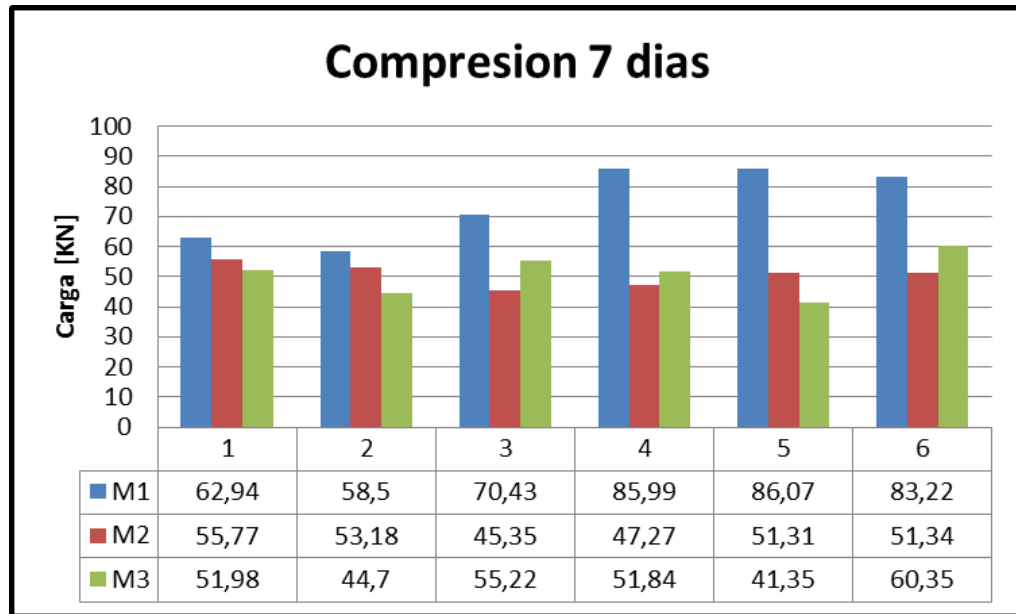
Fuente: Autor

Figura 26. Ensayo a compresión 3 días



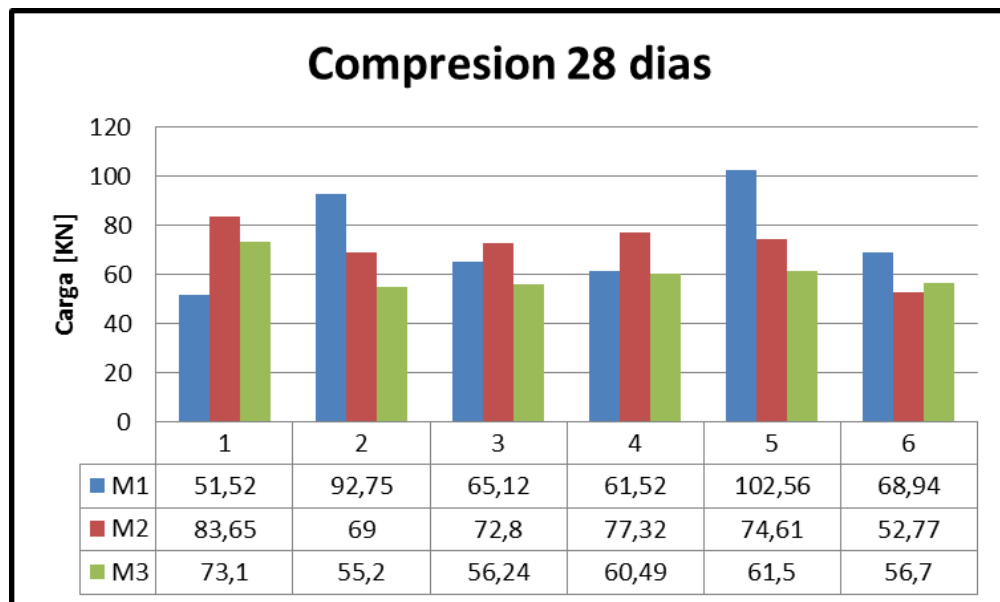
Fuente: Autor

Figura 27. Compresión 7 días



Fuente: Autor

Figura 28. Compresión 28 días



Fuente: Autor

Como el proyecto se encuentra en una etapa exploratoria se dispuso elaborar las baldosas con los mismos tipos de mezclas utilizados en los morteros, esto con el fin de evaluar el comportamiento de las mezclas para su utilización en baldosas para pisos.

Los ensayos para confirmar la calidad de las baldosas proporcionada por la norma Baldosas de cemento (NTC-1085) refieren que el muestreo para los ensayos de Flexión, Desgaste y Absorción no debe ser menor de 5 unidades, aclarando que en dicha norma se hallan designados ciertos ensayos que por no contar con los instrumentos y herramientas aptas para su realización, se debieron relegar para un futuro proyecto complementario.

Tabla 10. Ensayo de absorción

Numero	Muestra	Peso saturado superficialmente seco [g]	Peso seco horno [g]	ABSORCION [%]
1	M1	2071,6	1818	12,24%
2	M1	2155,2	1898,6	11,91%
3	M1	2176,2	1908,8	12,29%
4	M1	2099,2	1836,4	12,52%
5	M1	2243,6	1995,6	11,05%
6	M2	2153,2	1870,2	13,14%
7	M2	2135,6	1888,6	11,57%
8	M2	2095	1886	9,98%
9	M2	2131,2	1844,6	13,45%
10	M2	2160	1863,6	13,72%
11	M3	2068,9	1772,2	14,34%
12	M4	2085,8	1792	14,09%
13	M5	2037	1747,4	14,22%
14	M6	2023,2	1735	14,24%
15	M7	2007,6	1701,2	15,26%

Fuente: Autor

Tabla 11. Ensayo de desgaste por abrasión

Unidad	Muestra	X1	X2	X3	Huella promedio [cm]
1	M1	1,62	1,68	1,72	1,67
2	M1	1,77	1,79	1,79	1,78
3	M1	1,75	1,76	1,76	1,76
4	M1	1,81	1,8	1,8	1,80
5	M1	1,79	1,82	1,81	1,81
6	M2	1,7	1,7	1,69	1,70
7	M2	1,97	1,91	1,88	1,92
8	M2	1,87	1,82	1,75	1,81
9	M2	2,07	2,01	1,99	2,02
10	M2	1,73	1,77	1,73	1,74
11	M3	2,02	1,97	1,97	1,99
12	M4	1,86	1,89	1,88	1,88
13	M5	2,11	2,03	1,95	2,03
14	M6	2,03	1,94	1,88	1,95
15	M7	1,94	1,96	1,99	1,96

Fuente: Autor

Tabla 12. Ensayo resistencia por flexo tracción

Mezcla 1							
unidad	X		Y		Z		CARGA [KN]
1	21,0	20,9	21,2	21,1	2,5	2,5	1,2
2	20,9	20,9	21,3	21,2	2,4	2,4	1,5
3	20,8	20,8	21,0	21,1	2,5	2,4	1,2
4	21,2	21,1	20,8	20,9	2,5	2,4	1,2
5	20,7	20,8	21,1	21,1	2,4	2,5	1,2
Mezcla 2							
unidad	X		Y		Z		CARGA [KN]
1	20,8	20,9	21,0	21,1	2,3	2,4	1,7
2	20,8	20,8	21,0	21,1	2,5	2,4	1,5
3	21,0	21,1	20,8	20,8	2,5	2,4	1,5
4	21,0	21,1	21,0	20,8	2,4	2,4	1,0
5	21,0	21,0	20,7	20,8	2,4	2,5	1,2
Mezcla 3							
unidad	X		Y		Z		CARGA [KN]
1	21,2	21,1	20,8	20,8	2,3	1,3	1,4
2	21,2	21,1	20,7	20,7	2,3	2,3	1,0
3	21,0	21,1	20,7	20,7	2,3	2,3	1,0
4	21,0	21,1	20,7	20,7	2,3	2,3	1,0
5	21,0	21,1	20,6	20,7	2,3	2,3	1,0

Fuente: Autor

9. ANALISIS DE RESULTADOS

9.1 MUESTREO

Para establecer un tamaño de muestra adecuado para el estudio de la resistencia a la compresión de morteros, flexión, absorción, y la abrasión de baldosas, se calculó la potencia del test partiendo de un tamaño de muestra igual a 6. (Montgomery, 2010).

Potencia del análisis de Varianza, considerando los tres tratamientos ($a = 3$) como fijos, o no seleccionados aleatoriamente de otras mezclas disponibles, debido a que el interés de esta investigación se centra en las 3 mezclas seleccionadas, adicionalmente con 6 réplicas para cada mezcla. Para determinar la potencia del test, es necesario calcular la probabilidad de del Error Tipo II (β), lo cual está definido por:

$$\beta = 1 - P\{se\ rechaza\ H_0/H_0\ es\ falsa\}$$

Si los resultados de resistencia de morteros, flexión, absorción, la abrasión de baldosas siguen una distribución normal, es posible utilizar la Curva Característica de Operaciones para determinar la probabilidad del Error Tipo II (β) contra el parámetro ϕ , donde

$$\phi^2 = \frac{n \sum_{i=1}^a \tau_i^2}{a\sigma^2} = 0.1812 * n$$

En el cálculo de ϕ^2 se consideraron los promedios de la resistencia a los 28 días de elaborados los especímenes, y el Cuadrado Medio del Error (CME) como el mejor estimador de la varianza.

Considerando los promedios obtenidos en el ensayo de resistencia, se estimó el tamaño de muestra aproximado requerido para que el test de ANOVA tenga una potencia no menor del 90%.

Tabla 13. Potencia mínima del test para diferentes tamaños de muestra

N	ϕ^2	ϕ	$a(n - 1)$	β	Potencia (1 - β)
4	1.087	1.04	9	0.60	0.40
5	1.36	1.17	12	0.18	0.82
6	1.63	1.28	15	0.10	0.90

La potencia que se alcanza con un tamaño de muestra de n=6 dentro de cada tratamiento (mezcla) es satisfactoria.

9.2 METODOLOGÍA ESTADÍSTICA

Para describir los datos recaudados durante el estudio se emplearon medidas de tendencia central (media, mediana y moda) y medidas de variabilidad (Desviación estándar y rango) para variables continuas, y tablas de frecuencias gráficos porcentuales para variables cualitativas.

La prueba Shapiro-Wilk se empleó para determinar la normalidad de la resistencia compresión, la absorción, la abrasión y la flexión dentro de cada mezcla estudiada.

La comparación de la resistencia a compresión entre mezclas y a través del tiempo, se realizó mediante ANOVA de un factor, usando la prueba de Levene para medir la Homogeneidad de varianzas entre grupos de estudio, de igual forma se comparó la absorción, la abrasión y la flexión de las mezclas.

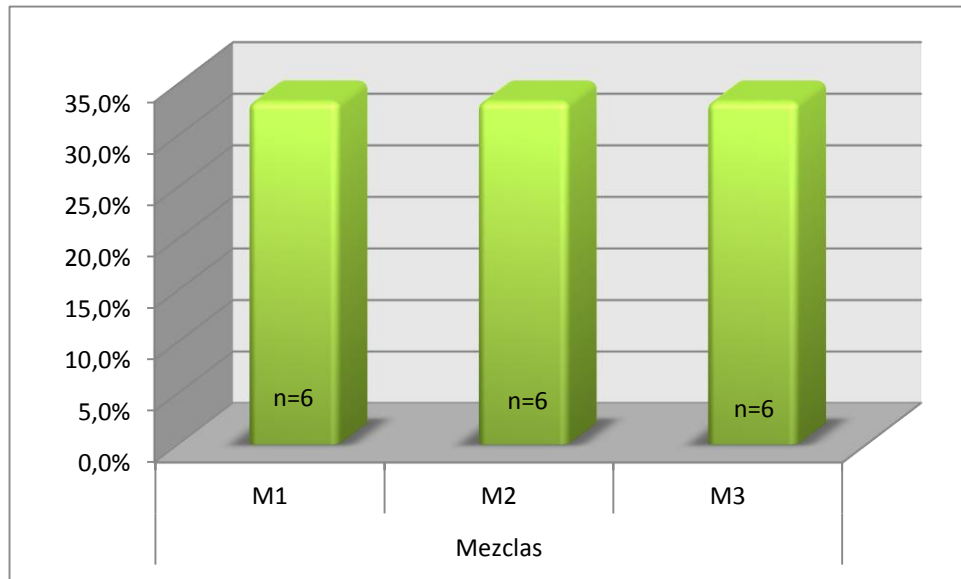
Las comparaciones se hicieron usando software libre R-Project 3.1.2, y Microsoft Excel, con un nivel de significación máximo de 0.05.

Tabla 14. Numero de muestras

		N	Porcentaje
Mezclas	M1	6	33,3%
	M2	6	33,3%
	M3	6	33,3%
Total		18	100%

Fuente: Autor

Figura 29. Muestras utilizadas para los diferentes materiales propuestos



Fuente: Autor

9.2.1 Distribución de la resistencia a compresión en las tres mezclas propuestas. Para determinar la distribución muestral de la resistencia de las mezclas propuestas, se utilizó la Prueba Shapiro-Wilk. Los resultados del test se muestran a continuación:

Tabla 15. Prueba de normalidad para la resistencia de morteros.

	Mezclas	Test Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Resistencia	M1	.910	6	.433
	M2	.926	6	.552
	M3	.805	6	.066

Fuente: Autor

Como se observa en la prueba de Shapiro-Wilk, en ninguno de los casos se rechaza la hipótesis nula de normalidad de los datos, por lo que las pruebas estadísticas a ser aplicadas para comparar la resistencia entre mezclas, serán pruebas paramétricas.

Análisis de varianza para la resistencia media de las tres diferentes mezclas en el tiempo.

Para comparar la resistencia entre mezclas en los tiempos estudiados (24 horas, 3, 7 y 28 días) se utilizó un ANOVA para medidas repetidas, considerando como factor de estudio las tres Mezclas propuestas. Antes de continuar se verificaron algunos supuestos, tales como la homogeneidad de varianzas, usando la prueba de Levene, lo cual es reportado en la tabla 3.

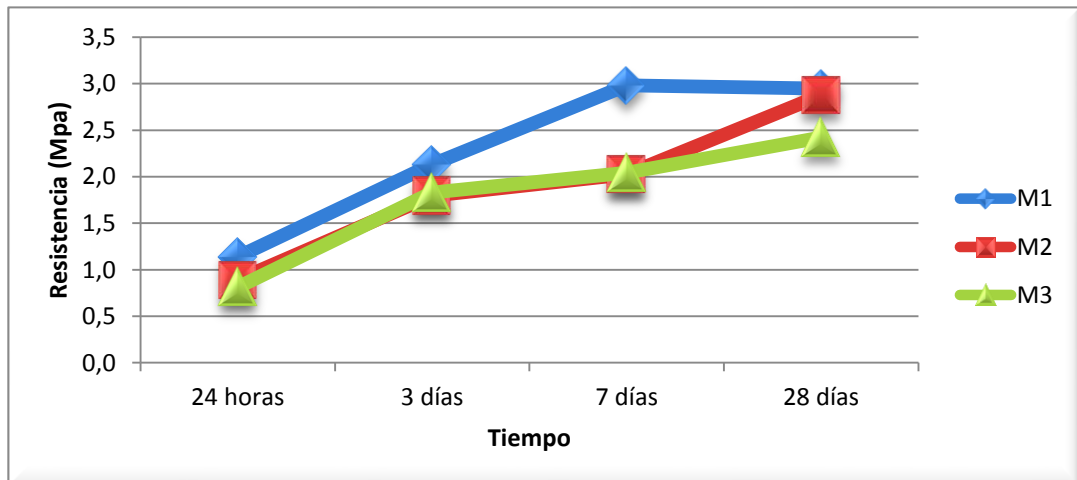
Tabla 16. Resistencia de las mezclas en los diferentes días evaluados.

Tiempo	Mezclas	Promedio	Intervalo de confianza al 95%		F de Snedecor	
			LI	LS	F	P
24 horas	M1	1,138a	,833	1,443	13.3581	0.000**
	M2	,890b	,585	1,195		
	M3	,812b	,507	1,117		
3 días	M1	2,132	1,827	2,437	1.4842	0.258
	M2	1,797	1,492	2,102		
	M3	1,828	1,523	2,133		
7 días	M1	2,982 a	2,677	3,287	15.761	0.000**
	M2	2,027b	1,722	2,332		
	M3	2,042b	1,737	2,347		
28 días	M1	2,944	2,643	3,253	1.6761	0.220
	M2	2,877	2,572	3,182		
	M3	2,422	2,117	2,727		

“***” $p < 0.01$, “1” se asumen varianzas desiguales, y la comparación múltiple se hace usando T3 de Dunnet, “2” se asumen varianzas iguales. “a,b” letras iguales indican promedios homogéneos.

Fuente: Autor

Figura 30. Resistencia media de las mezclas en el tiempo.



Fuente: Autor

9.2.2 Comparaciones de resistencia a compresión por mezclas de morteros.

Para determinar la variación de la resistencia entre mezclas, en cada periodo de curado, se utilizó el ANOVA en una vía, usando como factor las mezclas, en cada instante de tiempo.

Tabla 17. Comparaciones de resistencia a compresión por mezclas de morteros

		Resistencia			F de Snedecor	
		N	Media	Desviación estándar	F	P
24 horas	M1	6	1,1383a	,17747	13,31	0,000**
	M2	6	,8900b	,04336		
	M3	6	,8117b	,07627		
3 días	M1	6	2,1317	,30890	1,484	0,258
	M2	6	1,7967	,17918		
	M3	6	1,8283	,53611		
7 días	M1	6	2,9817a	,48836	15,761	0,000**
	M2	6	2,0267b	,15410		
	M3	6	2,0417 b	,28216		
28 días	M1	6	2,9483	,78624	1,676	0,220
	M2	6	2,8767	,43431		
	M3	6	2,4217	,26347		

“***” la diferencia es significativa a un nivel 0.01. “1” comparaciones múltiples por el método de T3 de Dunnet para varianzas no homogéneas. “a,b” letras iguales indican promedios homogéneos.

Fuente: Autor

Respecto a la compresión de los morteros a las 24 horas de fraguado, la mezcla con la mayor resistencia es la M1, la cual muestra en promedio mayor resistencia, las mezclas M2 y M3, las cuales entre ellas no difieren significativamente, de igual forma, a los 7 días la mezcla M1, mostró significativamente mayor promedio de resistencia que las mezclas restantes las cuales no difieren significativamente.

A los 3 días y a los 28 días no se observan diferencias promedio significativas en la resistencia de las tres mezclas, lo cual se afirma con una confianza del 99%.De

lo anterior se concluye que las mezclas M2 y M3 se comportan de la misma manera, a lo largo del tiempo en que se estudia la resistencia.

Al comparar la resistencia de las mezclas en los días evaluados, se observó que a las 24 horas y a los 7 días la mezcla M1 mostró mayor resistencia que las otras dos mezclas, lo cual es estadísticamente significativo al nivel 0.01.

Las mezclas observadas a los 3 días y a los 28 días no mostraron diferencias significativas respecto a la resistencia media, al nivel 0.05.

9.2.3 Comparación de la resistencia a flexión de baldosas elaboradas con las mezclas. Según la norma Baldosas de cemento (NTC-1085) se otorga una clasificación Tipo A por medio del ensayo a flexión, (carga ≥ 1.1 KN), Las mezclas comparadas mostraron la misma carga de rotura promedio, lo cual se afirma con un confianza del 95%.

Tabla 18. Comparación de la resistencia a flexión de baldosas elaboradas con las mezclas

	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	F de Snedecor	
						F	p
M1	5	1,2600	,13416	1,20	1,50	2,693	0,108
M2	5	1,3800	,27749	1,00	1,70		
M3	5	1,0800	,17889	1,00	1,40		

Fuente: Autor

9.2.4 Comparaciones de los porcentajes de absorción de las baldosas entre las mezclas. El porcentaje de absorción de la mezcla M3 mostró un promedio significativamente mayor al reportado por las muestras de las mezclas M1 y M2, las cuales no difieren entre ellas, lo cual se afirma con una confianza del 99%, lamentablemente dichos valores no cumplen con los mínimos exigidos por la norma ($\leq 7\%$).

Tabla 19. Comparaciones de los porcentajes de absorción de las baldosas entre las mezclas.

	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	F de Snedecor	
						F	p
M1	5	12,00a	,575	11,05	12,52	8,451	0,005**
M2	5	12,37a	1,575	9,98	13,72		
M3	5	14,43b	,472	14,09	15,26		

“***”p<0.01. “a,b” las letras iguales las indican promedios iguales.

Fuente: Autor

9.2.5 Resistencia al desgaste por abrasión de baldosas entre mezclas. Las mezclas M1 y M2 mostraron un tamaño de huella promedio iguales, mientras que la huella promedio de la mezcla 3 resultó significativamente mayor a las dos mezclas anteriores, lo cual se afirma con una confianza del 95%. Verificando cumpliendo con el valor estipulado por la norma vigente (≤ 32 mm) en cada una de las mezclas.

Tabla 20. Resistencia al desgaste por abrasión de baldosas entre mezclas.

	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	F de Snedecor	
						F	P
M1	5	1,76 ^a	,05595	1,67	1,81	6,38	0,013*
M2	5	1,83 ^a	,13161	1,70	2,02		
M3	5	1,96 ^b	,05541	1,88	2,03		

“**”p<0.05. “a,b” las letras iguales las indican promedios iguales.

Fuente: Autor

10. CONCLUSIONES

- Para el caso de la piedra Barichara se clasifico como un agredo fino por su bajo módulo de finura (MF: 1.75) y sus altos valores retenidos en los tamices 50, 100 y 200 cuya curva granulométrica se encuentra en mayor medida por fuera de los límites establecidos por la norma.

Para el agregado convencional también se clasifico como agregado fino (MF: 2.85) y su distribución granulométrica lo convierte en un agregado óptimo para la elaboración de morteros y concretos de cemento hidráulico.

La ceniza se clasifica como fino, pero se debe trabajar como material seleccionado pasa # 40, por su alto contenido de grumos generados por el proceso industrial de la cual se obtiene, un aspecto importante es el de eliminar en la humedad en su totalidad, mediante el desecación de la ceniza en el horno, la humedad presente ocasiona un comportamiento contraproducente a la consistencia y la manejabilidad de la mezcla de mortero, ya que con la presencia de humedad ocasiona la que la mezcla se hidrate más de lo calculado en con la relación agua-cemento.

La combinación del cemento con la ceniza en porcentaje en peso produjo un efecto reductor en el tiempo de fraguado en un 20% con relación al tiempo conseguido por el cemento.

- De la relación agua cemento concluimos que el efecto de la ceniza como material que ayuda a disminuir la cantidad de agua de la mezcla M2 en un pequeño porcentaje (1.6%) con respecto a la mezcla testigo M1, con relación a la mezcla M3 se mantiene igual la cantidad de agua con relación a la mezcla testigo.

- En lo referente a los ensayos de compresión de los morteros, como se esperaba la mezcla M1 fue la más resistente, las mezclas M2 y M3 tienen un comportamiento similar a lo largo de todo el tiempo de curado, relacionados en menor medida a la muestra testigo M1. Comprobando que es viable la utilización de ceniza y piedra Barichara para la elaboración de morteros.
- Se recomienda para futuros ensayos, evaluar la resistencia a mayores tiempos de curado (56 días) esto con el fin de estimar un comportamiento favorable de la ceniza en el aumento de la resistencia.
- Las baldosas elaboradas se clasifican como Baldosas Tipo A, cumpliendo con los ensayos pertinentes para la fabricación de baldosas de cemento, obteniendo resultados por encima de los límites establecidos en la norma Baldosas de Cemento (NTC-1085) excepto en el ensayo de absorción que no cumplió con los requerimientos deseados, ya que en ninguna mezcla de concreto supero el umbral en el porcentaje de absorción ($\leq 7\%$), una de las principales causas de esta contrariedad se debe al proceso experimental con la cual se fabricaron las baldosas, ya que no se contaba con la maquinaria especializada para el tema.

11. TRABAJOS FUTUROS

El presente trabajo concede un referente para todas las personas que se relacionan con la explotación, producción y comercialización de la piedra Barichara como también a la industria de la construcción en general, ya que pueden adquirir información sobre el aprovechamiento de residuos.

También de utilidad para futuros temas de investigación sobre residuos industriales, sirviendo de iniciativa para valerse de ellos empleándolos de manera correcta y segura en diferentes productos y materiales de construcción.

BIBLIOGRAFÍA

ALCALDÍA DE BARICHARA, Sitio web oficial. Disponible en: <http://www.barichara-santander.gov.co>. Citado el 16 de junio de 2013.

GUERRERO VARGAS Diego Alexander, CHAVEZ GARCIA Didier Alberto. Evaluación de las propiedades mecánicas del concreto simple (3000psi) utilizando ceniza como porcentaje del cemento. Universidad Pontificia Bolivariana-Seccional Bucaramanga, 2013, 78p, Trabajo de grado (Ingeniero civil). Universidad Pontificia Bolivariana, Facultad de Ingeniería Civil.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. Compendio de normas técnicas colombianas sobre Ingeniería civil y Arquitectura. Bogotá: ICONTEC, 2001. p. 120 (NTC-1522; NTC-237; NTC-221; NTC-110; NTC-109; NTC-111; NTC-1085; NTC-220)

KOSMATKA, Steven H.; KERKHOFF, Beatrix; PANARESE, William C.; TANESI, Jussara. Diseño y control de Mezclas de concreto, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, EE.UU., 2004. ISBN 0-89312-233-5.

LAGUADO NUÑEZ Yimer Esteban, CUENCA RODRIGUEZ Luis Carlos, Evaluación del comportamiento físico - mecánico de la piedra de barichara y ceniza como agregado en la preparación de mezclas de concreto hidráulico para adoquines, 2015, 139p, Trabajo de grado (Ingeniero civil). Universidad Pontificia Bolivariana, Facultad de Ingeniería Civil.

SANCHEZ DE GUZMAN, Diego. Tecnología del mortero y el concreto. 5 ed. Bogotá: Bhandar Editores, 2001. P.303-310. ISBN 958-9247-04-0.

SANCHEZ OTALORA, Sergio Andrés, Evaluación de mezclas asfálticas con adición de ceniza como porcentaje del ligante y del llenante, 2015, 139p, Trabajo de grado (Ingeniero civil). Universidad Pontificia Bolivariana, Facultad de Ingeniería Civil.

SARMIENTO GARCES, Carlos Orlando. ARENAS DIAZ, Julián Felipe. Evaluación del comportamiento mecánico de morteros modificados con ceniza de locaciones petroleras. Bucaramanga, Santander, 2012, 85p, Trabajo de grado (Ingeniero civil). Universidad Pontificia Bolivariana, Facultad de Ingeniería Civil.

SERRANO GUZMÁN, María Fernanda; PÉREZ RUIZ, Diego Darío; SARMIENTO GÓMEZ, Mateo; TOLOZA, Cristhian (2013). Aprovechamiento de residuos de explotación de roca para preparación de materiales de construcción. Sexto encuentro nacional de expertos en residuos sólidos “Convirtiendo los residuos sólidos en energía: hacia la sustentabilidad”. Sociedad Mexicana de ciencia y tecnología aplicada a residuos sólidos A.C. Universidad Autónoma de Nayarit, México. ISBN 978-607-96258-0-1

SERRANO GUZMÁN, María Fernanda; SARMIENTO GÓMEZ, Mateo; PÉREZ RUIZ, Diego Darío (2014). Valoración del residuo de piedra para preparar concreto para senderos peatonales: caso piedra Barichara. Revista Facultad de Ingeniería, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Boyacá, ISSN 0121-1129.

VELANDIA GALVIS, Sergio Andrés. Triana Nigrinis, Saúl Andrés. Evaluación mecánica de morteros modificados sometidos a ambientes salinos. Bucaramanga, Santander, 2014, 85p, Trabajo de grado (Ingeniero civil). Universidad Pontificia Bolivariana, Facultad de Ingeniería Civil.

ANEXOS

Anexo 1. Granulometría

Granulometría Ceniza

Muestra	CENIZA					
W1	1451,4					
W2	1451,4					
W1-W2	0					
Fondo tamizado	17,7					
Factor de correccion	1					
Tamiz	Tamano mm	Peso Ret.	Retenido corregido	% Retenido	% Ret Acumulado	% Pasa
1 1/2"	37,5	0	0	0,00	0,00	100
1"	25	0	0	0,00	0,00	100,00
3/4"	19	0	0	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,5	43	43	2,96	2,96	97,04
3/8"	9,5	21	21	1,45	4,41	95,59
Nº 4	4,75	65,8	65,8	4,53	8,94	91,06
Nº 8	2,36	117,2	117,2	8,07	17,02	82,98
Nº16	1,18	144,8	144,8	9,98	26,99	73,01
Nº30	0,6	125,6	125,6	8,65	35,65	64,35
Nº50	0,3	243,4	243,73	16,79	52,44	47,56
Nº100	0,15	190,4	190,73	13,14	65,58	34,42
Nº200	0,075	327,6	327,93	22,59	88,18	11,82
FONDO		171,6	171,6	11,82	100,00	0,00
Totales	1450,4	1450,4	1451,4	100,00		
			modulo de finura	2,14		

Granulometría Fino Barichara

Muestra	Fino Barichara					
W1	3303		0,166515289			
W2	3303					
W1-W2	0					
Fondo tamizado	17,7					
Factor de correccion	17					
Tamiz	Tamano mm	Peso Ret.	Retenido corregido	% Retenido	% Ret Acumulado	% Pasa
1 1/2"	37,5	0	0	0,00	0,00	100
1"	25	0	0	0,00	0,00	100,00
3/4"	19	0	0	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,5	0	0	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,5	0	0	0,00	0,00	100,00
Nº 4	4,75	0	0	0,00	0,00	100,00
Nº 8	2,36	344,2	344,2	10,42	10,42	89,58
Nº16	1,18	321,6	321,6	9,74	20,16	79,84
Nº30	0,6	238,4	238,4	7,22	27,38	72,62
Nº50	0,3	306,6	312,27	9,45	36,83	63,17
Nº100	0,15	1414,6	1420,27	43,00	79,83	20,17
Nº200	0,075	550,6	556,27	16,84	96,67	3,33
FONDO		110	110	3,33	100,00	0,00
Totales	3286	3286	3303	100,00		
			Modulo de finura	1,75		

Granulometría Fino convencional

Muestra	Fino Convencional					
W1	3157,4					
W2	3157,4					
W1-W2	0					
Fondo tamizado	17,7					
Factor de correccion	2,4					
Tamiz	Tamano mm	Peso Ret.	Retenido corregido	% Retenido	% Ret Acumulado	% Pasa
1 1/2"	37,5	0	0	0,00	0,00	100
1"	25	0	0	0,00	0,00	100,00
3/4"	19	0	0	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,5	0	0	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,5	0	0	0,00	0,00	100,00
Nº 4	4,75	189,2	189,2	5,99	5,99	94,01
Nº 8	2,36	378	378	11,97	17,96	82,04
Nº16	1,18	93	93	2,95	20,91	79,09
Nº30	0,6	1112	1110,8	35,18	56,09	43,91
Nº50	0,3	1006,2	1005	31,83	87,92	12,08
Nº100	0,15	247,4	247,4	7,84	95,76	4,24
Nº200	0,075	105,6	105,6	3,34	99,10	0,90
FONDO		28,4	28,4	0,90	100,00	0,00
Totales		3159,8	3157,4	100,00		
				Modulo de Finura	2,85	

Granulometría 40%-60%

Muestra	Fino 60% 40%					
W1	3000					
W2	3000					
W1-W2	0					
Fondo tamizado	17,7					
Factor de correccion	4,4					
Tamiz	Tamano mm	Peso Ret.	Retenido corregido	% Retenido	% Ret Acumulado	% Pasa
1 1/2"	37,5	0	0	0,00	0,00	100
1"	25	0	0	0,00	0,00	100,00
3/4"	19	0	0	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,5	0	0	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,5	0	0	0,00	0,00	100,00
Nº 4	4,75	81,8	81,80	2,73	2,73	97,27
Nº 8	2,36	385,6	387,07	12,90	15,63	84,37
Nº16	1,18	330,2	330,20	11,01	26,64	73,36
Nº30	0,6	294,4	294,40	9,81	36,45	63,55
Nº50	0,3	614,2	615,67	20,52	56,97	43,03
Nº100	0,15	878,4	879,87	29,33	86,30	13,70
Nº200	0,075	325,6	325,60	10,85	97,15	2,85
FONDO		85,4	85,40	2,85	100,00	0,00
Totales		2995,6	3000	100,00		
				Modulo de finura	2,25	

Granulometría 75%-25%

Muestra	Fino 75% 25%					
W1	1000					
W2	1000					
W1-W2	0					
Fondo tamizado	31,2					
Factor de correccion	0,6					
Tamiz	Tamaño mm	Peso Ret.	Retenido corregido	% Retenido	% Ret Acumulado	% Pasa
1 1/2"	37,5	0	0	0,00	0,00	100
1"	25	0	0	0,00	0,00	100,00
3/4"	19	0	0	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,5	0	0	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,5	0	0	0,00	0,00	100,00
Nº 4	4,75	30,4	30,40	3,04	3,04	96,96
Nº 8	2,36	129,2	129,20	12,92	15,96	84,04
Nº16	1,18	158,2	158,40	15,84	31,80	68,20
Nº30	0,6	152,4	152,60	15,26	47,06	52,94
Nº50	0,3	245,8	246,00	24,60	71,66	28,34
Nº100	0,15	142	142,00	14,20	85,86	14,14
Nº200	0,075	110,2	110,20	11,02	96,88	3,12
FONDO		31,2	31,20	3,12	100,00	0,00
Totales		999,4	1000	100,00		
			Modulo de finura		2,55	

Anexo 2. Gravedad específica

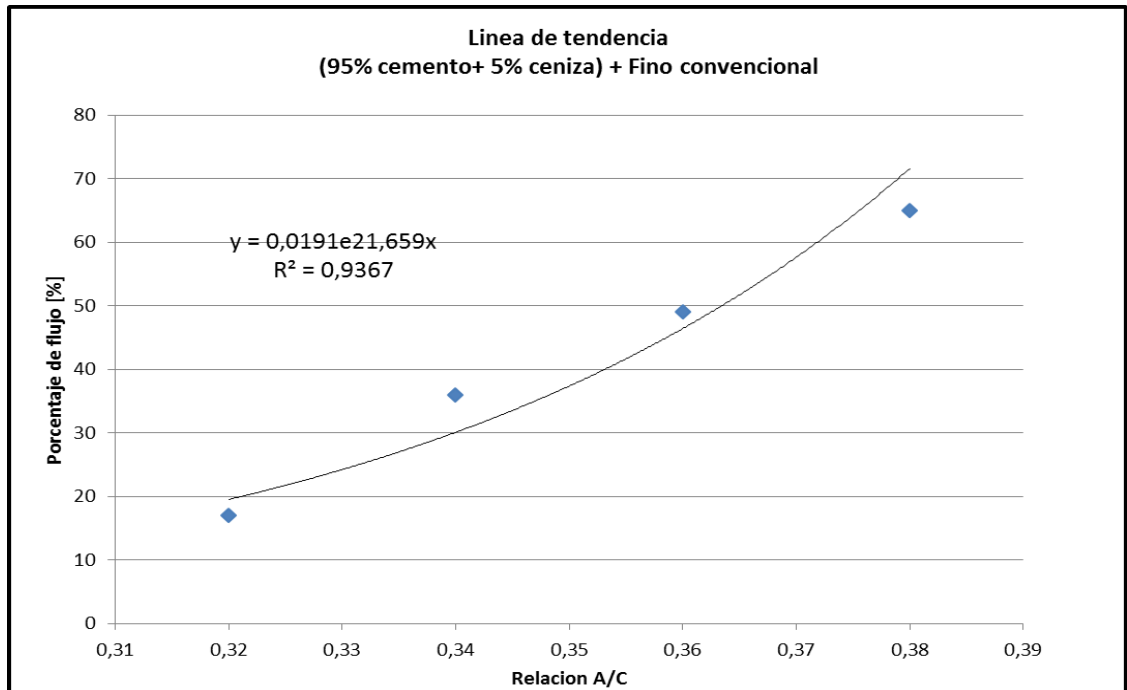
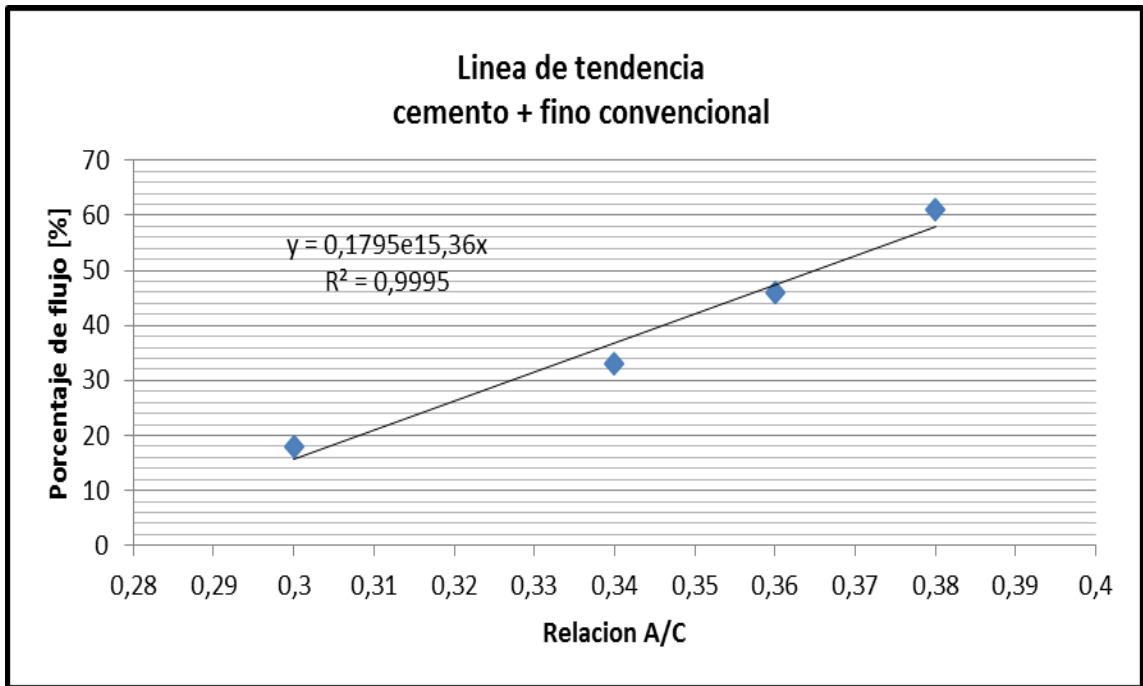
GRAVEDAD ESPECIFICA AGREGADO BARICHARA		
Masa del picnómetro vacío	144,8	g
Masa del picnómetro lleno de agua	655,4	g
Masa de la arena superficialmente seca	500	g
Masa del picnómetro + Arena + Agua	927,6	g
Masa del recipiente (platon)	193	g
Masa del recipiente + Arena seca	676,6	g
Masa de la arena seca	483,6	g
Masa del Agua	16,4	g
Absorción (%)	3%	
Densidad aparente	2,37	g/cm³

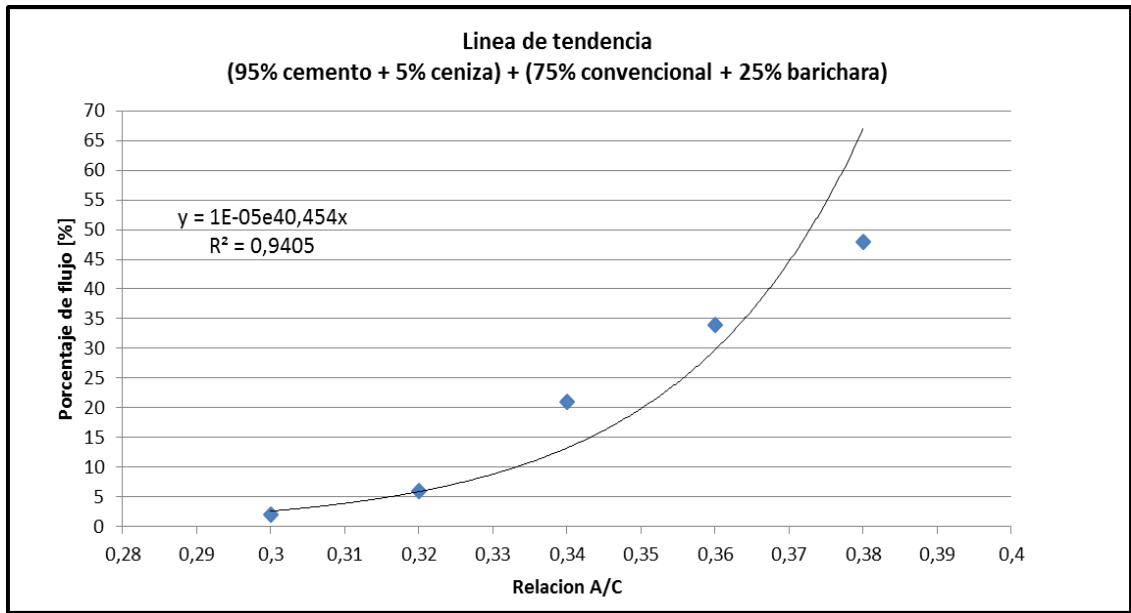
GRAVEDAD ESPECIFICA AGREGADO CONVENCIONAL		
Masa del picnómetro vacío	146,6	g
Masa del picnómetro lleno de agua	648,5	g
Masa de la arena superficialmente seca	500	g
Masa del picnómetro + Arena + Agua	942,2	g
Masa del recipiente (platon)	193	g
Masa del recipiente + Arena seca	683,8	g
Masa de la arena seca	490,8	g
Masa del Agua	9,2	g
Absorción (%)	2%	
Densidad aparente	2,54	g/cm³

GRAVEDAD ESPECIFICA AGREGADO FINO 60%-40%		
Masa del picnómetro vacío	144,8	g
Masa del picnómetro lleno de agua	594,8	g
Masa de la arena superficialmente seca	500	g
Masa del picnómetro + Arena + Agua	926,6	g
Masa del recipiente (platon)	193	g
Masa del recipiente + Arena seca	673,4	g
Masa de la arena seca	480,4	g
Masa del Agua	19,6	g
Absorción (%)	4%	
Densidad aparente	3,36	g/cm³

GRAVEDAD ESPECIFICA AGREGADO FINO 75%-25%		
Masa del picnómetro vacío	144,8	g
Masa del picnómetro lleno de agua	697,4	g
Masa de la arena superficialmente seca	500	g
Masa del picnómetro + Arena + Agua	1007	g
Masa del recipiente (platon)	193	g
Masa del recipiente + Arena seca	687,6	g
Masa de la arena seca	494,6	g
Masa del Agua	5,4	g
Absorción (%)	1%	
Densidad aparente	2,70	g/cm³

Anexo 3. Líneas de tendencia





Anexo 4. Tiempos de fraguado

Fraguando cemento	
tiempo [min]	penetracion [± 0,5 mm]
0	40
15	40
30	38
45	38
60	36
75	32
90	26
97,5	25
105	24
120	15
135	6
150	3
165	1
180	1
195	1
210	0,2
225	0,2
240	0
Tiempo de fraguado: 1,65 horas	

Fraguando 95% cemento + 5% ceniza	
tiempo [min]	penetracion [± 0,5 mm]
0	40
15	40
30	38
45	37
60	32
75	27
80	25
90	21
105	15
120	4
135	1
150	1
165	1
180	0,5
195	0
Tiempo de fraguado: 1,33 horas	

Anexo 5. Pruebas de normalidad

PRUEBAS DE NORMALIDAD				
	Mezclas	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Flexión	M1	,552	5	,000*
	M2	,939	5	,656
	M3	,552	5	,051
Absorción	M1	,883	5	,325
	M2	,914	5	,492
	M3	,552	5	,053
Abrasión	M1	,842	5	,172
	M2	,947	5	,715
	M3	,974	5	,899
Resistencia (Mpa)	M1	,961	24	,450
	M2	,927	24	,083
	M3	,929	24	,093

* Indica el rechazo de la H_0 del test de Shapiro-Wilk que afirma la normalidad de los datos.