



Escola Politècnica Superior
d'Edificació de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

MÁSTER EN CONSTRUCCIONES AVANZADAS EN LA EDIFICACIÓN TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

Proyectista: Giovanni Manuel Lagares Guerrero

Director/s: Arq. PhD Joan Ramón Rosell Amigó

Convocatoria: Enero/ Febrero 2018

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

RESUMEN

El presente trabajo final de máster tiene como objetivo mejorar las prestaciones de un bloque de hormigón, así como también convertirlo en un material más amigable con el medio ambiente. El mismo será fabricado a base de cal, cemento y un sub producto agrícola, como lo es el caso de las cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar. Dentro de las prestaciones planteadas a mejorar están las resistencias mecánicas y la capacidad de transpiración.

Las cenizas fueron sometidas a pruebas de difracción de rayos X y microscopia electrónica, con la finalidad de determinar la composición mineralogía, elementos que la componen, el tamaño de partícula y parte de su densidad.

Se elaboraron seis campañas de probetas, las cuales se difieren una de otra en los materiales utilizados y la consistencia de la pasta. Sumando todas las campañas se fabricaron 114 probetas de 4x4x16 cm. Una vez fabricadas y curadas a las edades correspondientes (7, 14, 21, 28, 35 y 60 días), pasaron por varios ensayos. Finalmente, los resultados arrojados por dichos ensayos dicen que las probetas que mayor porcentaje de cenizas contienen en su dosificación, menor resistencia mecánica presenta. La muestra M6HC6 alcanzo 10,95 N/mm², la cual es una probeta “blanco” por lo que no contiene cenizas, a diferencia de la M6HC5 que es una probeta que contiene cenizas, esta alcanzo 8,88 N/mm². Dichas probetas tienen casi la misma dosificación de materiales, exceptuando que una tiene cenizas y la otra no, como se explicó previamente. Ambas fueron ensayadas a la edad de 21 días. Cabe resaltar que no es el único caso que refleja dichos resultados dentro de las campañas ensayadas.

ÍNDICE

RESUMEN.....	3
ÍNDICE.....	4
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	7
Índice de Graficas.....	8
Índice de Tablas.....	9
INTRODUCCIÓN.....	11
JUSTIFICACIÓN.....	13
OBJETIVOS:.....	14
HIPÓTESIS.....	14
METODOLOGÍA.....	15
1. ESTADO DEL ARTE.....	16
1.1 Puzolanas Y Materiales Residuales.....	16
1.1.1 Puzolanas Naturales.....	16
1.1.2 Puzolanas Artificiales.....	16
1.1.3 Residuos Agrícolas como adición al Hormigón.....	16
1.1.4 Cenizas generadas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar y su utilización como material puzolánico.....	17
1.2 Cal.....	18
1.2.1 Origen de la cal en la construcción.....	18
1.2.2 Tipos de cales.....	18
1.2.3 Propiedades de la cal.....	21
1.2.3.1 Propiedades Físicas.....	21
1.2.3.1.3 Resistencia Mecánica.....	21
1.3 Cemento Portland.....	21
1.3.1 Origen del cemento Portland.....	21
1.3.2 Propiedades del Cemento Portland.....	22
1.3.2.1 Propiedades Físicas.....	22
1.3.2.1.1 Peso específico.....	22
1.3.2.1.2 Superficie específica.....	22
1.3.2.1.3 Fraguado y falso fraguado:.....	23
1.2.3.1.3 Resistencias Mecánicas.....	23
1.3.2.2 Propiedades químicas.....	23
1.3.2.2.1 Composición Química.....	23

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

1.3.2.2.3 Hidratación del cemento Portland	24
1.3.2.2.3 Formación de la pasta de cemento:	24
1.3.2.2.4 Reacciones de hidratación:	24
1.3.2.2.5 Calor de Hidratación	24
1.4 Aditivos Superplastificantes.....	25
1.4.1 Tipos de superplastificantes.....	25
1.5 Polvo de aluminio	25
1.6 Antecedentes de estudios realizados sobre las cenizas de la caña de azúcar, producidas por la incineración del bagazo y su comportamiento en materiales de construcción.....	26
1.7 Conclusión.....	33
2. DESARROLLO DEL PLAN EXPERIMENTAL	33
2.1.1 Definición de la Campaña Experimental	33
2.1.2 Plan de Trabajo.....	34
2.2 Equipos y Procedimientos Experimentales.....	35
2.2.1 Procedimientos para la obtención de las cenizas	35
2.2.2 Difracción de Rayos X (DRX)	35
2.2.3 Análisis Termogravimétrico (TG).....	37
2.2.4 Microscopía Electrónica	37
2.2.5 Dosificación	37
2.2.6 Metodología de Ensayos	40
2.2.6.1 Descripción general	40
2.2.6.2 Ensayos de consistencia	41
2.2.6.2.1 Generalidades	41
2.2.6.2.2 Consistencia del mortero - Método por mesa de sacudidas.....	41
2.2.6.3 Procedimientos y equipos para elaboración de probetas de mortero ...	42
2.2.6.4 Curado	44
2.2.6.5 Características a determinar y descripción de ensayos	45
2.2.6.5.1 Absorción de Agua por Capilaridad	45
2.2.6.5.1 Módulo de Young dinámico: método por impacto (MOE imp).....	46
2.2.6.5.3 Ensayos a flexión.....	47
2.2.6.5.4 Ensayo a compresión	48
2.2.6.5.5 Carbonatación.....	49
2.2.6.5.6 Densidad Aparente, Relativa y Porosidad	50
2.3 Materias Primas Utilizadas	53
2.3.1 Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar	53

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

2.3.2 Cal	53
2.3.3 Cemento	54
2.3.4 Agua.....	54
2.3.5 Áridos	54
2.3.6 Aditivos.....	55
2.3.6.1 Superplastificante	55
2.3.6.2 Polvo de aluminio	55
2.4. Resultados.....	56
2.4.1 Caracterización Físico Químico	56
2.4.2.1 Difracción de Rayos X	56
2.4.1.2 Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)	57
2.4.2.3 Análisis Termogravimétrico (TG)	60
2.4.2 Utilización De Ceniza De Bagazo En Probetas.....	61
2.4.2.1 Modulo de Young	61
2.4.2.2 Resistencia Mecánica	62
2.4.2.2.1 Resistencia a Flexión	62
2.4.2.3.1 Resistencia a Compresión	68
2.4.2.3 Carbonatación	74
2.4.2.4 Densidad aparente, relativa y porosidad	75
2.4.2.5 Absorción de Agua por Capilaridad	78
2.5 Discusión e interpretación de los resultados.....	78
.....	83
2.6 Conclusiones y Recomendaciones	94
REFERENCIAS	96
AGRADECIMIENTOS.....	100
ANEXOS.....	101

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Clasificación de las cales cálcicas - Ilustración 1.....	19
Requisitos químicos para la cal cálcica expresados como valores característicos - Ilustración 2	19
Distribución granulométrica - Ilustración 3.....	19
Tipos de cales hidráulicas naturales - Ilustración 4.....	20
Requisitos químicos para la cal hidráulica natural - Ilustración 5.....	20
Resistencia a compresión para la cal hidráulica natural expresada como valores característicos - Ilustración 6.....	20
Requisitos físicos para la cal hidráulica natural - Ilustración 7.....	20
Resistencia a compresión de la cal - Ilustración 8.....	21
Características físicas y químicas de las cenizas y el cemento - Ilustración 9.....	27
Difractograma de rayos X para las cenizas estudiadas - Ilustración 10	27
Índice de actividad puzolánica - Ilustración 11	28
Índice de actividad puzolánica para las cenizas tratadas térmicamente - Ilustración 12	28
Resultados Composición Química de Cenizas - Ilustración 13	29
Minerales - Ilustración 14.....	29
Espectroscopia - Ilustración 15.....	30
Dosificaciones - Ilustración 16.....	30
Resistencia Mecánica de Probetas Curadas a 40 grados Celsius - Ilustración 17	30
Resistencia Mecánica de Probetas curadas a 40 grados Celsius - Ilustración 18.....	31
Características de las cenizas estudiadas - Ilustración 19	31
Difractogramas de Rayos X. Q: Cuarzo, C: Cristobalita, Ca: Calcita, Fe: Fe ₂ O ₃ - Ilustración 20	32
Difractogramas de Rayos X. Q: Cuarzo, C: Cristobalita, Ca: Calcita, Fe: Fe ₂ O ₃ - Ilustración 21	32
Actividad Puzolánica de las CBC para 7 y 28 días. - Ilustración 22.....	33
Proceso de obtención de las cenizas - Ilustración 23.....	35
Fuente: http://www.xtal.iqfr.csic.es/Cristalografia/cascara.html Diagrama de difracción - Ilustración 24	36
Mortero de Ágata - Ilustración 25	36
Difractómetro- Ilustración	26
http://webs.ucm.es/centros/webs/cai5084/index.php?tp=Difracci%F3n%20de%20Polvo&a=dir3&d=23115.php	36
Mesa de sacudidas - Ilustración 27.	42
Control de los diferentes ingredientes para la preparación de la mezcla - Ilustración 28	43
Mezcla de las cenizas con el árido y el conglomerante - Ilustración 29	43
Preparación de la mezcla de mortero - Ilustración 30	44
Moldes para la preparación de probetas - Ilustración 31	44
Termostato del laboratorio de la EPSEB - Ilustración 32.....	44
Almacenaje de probetas - Ilustración 33.....	45
Prueba de absorción por capilaridad - Ilustración 34	46
Probetas al finalizar la prueba de absorción por capilaridad - Ilustración 35.....	46

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

Equipo para determinar MOE por impacto - Ilustración 36.....	47
<i>Equipo para ensayos a flexión - Ilustración 37</i>	48
<i>Equipo para ensayo a compresión - Ilustración 38</i>	49
<i>Instrumentos para la carbonatación acelerada - Ilustración 39</i>	50
<i>Equipo para la prueba de porosidad - Ilustración 40</i>	51
<i>Bascula - Ilustración 41</i>	51
<i>Instrumentos para la determinar el peso hidrostático - Ilustración 42</i>	52
<i>Estufa - Ilustración 43</i>	52
Ficha técnica de la cal - Ilustración 44 Fuente: http://www.lafarge.com.es/wps/portal/es/cal-hidraulica-restauracion	54
Ficha técnica del cemento - Ilustración 45 Fuente: http://www.cemex.es/Cementoblanco.aspx	54
Aditivo Superplastificante - Ilustración 46	55
Aditivo de expansión - Ilustración 47	55
Difractograma de las muestras de ceniza por difracción de rayos X - Ilustración 48	56
Puntos de Análisis microscópicos -Ilustración 49.....	57
Muestreo de partículas con aumento de x500 - Ilustración 50	58
Muestreo de partículas con aumento de x1100- Ilustración 51	59
Muestreo de partículas con aumento de x500 - Ilustración 52	59
Muestreo de partículas con aumento de x500 - Ilustración 53	59
Muestreo de partículas con aumento de x500 - Ilustración 54	60
Muestreo de partículas con aumento de x500 - Ilustración 55	60
Comparación de probetas carbonatadas y no carbonatadas - Ilustración 56	74
Comparación de probetas carbonatadas y no carbonatadas - Ilustración 57	74

Índice de Graficas

Diagrama Ternario para dosificaciones - Grafica 1	39
Diagrama Ternario para dosificaciones (Zoom)- Grafica 2.....	40
Análisis termogravimétrico de la pasta de cal y cenizas - Grafica 3.....	60
Análisis termogravimétrico de la pasta de cal - Grafica 4	61
Resistencia a flexión - Grafica 5.....	63
Resistencia a flexión - Grafica 6.....	64
Comparación entre 7 y 14 días - Grafica 7	65
Comparación entre 7 y 35 días - Grafica 8	66
Comparación entre 7 y 28 días - Grafica 9	67
Resistencia mecánica a los 21 días - Grafica 10	68
<i>Resistencia a compresión 28 y 60 días, 1ra campaña - Grafica 11</i>	69
Resistencia mecánica entre 7 y 28 días - Grafica 12	70
Resistencia mecánica entre 7 y 14 días - Grafica 13	71
Resistencia mecánica entre 7 y 35 días - Grafica 14	72
Resistencia mecánica entre 7 y 28 días - Grafica 15	73
Resistencia mecánica a los 21 días - Grafica 16	74
Porosidad abierta, tercera campaña - Grafica 17	75
Densidad aparente, tercera campaña - Grafica 18	76
Densidad relativa, tercera campaña - Grafica 19	76

Porosidad abierta, sexta campaña - Grafica 20.....	77
Densidad relativa, sexta campaña - Grafica 21	77
Densidad aparente, sexta campaña - Grafica 22.....	77
Absorción de agua por capilaridad - Grafica 23	78
Minerales encontrados en las cenizas - Grafica 24	79
Elementos químicos - Grafica 25	80
Comparación entre la pasta de cal y la pasta de cal con ceniza - Grafica 26.....	81
Comparación entre el módulo de Young Longitudinal y la Tensión a Rotura de la sexta campaña - Grafica 27.....	81
Comparación entre el módulo de Young Longitudinal y la Tensión a Rotura de la sexta campaña - Grafica 28.....	82
Comparación entre el módulo de Young Longitudinal y el módulo a flexión de la sexta campaña - Grafica 29.....	82
Conclusión sobre prueba de absorción por capilaridad - Grafica 30	83
Resistencia a compresión, 1ra campaña - Grafica 31.....	84
Resistencia a compresión, segunda campaña - Grafica 32	85
Resistencia a compresión, tercera campaña - Grafica 33	85
Resistencia a compresión, cuarta campaña - Grafica 34.....	86
Resistencia a compresión, quinta campaña - Grafica 35	87
Resistencia a compresión, sexta campaña - Grafica 36	87
Resistencia a compresión, 28 y 60 días - Grafica 37	88
Resistencia a flexión a 7 y 28 días - Grafica 38.....	89
Resistencia a flexión 7 y 14 días - Grafica 39.....	89
Resistencia a flexión 7 y 35 días - Grafica 40.....	90
Resistencia a flexión 7 y 28 días - Grafica 41.....	90
Resistencia a flexión 21 días - Grafica 42	91
Comparación de % de porosidad entre la 3ra, 5ta y 6ta campaña - Grafica 43	92
% de agua absorbido - Grafica 44.....	92
Tercera Campaña - Grafica 45	93
Sexta campaña - Grafica 46	93

Índice de Tablas

Compuestos químicos del cemento - Tabla 1	23
Dosificaciones, primera Campaña - Tabla 2	38
Leyenda grafico ternario - Tabla 3.....	39
Composición mineralógica de las muestras de ceniza por difracción de rayos X - Tabla 4	57
Análisis cuantitativo de elementos detectados en las cenizas - Tabla 5.....	58
Determinación del MOE por el método de Impacto (MOE imp) - Tabla 6.....	62
Resistencia a flexión a 28 días, 1ra campaña - Tabla 7	62
Resistencia a flexión a 60 días, 1ra campaña - Tabla 8	63
Resistencia a flexión a los 7 días, 2da campaña - Tabla 9	64
Resistencia a flexión a los 28 días, 2da campaña - Tabla 10	64
Resistencia a flexión a los 7 días, 3ra campaña - Tabla 11.....	65
Resistencia a flexión a los 14 días, 3ra campaña (Carbonatación acelerada) - Tabla 12	65

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

Resistencia a flexión a los 7 días, 4ta campaña (Carbonatación acelerada) - Tabla 13 .	66
Resistencia a flexión a los 35 días, 4ta campaña - Tabla 14.....	66
Resistencia a flexión a los 28 días, 5ta campaña - Tabla 15.....	66
Resistencia a flexión a los 7 días, 5ta campaña - Tabla 16.....	67
Resistencia mecánica a los 21 días - Tabla 17	67
Resistencia a compresión a 28 días - Tabla 18	68
Resistencia a compresión a 60 días - Tabla 19	69
Resistencia mecánica a 7 días - Tabla 20.....	70
Resistencia mecánica a 28 días - Tabla 21.....	70
Resistencia mecánica a 7 días - Tabla 22.....	71
Resistencia mecánica a 14 días (Carbonatación acelerada) - Tabla 23.....	71
Resistencia mecánica a 7 días (Carbonatación acelerada) - Tabla 24.....	72
Resistencia mecánica a 35 días - Tabla 25.....	72
Resistencia mecánica a 7 días - Tabla 26.....	73
Resistencia mecánica a 28 días - Tabla 27.....	73
Resistencia mecánica a los 21 días - Tabla 28	74
Prueba de absorción, tercera campaña - Tabla 29.....	75
Prueba de absorción, sexta campaña - Tabla 30.....	76

INTRODUCCIÓN

Las construcciones en mampostería, con bloques de hormigón, es uno de los sistemas constructivos más utilizados en la República Dominicana hoy en día, por el buen desempeño que ha presentado tal material a través de los años para su utilización en los cerramientos, principalmente de las viviendas unifamiliares y multifamiliares, debido a los altos niveles de seguridad mecánica y trabajabilidad que presenta.

Para el presente trabajo experimental se plantea tratar dar solución a dos de los principales problemas que se manejan en el ambiente de la construcción en la República Dominicana.

El primero de ellos son las altas producciones de residuos agrícolas sin tratar que se generan en el país. El segundo y último, pero no menos importante son las altas temperaturas que se manejan en la República Dominicana, lo que genera un mayor discomfort en las edificaciones, principalmente en las viviendas.

La utilización de nanomateriales como lo son las puzolanas de origen volcánicas se viene utilizando desde hace ya unos dos mil años aproximadamente, por los Romanos. Cuyo término proviene de la región donde se podían encontrar las cenizas, "Pozzouli", por los alrededores de Nápoles, en las faldas del volcán Vesubio.

Hoy en día se puede definir el termino Puzolana a aquellos materiales inorgánicos, artificiales y naturales, los cuales tengan la capacidad de poder reaccionar con la cal o el cemento, en presencia de agua, a temperaturas ambientales, lo que permite a su vez la formación de compuestos similares a los que se originan en la hidratación del cemento portland.

Las cenizas son (subproducto industrial) producto de la incineración del bagazo de la caña de azúcar, dicha acción genera residuos sólidos de tipo vegetal y agroindustrial, los cuales se van acumulando en el medio ambiente todos los años, produciendo a su paso un sin número de problemáticas medioambientales para los seres vivos y el planeta. Hoy en día los ingenios azucareros producen una parte significativa de dichos residuos.

Se ha comprobado en el trabajo Final de Máster (Valorización de cenizas de bagazo procedentes de honduras: posibilidades de uso en matrices de cemento portland) de la Universidad Politécnica de Valencia, por Daniel Ernesto Ma-Tay Pinel, que tales residuos pueden llegar a tener en su composición química componentes similares a los que contienen los materiales cementantes, como lo es el cemento y la cal. Dichos componentes son el silicio, el aluminio y el hierro.

Para que dichos residuos sean considerados puzolánicos deben de alcanzar unos porcentajes específicos con relación a la sumatoria total de los tres, según Daniel Ernesto Ma-Tay Pinel en su trabajo final de máster (Valorización de cenizas de bagazo procedentes de honduras: posibilidades de uso en matrices de cemento portland), 2014, Universidad Politécnica de Valencia. De cumplir con estos requisitos, puede llegar a generar una "actividad puzolánica," lo que significa que las cenizas contienen características cementantes, y que son capaces de adquirir resistencia por endurecimiento hidráulico.

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

Según el informe final de producción de caña de azúcar 2015 – 2016 por el CEA (Consejo Estatal Del Azúcar), en la Republica Dominicana “se registró una molienda de 3,980,684 toneladas métricas de caña, en un período comprendido entre el inicio de la segunda semana de diciembre de 2015 y la última semana del mes de junio de este año.”

Aun conociendo que la Republica Dominicana no es el mayor productor de azúcar en Latinoamérica, pero de igual manera, dicha producción produce cantidades de residuos que no son reutilizados, más que unas pocas toneladas para abonar las mismas plantaciones de la caña.

Partiendo de estos datos surge esta idea de tesis, la cual plantea poder analizar el comportamiento físico – químico que presentan estos residuos, para probar su integración con el cemento, la cal, áridos, aditivos y agua para la fabricación de un nuevo material en la construcción, como lo es un bloque traspirable más resistente.

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

JUSTIFICACIÓN

La presente investigación surgió por la necesidad de buscarle mejores opciones a las viviendas Dominicanas, con la finalidad de disminuir el discomfort termino que se presenta en la edificaciones, debido nuestra ubicación cercana a la línea del ecuador, lo que quiere decir el que el sol nos irradia con mayor intensidad, generando altas temperaturas que abrazan las ciudades, obligando al ciudadano a tener que utilizar equipos de climatización para mantener temperaturas adecuadas que vayan dentro del rango del confort térmico.

El hecho de pensar en el sobrecalentamiento que se genera tanto en la Republica Dominicana como en el mundo completo, me llevó a pensar cómo podría ayudar a reducir el impacto ambiental que dejamos los seres humanos en el paso de nuestra existencia. Por lo que las grandes cantidades de desechos y las altas contaminaciones producidas por los ingenios azucareros con la producción del azúcar, (lo que se da gracias a las plantaciones de las plantas, lo que a su vez genera un residuo importante al medioambiente), me llevo a pensar cual podría ser la mejor manera de aportar un granito de arena a la sociedad, lo que trajo como conclusión el poder reutilizar estos residuos en un material de construcción, en este caso el bloque de hormigón, que a su vez fuese capaz de permitir a la vivienda dominicana una mayor ventilación natural entre el medioambiente y los espacios interiores de las edificaciones.

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

OBJETIVOS:

Generales

- Fabricar un bloque ecológico resistente no permeable, que sea capaz de permitir el paso de la ventilación del aire de un espacio a otro mediante la utilización de conglomerantes como la cal y el cemento. De manera que se genere mayor confort, así como también reducir la utilización de equipos de climatización en los espacios de las viviendas en la Republica Dominicana.
- Reducir el impacto ambiental por parte de las fábricas de producción de materiales cementantes como el cemento portland y la cal, mediante la utilización de materiales alternativos que sean más tolerantes con el medio ambiente. En este caso serían las cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

Específicos

- Verificar de manera meticulosa la composición química de los residuos de la incineración del bagazo de la caña, con la finalidad de comprobar su actividad puzolanica.
- Estudiar los comportamientos físicos y químicos de un bloque fabricado de cal y residuos de la incineración del bagazo de la caña de azúcar, así como el estudio de sus ventajas y desventajas mediante los ensayos de resistencia, absorción, porosidad y densidad.

HIPÓTESIS

La utilización de las cenizas del bagazo de la caña de azúcar como conglomerante junto con el cemento, la cal, áridos de sílice, super plastificantes, para que la mezcla sea más fluida sin la necesidad de tener que consumir la cantidad de agua real que las cenizas demandan, conjunto a un aditivo de expansión, como lo es el polvo de aluminio, debe de permitir la fabricación de una pieza de construcción (bloque) resistente a esfuerzos de compresión, así como suficientemente porosa para que permita el paso de la ventilación de un espacio. Se plantea dar respuesta a esta hipótesis mediante una campaña de experimentos enfocados a los aspectos más relevantes del material.

METODOLOGÍA

La presente investigación de tesis busca estudiar el comportamiento de un bloque más ecológico, traspirable de hormigón, a base de cemento, cal, árido de sílice, cenizas de la incineración del bagazo de la caña de azúcar, superplastificante y polvo de aluminio, con el objetivo de poderse utilizar para la construcción de las viviendas dominicanas.

Para seguir un orden y poder cumplir con los objetivos pautados, se dividió la metodología de trabajo en las siguientes etapas:

- La etapa inicial lleva de una amplia investigación sobre casos de estudios similares, así como su utilización en el área de la construcción, a través de resultados de otras investigaciones, bibliografías, artículos científicos, documentación gráfica y datos de los fabricantes.
- Esta segunda etapa arroja una amplia campaña experimental en el laboratorio de materiales, donde se busca conocer el comportamiento mecánico de los bloques previamente mencionados.
Esta etapa describirá de manera detallada los equipos usados, así como los procedimientos a seguir en los ensayos según las normativas actuales. También se explicará de manera muy detallada las fabricaciones de las probetas y los estudios previos a estas.
- Para concluir, esta tercera etapa abarcará todas las conclusiones y resultados de la campaña experimental, con la finalidad de poder ver si la hipótesis previamente planteada es viable.

1. ESTADO DEL ARTE

1.1 Puzolanas Y Materiales Residuales

El uso de la palabra puzolana abarca a aquellos materiales inorgánicos, artificiales y naturales, los cuales tengan la capacidad de poder reaccionar con la cal y el cemento, en presencia de agua y a temperaturas que correspondan con las condiciones del ambiente, lo que permite a su vez la formación de compuestos similares a los que se originan en la hidratación del cemento portland. (MA-TAY PINEL, 2014)

A través de los años se ha ido tomando conciencia con relación a la protección del medio ambiente con respecto al uso de materiales que producen grandes emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera, por lo que la utilización de materiales residuales con características puzolánicas han ido en aumento, aparte de que son respetuosos con el medio ambiente, la incorporación de estos residuos puede generar mayor resistencia mecánica, así como también mayor durabilidad, sin contar con los beneficios económicos que se pueden llegar a generar.

Según la norma UNE-EN 197-1:2000, los materiales puzolánicos deben de estar compuestos básicamente por SiO_2 (Silicio) y Al_2O_3 (Aluminio) reactivos; al igual que en mínimas cantidades de Fe_2O_3 y otros óxidos.

1.1.1 Puzolanas Naturales

Las erupciones volcánicas son los mayores productores de las puzolanas naturales. Se tiene conocimiento de que estos residuos eran utilizados miles de años atrás por el imperio Romano, de hecho, eran capaces de producir morteros hidráulicos. La calidad de estas cenizas se puede apreciar en las construcciones milenarias que todavía en la actualidad se pueden apreciar. (MA-TAY PINEL, 2014)

1.1.2 Puzolanas Artificiales

Se puede decir que son subproductos industriales de múltiples orígenes, cuya propiedad principal es su característica puzolánica. De los materiales artificiales con actividad puzolánica más utilizados en la industria de la construcción están las cenizas de cáscara de arroz y las cenizas del bagazo de la caña, entre otros. (MA-TAY PINEL, 2014)

Cabe resaltar que el bagazo de la caña de azúcar se incinera con la finalidad de poder crear combustible y energía alternativa con el vapor que se genera en dicha acción.

1.1.3 Residuos Agrícolas como adición al Hormigón

Los residuos agrícolas son producto de las acciones del sector primario en la economía. Estos pueden ser originados de la ganadería, la pesca, la agricultura, actividades forestales e industrias alimenticias. Dichos residuos se dividen en dos principales grupos:

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

- **Residuos orgánicos:** estos son abundantes en productos naturales orgánicos, principalmente celulosa, azúcares, materiales fibrosos y lignina. Una vez son mezclados con conglomerantes, se crean condiciones o propiedades de aligeramiento, demanda en exceso de agua, retraso del fraguado y demás. (MA-TAY PINEL, 2014)

Las fibras naturales se pueden obtener de diversas partes de las plantas y árboles. Por ejemplo, se obtienen fibras del tallo del yute, de las hojas del sisal o el henequén, de la superficie del algodón o el coco y de la madera del eucalipto o del bambú. Algunas especies se cultivan específicamente para la obtención de fibras para textiles y otras áreas industriales. En muchos casos pueden fabricarse fibras para hormigón a partir de residuos vegetales como el bagazo de caña de azúcar y la fibra de coco verde. De igual manera se pueden fabricar partículas vegetales para ser usadas en hormigones ligeros, por ejemplo, la cáscara de arroz. (MA-TAY PINEL, 2014)

- **Los residuos inorgánicos:** estos residuos por lo general están compuestos de partículas inorgánicas como el silicio y el aluminio. Su principal característica es que el tamaño de sus partículas es sumamente fino. Una vez mezclados con materiales conglomerantes pueden llegar a presentar actividad puzolánica, que en su mayoría suelen aumentar la resistencia y durabilidad de este. (MA-TAY PINEL, 2014)

Dentro de los residuos agrícolas se pueden mencionar: las cenizas del bagazo de la caña de azúcar, de la cascara de arroz, de la borra de café, de la paja del trigo, de la cascara de palma, entre otras.

1.1.4 Cenizas generadas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar y su utilización como material puzolánico.

Las cenizas son (subproducto industrial) producto de la incineración del bagazo, dicha acción genera residuos sólidos de tipo vegetal y agroindustrial, los cuales se van acumulando en el medio ambiente todos los años, produciendo a su paso un sin número de problemáticas medioambientales para los seres vivos y el planeta. Esto quiere decir que se está desperdiciando un producto potencial con gran calidad en valor añadido. Los ingenios azucareros producen una parte significativa de dichos residuos. (MA-TAY PINEL, 2014)

Existen estudios previos que confirman la afinidad que tienen las cenizas con la cal debido a su contenido de silicio y aluminio, lo que puede llegar a generar una “actividad puzolánica,” esto significa que las cenizas contienen por lo general características cementantes, y que son capaces de adquirir resistencia por endurecimiento hidráulico. (MA-TAY PINEL, 2014)

Existen tres principales propiedades técnicas que presentan los materiales puzolánicos, las cuales son: (SCRIBD)

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

- Lenta reacción al proceso de hidratación, lo que permite que la liberación de calor sea un proceso más lento al igual que el desarrollo de su resistencia.
- Dicha reacción en vez de generar hidróxido de calcio, lo consume, permitiendo de este modo la durabilidad de las pastas hidratadas en ambientes de condición ácida.
- Completa las aberturas capilares que quedan luego de la hidratación de los componentes del cemento. Lo que permite el progreso de la impermeabilidad.

La actividad puzolánica de un material depende principalmente de tres factores: (SCRIBD)

- Superficie específica.
- Composición química y mineralógica (Fase vítrea y cristalizada).
- Estado de división (Distribución granulométrica).

1.2 Cal

1.2.1 Origen de la cal en la construcción

A través de la historia hemos podido apreciar que el ser humano ha aprendido a utilizar y modificar las condiciones naturales de los materiales que conformaban su entorno, con el objetivo de aprovechar al máximo sus capacidades físicas para poder construir estructuras que les permitieran protegerse del clima y animales salvajes. (Carvajal & Gomez, Scribd, 2016)

Un claro ejemplo de estos materiales moldeados por el hombre es la cal, cuya materia prima es la piedra caliza, la cual es muy común en la naturaleza. (Carvajal & Gomez, Scribd, 2016)

La utilización de la cal más antigua que se tiene registrada es de aproximadamente 4,000 años a.C. en el recubrimiento de las pirámides de Egipto. También se tiene conocimiento que la utilización del mortero de cal tuvo gran participación en la construcción de la muralla china. Al hablar de la cal como material constructivo, no podemos dejar de mencionar al imperio Romano, el cual perfeccionó el proceso de su fabricación. (Carvajal & Gomez, Scribd, 2016)

1.2.2 Tipos de cales

Según la normativa UNE-EN-459-1 existen varios tipos de cales aéreas e hidráulicas.

Cales Aéreas:

Cales Cálcicas (CL): estas están formadas principalmente por óxido de calcio y/o hidróxido de calcio sin ninguna adición hidráulica ni puzolánica.

Cales Dolomitas (DL): están constituidas por óxido de calcio y magnesio y/o hidróxido de calcio y magnesio sin ninguna adición hidráulica ni puzolánica.

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

Formas de las cales aéreas:

Cales vivas (Q): Son unas cales aéreas principalmente en forma de óxido que reaccionan exotérmicamente en contacto con el agua.

Cales hidratadas (S, S PL o S ML): son unas cales aéreas principalmente en forma de hidróxido producidas por el apagado controlado de las cales vivas.

Cales Cálcidas

Clasificación de las cales cálcicas: Las cales cálcicas se deben clasificar de acuerdo con la notación indicada en la siguiente tabla.

Designación	Notación
Cal cálcica 90	CL 90
Cal cálcica 80	CL 80
Cal cálcica 70	CL 70

^a Además, las cales cálcicas se clasifican según la forma del producto: cal viva (Q), cal hidratada (S), cal en pasta (S PL) o lechada de cal (S ML).

Clasificación de las cales cálcicas - Ilustración 1
Fuente: (UNE-EN-459-1, 2011)

Tipo de cal cálcica	Valores expresados como fracciones de masa, en tanto por ciento				
	CaO + MgO	MgO ^a	CO ₂ ^b	SO ₃	Cal útil ^c
CL 90	≥ 90	≤ 5	≤ 4	≤ 2	≥ 80
CL 80	≥ 80	≤ 5	≤ 7	≤ 2	≥ 65
CL 70	≥ 70	≤ 5	≤ 12	≤ 2	≥ 55

Requisitos químicos para la cal cálcica expresados como valores característicos - Ilustración 2
Fuente: (UNE-EN-459-1, 2011)

Tamaño del tamiz	Distribución granulométrica ^a (fracción de masa que pasa por el tamiz, en tanto por ciento) según el capítulo 6 de la Norma EN 459-2:2010				
	P4	P3	P2	P1	P _{sv}
10 mm	100	–	–	–	Otro valor especificado o no requerido
5 mm	≥ 95	100	100	–	
2 mm	–	≥ 95	≥ 95	100	
0,2 mm	–	–	≥ 70	≥ 95	
0,09 mm	–	≥ 30	≥ 50	≥ 85	

Distribución granulométrica - Ilustración 3
Fuente: (UNE-EN-459-1, 2011)

Según la normativa UNE-EN-459-1, las cales con Propiedades Hidráulicas se clasifican:

Cales hidráulicas naturales (NHL): La cal hidráulica natural es un tipo de cal cuyas propiedades hidráulicas producidas por la calcinación de caliza más o menos arcillosas o silíceas, con la reducción a polvo mediante apagado con o sin molienda. Tiene la propiedad de fraguar y endurecer cuando se mezcla con agua y por su reacción con el dióxido de carbono presente en el aire.

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

Cales formuladas: La cal formulada es una cal con propiedades hidráulicas constituida principalmente por cal aérea (CL) y/o cal hidráulica natural (NHL) con material hidráulico y/o puzolánico añadido.

Cales hidráulicas (HL): la cal hidráulica es un conglomerante constituido por cal y otros materiales tales como cemento, escorias de alto horno, cenizas volantes, filler calizo y otros materiales adecuados.

Cales hidráulicas naturales: en la ilustración 4 se pueden apreciar los tipos de cales hidráulicas naturales.

Designación	Notación
Cal hidráulica natural 2	NHL 2
Cal hidráulica natural 3,5	NHL 3,5
Cal hidráulica natural 5	NHL 5

Tipos de cales hidráulicas naturales - Ilustración 4
Fuente: (UNE-EN-459-1, 2011)

Tipo de cal hidráulica natural	SO ₃	Cal útil como Ca(OH) ₂ según el apartado 5.8 de la Norma EN 459-2:2010
	Valores en fracción de masa en porcentaje	
NHL 2	≤ 2	≥ 35
NHL 3,5	≤ 2	≥ 25
NHL 5	≤ 2	≥ 15

NOTA: Los valores de SO₃ se refieren al producto exento de agua libre y de agua combinada.

Requisitos químicos para la cal hidráulica natural - Ilustración 5
Fuente: (UNE-EN-459-1, 2011)

Tipo de cal hidráulica natural	Resistencia a compresión MPa	
	7 días	28 días
NHL 2	–	≥ 2 a ≤ 7
NHL 3,5	–	≥ 3,5 a ≤ 10
NHL 5	≥ 2	≥ 5 a ≤ 15

Resistencia a compresión para la cal hidráulica natural expresada como valores característicos - Ilustración 6
Fuente: (UNE-EN-459-1, 2011)

Tipo de cal hidráulica natural	Tamaño de partícula		Agua libre	Estabilidad ^b		Ensayos para morteros ^c		Tiempos de fraguado	
	% de rechazo en masa			Método de referencia	Método alternativo	Penetración	Contenido en aire	inicial	final
	0,09 mm	0,2 mm	%	mm	mm	mm	%	h	
NHL 2	≤ 15	≤ 2	≤ 2	≤ 2	≤ 20	> 10	≤ 5	> 1	≤ 40
NHL 3,5						y			≤ 30
NHL 5						< 50			≤ 15

Requisitos físicos para la cal hidráulica natural - Ilustración 7
Fuente: (UNE-EN-459-1, 2011)

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

1.2.3 Propiedades de la cal

1.2.3.1 Propiedades Físicas

1.2.3.1.3 Resistencia Mecánica

Ficha técnica sobre la resistencia a compresión de la cal. (Cannabric)

<u>Características técnicas de nuestras calces hidráulicas naturales con marcado CE:</u>	NHL 5 (alta hidráulicidad)	NHL 3,5 (hidráulicidad mediana)	NHL 3,5 blanca (hidráulicidad mediana)	NHL 2 (baja hidráulicidad)
Características mecánicas				
Resistencia la compresión 7 días	2,0 MPa (mínima) 5,1 MPa (media)	1,78 MPa (media)	2,02 MPa (media)	
Resistencia a la compresión 28 días	5 MPa (mínima) 8,1 MPa (media)	3,5 MPa (mínima) 5,41 MPa (media)	3,5 MPa (mínima) 5,79 MPa (media)	2 MPa (mínima) 3,42 MPa (media)
Resistencia a la compresión 90 días	10 MPa (mínima) 11,5 MPa (media)			
Resistencia a la compresión 180 días	12 MPa (mínima) 13,2 MPa (media)			
Resistencia a la flexión 7 días	0,9 MPa (mínima)			
Resistencia a la flexión 28 días	1,3 MPa (mínima)			
Resistencia a la flexión 90 días	2,5 MPa (mínima)			
Resistencia a la flexión 180 días	3,5 MPa (mínima)			
Inicio del fraguado	>= 60 minutos 78 min (media)	108 min (media)	229 min (media)	410 min (media)
Residuo	12,8% (v. medio) < 15%	5,2% (v. medio) < 15%	0,4% (v. medio) < 15%	< 15%

*Resistencia a compresión de la cal - Ilustración 8
(Cannabric)*

1.3 Cemento Portland

De manera general podemos explicar al cemento como un material aglutinante con la característica de adherencia y cohesión, lo que a su vez permite la unión de los minerales entre sí para formar un sólido con todos ellos compactados, que a su vez adquiere unos valores de resistencias muy altos y duraderos. El material que forma parte principal del hormigón es el cemento portland. (Rodríguez Tovar, 2011)

1.3.1 Origen del cemento Portland

El origen del cemento portland llega con la aparición de algunos minerales calcáreos como lo son el aluminio y la sílice, los cuales se pueden encontrar como arcilla en el medio ambiente, así como también por la caliza, en la cual más del 60% está compuesta por carbonato de cálcico CaCO₃. Posteriormente se procede a agregar el yeso, con el objetivo de regular el tiempo de curado del memento. (Rodríguez Tovar, 2011)

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

Según Sánchez de Guzmán en su libro “Tecnología Del Concreto y Del Mortero” el proceso de fabricación del cemento es el siguiente.

- Explotación de materias primas: extraídas directamente de las canteras por métodos normales de explotación (arrastre, palas mecánicas, cargadores, etc.) o mediante la utilización de explosivos, para su posterior trituración, dejándola en tamaños de aproximadamente 25mm.
- Preparación, dosificación t molienda: la mezcla de la caliza triturada y la lechada de arcilla, en proporciones generalmente de 2:1, se lleva a un molino de cuerpos moledores, llamado molino de crudo, que muele y pulveriza los materiales hasta un tamaño medio de 0.05mm.
- Homogenización: en esta etapa es importante la correcta homogenización debido a las reacciones químicas que suceden en el proceso y asegurar el contacto íntimo entre los distintos componentes.
- Clinkerización: consiste en un tratamiento térmico (temperaturas entre 100 a 1,500 grados en grandes hornos rotatorios.)
- Enfriamiento: es un proceso que tiene lugar al final de los hornos donde se enfría (pasando aire frío) de manera brusca el material resultante, en forma de bolas de 3-30mm (clinker), de una temperatura de 1,200 – 1,300 grados a una temperatura de 50 – 50 grados.
- Adiciones finales y molienda: en esta etapa se lleva el Clinker enfriado a unos molinos compuesto de diversos comportamientos, los cuales tienen bolas de acero cada vez más pequeñas, pulverizándolo con una pequeña adición de yeso (2 a 5%).
- Empaque y distribución.

1.3.2 Propiedades del Cemento Portland

1.3.2.1 Propiedades Físicas

Para saber sus propiedades físicas es necesario estudiar sus características a través de ensayos a fondo en laboratorios, ya que pueden variar dichas propiedades dependiendo en el estado en que se encuentren. (Rodríguez Tovar, 2011)

1.3.2.1.1 Peso específico

El peso específico se refiere a la densidad del material, la cual es la relación que hay entre el volumen y la masa. Dentro de los métodos más utilizados hoy en día para determinar la densidad del cemento están el de Lechatelier, Mann Candlot, el método del picnómetro y el Schimann. La densidad del cemento va de los 3.10 y 3.15 gr/cm³. (Rodríguez Tovar, 2011)

1.3.2.1.2 Superficie específica

El tamaño de la partícula es parte esencial del cemento, debido a que va asociado a su capacidad hidráulica, por lo que debe de ser controlado con mucha cautela. Juega un papel muy importante en el proceso de hidratación del cemento ya que la velocidad de

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

hidratación y el tamaño de partícula van muy relacionados, así como también el aumento o no de resistencias a tempranas edades, el tiempo de fraguado y demás. (Rodríguez Tovar, 2011)

Se puede decir que la superficie específica se puede definir como el área superficial de cada una de las partículas por gramo del material. Existen varios métodos para determinar la superficie específica como son: el tamizado, método del permeabilímetro de Blaine, método de permeabilidad al aire de Lea y Nurse, entre otras. (Rodríguez Tovar, 2011)

1.3.2.1.3 Fraguado y falso fraguado:

Podríamos definir el fraguado como el cambio de fase del material, donde pasa de un estado plástico a un estado sólido. Existen dos tiempos de fraguado principales como son: el tiempo de fraguado inicial, ese decir, el tiempo que corre una vez ya se le añade agua al cemento, y el final, que es aquel que se toma una vez ya el material es rígido y alcanza la máxima temperatura. Dentro de las condiciones que afectan en mayor parte el tiempo de fraguado están:

- Composición química del cemento
- Temperatura ambiente
- Finura del cemento
- Cantidad de agua de amasado

El falso fraguado se da cuando el material adquiere una rigidez a destiempo. (Rodríguez Tovar, 2011)

1.2.3.1.3 Resistencias Mecánicas

La resistencia mecánica es una de las propiedades que más se valoran del material, dentro de los ensayos que existen para determinar la resistencia de un material esta, la resistencia a compresión, resistencia a flexión y tensión. (Rodríguez Tovar, 2011)

La resistencia a compresión es la más observada en la actualidad, ya que esta refleja unas prestaciones estructurales muy importantes. (Rodríguez Tovar, 2011)

1.3.2.2 Propiedades químicas

1.3.2.2.1 Composición Química

Básicamente el cemento está formado por sílice, aluminio y óxido de hierro. A través del proceso estos compuestos llegan a interactuar entre ellos, llegando a convertirse en compuestos más complejos, en busca de un estado de equilibrio. (Rodríguez Tovar, 2011)

Compuesto	Composición del Oxido	Abreviatura
Silicato Tricálcico	3CaOSiO_2	C3S
Silicato Dicalcico	2CaOSiO_2	C2S
Aluminio Tricálcico	$3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$	C3A
Ferro aluminato Tetra cálcico	$4\text{CaOFe}_2\text{O}_3\text{Al}_2\text{O}_3$	C4AF

Compuestos químicos del cemento - Tabla 1

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

Dichos compuestos llegan a formarse en los hornos.

1.3.2.2.3 Hidratación del cemento Portland

En el proceso de hidratación del cemento, los silicatos y aluminios pasan a estar en un estado hidratado, lo que da como resultado una masa sólida y rígida. Lo que produce a su vez una serie de procesos químicos que generan propiedades mecánicas necesarias para usarlas de manera estructural. (Rodríguez Tovar, 2011)

Proceso de hidratación. (Rodríguez Tovar, 2011)

- Los productos sólidos hidratados siempre contienen una cantidad elevada de poros muy pequeños.
- El principio de la hidratación está generado por reacciones químicas, pero posteriormente al generarse la capa de gel la difusión es el proceso que más participa en la hidratación.
- La velocidad de las reacciones químicas se incrementa con la temperatura, no ocurriendo lo mismo en el proceso de difusión.
- Si la pasta recibiese una aportación extrema de agua mediante un cura húmedo, la hidratación continuaría durante un determinado tiempo y los productos de hidratación llenarían cada vez más los poros existentes hasta llegar a un límite.
- Si la pasta no reviviese una aportación de agua externa, al producirse la evaporación de agua en el amasado la cantidad de esta podrá disminuir a límites que interrumpieran la hidratación del cemento antes de que, este se hubiese hidratado en un grado normal.

1.3.2.2.3 Formación de la pasta de cemento:

Para la elaboración de la pasta de cemento es necesario hidratar el cemento, de manera que se produzcan unas reacciones químicas al entrar en contacto con el H₂O. de manera que pasaría de estar en un estado plástico, a un estado sólido, rígido y con altas resistencias. (Rodríguez Tovar, 2011)

1.3.2.2.4 Reacciones de hidratación:

Las reacciones principales son las de hidratación del Clinker, sumándose las debidas a la presencia del sulfato de calcio del yeso, de las adiciones activas y de los aditivos y compuestos menores. En términos generales se puede decir que, hasta los 3 días de edad, el desarrollo de la resistencia se debe a la hidratación del C3S y del C3A; hasta los 7 días debido por el aumento de hidratación del C3S; hasta los 28 días debido al incremento de hidratación del C3S con pequeñas contribuciones del C2S. (Rodríguez Tovar, 2011)

1.3.2.2.5 Calor de Hidratación

Se produce una reacción exotérmica en el proceso de hidratación del cemento, por lo que, al comenzar el fraguado, la temperatura interna del hormigón comienza a subir; por lo que es un tema que tomar en cuenta, ya que puede ocasionar problemas de agrietamientos y contracción. (Rodríguez Tovar, 2011)

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

Aproximadamente la mitad del total del calor de hidratación que ocurre en el proceso, se libera entre los tres primeros días, más de la mitad del calor se libera a los 7 días y cerca del 90% a los 6 meses. (Rodríguez Tovar, 2011)

1.4 Aditivos Superplastificantes

Se pueden definir como aquellos agentes competentes para mejorar propiedades físicas del hormigón fresco. Son capaces de mejorar la resistencia, trabajabilidad y durabilidad de este.

Según la norma UNE 934-2, son capaces de reducir el agua en la pasta, por lo que se logra alcanzar una buena trabajabilidad, sin modificar su consistencia con hasta con un 30% de agua menor a lo que normalmente se tendría que utilizar sin el superplastificante de fluidez.

1.4.1 Tipos de superplastificantes

En la actualidad los aditivos son tecnología importante para la fabricación de hormigones, debido a esto, los superplastificantes y plastificantes son unos de los productos más utilizados en la fabricación de este. (Granizo)

Estos se clasifican de la siguiente manera:

- **Lignosulfonatos:** son parte de la primera generación de plastificantes utilizados en el hormigón. Estos se extraen en gran parte de la industria del papel. Es capaz de reducir hasta un 10% de agua en el hormigón, así como también conseguir un fraguado mucho más lento, lo que puede resultar negativo para el progreso de la resistencia. (Granizo)
- **Naftalen Sulfonatos:** este tipo de aditivo pertenece a la segunda generación, el cual está compuesto por polímeros sintéticos. A diferencia del lignosulfonato, este puede conseguir unas resistencias más altas a edades tempranas. (Granizo)
- **Copolímeros Vinílicos:** el presente aditivo pertenece a la tercera generación de superplastificantes. Posee unas moléculas mayores que los previamente mencionados, por lo que genera un mayor efecto de plasticidad, consiguiendo hasta un 30% menos de agua aproximadamente, lo que genera a su vez una mayor resistencia mecánica por parte del hormigón. (Granizo)
- **Policarboxilatos:** Este tipo de aditivo forma parte de la última generación de superplastificantes. Está compuesto de copolímeros de ácido acrílico y grupos de éter de ácido acrílico. Puede conseguir reducir un 40% aproximadamente de agua en el hormigón, por lo que se consiguen unas resistencias mecánicas elevadas a tempranas edades. (Granizo)

1.5 Polvo de aluminio

El polvo de aluminio se utiliza en los conglomerantes como aditivo expansor, cuya finalidad es generar una red de poros interna, lo cual consiste en poder dejar circular el aire por sus vías o canales porosos, convirtiendo a su vez el material en uno transpirable.

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

El aluminio (Al) en un ambiente de pH alto, se convierte en hidróxido de aluminio $\text{Al}(\text{OH})_2$, es decir que, pasa de ser agua oxigenada $2\text{H}_2\text{O}$, a ser hidróxido de aluminio $\text{Al}(\text{OH})_2$, de manera que las moléculas de hidrógeno que se desprenden pasan a ser las burbujas.

El polvo de aluminio está compuesto especialmente por partículas sumamente finas, por lo general menos de 1 micrómetro (μm) de diámetro.

Por lo general el polvo de aluminio es tratado con estearina, el cual es un material que permite reducir la superficie de oxidación. De igual forma, el polvo de aluminio se recubre con poliestireno, con la finalidad de minimizar el riesgo al fuego, ya que este por sí mismo tiende a ser un material inflamable, utilizado por esto como combustible de cohetes y explosivos. (CCSSO, 1999)

Es conocido en los Estados Unidos como CAS es 7429-90-5. Este número es asignado por el Servicio de Abstractos Químico (CAS) y se usa como único número identificador a nivel mundial. (CCSSO, 1999)

1.6 Antecedentes de estudios realizados sobre las cenizas de la caña de azúcar, producidas por la incineración del bagazo y su comportamiento en materiales de construcción.

En el presente apartado se mostrarán a modo de resumen varios antecedentes existentes sobre estudios realizados de las cenizas del bagazo de la caña de azúcar con características puzolánicas.

➤ Antecedente #1

Año de publicación: Julio de 2014

Revista: Revista de Física, No. 48E

Título del artículo: Ceniza de bagazo de caña para elaboración de materiales de construcción: estudio preliminar

Autores: Diana V. Vidal¹, Janneth Torres², Luis O. González³

Según el artículo, el residuo azucarero está siendo almacenado a cielo abierto y sus partículas finas permiten que se desplace por las corrientes de aire, al igual que con la intervención de las aguas lluvia, afectando de manera directa el medio ambiente.

Dicha investigación se enfoca en un estudio preliminar del uso de la Ceniza del bagazo de la Caña de azúcar, como remplazo parcial del cemento Portland, que incluye un análisis de la actividad puzolánica para el material original y tratado térmicamente.

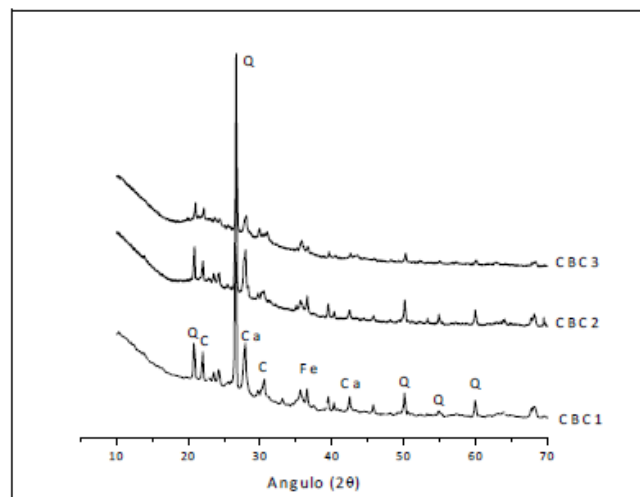
Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

Características (%)	CBC1	CBC2	CBC3	Cemento
SiO ₂	58,6	76,4	63,2	24,3
Al ₂ O ₃	11,8	5,8	8,5	4,3
Fe ₂ O ₃	5,8	4,5	6,4	3,0
CaO	3,0	3,3	3,9	58,8
MgO	2,2	2,3	4,3	1,4
K ₂ O	2,0	4,2	7,3	0,7
Na ₂ O	1,3	1,2	1,1	0,8
Pérdidas por ignición	10,0	2,0	11,0	4,0

Características físicas y químicas de las cenizas y el cemento - Ilustración 9

La metodología empleada por los autores consistió en utilizar tres tipos de cenizas del bagazo de la caña, a los cuales llamaron CBC1, CBC2 y CBC3, fueron producto de la combustión en calderas entre 700 y 900 grados Celsius.

Según los autores, la composición mineralógica de las cenizas fue evaluada por la técnica de Difracción de Rayos X (DRX), con un equipo Xpert-Pro con lámpara de cobre a una velocidad de escaneo de 5°/min con un paso de 0.020 grados.

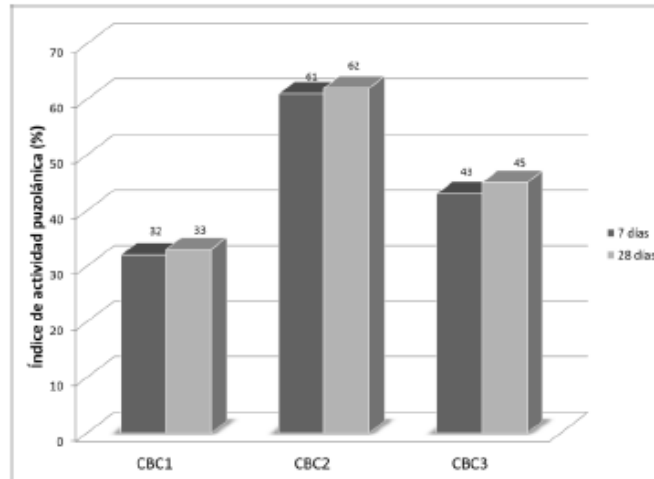


Diffractograma de rayos X para las cenizas estudiadas - Ilustración 10

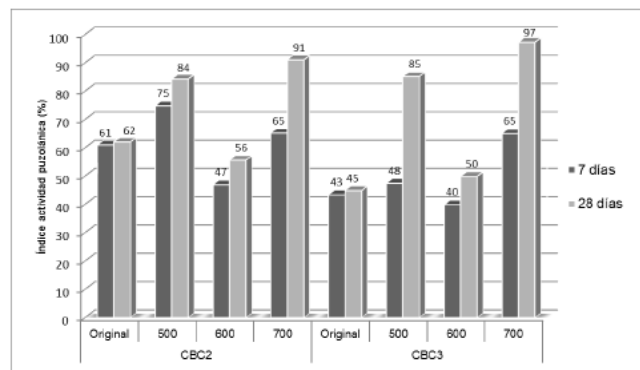
Se puede observar que las tres cenizas estudiadas presentan características amorfas debido al levantamiento de la línea base entre 15 y 35 (2θ); esta amorficidad indica actividad puzolánica a en cenizas, lo que quiere decir que son capaces de ser adicionadas al cemento portland.

Mediante las pruebas de resistencia a la compresión se pudo determinar el IAP (Índice de Actividad Puzolánica) de las cenizas. La norma ASTM C311 y C642 dice que se debieron de preparar morteros con un 20% de las cenizas en su composición y con un 0% de adición.

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.



Índice de actividad puzolánica - Ilustración 11



Índice de actividad puzolánica para las cenizas tratadas térmicamente - Ilustración 12

Mediante los resultados arrojado por dichos estudios se puede concluir que las cenizas del bagazo de la caña necesitan un tratamiento termico, que les permite mejorar su reactivad con el cemento Portland.

➤ Antecedente #2

Año de publicación: abril de 2014

Trabajo de investigación: Trabajo Final de Máster (TFM), Universidad Politécnica de Valencia.

Título del TFM: Valorización de cenizas de bagazo procedentes de honduras: posibilidades de uso en matrices de cemento portland.

Autor: Daniel Ernesto Ma-Tay Pinel

Según el autor, el presente trabajo de tesis desarrollará la caracterización fisicoquímica y el análisis de la reactividad puzolánica de tres muestras de cenizas de bagazo de caña de azúcar provenientes de Honduras, así como la evaluación de las propiedades mecánicas de probetas de mortero de cemento Portland con incorporación de ceniza de bagazo.

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

Para determinar la composición química de las cenizas se utilizó el ensayo de fluorescencia de rayos x. Dos de las tres muestras que se obtuvieron de los diferentes ingenios fueron las analizadas.

Óxido	SPS (%)	CHOLU (%)
Na ₂ O	0.80	1.22
MgO	0.91	1.21
Al ₂ O ₃	6.26	8.92
SiO ₂	50.62	64.18
P ₂ O ₅	0.72	1.19
SO ₃	0.22	0.08
K ₂ O	2.23	5.06
CaO	1.94	3.00
TiO ₂	0.38	0.34
MnO	0.18	0.12
Fe ₂ O ₃	23.26	3.35
P.F.	12.48	11.33

Resultados Composición Química de Cenizas - Ilustración 13

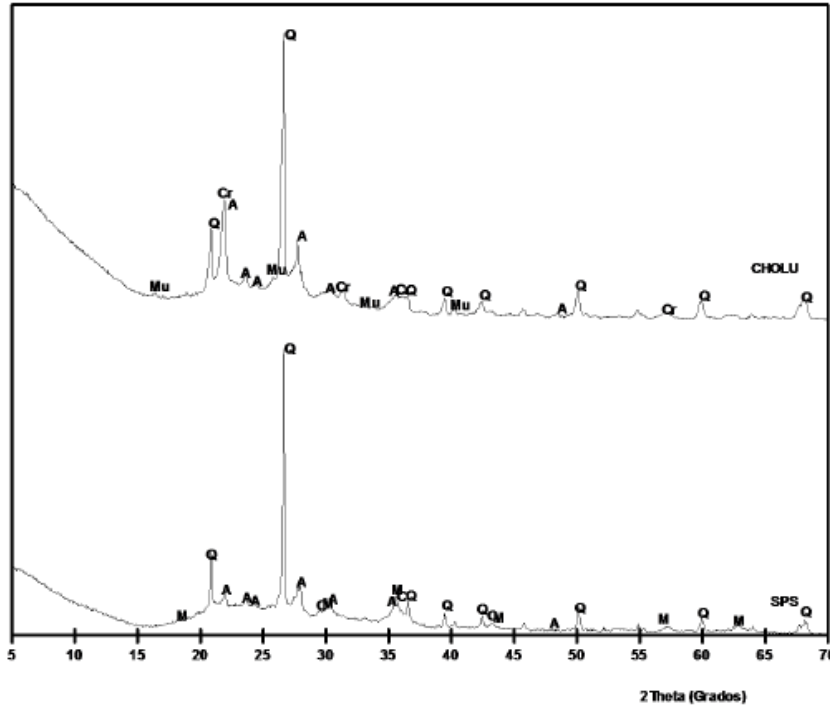
Como se puede observar, ambas muestras superan el 75% una vez se suman el aluminio, silicio y hierro, lo que indica que ambas muestras dan buenos indicios de que pueden llegar a tener propiedades puzolánicas.

Según el TFM previamente citado, se utilizó el ensayo de difracción de rayos x con la finalidad de determinar la composición mineralógica de la muestra de la ceniza de bagazo utilizadas. se puede observar que las dos muestras presentan una desviación de la línea base entre 15-30° de 2θ, lo que indica la presencia de material amorfo en ambas cenizas. El compuesto mayoritario en ambas muestras es cuarzo (SiO₂).

MUESTRA	MINERAL	PDF CARD	ABUNDANCLA
Cholulteca (CHOLU)	Cuarzo (SiO ₂)	331161	xxx
	Cristobalita (SiO ₂)	391425	xx
	Microclina (KAl ₃ SiO ₈)	190926	xx
	Albita (NaAl ₃ SiO ₈)	090466	xx
	Mullita (Al ₆ Si ₂ O ₁₃)	150776	x
San Pedro Sula (SPS)	Cuarzo (SiO ₂)	331161	xxx
	Albita (NaAl ₃ SiO ₈)	090466	xx
	Magnetita (Fe ₃ O ₄)	190629	xx
	Calcita (CaCO ₃)	050586	x

Minerales - Ilustración 14

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.



Espectroscopia - Ilustración 15

Para determinar la resistencia mecánica del mortero con las cenizas, se fabricaron varias probetas con dimensiones de 4x4x4 centímetros. El autor del TFM expone que la mitad de las probetas fueron curadas en una cámara húmeda a 20°C, la otra mitad fueron curadas en un baño térmico a 40°C. Las probetas curadas a 20°C fueron ensayadas a los 7, 28, 60 y 90 días de curado, mientras que las probetas a 40°C fueron ensayadas a 3, 7, 14 y 28 días de curado.

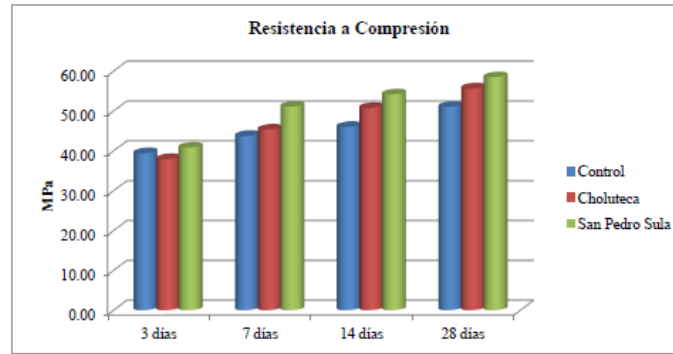
<i>Descripción</i>	<i>Cemento (g)</i>	<i>Cal (g)</i>	<i>Ceniza (g)</i>	<i>Agua (g)</i>	<i>Relación Agua/Conglomerante</i>
Control	10	0	0	5	0.5
Cal / Ceniza	0	3	7	8	0.8
Cem / Ceniza	7.5	0	2.5	5	0.5

Dosificaciones - Ilustración 16

RESISTENCIA A COMPRESIÓN (MPa)				
<i>Descripción</i>	<i>3 días</i>	<i>7 días</i>	<i>14 días</i>	<i>28 días</i>
Control	39.40	43.74	46.01	51.04
Choluteca	37.95	45.35	50.79	55.66
San Pedro Sula	40.83	51.09	54.18	58.49

Resistencia Mecánica de Probetas Curadas a 40 grados Celsius - Ilustración 17

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.



Resistencia Mecánica de Probetas curadas a 40 grados Celsius - Ilustración 18

Para concluir se puede decir partiendo de las condiciones generadas, la participación de las cenizas del bagazo de la caña de azúcar como adición puzolánica en morteros, mejora la resistencia a compresión de las probetas, sin importar la procedencia de las cenizas.

➤ **Antecedente #3**

Revista: Revista Colombiana de Materiales N. 5 pp.13-18

Título del artículo: Estudio comparativo de cenizas de bagazo de caña como adición Puzolánica.

Autores: Diana V. Vidal, Janneth Torres, Ruby Mejía, Luis O. González

Según los autores del artículo, se analizaron dos tipos de ceniza de bagazo de caña, las cuales fueron denominadas como CBC1 y CBC2, las cuales proceden de un ingenio Vallecaucano. Las muestras fueron analizadas a través de las técnicas de Fluorescencia de Rayos X (FRX) y Difracción de Rayos X (DRX); conjuntamente se aplicó la técnica de granulometría láser para comprobar el tamaño medio de partícula.

Con la finalidad de organizar las muestras, fue necesario pasar por un proceso de tamizado y lavado, con el fin de homogenizar las Cenizas del Bagazo de la Caña. Mediante la técnica de fluorescencia de Rayos X, se pudo obtener la composición química del material.

Características (%)	CBC1	CBC2
SiO ₂	72,8	61,3
Al ₂ O ₃	6,4	5,6
Fe ₂ O ₃	5,5	5,6
CaO	3,8	3,9
MgO	2,3	3,2
K ₂ O	2,7	5,0
Na ₂ O	1,2	0,9
Pérdidas por ignición	3,7	11
Tamaño de partícula (µm)	79,8	41,5

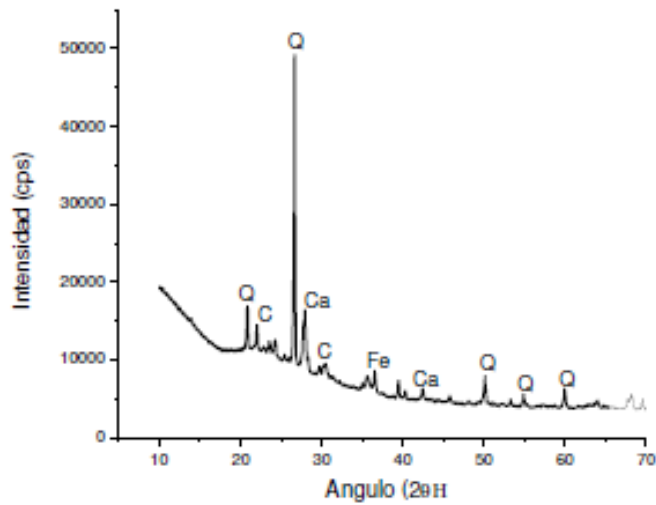
Características de las cenizas estudiadas - Ilustración 19

Mediante la Difracción de Rayos X, se determinó la composición mineralógica. En los gráficos se puede observar que ambas cenizas reflejan características amorfas, ya que

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

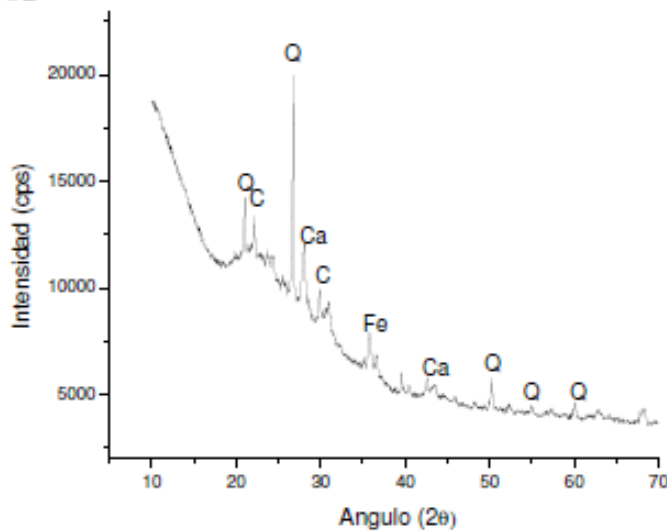
el levantamiento de la línea base entre 15 y 35. Se puede apreciar la presencia de Cristobalina y Cuarzo, este último se identifica como la fase cristalina.

a. CBC1



Difractogramas de Rayos X. Q: Cuarzo, C: Cristobalita, Ca: Calcita, Fe: Fe2O3 - Ilustración 20

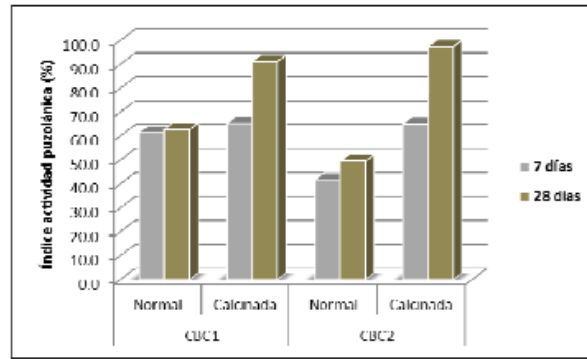
b. CBC2



Difractogramas de Rayos X. Q: Cuarzo, C: Cristobalita, Ca: Calcita, Fe: Fe2O3 - Ilustración 21

Con respecto a la actividad puzolánica de los residuos, se evaluó mediante las pruebas de resistencias a compresión, según la norma ASTM C311. En los gráficos se muestran los resultados arrojados para 7 y 28 días de curado. Partiendo que el índice mínimo de IAP por parte de la norma anteriormente mencionada es de un 75% a los 28 días de curado.

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.



Actividad Pozzolánica de las CBC para 7 y 28 días. - Ilustración 22

Conclusiones por parte de los autores:

Los resultados obtenidos en el presente estudio resaltan la importancia de un adecuado control de calidad de los residuos previo a su utilización como materiales de adición en el cemento; especialmente el control del proceso de combustión para reducir el nivel de inquemados y el tamaño de partícula.

Los índices de actividad pozzolánica de los dos tipos de CBC utilizados en el presente estudio, luego de un tratamiento térmico a 700°C para reducir el nivel de inquemados, fue superior al 91%, superando lo especificado en la Norma ASTM C618 para materiales muestra el potencial aprovechamiento de este tipo de materiales.

Es importante la ejecución de un estudio que determine los porcentajes óptimos de adición y la influencia de este en las propiedades de desempeño del material cementicio.

1.7 Conclusión

Como se ha podido comprobar y apreciar en los resultados de los antecedentes previamente analizados, las cenizas del bagazo de la caña contienen elementos en su composición química, similares a los conglomerantes actualmente utilizados en las construcciones, como lo son la cal y el cemento, haciendo que sea posible que dicho residuo pueda reaccionar químicamente con ellos.

A esta reacción se le llama reacción pozzolánica, la cual genera mejora en las prestaciones del hormigón, como el aumento de durabilidad, mayor resistencia a la humedad y mejores resistencias mecánicas.

2. DESARROLLO DEL PLAN EXPERIMENTAL

2.1.1 Definición de la Campaña Experimental

En la presente campaña se pretende analizar un sub producto agrícola (cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar) con la finalidad de estudiar su posible reacción pozzolánica, frente a su combinación con conglomerantes como la cal y el cemento; a los cuales se le añadirá un superplastificante para la

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

reducción de agua en la mezcla. Así como también poder estudiar la posibilidad de transpiración de dicho material, mediante la utilización de aditivos de expansión (Polvo de aluminio).

Dentro de los ensayos de caracterización podemos mencionar:

- Difracción de Rayos X
- Microscopia Electrónica

Ensayos para determinar la reacción puzolánica y la capacidad de transpiración por parte de las probetas:

- Análisis termogravimétrico
- Módulo de Young por impacto (MOE long y MOE flex)
- Absorción por capilaridad
- Resistencia a flexión
- Resistencia a compresión
- Densidad aparente, relativa y porosidad

Para realizar los ensayos previamente mencionados, se fabricarán 3 probetas por dosificación, las cuales serán ensayadas a diferentes edades (7, 14, 21, 28, 35 y 60 días).

2.1.2 Plan de Trabajo

El presente trabajo experimental se realizó en el laboratorio de materiales de la EPSEB a finales del mes de septiembre, iniciando con el cuarteo de las cenizas y finalizo a mediados de enero del 2018 con la realización de los ensayos previamente mencionados.

Primera fase

- Caracterización de los áridos
- Caracterización y cuarteo de las cenizas
- Caracterización de la cal + cenizas

Segunda fase

En la presente fase se elaboraron y ensayaron las probetas, la cual tuvo una duración de tres meses y 15 días aproximadamente. Los ensayos se realizaban a medida que las probetas iban alcanzando las edades previstas para sus ensayos; dentro de los ensayos realizados se pueden mencionar los siguientes en el orden correspondiente:

- MOE por impacto
- Prueba de absorción por capilaridad
- Resistencia flexión
- Resistencia a compresión
- Porosidad

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

2.2 Equipos y Procedimientos Experimentales

2.2.1 Procedimientos para la obtención de las cenizas

Para obtener las cenizas fue necesario ir por ellas al ingenio azucarero de San Pedro de Macorís, las cuales fueron retiradas del fondo del horno donde se incinera el bagazo de la caña con la finalidad de obtener producir energía eléctrica. Estas fueron enfriadas mediante un rocío de agua.



*Proceso de obtención de las cenizas - Ilustración 23
(MA-TAY PINEL, 2014)*

2.2.2 Difracción de Rayos X (DRX)

La difracción de rayos X se encarga de analizar la estructura cristalina a través de la desviación de un haz primario o monocromático de rayos X una vez entre en contacto con una muestra. Los ángulos de desviación están íntimamente ligados con la distancia entre los planos de la red cristalina del material. La espectroscopía de Rayos X, al igual que la espectroscopía óptica, se basa en la medida de la emisión, absorción, dispersión, fluorescencia y difracción de la radiación electromagnética. Estas medidas dan una información muy útil sobre la composición y la estructura de la materia. (MA-TAY PINEL, 2014)

El método de rayos X de polvo se basa en el hecho que cada sustancia cristalina da una única figura de difracción. Así, si se puede encontrar un ajuste exacto entre la figura de difracción de una muestra desconocida y el patrón de difracción de una sustancia conocida, para poder asumir su identidad química y mineralógica. (MA-TAY PINEL, 2014)

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

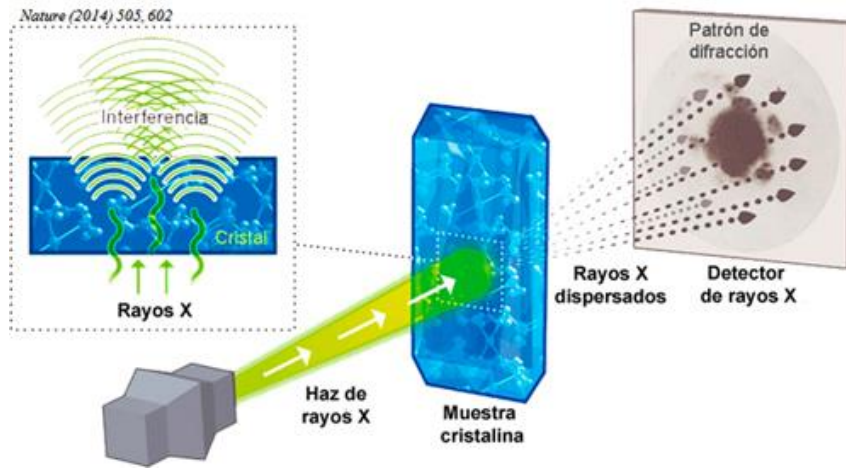


Diagrama de difracción - Ilustración 24

Fuente: <http://www.xtal.iafr.csic.es/Cristalografia/cascara.html>

La preparación previa de las cenizas para la realización del análisis, el cual consiste en moler las partículas en un instrumento llamado mortero de ágata.



Mortero de Ágata - Ilustración 25

Fuente: elaboración propia

El equipo utilizado para la realización de esta prueba fue el difractómetro de polvo PANalytical X'Pert PRO MPD Alpha1 en geometría Bragg-Brentano $\theta/2\theta$ de 240 milímetros de radio.



Difractómetro- Ilustración 26

<http://webs.ucm.es/centros/webs/cai5084/index.php?tp=Difracci%F3n%20de%20Polvo&a=dir3&d=23115.php>

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

2.2.3 Análisis Termogravimétrico (TG)

Este ensayo consiste en estudiar la variación que puede sufrir la masa de un material con variaciones de temperatura. Se va registrando de manera continua las variaciones que altera la masa de un muestrario situado en un ambiente controlado, en función del tiempo y la temperatura. Se puede decir que el porcentaje de la masa en función del tiempo se llama termograma o curva de descomposición térmica. (MA-TAY PINEL, 2014)

Con relación a la mezcla Cal – Puzolana, permite comprobar la pérdida de masa frente a la deshidratación. Según Daniel Ernesto Ma-tay Pinel en su tesis de máster “Valorización de cenizas de bagazo procedente de Honduras” las reacciones de deshidratación que normalmente se observan son las siguientes: (MA-TAY PINEL, 2014)

- $\text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$
- $\text{SCH} \rightarrow \text{SC} + \text{H}_2\text{O}$ * SCH: silicato cálcico hidratado
- $\text{ACH} \rightarrow \text{AC} + \text{H}_2\text{O}$ * ACH: aluminato cálcico hidratado
- $\text{SACH} \rightarrow \text{SAC} + \text{H}_2\text{O}$ * SACH: silicoaluminato cálcico hidratado

2.2.4 Microscopía Electrónica

El ensayo de microscopía electrónica nos permite caracterizar un material, en el cual se emplea un haz de electrones de elevada energía para que interactúe con la muestra. Mostrando de esta manera la agrupación de los átomos, así como también la forma de los cristales. (Universidad de Malaga, 2005)

La microscopía electrónica nos permite determinar los minerales de una muestra, así como reflejar resultados semi cuantitativos con relación a la composición química de los elementos de una muestra de un material, así como también poder determinar la densidad de dichos minerales. (Universidad de Malaga, 2005)

2.2.5 Dosificación

A continuación, se presentan las diferentes dosificaciones realizadas, con la finalidad de poder comprobar la trabajabilidad de las mezclas.

Dentro de los materiales utilizados están:

- Cal (Hidráulica NHL 3.5 – Aérea CL 90).
- Cemento blanco.
- Cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.
- Árido.
- Superplastificante (Fluidificante).
- Aditivo de expansión (Polvo de aluminio).

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

Muestras	Conglomerante	gr	%	Cenizas / gr	%	Arena / gr	%	Agua / gr	%	Super Plastificante / gr	%	Aditivo Expansor / gr	%
1AH	Hidráulica	1	14	1	14,3	3	43	2	28,6				
1BH	Hidráulica	1	17	0,5	8,33	3,5	58	1	16,7				
2AA	Aérea	1	18	0,4	7,14	2,4	43	1,8	32,1				
2BA	Aérea	1	20	0,4	8	2,4	48	1,2	24				
2CA	Aérea	1	19	0,4	7,69	2,4	46	1,4	29,9				
1CH	Hidráulica	1	38	0,2	7,69	1,2	46	0,2	7,69				
1DH	Hidráulica	1	32	0,3	9,68	0,9	29	0,9	29				
1BH+CZ	Hidráulica	1	15	1	15	3,5	54	1	15				
M2H1	Hidráulica	1	9,3	1	9,3	6	56	2,75	25,6				
M2H2	Hidráulica	1	13	0,5	6,5	4,5	58	1,75	22,6				
M2H3	Hidráulica	1	16	0,5	7,8	3,5	55	1,37	21,5				
M2H4	Hidráulica	1	14	1	14	3	41	2,25	31				
M2H5	Hidráulica	1	16	-	0	3	48	2,25	36				
M2A1	Aérea	1	8,3	2	17	4,8	40	4,2	35				
M2A2	Aérea	1	11	1	11	3,6	40	3,36	37,5				
M3H2	Hidráulica	1:	15,7	0,5:	7,85	4,5:	70,64	1,37:	21,5				
M3H5	Hidráulica	1:	21,3	-	0	3:	63,83	0,7:	14,9				
M3H1	Hidráulica	1:	10	1:	10	6:	60	2:	20				
M3H3	Hidráulica	1:	16,4	0,5:	8,2	3,5:	57,38	1,1:	18				
M3H4	Hidráulica	1:	14,8	1:	14,8	3:	44,44	1,75:	25,9				
M4C3	Cemento B.	1:	16	0,5:	8,2	3,5:	57,4	1,1:	18				
M4C4	Cemento B.	1:	15	1:	15	3:	44,4	1,75:	25,9				
M4C5	Cemento B.	1:	21	-	0	3:	63,8	0,7:	14,9				
M5H1	Hidráulica	1:	20	1:	20	2:	39,2	1:	20	0,1:	2		
M5H2	Hidráulica	1:	21	0,5:	10	2,5:	52,1	0,7:	15	0,1:	2,1		
M6H1	Hidráulica	1:	19,2	1:	19,6	2:	39,2	1:	19,6	0,1:	1,96	0,0012:	0,023
M6H2	Hidráulica	1:	20,83	0,5:	10,42	2,5:	52,08	0,7:	14,58	0,1:	2,08	0,0012:	0,025
M6C3	Cemento B.	1:	19,2	1:	19,6	2:	39,2	1:	19,6	0,1:	1,96	0,0012:	0,023
M6C4	Cemento B.	1:	20,83	0,5:	10,42	2,5:	52,08	0,7:	14,58	0,1:	2,08	0,0012:	0,025
M6HC5	Cemento / Cal	1	20,6	0,5:	10,3	2,5:	51,54	0,7:	14,43	0,1:	2	0,0012:	0,025
M6HC6	Cemento / Cal	1	25	-	0	2,5:	62,48	0,4:	10	0,1:	2,5	0,0012:	0,03

Dosificaciones, primera Campaña - Tabla 2

Nota: "las celdas que se presentan en color gris en la tabla son la relación de masas de los materiales."

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

Grafico ternario para dosificaciones

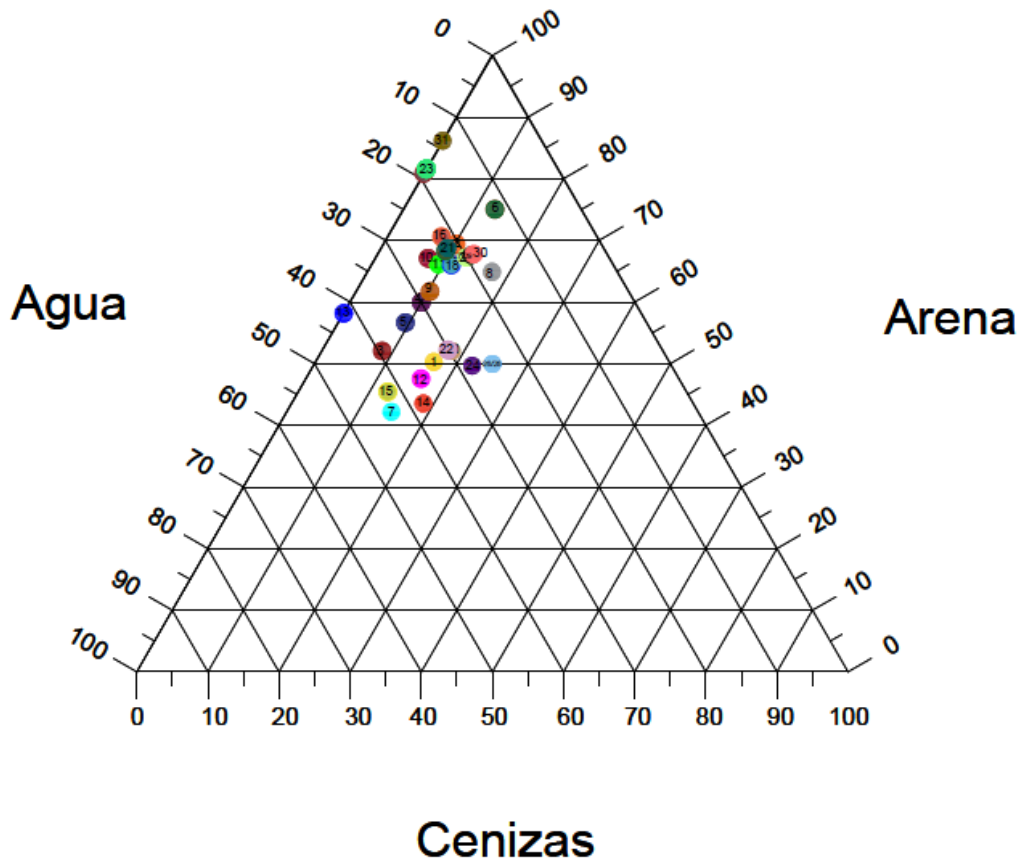


Diagrama Ternario para dosificaciones - Grafica 1

Leyenda

1	1AH	11	M2H3	21	M4C3
2	1HB	12	M2H4	22	M4C4
3	2AA	13	M2H5	23	M4C5
4	2BA	14	M2A1	24	M5H1
5	2CA	15	M2A2	25	M5H2
6	1CH	16	M3H2	26	M6H1
7	1DH	17	M3H5	27	M6H2
8	1BH+CZ	18	M3H1	28	M6C3
9	M2H1	19	M3H3	29	M6C4
10	M2H2	20	M3H4	30	M6HC5
				31	M6HC6

Leyenda grafico ternario - Tabla 3

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

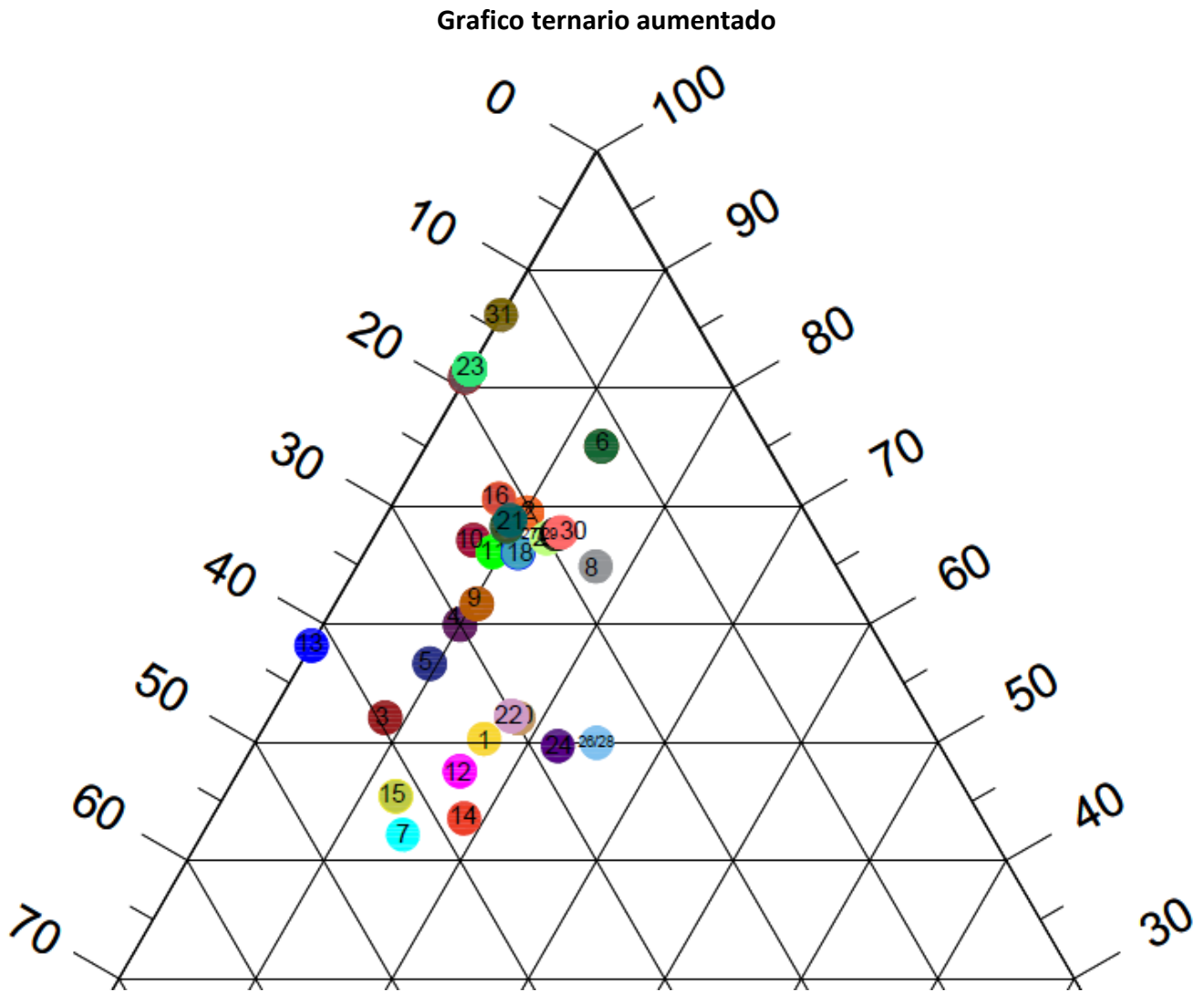


Diagrama Ternario para dosificaciones (Zoom)- Grafica 2

2.2.6 Metodología de Ensayos

2.2.6.1 Descripción general

En las siguientes campañas de ensayos se ensayarán probetas de mortero de cal y mortero de cemento con cenizas de la quema del bagazo de la caña, áridos y el agua correspondiente. Todos los ejemplares serán probados a las edades de 7, 14, 21, 28 y 60 días, con la finalidad de conocer las resistencias mecánicas a diferentes edades y demás prestaciones. De esta manera se podrá obtener una visión más amplia del desarrollo que las probetas presentan en la línea del tiempo con respecto al aumento o reducción de dichas resistencias.

El orden que el proceso seguirá con respecto a los ensayos es el siguiente; ensayos de consistencia de la pasta, para garantizar una dosificación ideal. Una vez ya elegida la consistencia se procederá a la fabricación de las probetas. Las mismas se ensayarán primero con la prueba del módulo de Young o módulo de elasticidad por ultrasonido,

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

según la norma UNE-EN ISO 12680-1. Luego la prueba de absorción por capilaridad, ensayos a flexión, que por lo general el ejemplar termina dividido en dos partes, dichos restos se tomaran para ser ensayados a compresión, ya que las dimensiones que demanda el instrumento coinciden con las mitades que genera la prueba de flexión, tal como lo indica la norma UNE-EN 12390. Por último, el ensayo de porosidad.

Se prepararán tres ejemplares de probetas por cada dosificación, con la finalidad de ensayar cada una de ellas en los tiempos pautados, de manera que se realizaran los ensayos no destructivos en primer orden, como lo es el módulo de Young y la prueba de absorción por capilaridad. Luego las destructivas; flexión, compresión y porosidad.

2.2.6.2 Ensayos de consistencia

2.2.6.2.1 Generalidades

El ensayo de consistencia se basa en analizar el estado fresco de la mezcla, tanto para morteros como a hormigones, con la finalidad de poder determinar la plasticidad o la fluidez de este. Dentro de los datos más importantes que nos puede arrojar el hacer este tipo de ensayos es que, la consistencia de la mezcla puede influir de manera directa en el comportamiento del material, en algunos campos como la cohesión entre las partículas, la resistencia mecánica, la durabilidad y demás.

Para el presente tema de investigación se realizará el ensayo por mesa de sacudidas, según la norma UNE-EN 1015-,1999.

2.2.6.2.2 Consistencia del mortero - Método por mesa de sacudidas

Este ensayo consiste en colocar la mezcla en molde en forma de cono cilíndrico, sobre una mesa de sacudidas. Una vez llenado el molde, se desmolda para realizar 1 sac/seg, el cual funciona girando una manivela que va dejando caer la mesa libremente desde una altura ya determinada. El resultado final se obtiene de tomar la medida del diámetro que alcanzo la mezcla, lo que determina la consistencia de esta.

Procedimiento (UNE-EN 1015-3, 1999):

- Se coloca el molde troncocónico en el centro del disco de la mesa de sacudidas; se introduce en el molde el mortero en dos capas, cada capa se debe compactar por lo menos con diez golpes del pisón.
- Se elimina el exceso de mortero con la regla para enrasar y se limpia la superficie libre del disco.
- Se levanta lenta y verticalmente el molde después de aproximadamente 15 segundos e imprimiéndole 15 sacudidas a la mesa con una frecuencia de 1s por golpe.

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

- Se mide el diámetro del mortero en dos direcciones perpendiculares entre sí con el calibre y se anotan los resultados.
- El resultado final es el valor medio de las dos medidas tomadas.

Instrumentos:

- Una mesa de sacudidas normalizada.
- Un molde troncocónico de acero inoxidable con dimensiones normalizadas.
- Un pisón de sección circular.
- Un calibre capaz de medir diámetro de hasta 300mm con una exactitud de 1mm.
- Una paleta.
- Una regla metálica para enrasar.



*Mesa de sacudidas - Ilustración 27.
Fuente: elaboración propia*

2.2.6.3 Procedimientos y equipos para elaboración de probetas de mortero

La elaboración o preparación de las mezclas de las probetas de cal + Cenizas y Cemento + Cenizas se realizaron de manera manual.

Para controlar la relación de la dosificación con respecto a las especificaciones necesarias, se pesaba cada ingrediente de manera individual en una balanza. Primero se hacía con el conglomerante, luego las cenizas, el árido y por último el agua necesaria para garantizar poder obtener la trabajabilidad de la pasta requerida.

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

Conglomerante

Cenizas

Árido

Agua



*Control de los diferentes ingredientes para la preparación de la mezcla - Ilustración 28
Fuente: elaboración propia*

Una vez pesados todos los materiales se procedía a mezclar el conglomerante con el árido y las cenizas, de manera manual, hasta que quedaran bien mezclados.



*Mezcla de las cenizas con el árido y el conglomerante - Ilustración 29
Fuente: elaboración propia*

Una vez obtenida la mezcla por parte de los ingredientes previamente mencionados se procedía a introducir el agua para la preparación de la pasta.

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.



Preparación de la mezcla de mortero - Ilustración 30
Fuente: elaboración propia

Al finalizar el proceso de mezclado de la pasta, se procedía a llenar los moldes Rilem, luego se compactaban al levantar y dejar caer por gravedad varias veces dichos moldes. Según la norma UNE-EN 196-1 estos deben de tener unas dimensiones de 4x4x16 cm, lo equivalente a 256cm³.



Moldes para la preparación de probetas - Ilustración 31
Fuente: elaboración propia

2.2.6.4 Curado

Las probetas fueron almacenadas en el laboratorio de materiales de la EPSEB, el mismo cuenta con una temperatura media de unos 20 grados Celsius, con una humedad relativa de un 30%. Dichas probetas eran desmoldadas a los dos días después de haberlas colocado en los moldes Rilem, las mismas fueron colocadas de manera vertical, con la finalidad de que el aire pueda circular por sus cuatro caras principales.

Las probetas fueron ensayadas a los 7, 14, 21, 28, 35 y 60 días.



Termostato del laboratorio de la EPSEB - Ilustración 32
Fuente: elaboración propia

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.



Almacenaje de probetas - Ilustración 33
Fuente: elaboración propia

2.2.6.5 Características a determinar y descripción de ensayos

2.2.6.5.1 Absorción de Agua por Capilaridad

Este método de ensayo establece los procedimientos para la determinación de la capacidad y la velocidad de succión capilar de agua de los materiales. La capacidad y la velocidad de succión son parámetros asociados con la durabilidad de las estructuras con las que se realiza este material.

El presente ensayo se realizó según las pautas que indica la normativa que regula la absorción capilar de morteros y hormigones endurecidos UNE EN-1015-18.

Se tomaron seis probetas de dosificaciones diferentes, con la finalidad de someterlas a pruebas en este ensayo.

Se toma un envase, el cual es llenado con agua destilada previamente, la cantidad de agua que debe de contener dicho envase es solo hasta cubrir un centímetro de altura con relación a las paredes de este. Luego se introducen las probetas seleccionadas, las cuales se colocan de manera vertical.

Antes de introducir las probetas al envase, estas son pesadas para obtener su peso seco, con la finalidad de ir comparándolo con las diferentes medidas que se van tomando en función del tiempo (1, 4, 9, 16, 25, 36, 49 y 64 minutos), ya que cada cierto tiempo las probetas se van pesando para ir viendo el avance de agua por la red de poros del material.

El peso de cada muestra se hizo con una báscula de sensibilidad de 1g. Luego se procede a calcular el incremento de la masa en kg/m², para luego realizar una recta de regresión, cuya pendiente mostrara el coeficiente de absorción capilar.

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.



Prueba de absorción por capilaridad - Ilustración 34
Fuente: elaboración propia



Probetas al finalizar la prueba de absorción por capilaridad - Ilustración 35
Fuente: elaboración propia

2.2.6.5.1 Módulo de Young dinámico: método por impacto (MOE imp)

El módulo de elasticidad o módulo de Young se caracteriza por determinar los cambios de longitud que presentan los materiales cuando están bajo fuerzas de tensión, tracción o compresión.

Para la realización de este ensayo se utilizaron los siguientes instrumentos:

- Balanza con una precisión de 0,01 g.
- Pie de rey con una precisión de 0,01mm.
- Elemento de soporte hecho de poliestireno extrusionado de densidad 35kg/m^3 , en forma de prisma triangular de 3cms de lado, utilizado para colocar la probeta. Estos aíslan las probetas de las vibraciones externas y según su localización, definen el modo de vibración de las muestras.
- Martillo percutor con punta de madera dura o de acero.
- Elemento de captación de señal (micrófono). Se utilizaron transductores de señal sin contacto para evitar posibles errores de medición causados por las vibraciones parasitas que puedan generarse por pequeños desplazamientos en las probetas. Estos transductores se colocan en los puntos de antinodo a una distancia entre 3 y 10 mm de la superficie de la probeta. (J. R. Rosell, I. R. Cantalapiedra, 2011).

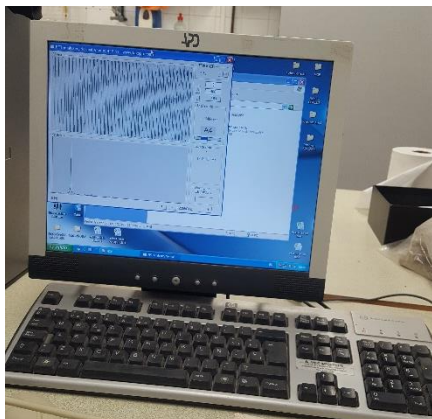
Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

Según los Doctores Rosell J. R.; Cantalapiedra I. R. profesores de la escuela EPSEB de la Universidad Politécnica de Cataluña, existe un método simple para determinar el módulo de Young dinámico (MOE), el cual consiste en hacer ligeras perturbaciones mecánicas a probetas de mortero de cal y de cemento.

Se determino en dicho artículo que la medida del módulo de Young dinámico por excitación de vibración por impacto (MOE) resulta sumamente simple y confiable.

Para poder determinar el módulo de Young es necesario medir el peso de cada probeta, utilizando una balanza de precisión de 0,01 g y las mediciones de su longitud, anchura y espesor mediante un calibrador (tipo pie de rey de precisión 0,01 mm) para así hallar la densidad aparente de cada uno de los tipos de mortero que conforman las probetas mediante una serie de golpes constantes con el martillo percutor, dicho contacto se hace en la parte central de la superficie que queda opuesta al micrófono, dicha frecuencia es captada como impacto longitudinal. Se repite el proceso, pero esta vez en la parte central superior de la probeta, de esta manera se obtiene la frecuencia de resonancia dada por el impacto a flexión. Dicho de otro modo, con la primera serie de golpes previamente mencionado, se puede obtener el MOE long y con el segundo el MOE flex.

Las frecuencias son procesadas por el software FFT Analyser. Mediante los datos en Hz de longitud de onda se puede obtener la velocidad de pulsación. Estos datos más la densidad y el coeficiente de Poisson de 0.16 se puede calcular el MOE long. Dicha formula la da la normativa UNE-EN- 12680-1



Equipo para determinar MOE por impacto - Ilustración 36
Fuente: elaboración propia



2.2.6.5.3 Ensayos a flexión

La resistencia a flexión es una medida de la resistencia a la falla por momento de los elementos estructurales en el que predomina su dimensión longitudinal tal como es el caso de las vigas, o bien en elementos de superficie, donde una dimensión con respecto a las demás es considerablemente menor tales como forjados, placas, láminas, etc. (De la Rosa Ortiz, 2016)

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

A través de los ensayos de resistencia a flexión se puede determinar la resistencia a tracción. (De la Rosa Ortiz, 2016)

Para este ensayo utilizamos la norma UNE-EN 12390-5 para hormigones y UNE-EN 1015 para morteros, en el que se procede a someter una probeta prismática a un momento flector mediante la aplicación de una carga en su punto medio a través de rodillos superiores e inferiores. La carga máxima alcanzada hasta su rotura será registrada por la máquina y este dato en conjunto con la distancia entre los apoyos y las dimensiones laterales de la sección nos proporcionará la resistencia a flexión del elemento. (De la Rosa Ortiz, 2016)



Equipo para ensayos a flexión - Ilustración 37

Fuente: elaboración propia

Fórmula para determinar la resistencia a flexión:

$$f_{cf} = \frac{3xFxl}{2xd_1x d_2^2}$$

Donde:

Fef	resistencia a flexión en MPa (N/mm ²)
F	carga máxima, en N
l	distancia entre los rodillos soportes, en mm
d1 y d2	dimensiones laterales de la sección, en mm

2.2.6.5.4 Ensayo a compresión

La resistencia a compresión es una de las propiedades más fundamentales del hormigón. La misma varía en función del tipo de aglutinante que se utilice, el tipo de árido, así como también influye la cantidad de agua en la mezcla y el proceso de fraguado.

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

Para obtener el valor de la resistencia a compresión se calcula a partir de la carga de rotura, la cual se divide por el área de la sección. Las unidades de medidas utilizadas son N/mm² o en Mega Pascales (MPa)

Las probetas una vez son ensayadas a flexión, generan 2 muestras por probeta, que como se explica previamente, pasan a ser ensayas a compresión.



Equipo para ensayo a compresión - Ilustración 38
Fuente propia

2.2.6.5.5 Carbonatación

La carbonatación es la reacción química que ocurre en el interior del hormigón cuando el CO₂ del medio ambiente circula por los poros del material hasta alcanzar la parte interior, lo que provoca que el hidróxido cálcico con alto pH pase a ser carbonato cálcico, el cual contiene un pH más neutro. En pocas palabras la carbonatación prácticamente le disminuye la protección que tienen los aglutinantes como el cemento y la cal para evitar la corrosión de las estructuras ante cualquier agente externo. Dicho esto, cualquier agente externo como la humedad puede atacar las estructuras sin ninguna barrera que se lo imponga.

Los hormigones de cal y cemento, así como los morteros necesitan de este proceso para fraguar o endurecer. Dicho endurecimiento ocurre en un principio por el proceso de pérdida de agua que va ocurriendo en el material, pero ese endurecimiento es solo superficial, ya que la resistencia final se la da la carbonatación, que suele ocurrir de manera más lenta, el cual empieza en las superficies hasta llegar al interior de la masa.

Hay un método artificial para acelerar la carbonatación, el cual consiste en introducir las probetas en autoclave, al cual se le va inyectando CO₂ a presión, de manera que dicho

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

CO₂ penetra los poros del material a altas velocidades, consiguiendo que las probetas consigan su máxima resistencia en un periodo de 24 horas aproximadamente.

Cabe resaltar que, para las probetas con cenizas, este proceso acelerado no aumenta la resistencia de las muestras con respecto al residuo del bagazo de la caña, ya que los aglutinantes como la cal y el cemento en vez de reaccionar con las cenizas, reaccionan con el CO₂ inyectado de manera acelerada, por lo que las cenizas pasan a trabajar como parte del árido de la mezcla, y no como aglutinante. Esto pasa porque para que las cenizas puedan reaccionar con los aglutinantes, necesitan reacción puzolánica, carbonatando de manera natural.



*Instrumentos para la carbonatación acelerada - Ilustración 39
Fuente: elaboración propia*

2.2.6.5.6 Densidad Aparente, Relativa y Porosidad

Se puede definir la densidad como la relación que existe entre la masa y el volumen que ocupa un cuerpo. La porosidad del material es el volumen de cavidades contenidas dentro del material. (Horcajo Guerrero, 2016)

Partiendo de la norma UNE-EN 1015 se puede determinar la densidad relativa, aparente y porosidad del material.

Es de suma importancia obtener los pesos saturados, hidrostáticos y seco de las muestras para poder determinar su densidad y porcentaje de porosidad.

Las muestras son colocadas en una cámara de vidrio, donde se procede a extraer el aire que contienen las redes porosas del material, una vez este proceso culmina luego de unas dos horas, se procede a llenar de agua gota a gota el recipiente que contiene las muestras, una vez terminada esta etapa, permanecen durante otras dos horas sumergidas, hasta que la red de poros de las muestras se satura al cien por ciento de agua.

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.



Equipo para la prueba de porosidad - Ilustración 40
Fuente: elaboración propia

Luego se procede a sacar las muestras para tomar su peso saturado, el cual consiste en solo quitar el exceso de agua sobre las superficies para luego pesarlas.



Bascula - Ilustración 41
Fuente: elaboración propia

La misma muestra se vuelve a sumergir bajo agua para tomar su peso hidrostático, el cual se hace utilizando un soporte sumergido que mantenga la pieza sumergida sin tocar el fondo ni las paredes del contenedor de agua.

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.



Instrumentos para la determinar el peso hidrostático - Ilustración 42
Fuente: elaboración propia

Por último, las muestras se dejan secar en la estufa de desecación por unas 24 horas, con la finalidad de evaporar toda el agua contenida en su red de poros.



Estufa - Ilustración 43
Fuente: elaboración propia

Una vez se tienen todos los valores necesarios con respecto a las muestras ensayadas, se procede a calcular la cantidad de poros en porcentaje de las piezas.

La densidad aparente (ρ_b), expresada en gr/cm^3 , se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$\rho_b = \frac{m_1}{m_3 + m_2} \times \rho_{liq}$$

La porosidad abierta (π_a), expresada como porcentaje en volumen, se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$\pi_a = \frac{m_3 - m_1}{m_3 + m_2} \times 100$$

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

La porosidad total (π_t), expresada en volumen, se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$\pi_t = \frac{\rho_t - \rho_b}{\rho_t} \times 100$$

El contenido de agua (β), expresada como porcentaje de volumen, se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$\beta = \frac{m_3 - m_1}{m_1} \times 100$$

M1 = es la masa en gramos de la probeta seca (peso seco)

M2 = es la masa aparente en gramos de la probeta sumergida

M3 = es la masa en gramos de la probeta embebida (peso saturado)

M4 = Peso hidrostático

2.3 Materias Primas Utilizadas

2.3.1 Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar

Para el desarrollo experimental se utilizaron las cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar del Ingenio Azucarero de San Pedro de Macorís, Republica Dominicana. Dicho ingenio azucarero nos facilitó 25 kilogramos de cenizas aproximadamente.

2.3.2 Cal

Se utilizaron dos tipos de cal, la cal hidráulica (NHL 3.5), y la cal aérea en pasta (CI), las cuales fueron facilitadas por la EPSEB (Escuela Politécnica superior de Edificaciones de Barcelona), de la Universidad Politécnica de Cataluña.



Valor según UNE 459-1

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS (%)	MÍNIMO	MÁXIMO
Agua libre		2,00
SO ₃		3,00
CaO libre	20,00	

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

Valor según UNE 459-1

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MECÁNICAS	MÍNIMO	MÁXIMO
Resistencia a compresión a 28 días (MPa)	3,5	10
Inicio de fraguado (minutos)	60	
Final de fraguado (minutos)		900
Estabilidad (mm)		2
Rechazo a 90 µm (%)		15
Rechazo a 200 µm (%)		5

Ficha técnica de la cal - Ilustración 44

Fuente: <http://www.lafarge.com.es/wps/portal/es/cal-hidraulica-restauracion>

2.3.3 Cemento

Se utilizó cemento blanco Cemex, para la preparación de probetas, facilitada por la Universidad Politécnica de Cataluña.



ESPECIFICACIONES

Especificaciones UNE EN 197-1:2011

Componentes	
Clínker	80 a 90 %
Cenizas volantes silíceas	6 a 20 %
Componentes minoritarios	0 a 5 %
Características químicas	
Sulfato (SO ₃)	≤4,0 %
Cloruros (Cl)	≤0,1 %
Características físicas	
Principio de fraguado	≥60 minutos
Expansión	≤10 mm
Resistencia a compresión	
2 días	20 MPa
28 días	≥42,5 MPa ≤62,5 MPa

Ficha técnica del cemento - Ilustración 45

Fuente: <http://www.cemex.es/Cementoblanco.aspx>

2.3.4 Agua

Para la preparación de las mezclas de los morteros se utilizó el agua proveniente de la red potable de la ciudad de Barcelona.

2.3.5 Áridos

Los áridos fueron suministrados por la Universidad Politécnica de Cataluña. Dicho árido es la arena estándar CEN, según la normativa UNE-EN 196-1, el cual es de carácter silíceo. El tamaño de los granos se encuentra en el rango entre 0,08 y 2,00 milímetros.

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

2.3.6 Aditivos

2.3.6.1 Superplastificante

Se utilizó el Viscocrete- 5970 como aditivo fluidificante, facilitado por la Universidad Politécnica de Cataluña.

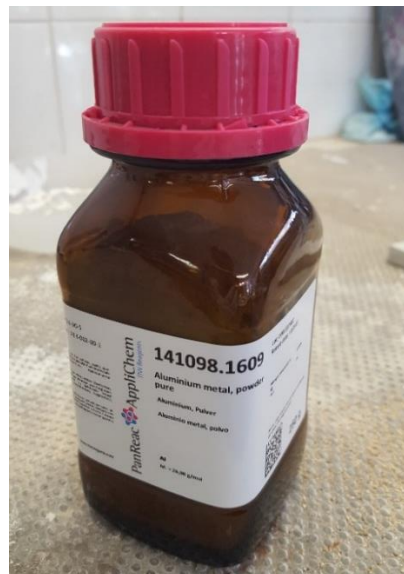


Aditivo Superplastificante - Ilustración 46

Fuente: elaboración propia

2.3.6.2 Polvo de aluminio

Se utilizó el polvo de aluminio de la marca PanReac AppliChem como aditivo de expansión, para aumentar la red porosa del material, facilitado por la Universidad Politécnica de Cataluña.



Aditivo de expansión - Ilustración 47

Fuente: elaboración propia

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

2.4. Resultados

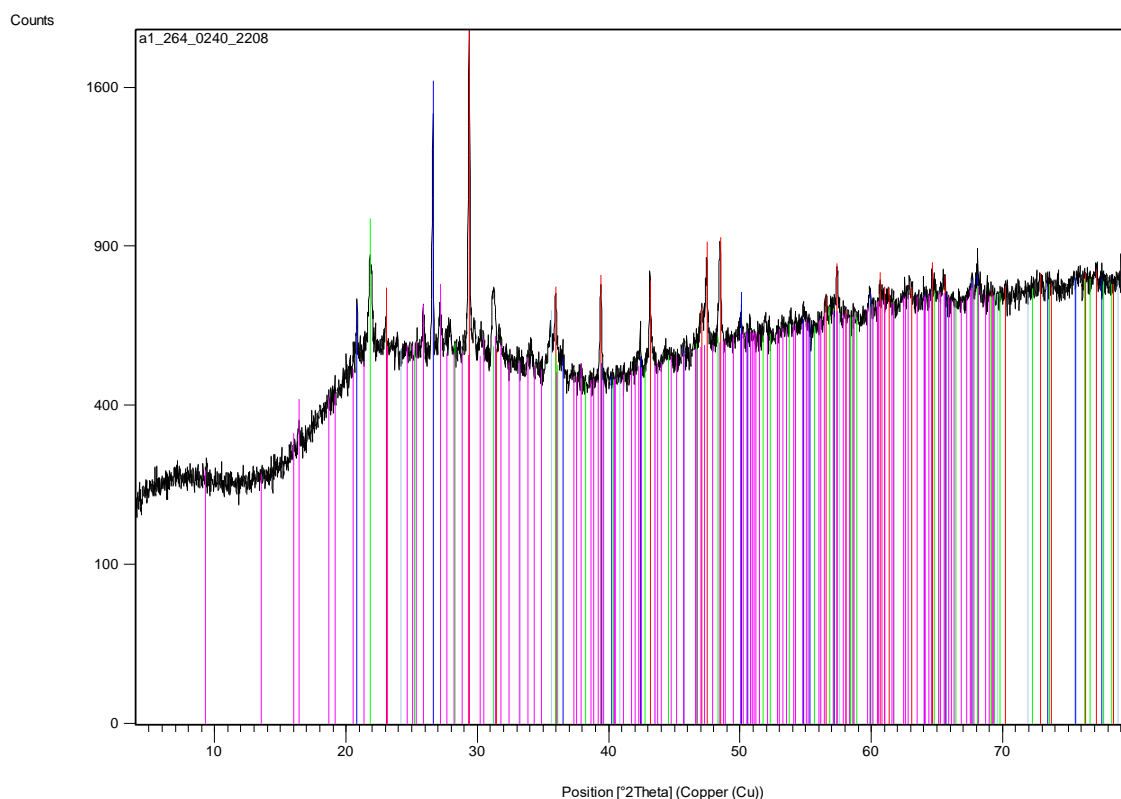
2.4.1 Caracterización Físico Químico

2.4.2.1 Difracción de Rayos X

Para poder determinar la composición mineralógica de las cenizas del bagazo de la caña fue necesario hacer la prueba de difracción de Rayos X.

Dentro de los minerales detectados por el estudio de las cenizas, se pueden apreciar los siguientes minerales:

- El Cuarzo (SiO_2)
- La Calcita (CaCO_3)
- La Cristobalita (SiO_2)
- La Leucita $\text{K}(\text{Si}_2\text{Al})\text{O}_6$



Difractograma de las muestras de ceniza por difracción de rayos X - Ilustración 48

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

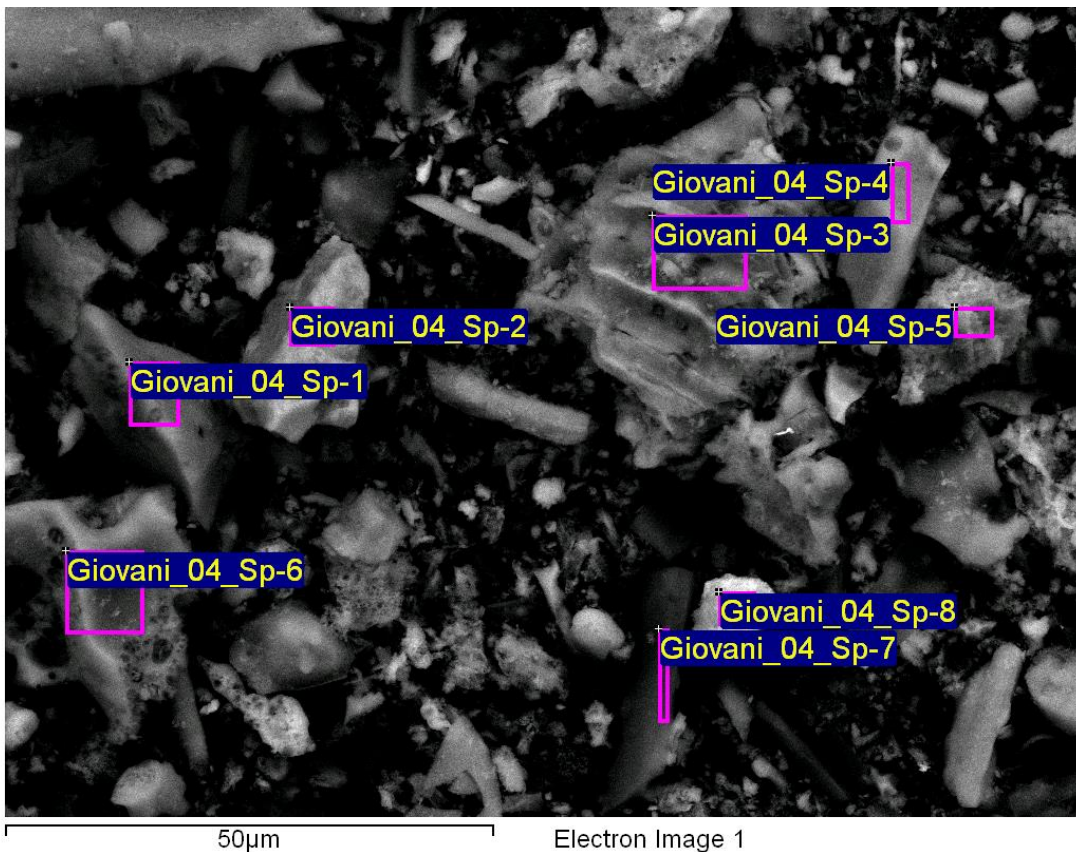
En la presente tabla de graficas se puede apreciar que en la muestra analizada hay mucha materia amorfa, ya que los picos que indican la presencia de los minerales no parten desde cero. Dicha materia amorfa se puede apreciar en las líneas que están por encima de 0 grados, lo que se conoce como ruido de fondo.

Si el material fuera totalmente cristalino solo debería de haber subida en aquellos puntos reales de impacto de cristales, por lo que partirían los picos representativos desde los 0 grados.

Ref. Code	Score	Compound Name	Scale Factor	Chemical Formula
01-086-0174	49	Calcite - synthetic	1,023	Ca (C O3)
01-078-1252	37	Quartz α -alpha, syn	0,57	Si O2
01-076-0938	24	Cristobalite low	0,249	Si O2
01-071-1147	6	Leucite	0,116	K Al Si2 O6

Composición mineralógica de las muestras de ceniza por difracción de rayos X - Tabla 4

2.4.1.2 Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)



Puntos de Análisis microscópicos -Ilustración 49

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

En el presente análisis se realizaron ocho espectros, tal y como se muestra en la imagen, donde están marcados en un recuadro de color rosa cada uno. De tal manera su puede saber la composición de los elementos de los cuales está compuesta la muestra.

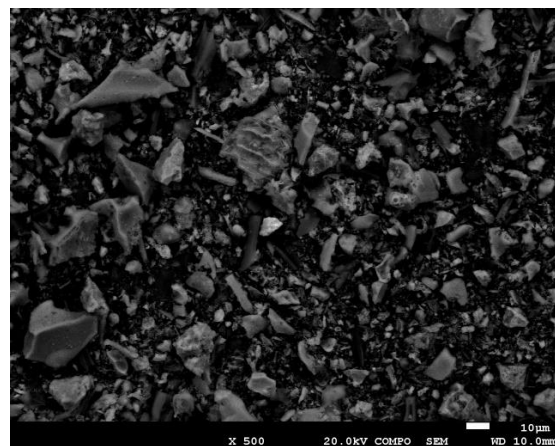
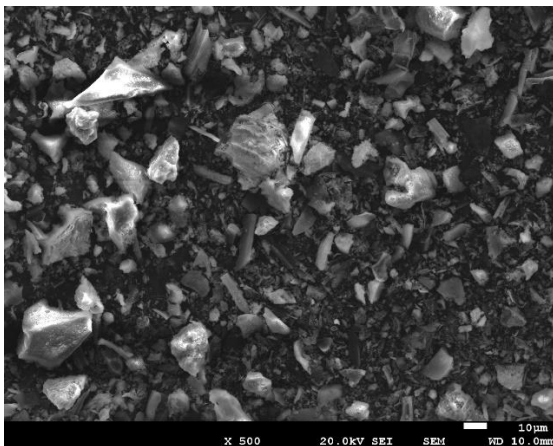
Espectro – Muestras	In stats.	C	O	Na	Mg	Al	Si	P	Cl	K	Ca	Ti	Fe	Total
Giovani_04_Sp-1	Yes	8.93	47.20		0.61	1.17	36.52	0.48		1.62	2.45		1.02	100.00
Giovani_04_Sp-2	Yes	6.63	49.74	0.64	1.77	5.97	16.11	1.12		3.99	10.00	0.29	3.74	100.00
Giovani_04_Sp-3	Yes	6.58	56.07				35.27			1.08	1.00			100.00
Giovani_04_Sp-4	Yes	6.12	57.77		0.33	0.89	31.79			1.38	1.24		0.48	100.00
Giovani_04_Sp-5	Yes	7.61	45.63		0.94	7.57	19.61			4.47	6.85		7.33	100.00
Giovani_04_Sp-6	Yes		54.05		0.79		38.17			2.68	4.31			100.00
Giovani_04_Sp-7	Yes	68.98	25.99		0.53	0.26	1.03		0.76	1.41	0.46		0.59	100.00
Giovani_04_Sp-8	Yes		48.87		0.61	4.91	10.52	0.41		1.48	0.74		32.46	100.00
Max.		68.98	57.77	0.64	1.77	7.57	38.17	1.12	0.76	4.47	10.00	0.29	32.46	
Min.		6.12	25.99	0.64	0.33	0.26	1.03	0.41	0.76	1.08	0.46	0.29	0.48	

Análisis cuantitativo de elementos detectados en las cenizas - Tabla 5

Nota: Todos los resultados en %

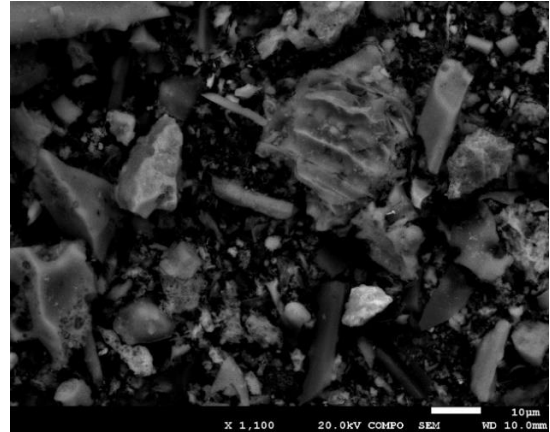
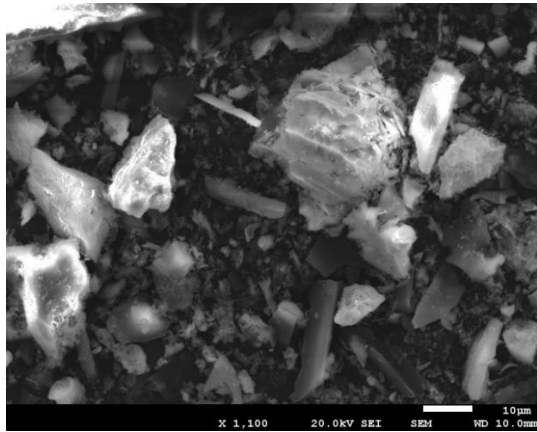
En la presente tabla se puede apreciar que cantidad en porcentaje de elementos existe en cada una de las muestras seleccionadas para saber su composición de elementos.

En las presentes imágenes se puede apreciar el aspecto que tienen los elementos, así como también poder tener una idea granulométrica del tamaño de las partículas. En la columna de la derecha están las imágenes que reflejan el retrodispersado, lo que nos da una idea visual aproximada de la densidad de estas partículas. En varias de ellas se puede apreciar un blanco más intenso que en otras, lo que quiere decir que mientras más intenso es el color de dicha partícula, esta será más densa que otra. En la columna de la izquierda nos muestra el reflejo secundario de los electrones, lo que nos muestra la forma que tienen los elementos.

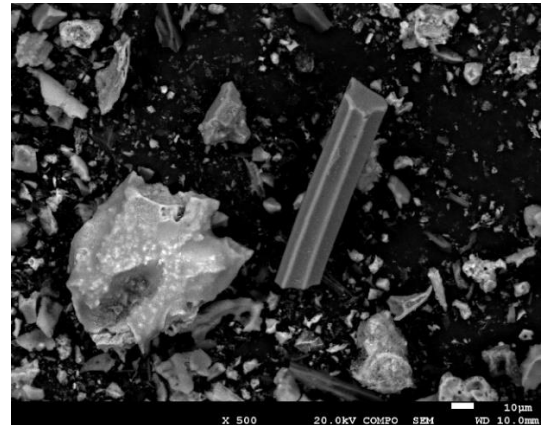
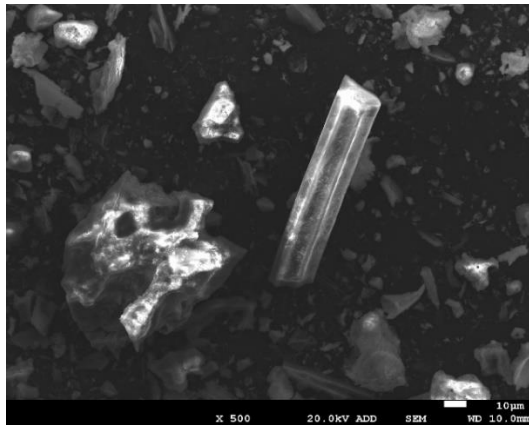


Muestreo de partículas con aumento de x500 - Ilustración 50

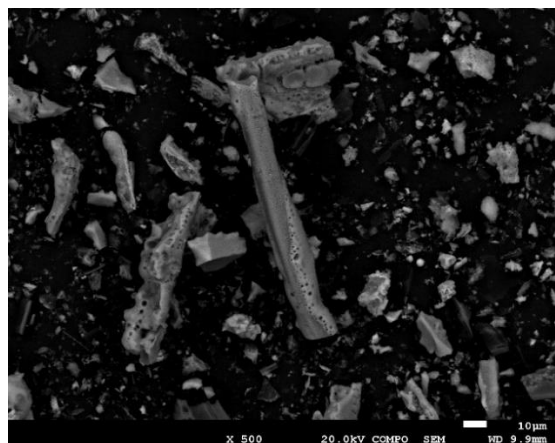
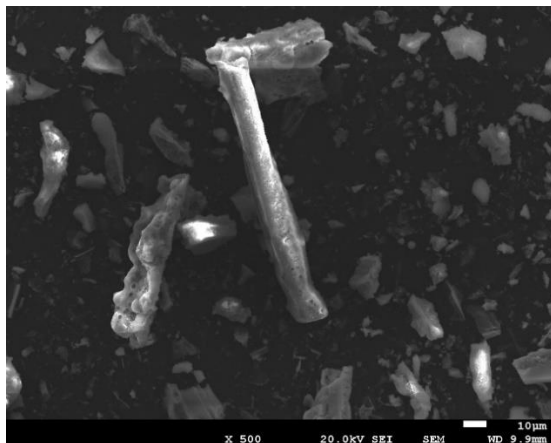
Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.



Muestreo de partículas con aumento de x1100- Ilustración 51

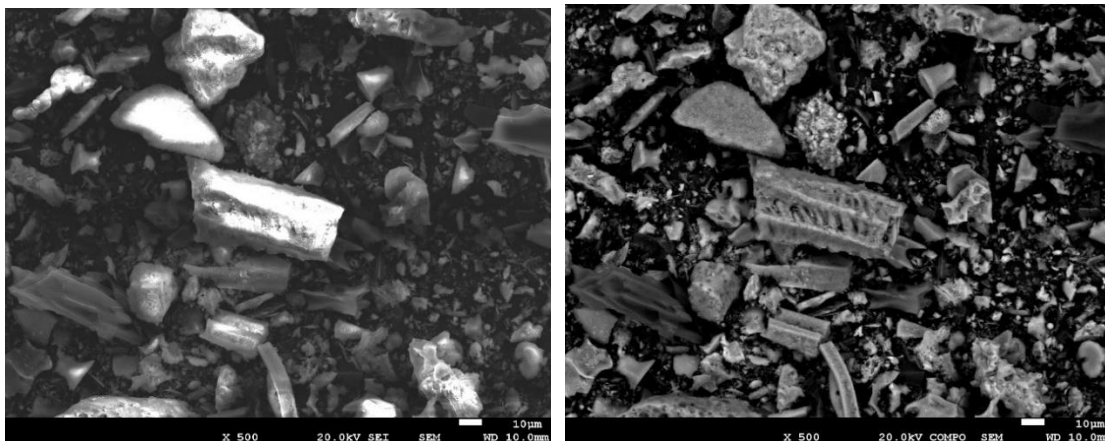


Muestreo de partículas con aumento de x500 - Ilustración 52

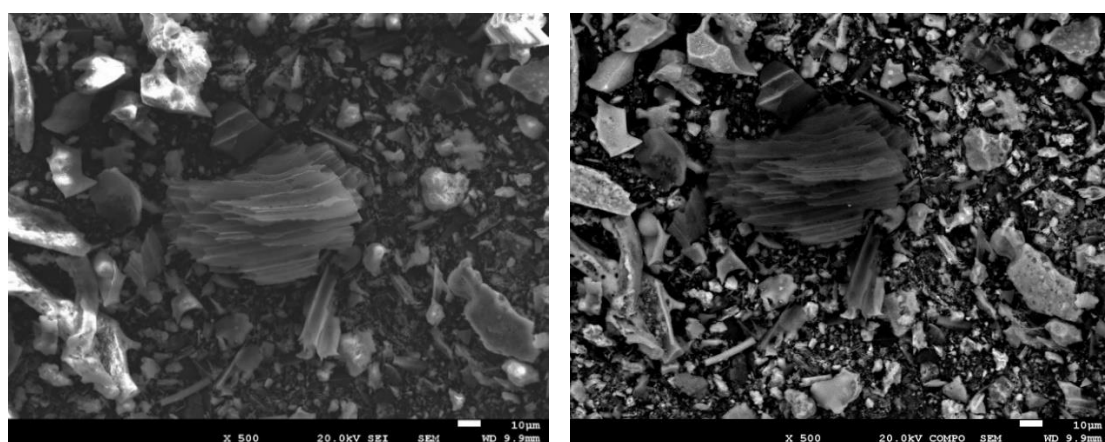


Muestreo de partículas con aumento de x500 - Ilustración 53

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.



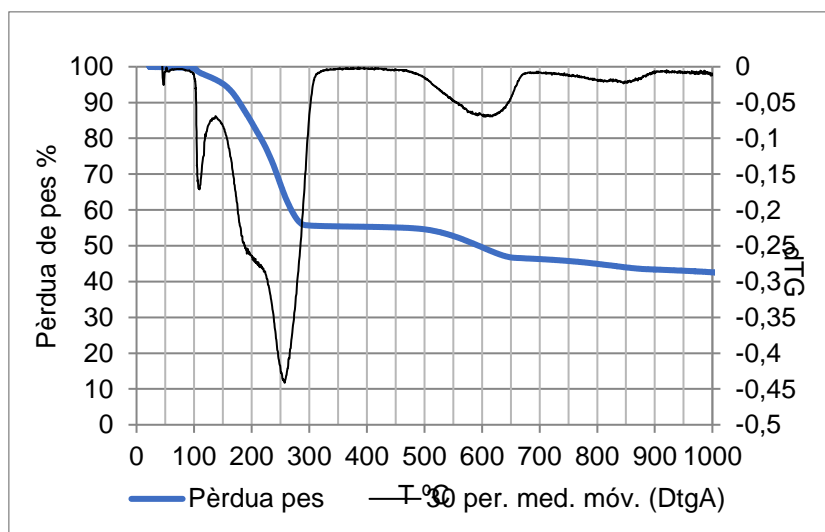
Muestreo de partículas con aumento de x500 - Ilustración 54



Muestreo de partículas con aumento de x500 - Ilustración 55

2.4.2.3 Análisis Termogravimétrico (TG)

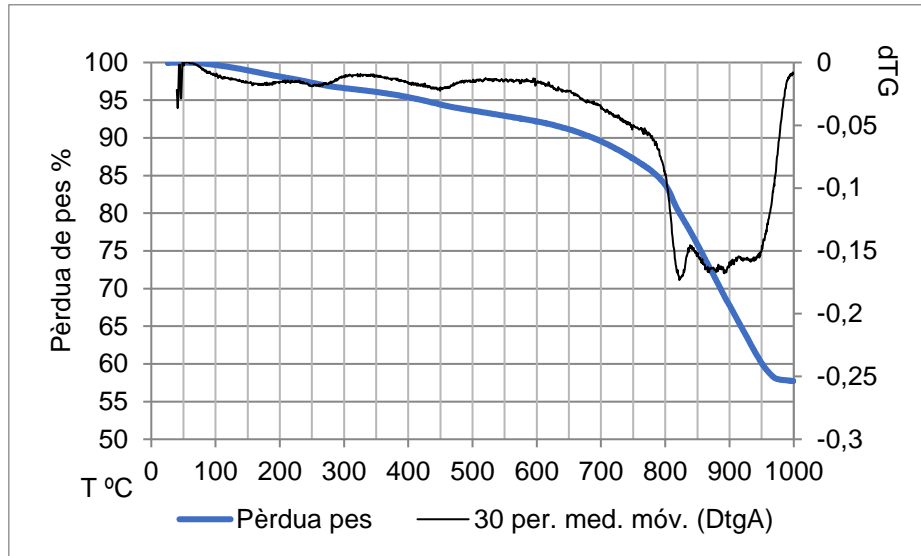
En la presente grafica se puede apreciar la pérdida de masa que la pasta de cal con cenizas del bagazo de la caña de azúcar ha sufrido a los cambios de temperatura en función del tiempo del ensayo.



Análisis termogravimétrico de la pasta de cal y cenizas - Grafica 3

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

En esta grafica se puede ver la pérdida de masa que la pasta de cal ha sufrido a los cambios de temperatura en función del tiempo del ensayo.



Análisis termogravimétrico de la pasta de cal - Grafica 4

2.4.2 Utilización De Ceniza De Bagazo En Probetas

2.4.2.1 Modulo de Young

Se realizaron pruebas del módulo de Young o de elasticidad a cada una de las probetas fabricadas, con la finalidad de determinar el comportamiento elástico de las muestras. El método que se utilizó para determinar el módulo elástico fue el método por impacto, el cual es detallado en apartados previos.

Determinación del MOE por el método de Impacto (MOE imp).

MOE por método de Impacto			
Código de muestra	Edad de muestra	MOE MPa Flex. Cara 1	MOE MPa Longitudinal
1CH	28	2114 MPa	1736 MPa
1B5+CZ	28	1869 MPa	1555 MPa
2AA	28	1116 MPa	1319 MPa
1BH	28	1597 MPa	1333 MPa
2CA	28	1794 MPa	1528 MPa
2BA	28	2060 MPa	1863 MPa
1AH	28	2035 MPa	1569 MPa
1DA	28	3080 MPa	2626 MPa
M2H1	28	960 MPa	836 MPa
M2H2	28	1658 MPa	1289 MPa
M2H3	28	1709 MPa	1309 MPa
M2H4	28	1163 MPa	1016 MPa
M2H5	28	2434 MPa	1888 MPa

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

M2A1	28	1099 MPa	895 MPa
M2A2	28	1026 MPa	887 MPa
M4C3	35	9047 MPa	9759 MPa
M4C4	35	5968 MPa	5719 MPa
M4C5	35	17025 MPa	15500 MPa
M5H1	28	3337 MPa	2792 MPa
M5H2	28	3081 MPa	2647 MPa
M6HC6	28	9507 MPa	9141 MPa
M6C4	28	7776 MPa	7179 MPa
M6HC5	28	7063 MPa	1681 MPa
M6C3	28	5682 MPa	5238 MPa
M6H2	28	3576 MPa	2803 MPa
M6H1	28	2001 MPa	1719 MPa

Determinación del MOE por el método de Impacto (MOE imp) - Tabla 6

2.4.2.2 Resistencia Mecánica

Los presentes resultados se muestran en 6 campañas de fabricación de probetas, ya que la edad de curado varía entre un grupo y otro, además de que cada campaña cuenta con dosificaciones y materiales diferentes, con la finalidad de probar cual o cuales de ellas era la más óptima. El total de campañas realizadas alcanzan una sumatoria final de 114 probetas de mortero de cal y cemento, de 4x4x16 cm.

2.4.2.2.1 Resistencia a Flexión

Primera Campaña de probetas (28/60 días)

Materiales utilizados:

- Cal hidráulica NHL 3.5
- Cal aérea CL 90
- Árido
- Cenizas

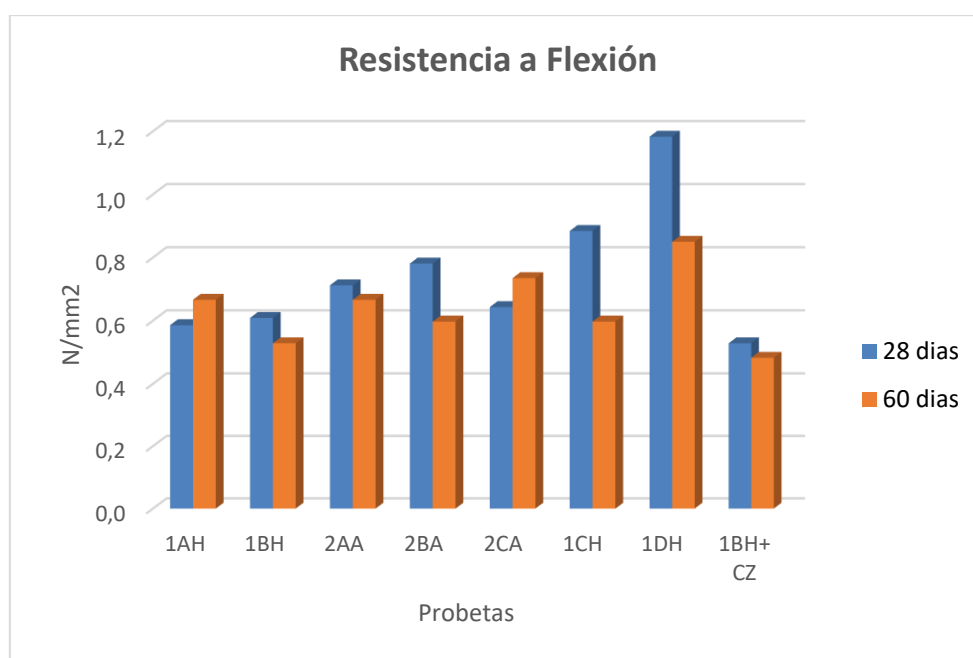
Código	Carga	Carga	Tensión rotura
	kg	N	N/mm ²
1AH	25,5	249,9	0,6
1BH	26,5	259,7	0,6
2AA	31	303,8	0,7
2BA	34	333,2	0,8
2CA	28	274,4	0,6
1CH	38,5	377,3	0,9
1DH	51,5	504,7	1,2
1BH+ CZ	23	225,4	0,5

Resistencia a flexión a 28 días, 1ra campaña - Tabla 7

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

Código	Carga	Carga	Tensión rotura
	kg	N	N/mm ²
1AH	29	284,2	0,7
1BH	23	225,4	0,5
2AA	29	284,2	0,7
2BA	26	254,8	0,6
2CA	32	313,6	0,7
1CH	26	254,8	0,6
1DH	37	362,6	0,8
1BH+ CZ	21	205,8	0,5

Resistencia a flexión a 60 días, 1ra campaña - Tabla 8



Resistencia a flexión - Grafica 5

Segunda Campaña de probetas (7/28 días)

Materiales utilizados:

- Cal hidráulica NHL 3.5
- Cal aérea CL 90
- Árido
- Cenizas

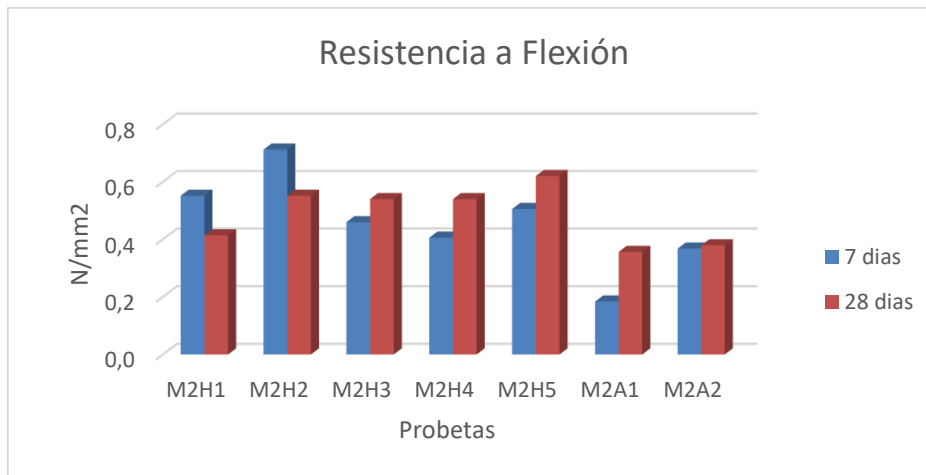
Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

Código	Carga	Carga	Tensión rotura
	kg	N	N/mm ²
M2H1	24	235,2	0,6
M2H2	31	303,8	0,7
M2H3	20	196	0,5
M2H4	17,66	173,068	0,4
M2H5	22	215,6	0,5
M2A1	8	78,4	0,2
M2A2	16	156,8	0,4

Resistencia a flexión a los 7 días, 2da campaña - Tabla 9

Código	Carga	Carga	Tensión rotura
	kg	N	N/mm ²
M2H1	18	176,4	0,4
M2H2	24	235,2	0,6
M2H3	23,5	230,3	0,5
M2H4	23,5	230,3	0,5
M2H5	27	264,6	0,6
M2A1	15,5	151,9	0,4
M2A2	16,5	161,7	0,4

Resistencia a flexión a los 28 días, 2da campaña - Tabla 10



Resistencia a flexión - Grafica 6

Tercera campaña de probetas (7/14 días)

Materiales utilizados:

- Cal hidráulica NHL 3.5
- Árido
- Cenizas

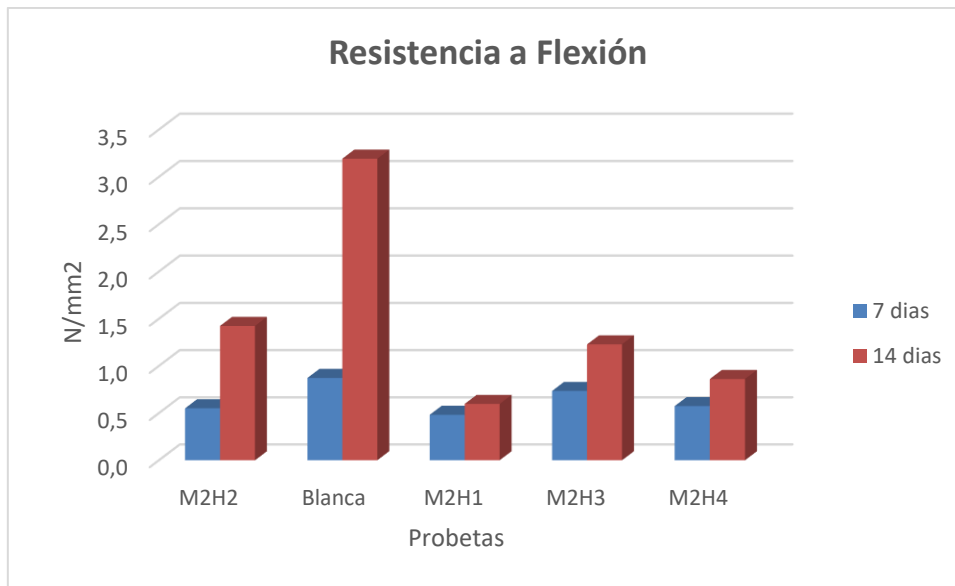
Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

Código	Carga	Carga	Tensión rotura
	kg	N	N/mm ²
M3H2	24	235,2	0,6
Blanca	38	372,4	0,9
M3H1	21	205,8	0,5
M3H3	32	313,6	0,7
M3H4	25	245	0,6

Resistencia a flexión a los 7 días, 3ra campaña - Tabla 11

Código	Carga	Carga	Tensión rotura
	kg	N	N/mm ²
M3H2	62	607,6	1,4
Blanca	139	1362,2	3,2
M3H1	26	254,8	0,6
M3H3	53,5	524,3	1,2
M3H4	37,5	367,5	0,9

Resistencia a flexión a los 14 días, 3ra campaña (Carbonatación acelerada) - Tabla 12



Comparación entre 7 y 14 días - Grafica 7

Cuarta campaña de probetas (7/35 días)

Materiales utilizados:

- Cemento blanco
- Árido
- Cenizas

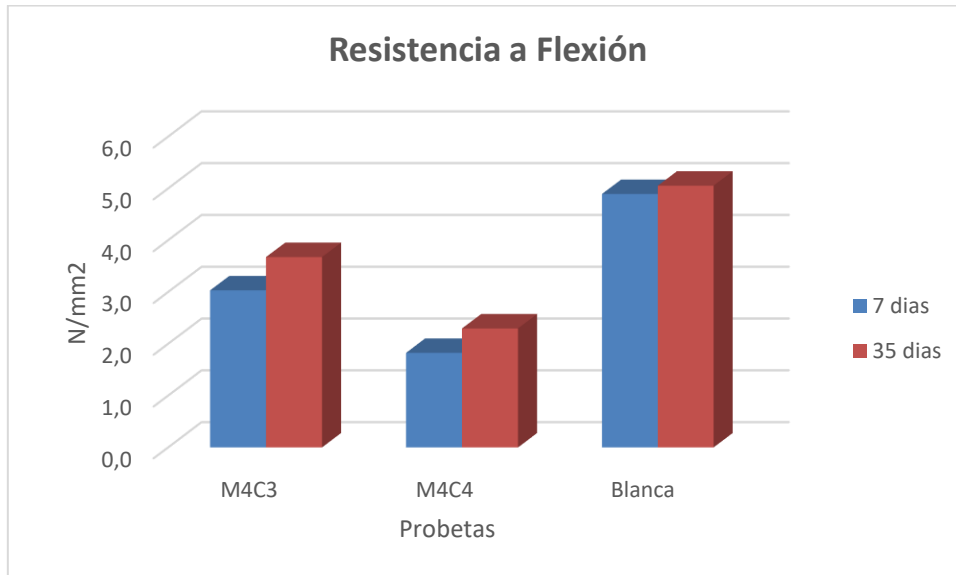
Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

Código	Carga	Carga	Tensión rotura
	kg	N	N/mm ²
M4C3	132	1293,6	3,0
M4C4	79,5	779,1	1,8
Blanca	213	2087,4	4,9

Resistencia a flexión a los 7 días, 4ta campaña (Carbonatación acelerada) - Tabla 13

Código	Carga	Carga	Tensión rotura
	kg	N	N/mm ²
M4C3	160	1568	3,7
M4C4	100	980	2,3
Blanca	220	2156	5,1

Resistencia a flexión a los 35 días, 4ta campaña - Tabla 14



Comparación entre 7 y 35 días - Grafica 8

Quinta campaña de probetas (7/28 días)

Materiales utilizados:

- Cal hidráulica NHL 3.5
- Árido
- Cenizas
- Superplastificante de fluidez

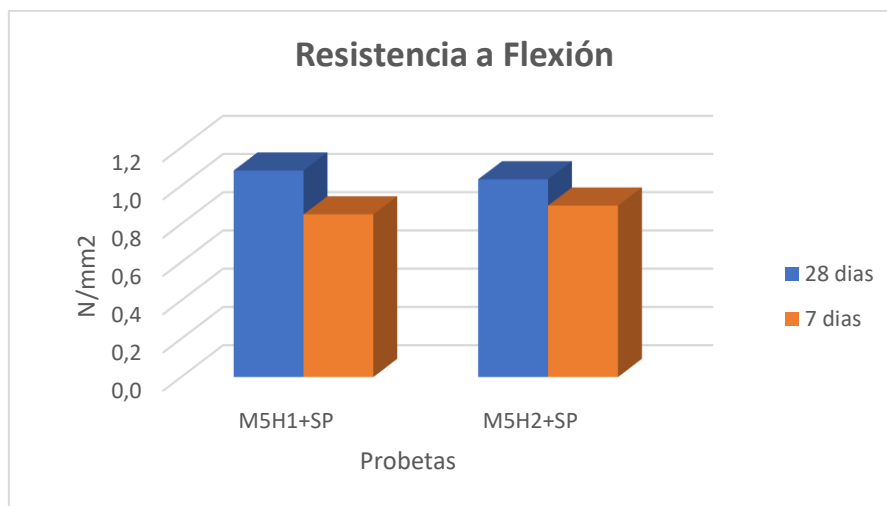
Código	Carga	Carga	Tensión rotura
	kg	N	N/mm ²
M5H1	47	460,6	1,1
M5H2	45	441	1,0

Resistencia a flexión a los 28 días, 5ta campaña - Tabla 15

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

Código	Carga	Carga	Tensión rotura
	kg	N	N/mm ²
M5H1	37	362,6	0,8
M5H2	39	382,2	0,9

Resistencia a flexión a los 7 días, 5ta campaña - Tabla 16



Comparación entre 7 y 28 días - Grafica 9

Sexta campaña de probetas (21 días)

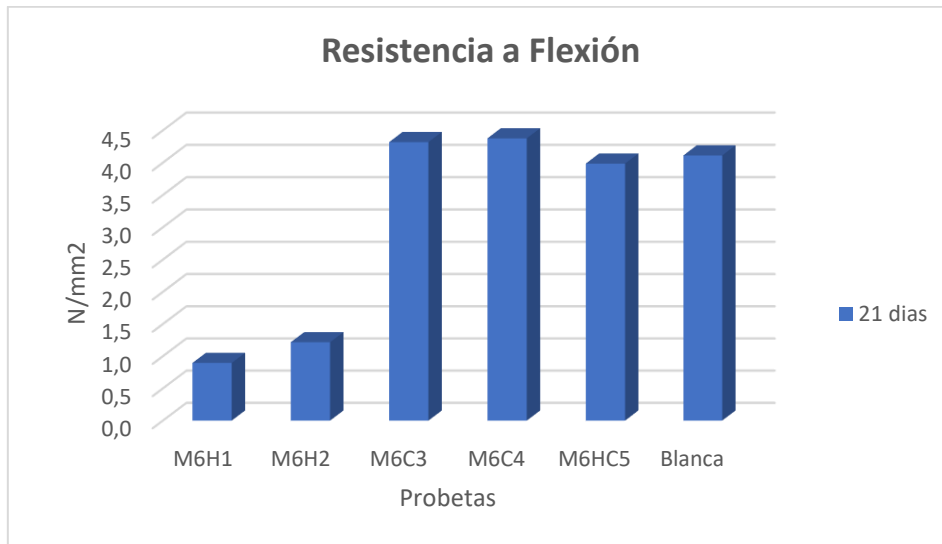
Materiales utilizados:

- Cal hidráulica NHL 3.5
- Cemento blanco
- Árido
- Cenizas
- Superplastificante de fluidez
- Polvo de aluminio

Código	Carga	Carga	Tensión rotura
	kg	N	N/mm ²
M6H1	39	382,2	0,9
M6H2	53	519,4	1,2
M6C3	188	1842,4	4,3
M6C4	190,5	1866,9	4,4
M6HC5	173,5	1700,3	4,0
Blanca	179	1754,2	4,1

Resistencia mecánica a los 21 días - Tabla 17

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.



Resistencia mecánica a los 21 días - Grafica 10

2.4.2.3.1 Resistencia a Compresión

Al igual que en el apartado previo, los resultados se muestran en 6 campañas de fabricación de probetas, ya que la edad de curado varía entre un grupo y otro, además de que cada campaña cuenta con dosificaciones y materiales diferentes, con la finalidad de probar cual o cuales de ellas era la más óptima. El total de campañas realizadas alcanzan una sumatoria final de 114 probetas de mortero de cal y cemento, de 4x4x16 cm.

Primera campaña de probetas (28/60 días)

Materiales utilizados:

- Cal hidráulica NHL 3.5
- Cal aérea CL 90
- Árido
- Cenizas

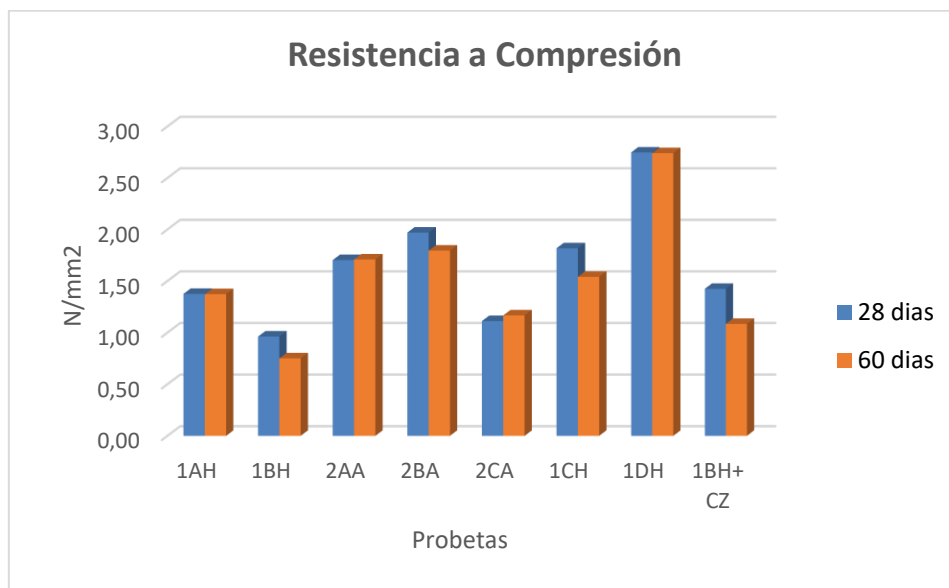
Código	Carga	Tensión rotura	
	kg	Kg/mm ²	N/mm ²
1AH	224,5	0,14	1,37
1BH	157	0,10	0,98
2AA	278	0,17	1,67
2BA	321,5	0,20	1,96
2CA	181,5	0,11	1,08
1CH	296,75	0,19	1,86
1DH	448,5	0,28	2,74
1BH+ CZ	232,5	0,15	1,47

Resistencia a compresión a 28 días - Tabla 18

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

Código	Carga	Tensión rotura	
	kg	Kg/mm ²	N/mm ²
1AH	224	0,14	1,37
1BH	122,5	0,08	0,78
2AA	279	0,17	1,67
2BA	293	0,18	1,76
2CA	190,5	0,12	1,18
1CH	251,5	0,16	1,57
1DH	447,5	0,28	2,74
1BH+ CZ	177	0,11	1,08

Resistencia a compresión a 60 días - Tabla 19



Resistencia a compresión 28 y 60 días, 1ra campaña - Grafica 11

Como se puede observar tanto en la tabla como en el gráfico, la presencia de las cenizas en combinación con la cal ha disminuido la resistencia de las probetas significativamente, donde a los 28 días de curado, la resistencia más alta que han alcanzado son unos 2.75N/mm².

Segunda campaña de probetas (7/28 días)

Materiales utilizados:

- Cal hidráulica NHL 3.5
- Cal aérea CL 90
- Árido
- Cenizas

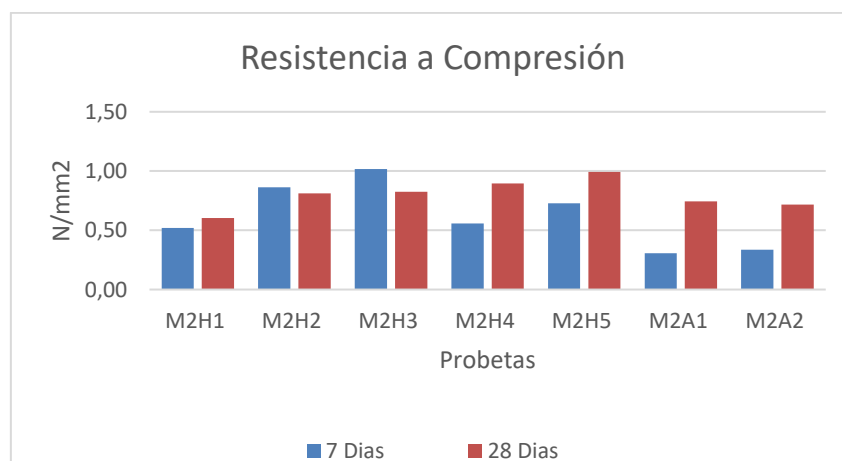
Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

Código	Carga	Tensión Rotura	
	kg	Kg/mm ²	N/mm ²
M2H1	85	0,05	0,52
M2H2	141	0,09	0,86
M2H3	166	0,10	1,02
M2H4	91	0,06	0,56
M2H5	119	0,07	0,73
M2A1	50	0,03	0,31
M2A2	55	0,03	0,34

Resistencia mecánica a 7 días - Tabla 20

Código	Carga	Tensión Rotura	
	kg	Kg/mm ²	N/mm ²
M2H1	98,5	0,06	0,60
M2H2	132,5	0,08	0,81
M2H3	134,5	0,08	0,82
M2H4	146	0,09	0,89
M2H5	162	0,10	0,99
M2A1	121,5	0,08	0,74
M2A2	117	0,07	0,72

Resistencia mecánica a 28 días - Tabla 21



Resistencia mecánica entre 7 y 28 días - Grafica 12

Tercera campaña (7/14 días)

Materiales utilizados:

- Cal hidráulica NHL 3.5
- Árido
- Cenizas

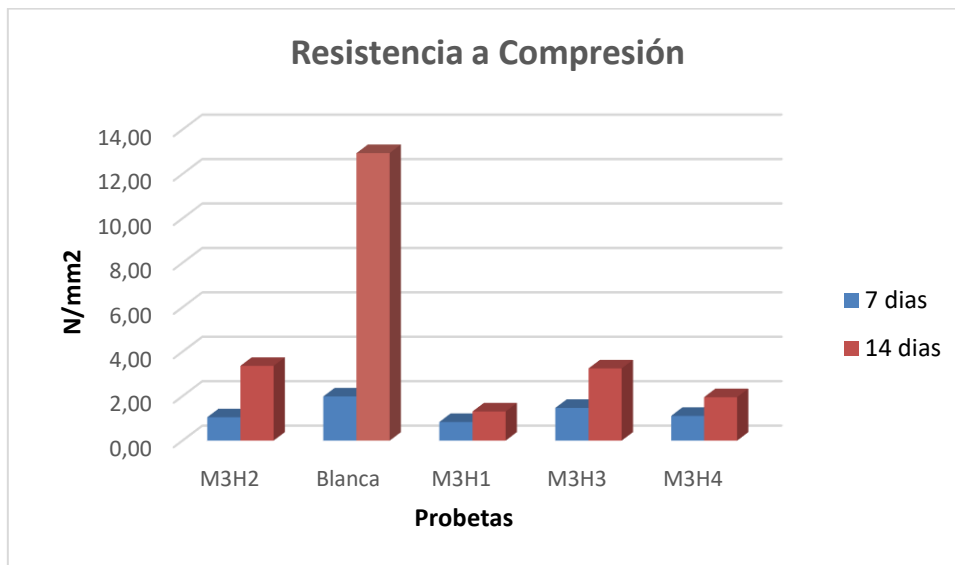
Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

Código	Carga	Tensión rotura	
	kg	Kg/mm ²	N/mm ²
M3H2	172	0,11	1,05
Blanca	325	0,20	1,99
M3H1	137	0,09	0,84
M3H3	241	0,15	1,48
M3H4	182	0,11	1,11

Resistencia mecánica a 7 días - Tabla 22

Código	Carga	Tensión rotura	
	kg	Kg/mm ²	N/mm ²
M3H2	549,5	0,34	3,37
Blanca	2113,25	1,32	12,94
M3H1	214,5	0,13	1,31
M3H3	531	0,33	3,25
M3H4	319,5	0,20	1,96

Resistencia mecánica a 14 días (Carbonatación acelerada) - Tabla 23



Resistencia mecánica entre 7 y 14 días - Grafica 13

Cuarta Campaña (7/35 días)

Materiales utilizados:

- Cemento blanco
- Árido
- Cenizas

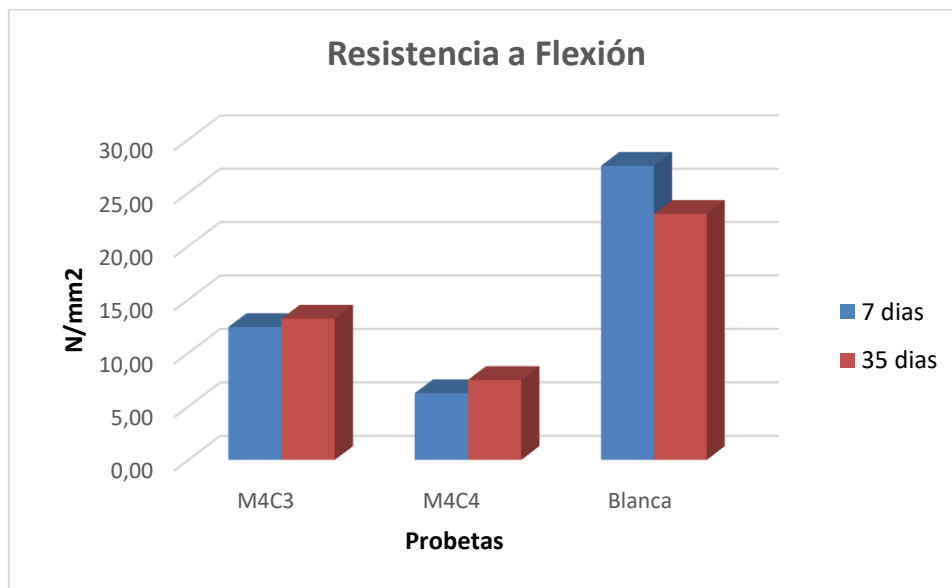
Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

Código	Carga	Tensión rotura	
	kg	Kg/mm ²	N/mm ²
M4C3	2029,75	1,27	12,43
M4C4	1018,25	0,64	6,24
Blanca	4495,75	2,81	27,54

Resistencia mecánica a 7 días (Carbonatación acelerada) - Tabla 24

Código	Carga	Tensión rotura	
	kg	Kg/mm ²	N/mm ²
M4C3	2157,5	1,35	13,21
M4C4	1221	0,76	7,48
Blanca	3760,5	2,35	23,03

Resistencia mecánica a 35 días - Tabla 25



Resistencia mecánica entre 7 y 35 días - Grafica 14

Quinta Campaña (7/28 días)

Materiales utilizados:

- Cal hidráulica NHL 3.5
- Árido
- Cenizas
- Superplastificante de fluidez

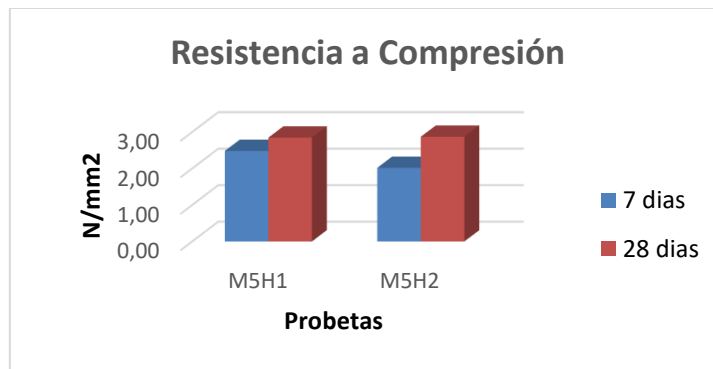
Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

Código	Carga	Tensión rotura	
	kg	Kg/mm ²	N/mm ²
M5H1	405	0,25	2,48
M5H2	329,5	0,21	2,02

Resistencia mecánica a 7 días - Tabla 26

Código	Carga	Tensión rotura	
	kg	Kg/mm ²	N/mm ²
M5H1	464,75	0,29	2,85
M5H2	468,5	0,29	2,87

Resistencia mecánica a 28 días - Tabla 27



Resistencia mecánica entre 7 y 28 días - Grafica 15

Sexta campaña (21 días)

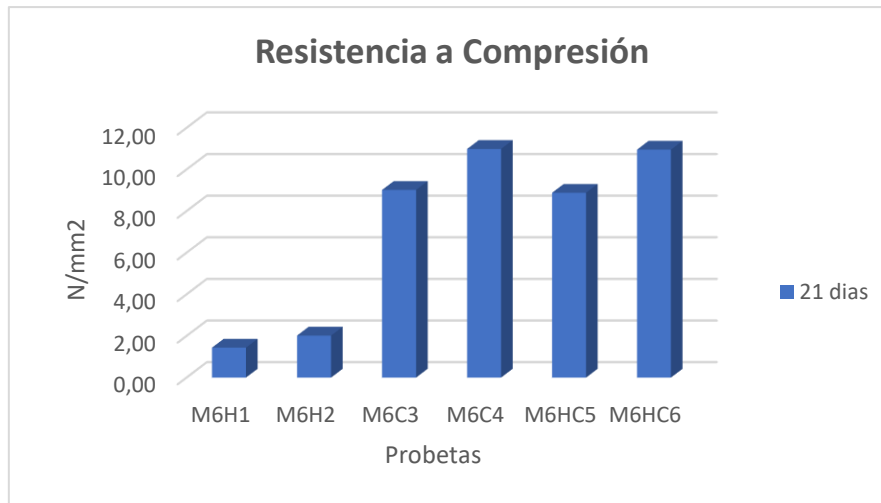
Materiales utilizados:

- Cal hidráulica NHL 3.5
- Cemento blanco
- Árido
- Cenizas
- Superplastificante de fluidez
- Polvo de aluminio

Código	Carga	Tensión rotura	
	kg	Kg/mm ²	N/mm ²
M6H1	234,75	0,15	1,44
M6H2	329,5	0,21	2,02
M6C3	1472	0,92	9,02
M6C4	1793,75	1,12	10,99
M6HC5	1449,75	0,91	8,88
M6HC6	1788,25	1,12	10,95

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

Resistencia mecánica a los 21 días - Tabla 28



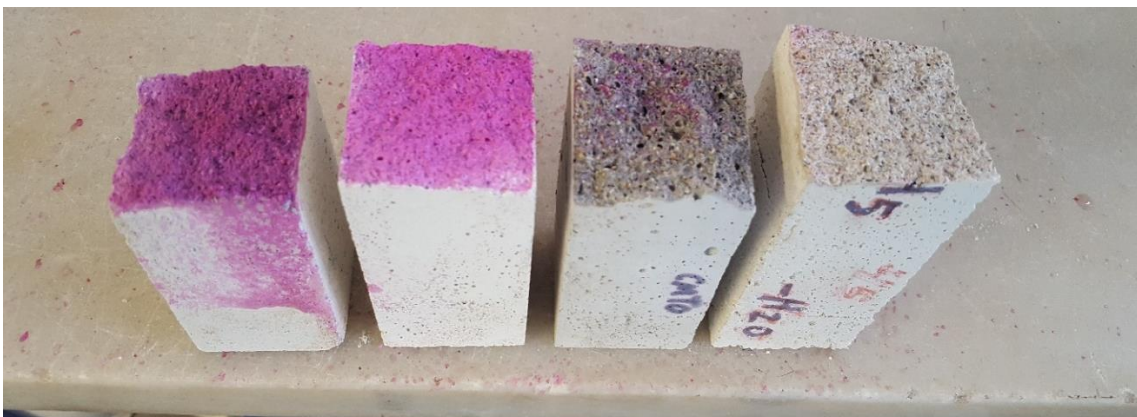
Resistencia mecánica a los 21 días - Grafica 16

2.4.2.3 Carbonatación

Como se describió previamente, las muestras que presenten una tonalidad rosa luego de haberlas rociado con fenolftaleína por las áreas internas de las probetas ensayadas a flexión, se dará porque aún no han carbonatado, por lo que las que no cambien de color significaría que ya la carbonatación es completa.



Comparación de probetas carbonatadas y no carbonatadas - Ilustración 56



Comparación de probetas carbonatadas y no carbonatadas - Ilustración 57

Fuente: elaboración propia

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

El proceso de las muestras de la izquierda ha sido de manera natural, a diferencia de los de la derecha, que pasaron por el proceso acelerado. Cabe resaltar que las resistencias de los acelerados han sido superiores a los no acelerados.

2.4.2.4 Densidad aparente, relativa y porosidad

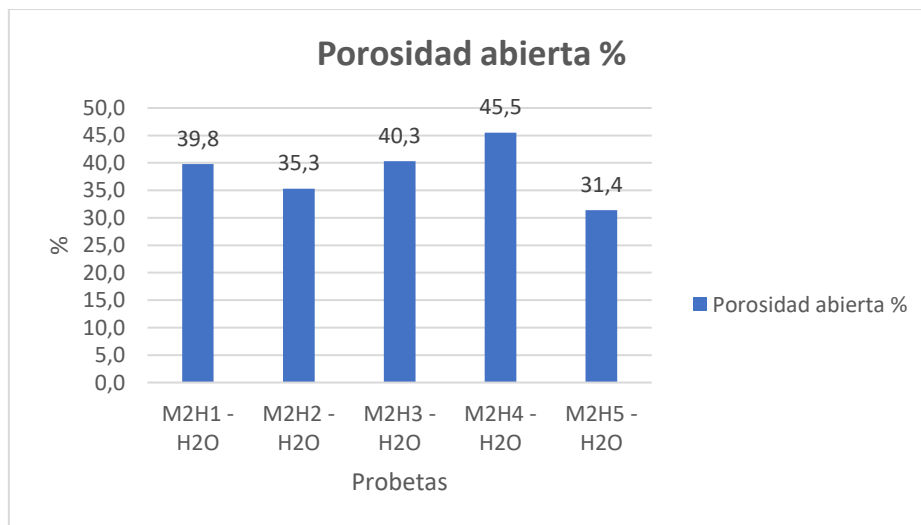
Tercera campaña de probetas

Los presentes resultados solo corresponden la tercera y sexta campaña de probetas, con la finalidad de hacer una comparativa entre una campaña sin aditivos (cal, cenizas y áridos) y otra que contenga todos los materiales necesarios (Cal, cemento, cenizas, áridos y aditivos) para la fabricación del bloque que se plantea en este TFM.

Resultados de la densidad aparente, relativa y porcentaje de porosidad del mortero de cal con cenizas.

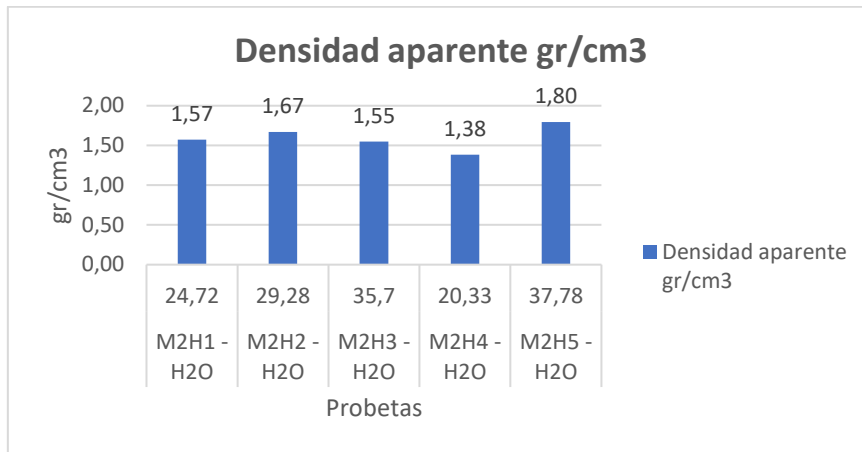
Datos suministrados				Resultados		
Muestra	Peso hidrostático (g)	Peso saturado (g)	Peso seco (g)	Densidad aparente gr/cm ³	Densidad relativa (gr/cm ³)	Porosidad abierta %
M2H1 - H2O	24,72	48,71	38,88	1,57	2,61	39,8
M2H2 - H2O	29,28	59,25	48,91	1,67	2,58	35,3
M2H3 - H2O	35,7	69,64	55,25	1,55	2,59	40,3
M2H4 - H2O	20,33	37,39	28,13	1,38	2,54	45,5
M2H5 - H2O	37,78	79,72	67,87	1,80	2,62	31,4

Prueba de absorción, tercera campaña - Tabla 29

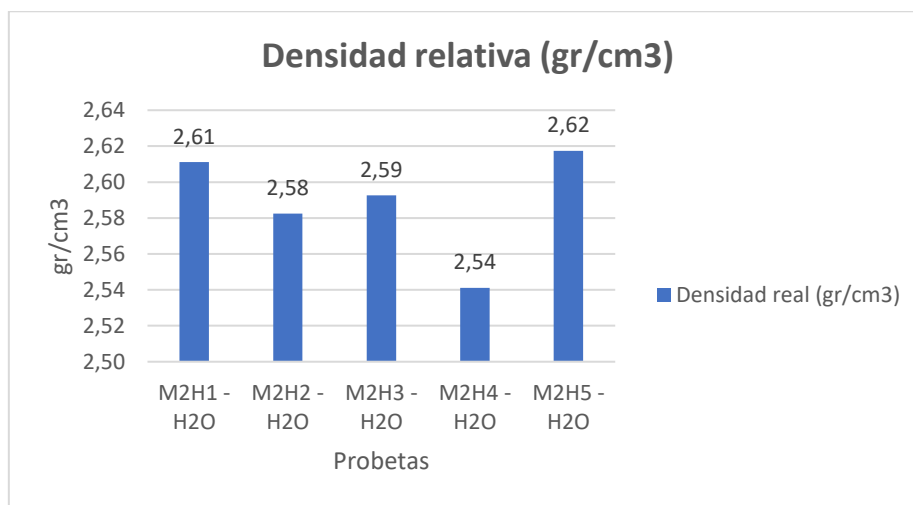


Porosidad abierta, tercera campaña - Grafica 17

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.



Densidad aparente, tercera campaña - Grafica 18



Densidad relativa, tercera campaña - Grafica 19

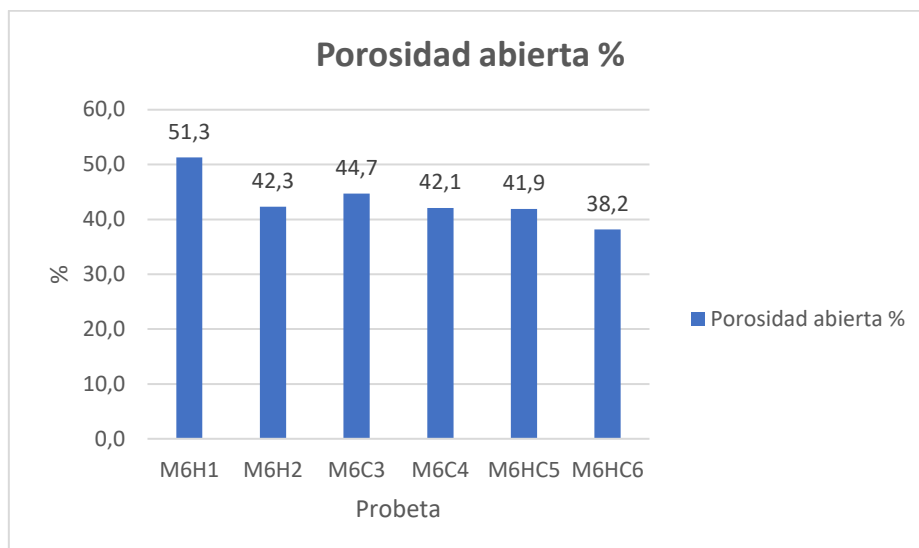
Sexta campaña de probetas

Resultados de la densidad aparente, relativa y porcentaje de porosidad del hormigón de cal con cenizas.

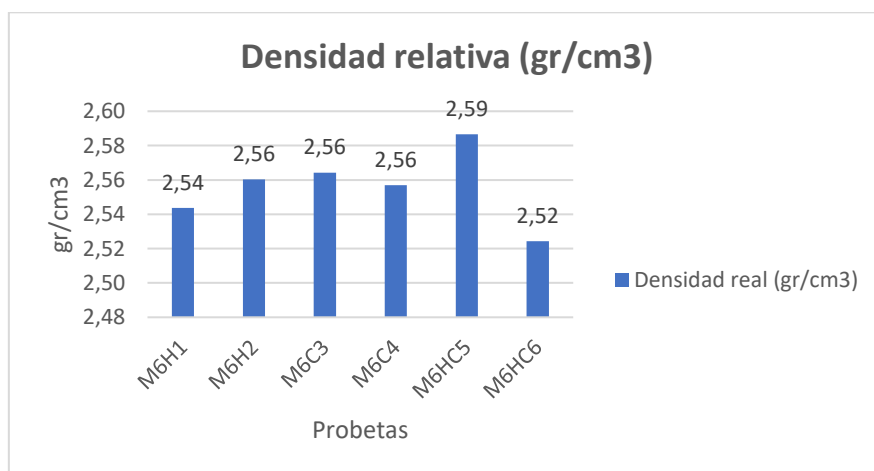
Datos suministrados				Resultados		
Muestra	Peso hidrostático (g)	Peso saturado (g)	Peso seco (g)	Densidad aparente gr/cm ³	Densidad relativa (gr/cm ³)	Porosidad abierta %
M6H1	30,32	53,12	37,57	1,24	2,54	51,3
M6H2	36,04	68,48	53,23	1,48	2,56	42,3
M6C3	35,78	66,72	50,72	1,42	2,56	44,7
M6C4	32,34	61,47	47,84	1,48	2,56	42,1
M6HC5	35,99	69,18	54,11	1,50	2,59	41,9
M6HC6	36,51	70,93	57	1,56	2,52	38,2

Prueba de absorción, sexta campaña - Tabla 30

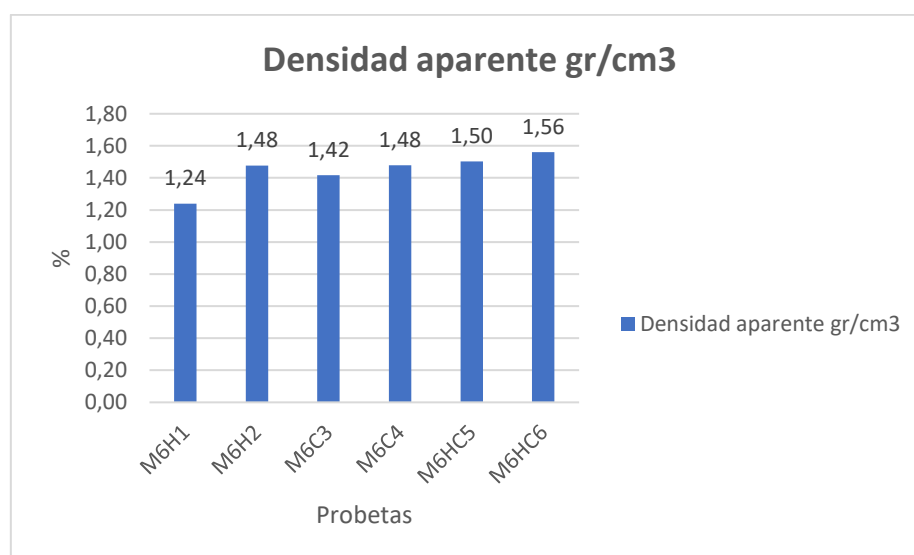
Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.



Porosidad abierta, sexta campaña - Grafica 20



Densidad relativa, sexta campaña - Grafica 21



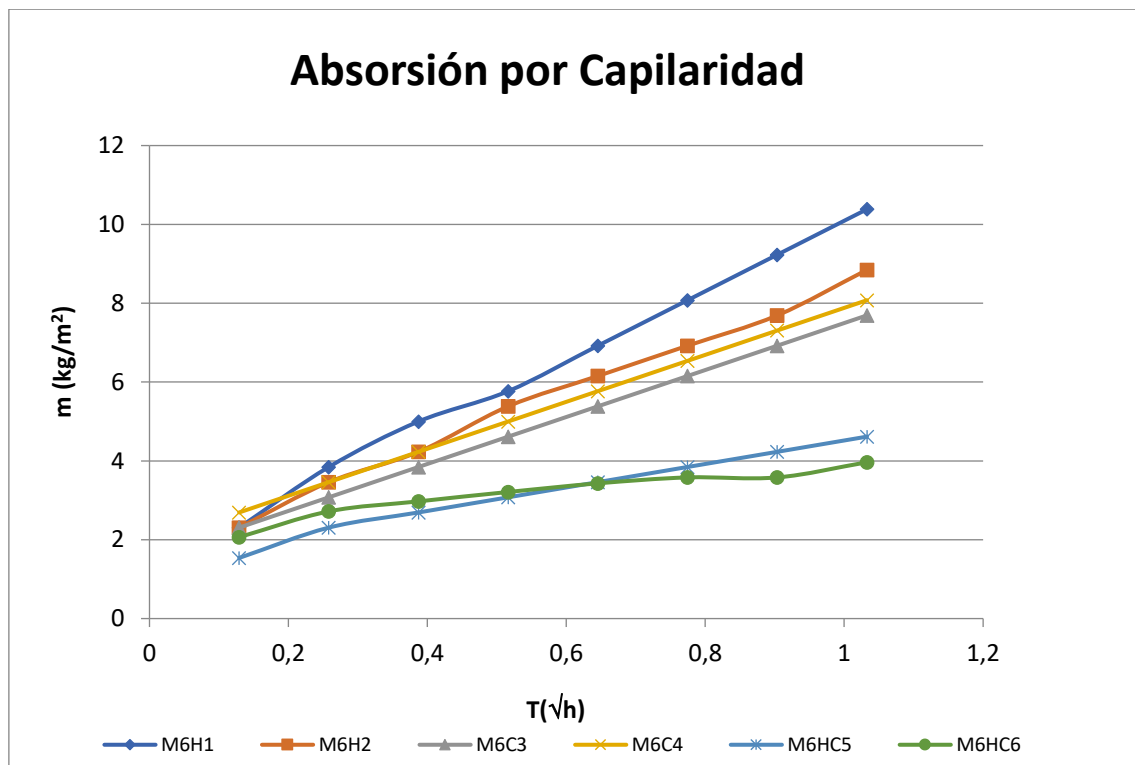
Densidad aparente, sexta campaña - Grafica 22

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

2.4.2.5 Absorción de Agua por Capilaridad

Los resultados presentes pertenecen a la sexta campaña de probetas, ya que en dichas muestras es donde se utilizan todos los ingredientes necesarios (Áridos, Cemento, Cal, Cenizas, superplastificante y Polvo de aluminio) para intentar satisfacer las demandas por parte del bloque de hormigón propuesto.

En la presente grafica se muestra como las probetas en función del tiempo van aumentando de peso, lo que refleja la cantidad de agua absorbida a través del proceso de ensayo.



Absorción de agua por capilaridad - Grafica 23

2.5 Discusión e interpretación de los resultados

Para conocer a fondo el comportamiento o reacción puzolánica de las cenizas de la quema del bagazo de la caña de azúcar, cuando son mezcladas con áridos y conglomerantes, así como también probar la capacidad de transpiración del material, fue necesario realizar un conjunto de ensayos experimentales, cuyos resultados serán interpretados a continuación.

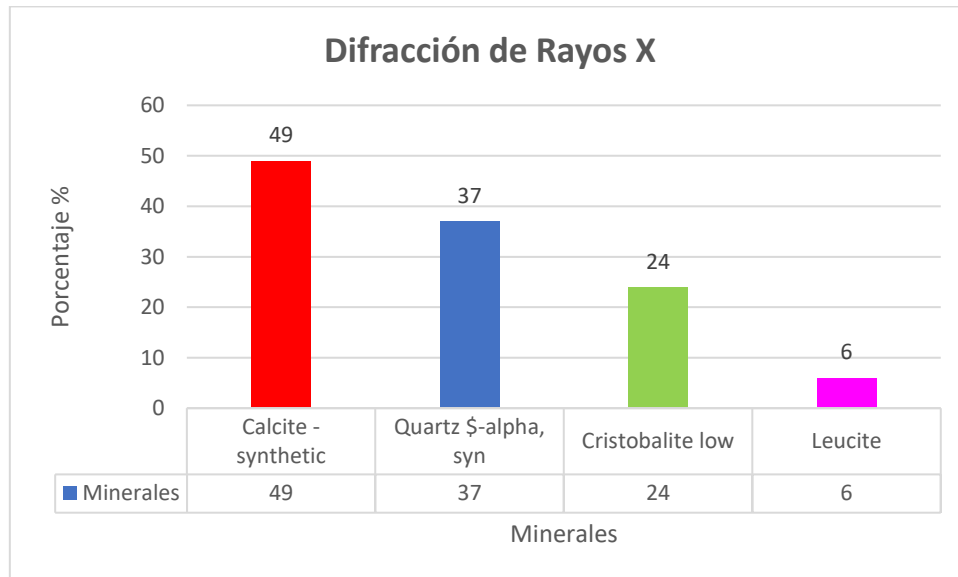
Difracción de Rayos X

Partiendo de las investigaciones previas sobre el estudio químico de las cenizas producidas por el bagazo de la caña, se puede decir que los minerales mostrados en la gráfica 15, son similares a otros casos de estudios previos de análisis de otras cenizas de caña que han arrojado buenos resultados.

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

De tal modo se podría intuir que dichos resultados son positivos, ya que nos da indicios de que nuestras cenizas podrían llegar a tener una reacción química adecuada con los conglomerantes previamente planteados.

Cabe resaltar que, dentro de los resultados arrojados por el presente ensayo, también salió a relucir que las cenizas contienen materiales amorfos en grandes proporciones, lo que también se conoce como ruido de fondo.



Minerales encontrados en las cenizas - Grafica 24

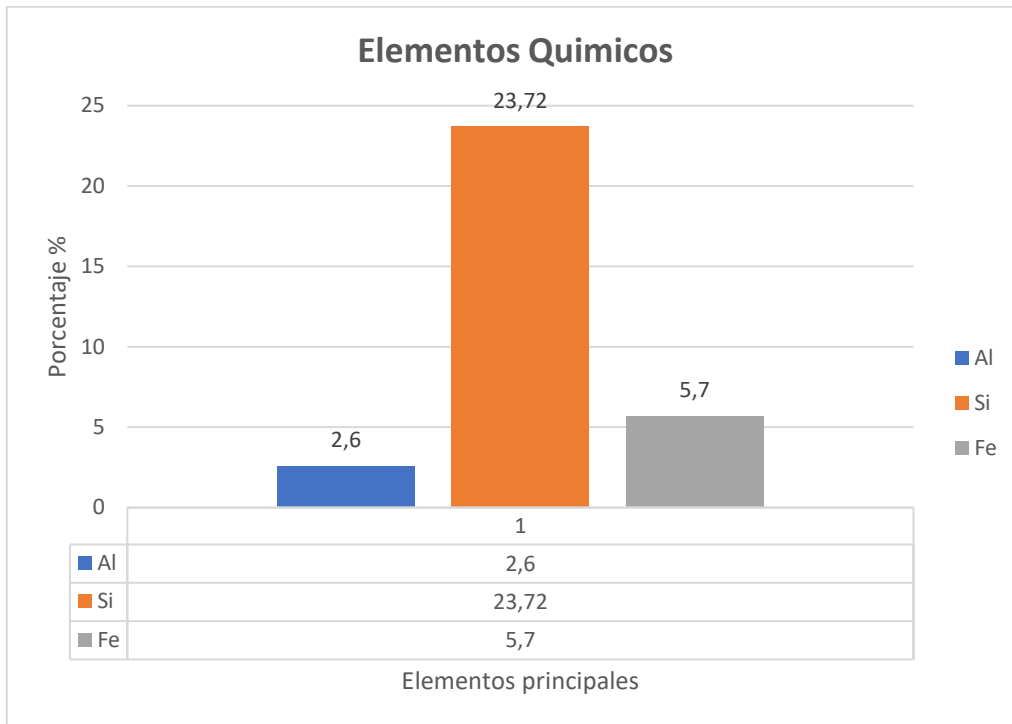
Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)

Antes de hablar sobre estos resultados, es sumamente necesario expresar por qué solo se han presentado estos tres elementos en la gráfica.

Partiendo de investigaciones previas sobre casos de estudios similares, los elementos principales que hace posible que las cenizas reaccionen puzolanicamente conforme es mezclada con la cal o el cemento son el aluminio, la sílice y el hierro. De tal manera se han Sintetizando en la gráfica 16 los datos arrojados por el presente ensayo, a los elementos que realmente hacen posible dicha reacción química.

Según la bibliografía analizada durante todo el proceso, para que las cenizas puedan tener actividad puzolánica, es necesaria la presencia en porcentajes importantes de estos tres elementos principalmente. La sumatoria total de ellos tres debe de alcanzar un 75% de la composición de elementos de dichas cenizas. En los resultados arrojados en este caso podemos ver que dicho análisis no cumple con los estándares, ya que dicha sumatoria en este caso solo alcanza un 32.02% de la muestra analizada.

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

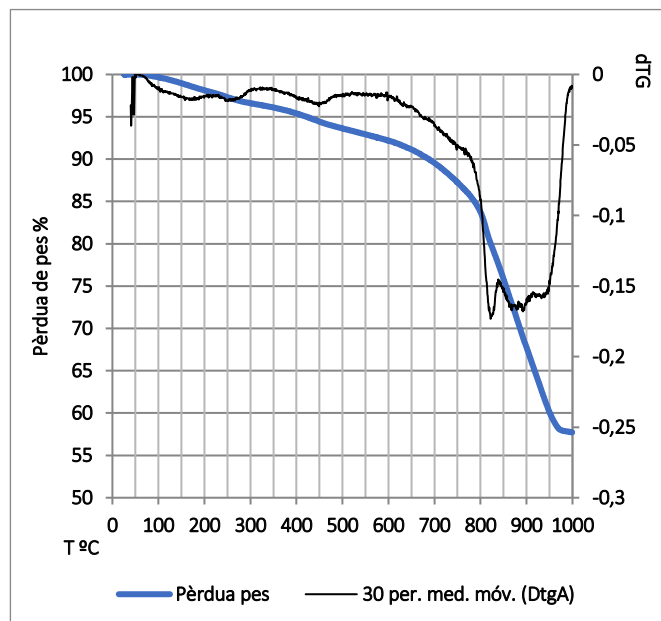


Elementos químicos - Grafica 25

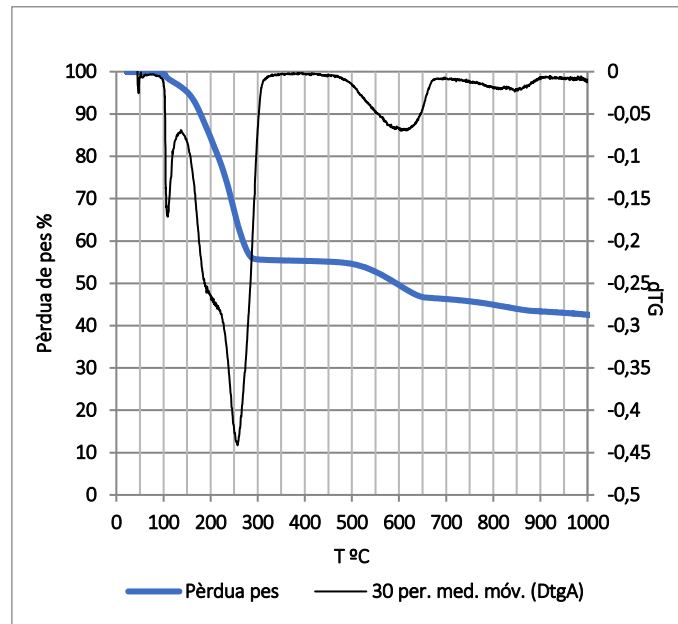
Análisis Termogravimétrico (TG)

En los presentes gráficos, se puede apreciar la diferencia de pérdida de masa a altas temperaturas, entre la pasta de cal y la pasta de cal con cenizas.

El grafico de la izquierda pertenece a la pasta de cal con ceniza, mientras que el izquierdo a la pasta de la cal. Observando ambos resultados se puede decir que la pasta con ceniza perdió un 50% aproximado de su masa a unos 300 grados, mientras que la pasta con cal perdió un 15% aproximado de su masa a unos 800 grados.



Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

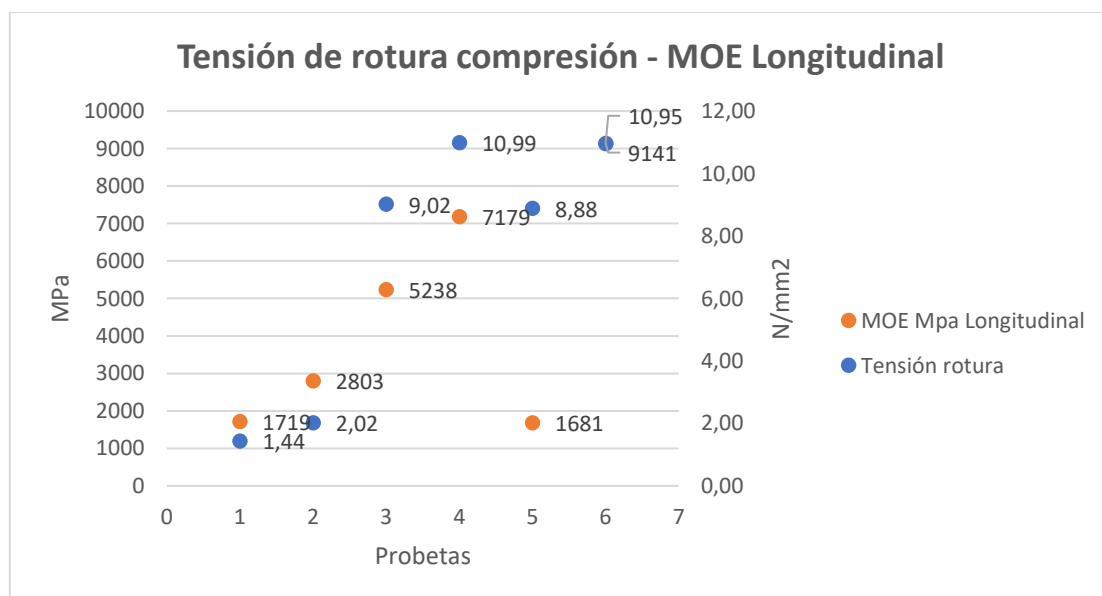


Comparación entre la pasta de cal y la pasta de cal con ceniza - Grafica 26

Módulo de Young

De las seis campañas de probetas ensayadas, se seleccionó la sexta para expresar sus resultados y conclusiones, ya que en esta campaña se aplicaron las dosificaciones más favorables, además de que la misma contiene en su mezcla todos materiales previamente planteados para tratar de cumplir con las metas.

En la gráfica 19 se pueden apreciar tanto la tensión a rotura por compresión como el módulo de elasticidad. La mayoría de los valores reflejados del módulo de elasticidad son directamente proporcional al aumento de la resistencia, exceptuando la probeta "M6HC5" que a pesar de tener casi 9 N/mm² cuenta con muy baja rigidez.

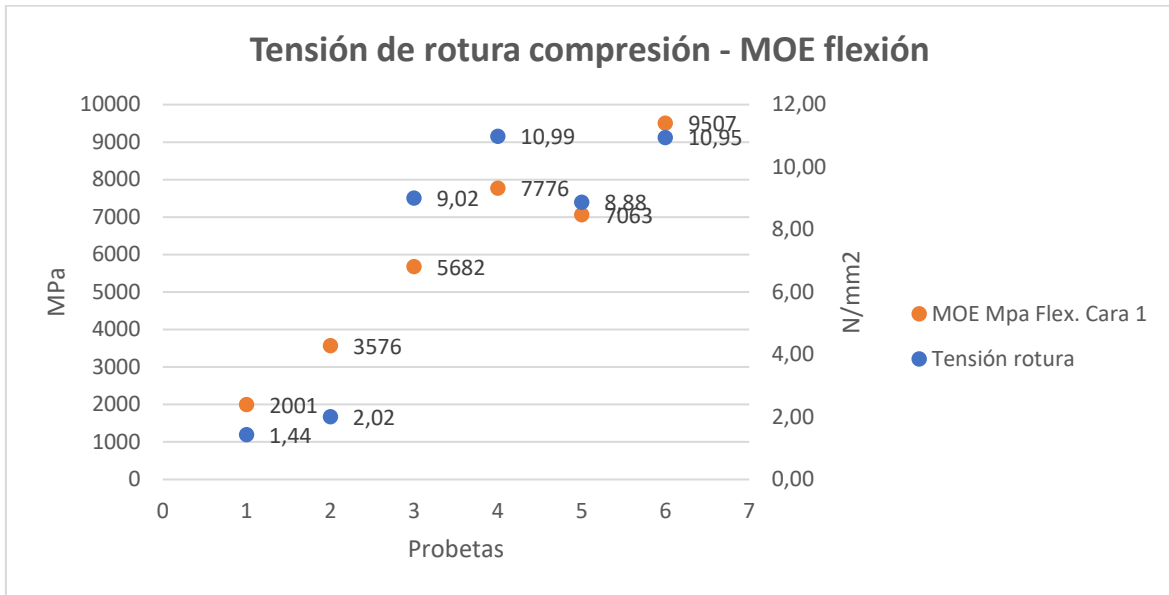


Comparación entre el módulo de Young Longitudinal y la Tensión a Rotura de la sexta campaña - Grafica 27

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

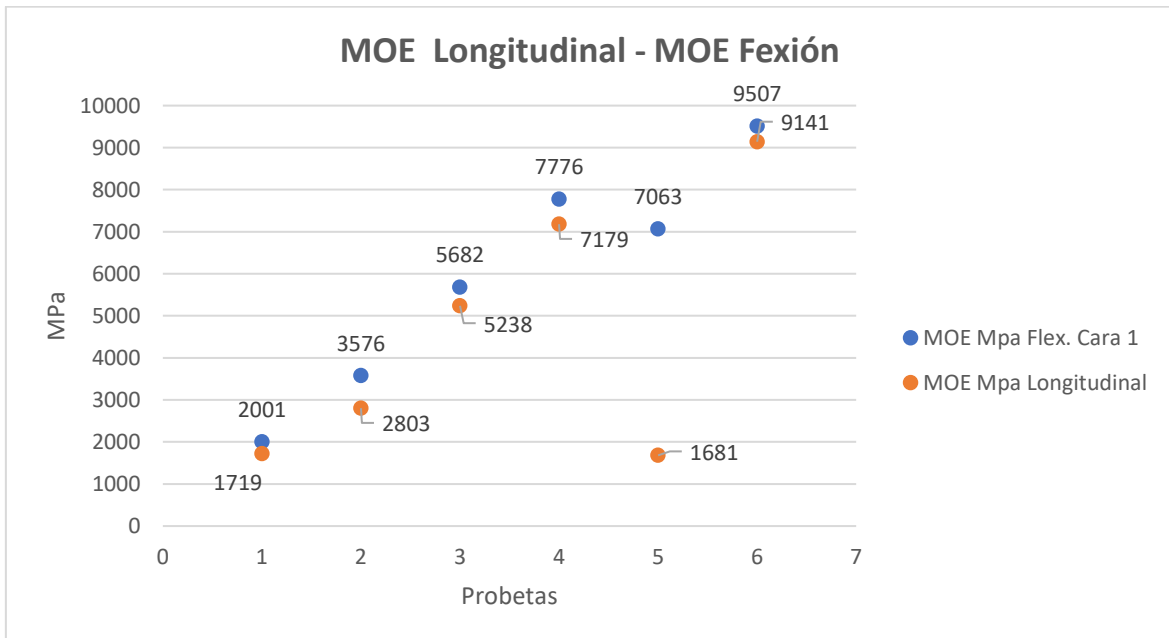
1= M6H1 ; 2= M6H2 ; 3= M6C3 ; 4= M6C4 ; 5= M6HC5 ; 6= M6HC6

Al igual que en el grafico 31, se puede apreciar en el grafico 32 y 33 que el módulo de elasticidad crece directamente proporcional con el aumento de la resistencia.



Comparación entre el módulo de Young Longitudinal y la Tensión a Rotura de la sexta campaña - Grafica 28

1= M6H1 ; 2= M6H2 ; 3= M6C3 ; 4= M6C4 ; 5= M6HC5 ; 6= M6HC6



Comparación entre el módulo de Young Longitudinal y el módulo a flexión de la sexta campaña - Grafica 29

1= M6H1 ; 2= M6H2 ; 3= M6C3 ; 4= M6C4 ; 5= M6HC5 ; 6= M6HC6

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

Absorción de Agua por Capilaridad

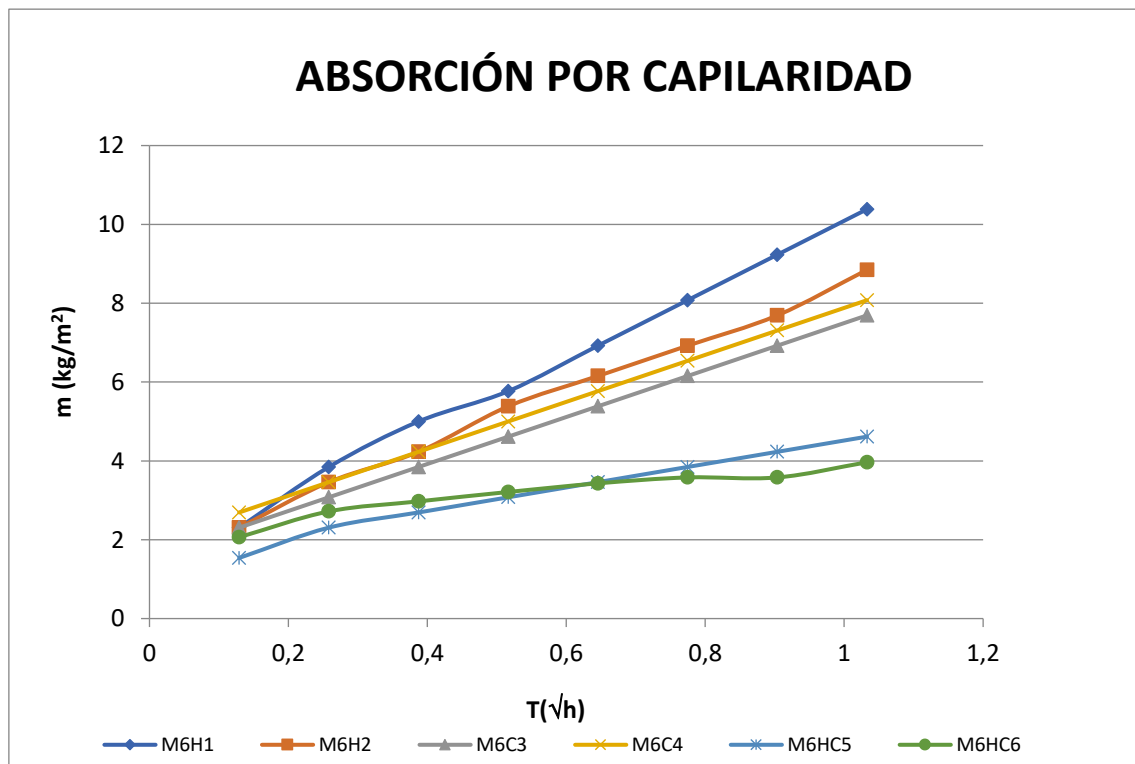
En el presente grafico se pueden apreciar seis probetas ensayadas, que se diferencian de la manera siguiente:

M6H1 y M6H2: estas contienen las mismas dosificaciones, exceptuando que la H1 contienen más cenizas que la H2. Ambas usan la cal como conglomerante.

M6C3 y M6C4: al igual que las muestras anteriores, estas tienen las mismas dosificaciones, exceptuando que la M6C3 tiene mayor porcentaje de cenizas en su mezcla que la M6C4. Ambas están hechas con cemento como conglomerante.

M6HC5 y M6HC6: siguiendo el mismo orden que las anteriores, con la diferencia que la HC6 no tiene cenizas. Ambas usan cemento y cal como conglomerante.

Se puede observar que la probeta que más agua absorbió con respecto al tiempo fue la M6H1, de manera que la que menos lo hizo al finalizar el proceso fue la M6HC6.



Conclusión sobre prueba de absorción por capilaridad - Grafica 30

Resistencia Mecánica

Resistencia a Compresión

Primera campaña

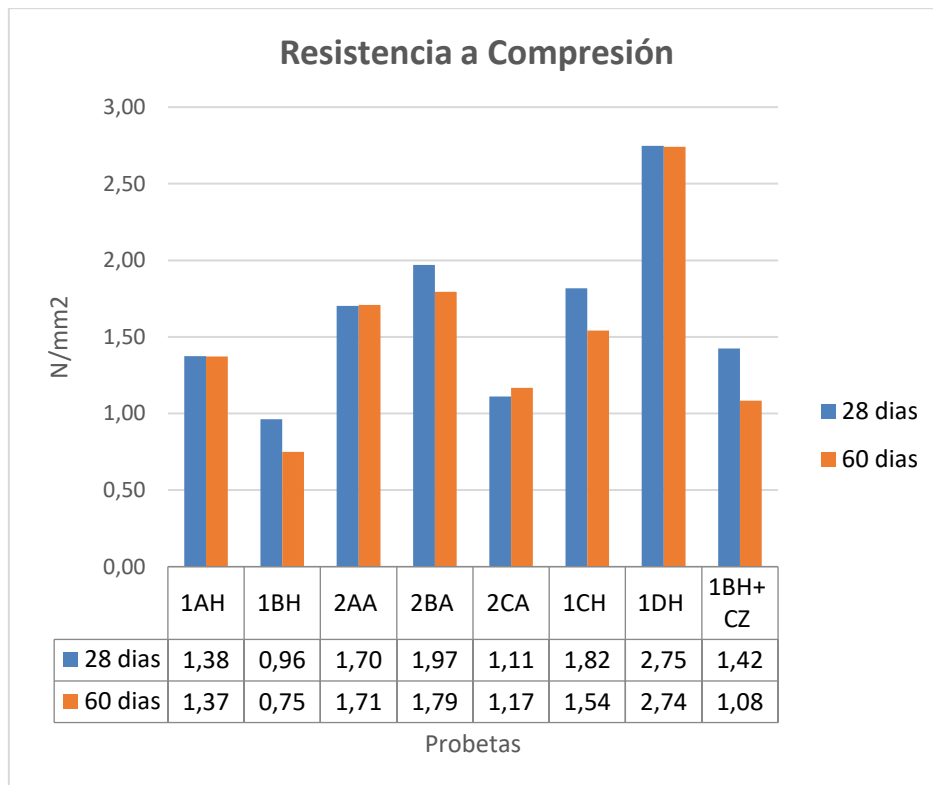
Materiales usados: áridos, cal hidráulica, aérea y cenizas.

Partiendo de los presentes resultados que se pueden apreciar en el grafico 35 de la primera campaña de probetas, se puede decir que las muestras ensayadas a 28 y 60 días

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

no han cumplido de momento con los estándares básicos de resistencia del bloque. Ya que según el reglamento para diseño y construcción de edificios en mampostería estructural R-027, un bloque promedio de hormigón comercializable se le exige una resistencia a compresión de unos 5 N/mm² aproximadamente; sin embargo, cabe resaltar que la muestra 1DH alcanzo unos 2,74 N/mm², siendo estos los valores más altos del grupo, sin el uso de ningún aditivo fluidificante al igual que las demás.

Se puede ver que el aumento de la resistencia para las muestras 2AA, 2CA entre los 28 y 60 días es muy mínima. Por otro lado, también se puede apreciar que para las probetas 1AH, 1BH, 2BA, 1CH, 1BH+CZ y 1DH, la resistencia ha disminuido con el pasar del tiempo.



Resistencia a compresión, 1ra campaña - Grafica 31

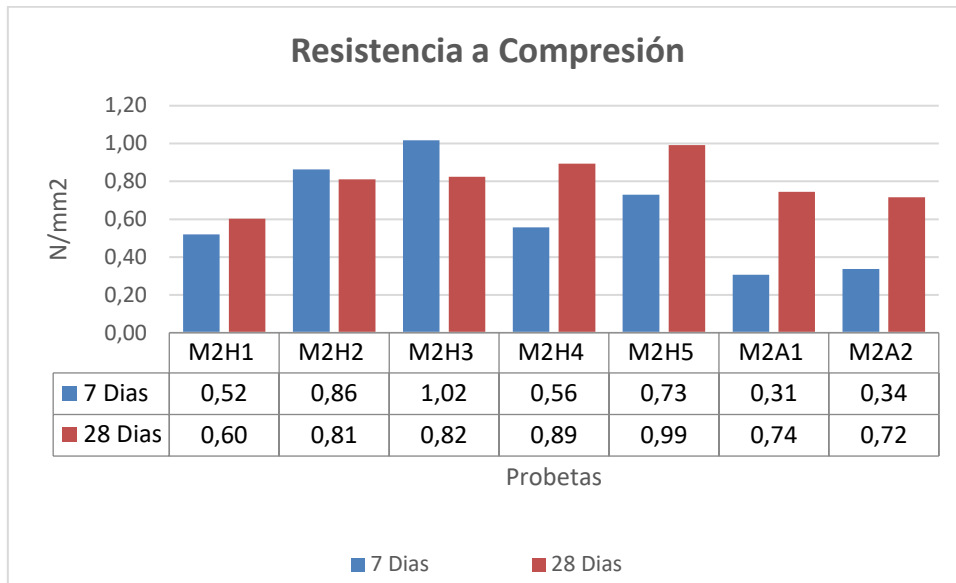
Segunda campaña

Materiales usados: áridos, cal hidráulica, aérea y cenizas.

En el grafico 36 podemos apreciar que el comportamiento de la resistencia para las probetas M2H1, M2H2 y M2H3 ensayadas a los 7 y 28 días, ha sido desfavorable, ya que la resistencia ha ido disminuyendo con el pasar del tiempo. A diferencia de las muestras previamente mencionadas, las probetas M2H4, M2H5, M2A1 y M2A2 han ido aumentando la resistencia con el pasar de los días.

El valor máximo de resistencia arrojado por la presente campaña lo tiene la muestra M2H3, con 1.02 N/mm² a los 7 días de curado.

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.



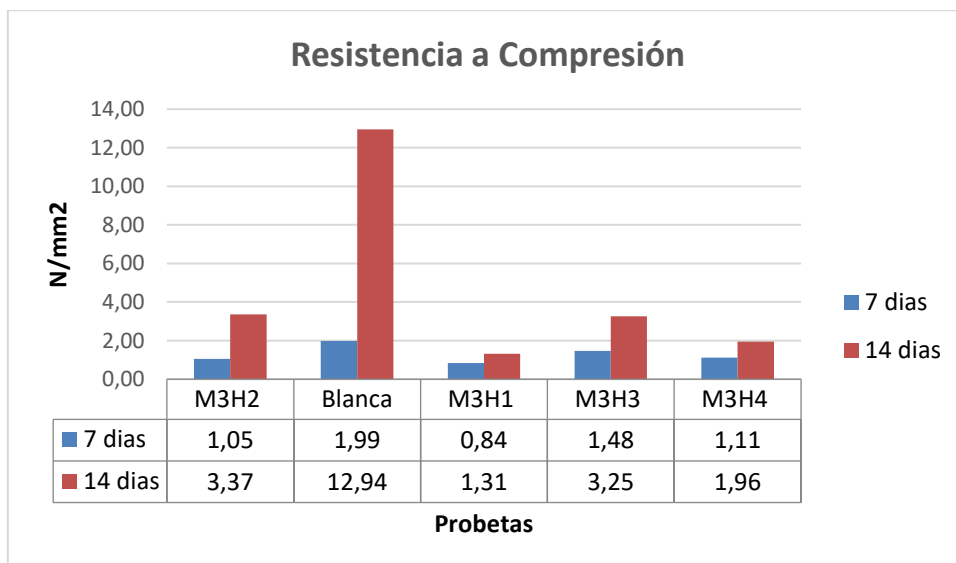
Resistencia a compresión, segunda campaña - Grafica 32

Tercera campaña

Materiales usados: áridos, cal hidráulica y cenizas.

De acuerdo con los resultados mostrados en la gráfica 37, la presente campaña cuenta con resistencias más altas que las demás campañas previamente mostradas. Importante mencionar que las probetas ensayadas a los 14 días pasaron por un proceso de carbonatación acelerada, con la finalidad de poder comparar ambos procesos de carbonatación, la natural frente a la acelerada.

Como se puede apreciar, las carbonatadas de manera acelerada han alcanzado resistencias más elevadas que las naturales, principalmente la probeta blanca (sin cenizas) que alcanzo uno 12.94 N/mm².



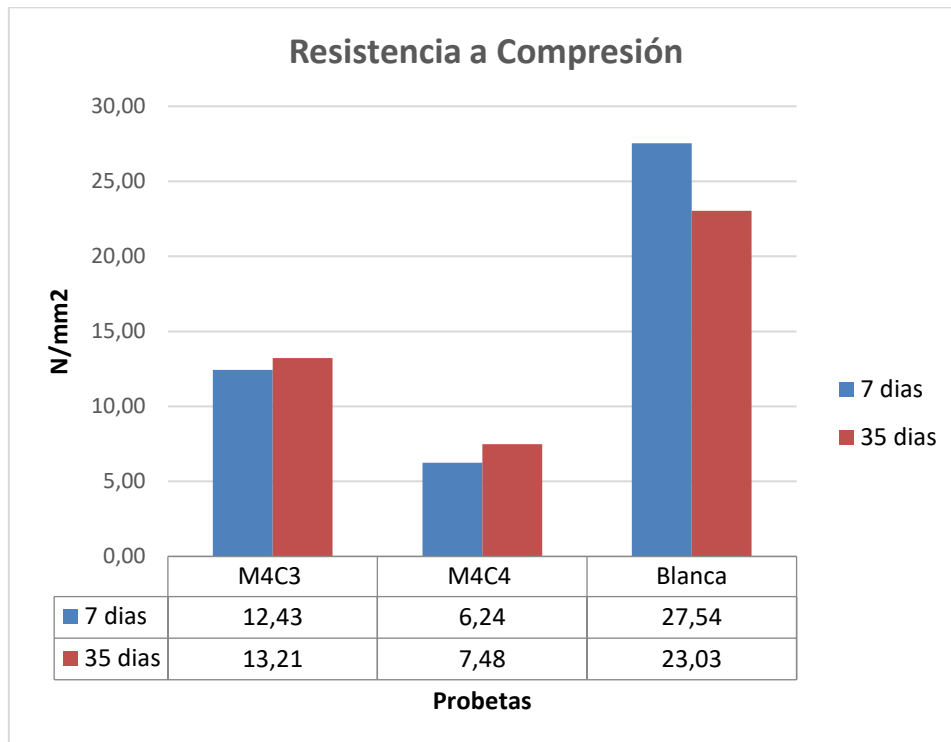
Resistencia a compresión, tercera campaña - Grafica 33

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

Cuarta campaña

Materiales usados: áridos, cemento blanco y cenizas.

Las resistencias alcanzadas en esta campaña son notables. Para las probetas M4C3 y M4C4 las resistencias fueron aumentando con el paso de los días, de aproximadamente 1 N/mm² por cada una. A diferencia de la probeta blanca (sin cenizas), que fue todo lo contrario, al cabo de los 35 días había disminuido su resistencia, de unos 27,54 N/mm² a 23,03 N/mm².



Resistencia a compresión, cuarta campaña - Grafica 34

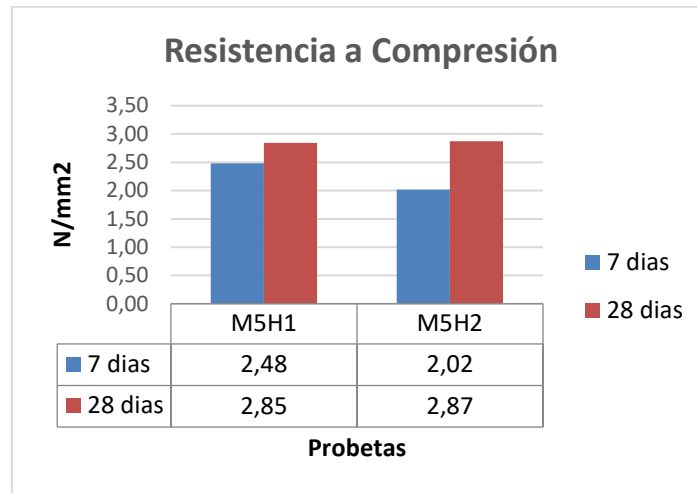
Quinta campaña

Materiales usados: áridos, cal hidráulica, cenizas y un superplastificante de fluidez.

En la presente grafica podemos observar que para ambas muestras las resistencias alcanzadas son superiores al cabo de los 28 días, con respecto a los 7 días iniciales. Cabe resaltar que la muestra M5H1 contiene menos cenizas en su dosificación que la M5H2.

Al cabo de los 7 días de curado, la muestra M5H1 presenta valores más altos de resistencia que la M5H2, sin embargo, a los 28 días ocurre lo contrario, la muestra que tiene más ceniza en su dosificación (M5H2) presenta valores más altos que la M5H1.

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.



Resistencia a compresión, quinta campaña - Grafica 35

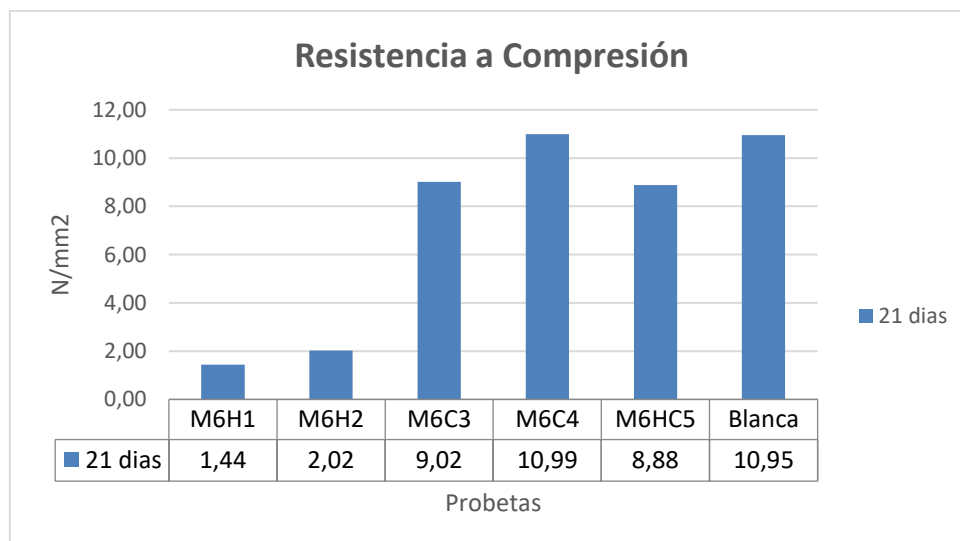
Sexta campaña

Materiales usados: áridos, cal hidráulica, cemento, cenizas, un superplastificante de fluidez y un aditivo de expansión (polvo de aluminio).

Las probetas M6H1 y M6H2 están fabricadas con dosificaciones similares, exceptuando que la M6H1 contiene un porcentaje menor de cenizas que la M6H2. Como se puede apreciar en la gráfica 42, la M6H2 presenta un 2,02 N/mm² frente a un 1,44 N/mm² al cabo de los 21 días de curadas.

Las probetas M6C3 y M6C4 están fabricadas con dosificaciones similares, exceptuando que la M6C3 contiene un porcentaje menor de cenizas que la M6C4. Al igual que las dos primeras muestras, la probeta con menor ceniza como es el caso de la M6C4 presenta resistencias más altas que la M6C3 al cabo de los 21 días de curado.

Para el caso de las probetas M6HC5 y Blanca, la diferencia que existe entre ambas es que la Blanca no contiene cenizas en su dosificación, como se puede apreciar, la misma alcanza unos 10,95 N/mm² frente a un 8,88 N/mm² por la M6HC5 a los 21 días de curado.



Resistencia a compresión, sexta campaña - Grafica 36

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

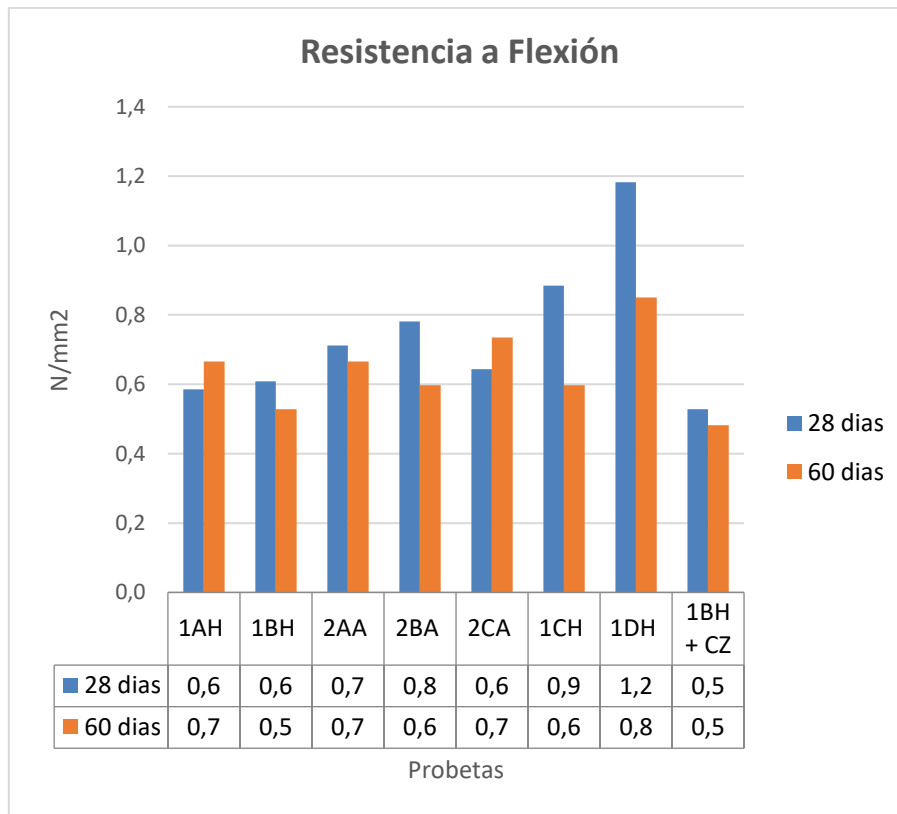
Resistencia a Compresión

Primera campaña

Materiales usados: áridos, cal hidráulica, aérea y cenizas.

En el presente grafico se puede apreciar que a medida que avanza el tiempo las probetas tienden a disminuir su resistencia a flexión, exceptuando las probetas 1AH y 2CA que muestran valores ascendentes a mayor edad.

La mayor resistencia de todo el grupo la presenta la probeta 1DH con 1,2 N/mm² a los 7 días de curado.



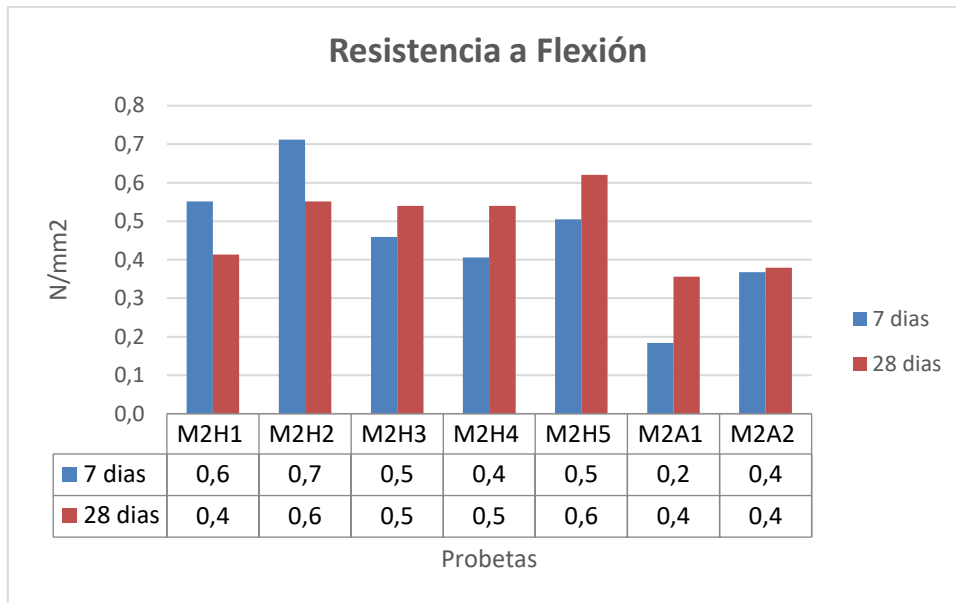
Resistencia a compresión, 28 y 60 días - Grafica 37

Segunda campaña

Materiales usados: áridos, cal hidráulica, aérea y cenizas.

Al igual que en los resultados anteriores, podemos ver en este caso que, varias de las probetas van presentando resistencias inferiores a media que pasan los días, este es el caso de M2H1 y M2H2. La resistencia más alta la presenta la M2H3 a los 7 días de curado.

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

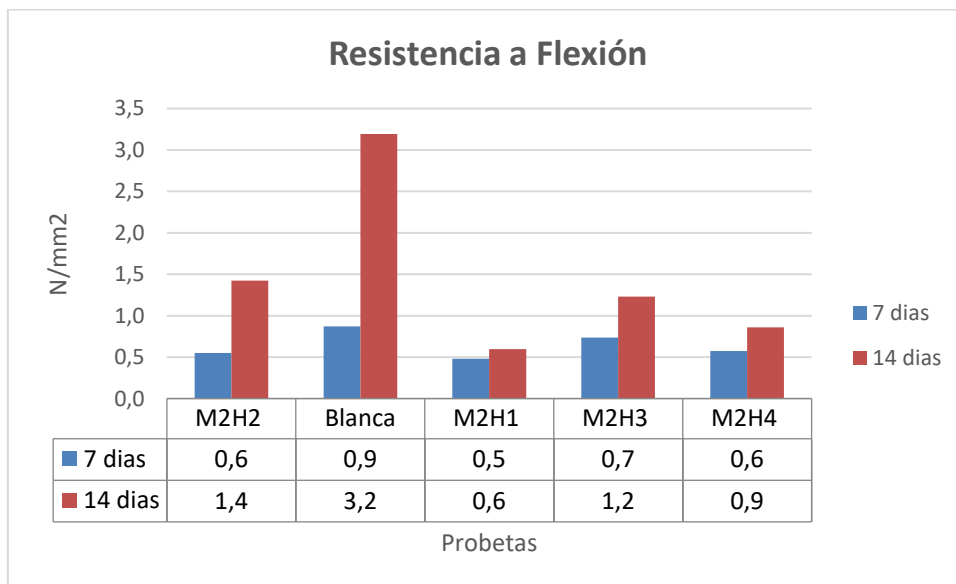


Resistencia a flexión a 7 y 28 días - Grafica 38

Tercera campaña

Materiales usados: áridos, cal hidráulica y cenizas.

En la presente grafica se puede apreciar que no existe una reducción de las resistencias con forme pasa el tiempo como en los casos anteriores. Cabe resaltar que las probetas ensayadas a los 14 días pasaron por un proceso de carbonatación acelerada. El valor más alto de resistencia lo presenta la probeta blanca (no cuenta con cenizas en su dosificación) con un 3,2 N/mm².



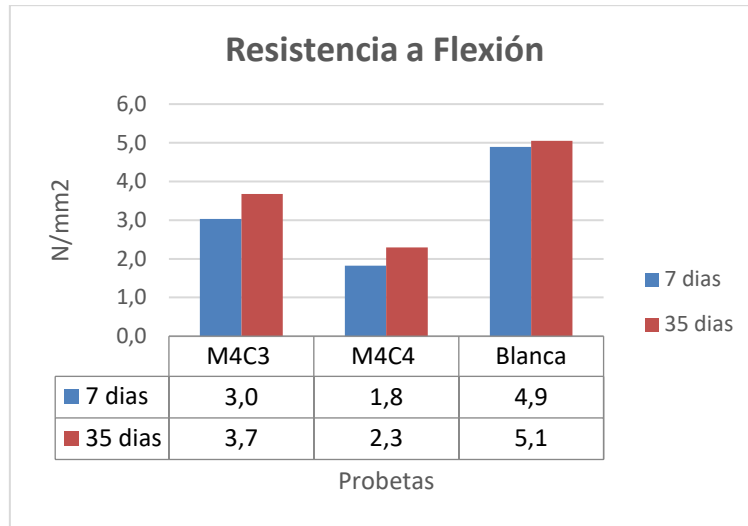
Resistencia a flexión 7 y 14 días - Grafica 39

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

Cuarta campaña

Materiales usados: áridos, cemento blanco y cenizas.

Según los resultados de esta campaña, presenta altas resistencias una vez se comparan con las anteriores. Al igual que en la tercera campaña, la probeta blanca (no cuenta con cenizas en su dosificación) presenta las resistencias más altas del grupo, con 5,1 N/mm².

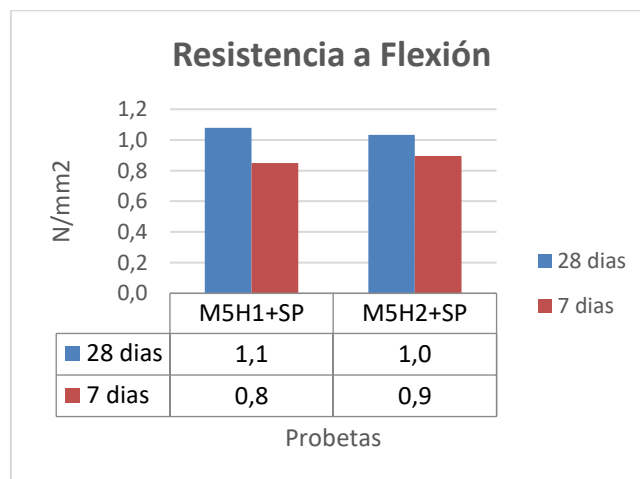


Resistencia a flexión 7 y 35 días - Grafica 40

Quinta campaña

Materiales usados: áridos, cal hidráulica, cenizas y superplastificante de fluidez.

En el presente grafico se puede apreciar que las resistencias de las probetas mejoran a mayor edad. Por otro lado, se puede apreciar que al cabo de 7 días de construidas ya alcanzan casi 1 N/mm², por lo que se puede decir que esto ocurre ya que dichas dosificaciones no cuentan con la cantidad de agua habitual en las mezclas, esto se debe a la presencia del superplastificante.



Resistencia a flexión 7 y 28 días - Grafica 41

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

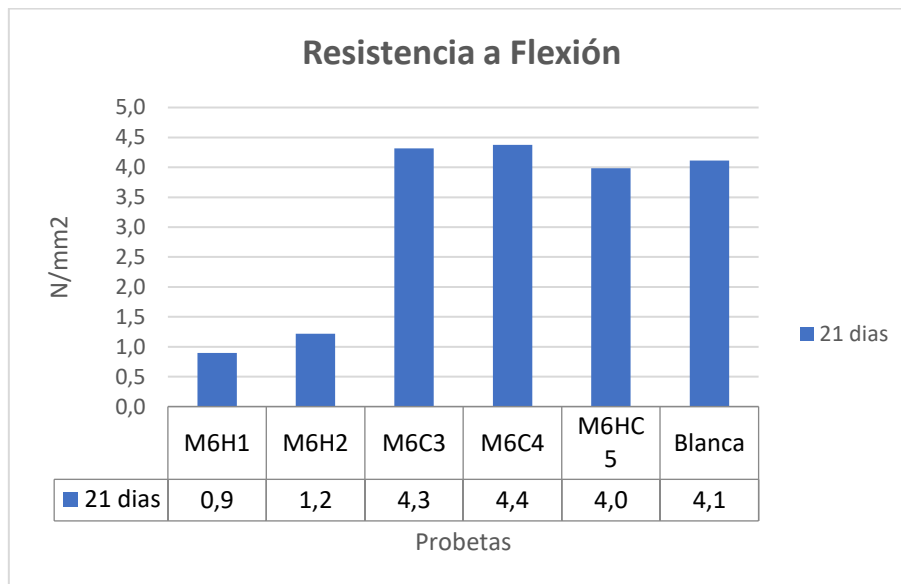
Sexta campaña

Materiales usados: áridos, cal hidráulica, cemento blanco, cenizas, superplastificante de fluidez y un aditivo de expansión (polvo de aluminio).

Las probetas M6H1 y M6H2 están fabricadas con dosificaciones similares, exceptuando que la M6H1 contiene un porcentaje menor de cenizas que la M6H2. Como se puede apreciar en la gráfica 46, la M6H2 presenta un 1,2 N/mm² frente a un 0,9 N/mm² al cabo de los 21 días de curadas.

Las probetas M6C3 y M6C4 están fabricadas con dosificaciones similares, exceptuando que la M6C3 contiene un porcentaje menor de cenizas que la M6C4. Al igual que las dos primeras muestras, la probeta con menor ceniza como es el caso de la M6C4 presenta resistencias más altas que la M6C3 al cabo de los 21 días de curado.

Para el caso de las probetas M6HC5 y Blanca, la diferencia que existe entre ambas es que la Blanca no contiene cenizas en su dosificación, como se puede apreciar, la misma alcanza unos 4,1 N/mm² frente a un 4,0 N/mm² por la M6HC5 a los 21 días de curado.



Resistencia a flexión 21 días - Grafica 42

Densidad aparente, relativa y porosidad

En los presentes gráficos se muestran la comparación de porosidad abierta, densidad relativa y densidad aparente, entre la tercera y sexta campaña de probetas.

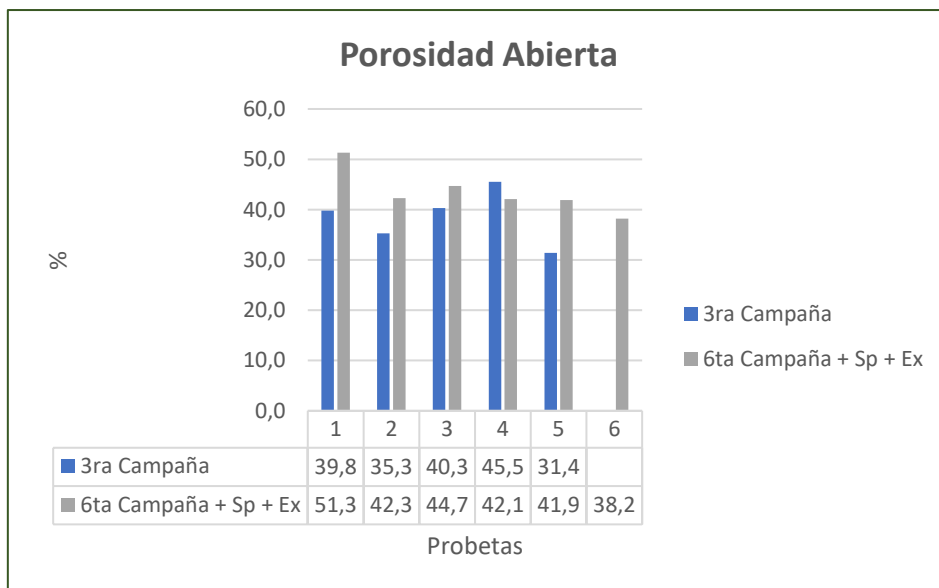
En la gráfica número 43, se puede apreciar la diferencia de porcentaje de porosidad entre las diferentes campañas analizadas.

- 3ra campaña: Cal, áridos y cenizas.
1= M3H1 ; 2= M3H2 ; 3= M3H3 ; 4= M3H4 ; 5= M3H5
- 6ta campaña: Cal, cemento, áridos, cenizas, superplastificante y polvo de aluminio.

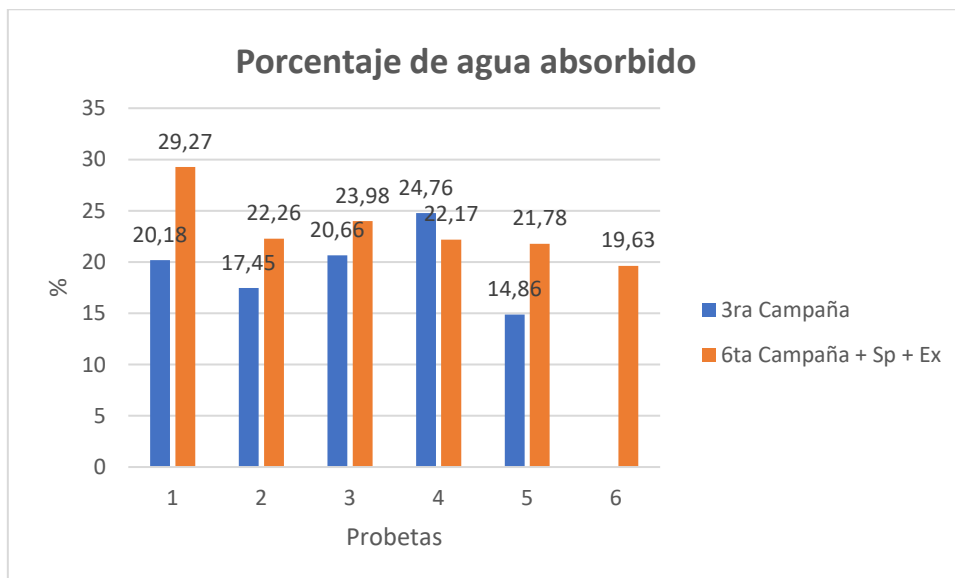
Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

1= M6H1 ; 2= M6H2 ; 3= M6C3 ; 4= M6C4 ; 5= M6HC5 ; 6= M6HC6

Si observamos el grafico 43 puede apreciar de manera general que la sexta campaña es más porosa que la tercera, exceptuando la comparativa de M3H4 y M6C4 que expresa lo contrario. En el mismo orden podemos observar en el grafico 45 y 46 que la densidad relativa es mucho mayor con respecto a la densidad aparente, lo que significa que gran parte que su volumen está compuesto de poros. más sin embargo si comparamos los resultados de la porosidad abierta (ver gráfico 43 y 44), si tomamos como ejemplo la serie 1 para la campaña seis, vemos que de un 51.3% de porosidad que tiene la muestra, solo absorbió un 29.27% de agua, esto nos muestra una pieza relativamente porosa, en donde gran parte de su porosidad es cerrada y, por ende, posee poca capacidad de absorción de agua.

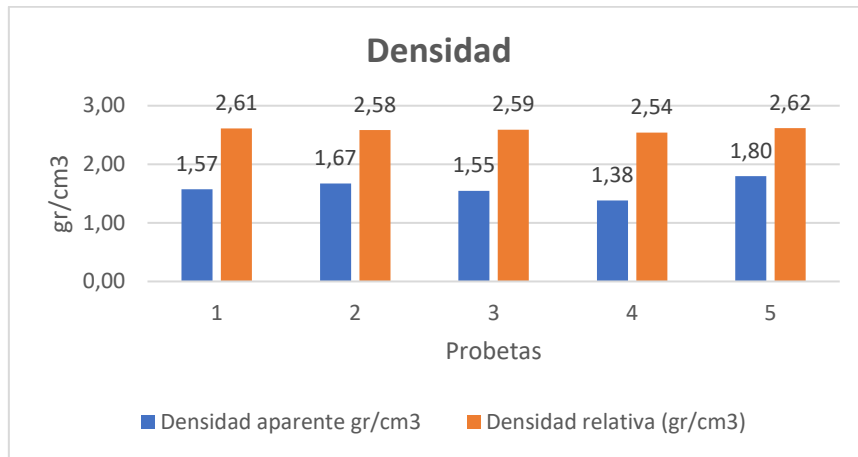


Comparación de % de porosidad entre la 3ra, 5ta y 6ta campaña - Grafica 43

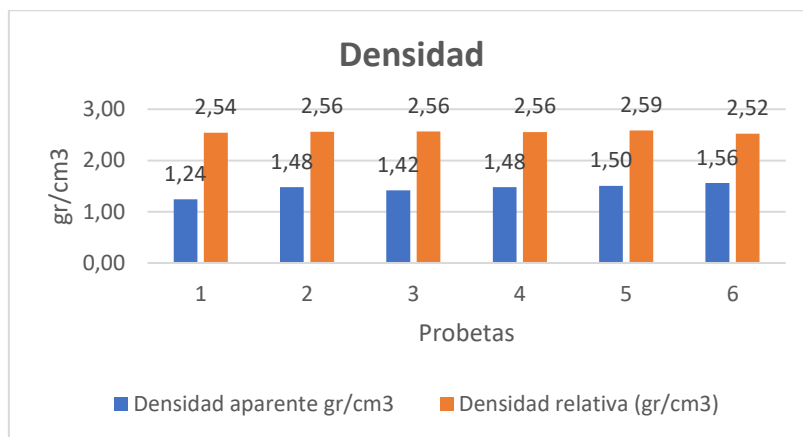


% de agua absorbido - Grafica 44

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.



Tercera Campaña - Grafica 45



Sexta campaña - Grafica 46

2.6 Conclusiones y Recomendaciones

El uso en particular de las cenizas producidas por la quema del bagazo de la caña de azúcar ensayadas en el presente trabajo de máster, no resultaron viables para su uso como material puzolánico en la fabricación de bloques de hormigón a base de cal y cemento. En la medida que se utilizaba mayor porcentaje de esta en las dosificaciones para la fabricación de las probetas, se veían afectadas las resistencias mecánicas de las muestras, a diferencia de las probetas que contenían en menor cantidades de las cenizas, que presentaban resultados de resistencia mecánica más elevados.

Unos de los factores que afectan en la reacción química de las cenizas con los conglomerantes como el cemento y la cal es que, demandan gran cantidad de agua, ya que contienen mucha superficie específica, debido al tamaño micrométrico de las partículas. En busca de dar solución a este inconveniente se utilizó un superplastificante de fluidez, con la finalidad de reducir el agua en mayor medida de las dosificaciones. Los resultados por parte de las probetas que contenían dicho aditivo dieron superiores frente a los que no, pero aun así la resistencia mecánica se seguía viendo afectada. Una vez se comparaba una dosificación con mayor porcentaje de cenizas que la otra, seguían resultando inferiores los valores de resistencia mecánica.

Hay que tener presente que los conglomerantes a base de cal suelen producir materiales altamente porosos, por lo que tienden a ser más permeables, así como también son menos resistentes y de lenta carbonatación. Por esto los resultados que reflejaban las probetas donde se utilizaba cemento como conglomerante daban más altos que los de a base de cal. De igual manera en las probetas con cemento como aglutinante seguía ocurriendo el mismo patrón que afectaba la resistencia mecánica.

Dentro de los valores más elevados a la resistencia mecánica por parte de las probetas con cal y cenizas como aglutinantes podemos presentar los siguientes:

- La probeta 1DH alcanzo 2,75 N/mm² al cabo de 28 días de curado.
- La M3H2 con 3,37 N/mm², ensayada a los 14 días de su curado. La presente fue carbonatada de manera acelerada.
- La “blanca” de la M3H2 con 12,94 N/mm², ensayada a los 14 días de su curado. De igual manera esta fue carbonatada de manera acelerada.

Para las resistencias más elevadas con probetas a base de cal y cemento blanco citamos las siguientes:

- La M4C3 alcanzo 13,21 N/mm² al cabo de 35 días de curado.
- La “blanca” presento unos 23,03 N/mm² a los mismos 35 días de curado.

Dentro de los resultados para muestras a la cual se le añadió superplastificantes, así como la combinación de la cal y el cemento con las cenizas, se presentan los siguientes:

- M6HC5 obtuvo 8,88 N/mm² al cabo de 21 días de curado.
- La “Blanca” alcanzo 10,95 N/mm², al cabo de 21 días de curado.

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

Una de las principales teorías sobre la mesa acerca de porque en casos anteriores si ha resultado conseguir la buena reacción puzolánica por parte de las cenizas y en este no, es porque los resultados de difracción de rayos X realizados a las cenizas arrojaron que las mismas contenían mucho material amorfo o ruido de fondo.

En el mismo orden, la tesis de máster “Valorización de Cenizas de bagazo procedentes de Honduras” por Ma-Tay Pinel, Daniel Ernesto, en la Universidad Politécnica de Valencia, España 2014. Dice que para que las cenizas de la caña puedan tener reacción puzolánica debía de tener en su composición química elementos como el Sílice, aluminio, y hierro en altos porcentajes, de manera que la sumatoria de los tres igualara o superara el 75% de la composición.

Las cenizas que hemos utilizado solo alcanzaron un 32,02% de presencia de dichos elementos. Por lo que podemos concluir con que estas teorías previamente planteadas, fueron parte principal de los causantes de los resultados concluyentes por los ensayos realizados.

REFERENCIAS

1. Álvarez, Marina; Dra. Arquitecta, Salas, Julián Dr. Ingeniero Industrial (1990). Influencia de 6 tipos de curados en hormigones con cenizas volantes. ICET/CSIC-ESPAÑA, 1990.
2. Beato, Mariel Elizabeth (2016). Caracterización y optimización de la dosificación del ladrillo Eco-Friendly. Trabajo final de máster. Universidad Politécnica de Cataluña, abril 2016.
3. Corbella Aranda, Xavier (2010). Diseño y determinación de propiedades de un hormigón armado. Trabajo final de máster. Universidad Politécnica de Cataluña, octubre 2010.
4. Carvajal, K., & Gomez, C. (2016). Efecto de la aplicación de cal dolomita sobre el pH del suelo y rendimiento de sorgo sureño en suelos de uso agrícola, zamorano, Honduras.
5. Calleja, Jose Prof. Dr. (1982). Cenizas, cementos y hormigones con cenizas. Artículo Científico. IETCC/CSIC - MADRID – España 1982.
6. Corbella Aranda, Xavier (2010). Diseño y determinación de propiedades de un hormigón armado. Trabajo final de máster. Universidad Politécnica de Cataluña, octubre 2010.
7. De la Rosa Ortiz, G. A. (2016). Comportamiento mecánico de hormigones a base de mortero de cal y barras de fibra de vidrio para su implementación en rehabilitaciones del patrimonio edificado. Barcelona.
8. Gallardo Pujante, A. (2014). Evaluación de las propiedades en estado fresco y endurecido (mecánicas, termofísicas y reacción al fuego) del yeso con pcm mediante tres métodos diferentes de inclusión de pcm. Barcelona.
9. Giraldo Escandón, Camilo Ernesto; Vidal Velasco, Diana Valentina; Martínez López, Carolina; Torres Agredo, Janneth; González Salcedo, Luis Octavio (2012). Ceniza de bagazo de caña como aditivo al cemento Portland para la fabricación de elementos de construcción. Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Ingeniería, Facultad de Ingeniería y Administración, 2012.
10. Gallardo Pujante, Alejandro (2014). Evaluación de las propiedades en estado fresco y endurecido (mecánicas, termofísicas y reacción al fuego) del yeso con pcm mediante tres métodos diferentes de inclusión de pcm. Trabajo final de máster. Universidad Politécnica de Cataluña, noviembre 2014.
11. Horcajo Guerrero, Beatriz (2016). Estudio de las propiedades térmicas del hormigón con incorporación de caucho procedente de neumáticos fuera de uso (NFU). Trabajo final de máster, Universidad Politécnica de Cataluña, abril 2016.

12. K. Ganesan, K. Rajagopal, K. Thangavel (2007). Evaluation of bagasse ash as supplementary cementitious material. *Cement & Concrete Composites* 29 (2007) 515–524. India 2007.
13. Lorca Aranda, Pablo (2014). Efecto de la adición de hidróxido cálcico sobre mezclas con alta sustitución de cemento por ceniza volante. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, Julio 2014.
14. López, Antonio (2015-2016). Informe Zafra Azucarera, Santo Domingo, D.N. octubre 2016.
15. M. Frias, M. I.; Sanchez de Rojas, M. P.; & Garcia, N. (1990). Granulometría láser: Estudio comparativo con las técnicas de tamizado y elutriación aplicado a materiales puzolánicos.
16. Mariñez Veloz, Jose Manuel. Characterization of aerial lime base mortars with volcanic aggregates. Trabajo final de máster, Universidad Politécnica de Cataluña.
17. Ma-Tay Pinel, Daniel Ernesto (2014). Valorización de cenizas de bagazo procedente de Honduras: posibilidades de uso en matrices de cemento portland. Trabajo final de máster, Universidad Politécnica de Valencia, abril 2014.
18. M. Frías, M. I. Sánchez De Rojas, M. P. Luxan y N. García (1990). Granulometría láser: Estudio comparativo con las técnicas de tamizado y elutriación aplicado a materiales puzolánicos. Artículo Científico. Madrid, España 1990.
19. Peña Sánchez, Miquel (2009). Aplacados De Fachada Con Piedra Natural. Trabajo final de máster. Universidad Politécnica de Cataluña, octubre 2009.
20. Rosell, J. R.; Cantalapiedra, I. R. (2011). Método simple para determinar el módulo de Young dinámico a partir de una excitación por impacto aplicado a morteros de cal y cemento. *Universidad Politécnica de Catalunya. Materiales de Construcción*, Vol. 61, 301, 39-48, enero-marzo 2011. Barcelona, España.
21. Rodriguez Tovar, G. (2011). Estudio de mortero de arido reciclado en fino en materiales con cemento portland y en matrices de escorias de horno alto activada alcalinamente. Valencia.
22. Sánchez Guzmán, Diego (2001). Tecnología del concreto y del mortero. Pontificia Universidad Javeriana. 2001
23. Sepulcre Aguilar, Alberto (2005). Influencia de las ediciones puzolánicas en los morteros de restauración de fábricas de interés histórico – artístico. Tesis doctoral, Departamento de construcción y tecnología arquitectónicas, Escuela técnica superior de arquitectura, Madrid 2005.

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

24. Vidal, Diana V; Torres, Janneth; González Luis O. (2013). Estudio comparativo de cenizas de bagazo de caña como adición puzolánica. Revista Colombiana de materiales N. 5 pp. 13-18, 2013.
25. Vidal, Diana V; Torres, Janneth; González Luis O. (2014). Ceniza de bagazo de caña para elaboración de materiales de construcción: estudio preliminar. Revista de Física, No. 48E, Colombia Julio 2014.

Normativas

1. Ministerio de Obras Publicas y Comunicaciones. (2007). Diseño y Construcción de Edificios en Mampostería Estructural. Santo Domingo.
2. UNE-EN 12390-5. Ensayos de hormigón endurecido. Parte 5: resistencia a flexión de probetas. Septiembre 2009.
3. UNE-EN 1015-3: Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 3: Determinación de la consistencia del mortero fresco (por la mesa de sacudidas). 2000.
4. UNE-EN 12680-1. Examen por ultrasonidos. Julio 2003
5. UNE-EN 12390-3. Ensayos de hormigón endurecido. Parte 3: determinación de la resistencia a compresión de probetas. Septiembre 2009.
6. UNE-EN 934-2. Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Parte 2: aditivos para hormigones. 1999
7. UNE-EN 197-1. Cemento. Parte 1: Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos comunes. Diciembre 2011
8. UNE-EN 1015-6. Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 6: Determinación de la densidad aparente del mortero fresco. 1999-2007.
9. UNE-EN 1015-7. Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 7: Determinación del contenido de aire en el mortero fresco. 1999.
10. UNE-EN 1015-18. Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 18: Determinación del coeficiente de absorción de agua por capilaridad del mortero endurecido. 2003.
11. UNE-EN 1015-10. Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 10: Determinación de la densidad aparente en seco del mortero endurecido. 2000-2007.
12. UNE-EN 459-1 Cales para la construcción. Parte 1: definiciones, especificaciones y criterios de conformidad. Septiembre 2011

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

13. UNE-EN 196-1. (2005). Determinación de resistencias mecánicas.

Referencias web

1. Cannabric. (s.f.). Cannabric. Obtenido de <http://www.cannabric.com/catalogo/>
2. Carvajal, K., & Gomez, C. (2016). Scribd. Obtenido de <https://www.scribd.com/document/339486340/CPA-2016-T020>
3. CCSSO. (19 de Febrero de 1999). Recurso Nacional Canadiense de seguridad y salud ocupacional. Obtenido de http://www.ccsso.ca/oshanswers/chemicals/chem_profiles/aluminum_powder/basic_alu.html
4. Cordeiro Cordeiro, G; Dias Toledo Filho R; Moraes Rego F. (2009). VirtualPro, <https://www.revistavirtualpro.com/biblioteca/caracterizacion-de-la-ceniza-del-bagazo-de-cana-de-azucar-para-su-uso-como-puzolana-en-materiales-cementosos>.
5. Cemex. (2018). Obtenido de <http://www.cemex.es/Cementoblanco.aspx>
6. CSIC. (2018). Obtenido de : <http://www.xtal.igfr.csic.es/Cristalografia/cascara.html>
7. Granizo, L. (s.f.). Concretonline. Obtenido de http://www.concretonline.com/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=883
8. Lafarge. (2018). Obtenido de <http://www.lafarge.com.es/wps/portal/es/cal-hidraulica-restauracion>
9. SCRIBD. (s.f.). Obtenido de <https://www.scribd.com/document/209776106/Cementos-Materiales-de-Adicion>
10. Sandoval Pinedo T. F. (2016). Peru: SlideShare, <https://es.slideshare.net/solita15/utilizacion-de-la-ceniza-del-bagazo-de-cao-de-azucar>.
11. Universidad Complutense de Madrid. (2016). Obtenido de <http://webs.ucm.es/centros/webs/cai5084/index.php?tp=Difracci%F3n%20de%20Polvo&a=dir3&d=23115.php>
12. Universidad de Malaga. (2005). Obtenido de http://webdeptos.uma.es/qicm/doc_docencia/tema14_me.pdf

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

AGRADECIMIENTOS



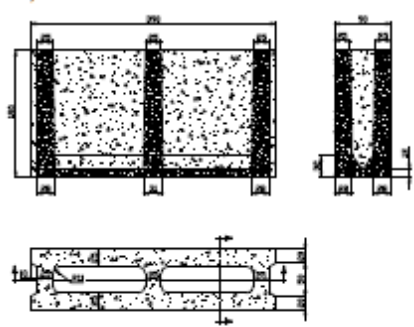
Primero que nada, me gustaría agradecer a mi país (República Dominicana) por apostarle a la educación, permitiendo de esta manera que el Ministerio De Educación Superior Ciencia Y Tecnología (MESCYT) pudiera otorgarme esta beca para poder optar por estudios de posgrado.

Especialmente agradecerle a toda mi familia, mi padre Jovanny, mi madre Nelis, mi hermano Claudio y su familia (Amelia, Luis Claudio y Arturo Manuel), mi hermana Jovannely y su esposo (Payely), abuela Negra, tía Tita, tío Carlos, tía Thelma, mi primo Edwin, amigos y demás familiares; y sobre todo a mi tía Annette; gracias a todos por ayudarme y apoyarme en todo lo que me fue necesario en mi estadía lejos de casa.

También me gustaría agradecer a la Universidad Politécnica de Cataluña por aceptarme; al igual que a todos los maestros que aportaron su granito de arena en este nuevo proceso de aprendizaje. A todo el personal de trabajo del laboratorio de materiales y en especial a los Doctores Joan Ramon Rosell y Antonia Navarro y por guiarme durante todo el proceso del trabajo final de máster.

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

ANEXOS

		Prefabricados Gilva			
Calanda (Teruel) (www.gilva.com) Tel.978-846-160 Fax.978-847.822		Número: 04	Revisión: 3	Fecha: 24-02-2012	
1.- DESIGNACIÓN		BLOQUE 40x20x10 NR (No resistente)			
2.- NORMATIVA		UNE EN 771-3			
3.- MATERIALES					
Cemento	Conforme EN 197-1		Áridos	Conforme EN 12620	
4.- PARÁMETROS DE DISEÑO Y TOLERANCIAS					
Nominal (mm)			Reales (mm)		
Anchura	Altura	Longitud	Anchura	Altura	Longitud
90 +3/-5	200 +3/-5	400 +3/-5	90 +3/-5	190 +3/-5	390 +3/-5
Categoría de Tolerancia en función tipo bloque			Bloque a revestir D1		
5.- PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS					
Resistencia a compresión	Categoría II. Resistencia a a compresión $\geq 5 \text{ N/mm}^2$. R5				
Densidad absoluta seca	Valor medio 1590 kg/m^3 .				
Densidad aparente seca	Valor medio 2395 kg/m^3 .				
Reacción al Fuego	Clase A1				
6.- OTRAS CARACTERÍSTICAS					
Peso/unid	10.30 kg	piezas/palet	110	Peso/palet	1133
Embalaje: Acopiados palet 0.85x1.20m.					
Los datos que aparecen en la Ficha Técnica pueden sufrir modificaciones que se actualizarán a través de las revisiones					
7.- GEOMETRÍA Y DESCRIPCIÓN					
(Cotas en mm)				Rev. 1	
					

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.



HORMIGONES CAVA,S.L.

www.hormigonescava.com

cava@hormigonescava.com

Tfnos. 968 72 52 25

DENOMINACION COMERCIAL – Bloque para enlucido UNE 20x40
PIEZAS SIMILARES –Bloque 20x20x40 Machihembrado
NORMA DE REFERENCIA: UNE – EN 771-3: 2003





CATEGORÍA I 90		
II		
DIMENSIONES DE FABRICACION		
Categoría	D1	
Nominales (mm)		
Anchura	Altura	Longitud
200	200	400
Reales (mm)		
Anchura	Altura	Longitud
190	192	390
Tolerancia (mm)		
Anchura	Altura	Longitud
+3 -5	+3 -5	+3 -5
ESPESOR PARED EXTERIOR (mm)		
≥ 20		
RESISTENCIA A COMPRESIÓN	RESISTENCIA AL FUEGO	
> 6 N/mm ²	Euroclase A1	
ABSORCION DE AGUA		
< 2,5 g/m ² s		
CONDUCTIVIDAD TERMICA EQUIVALENTE	COEFICIENTE DE DIFUSION AL VAPOR DE AGUA	
0.46 W/mK	μ 5/15	
DENSIDAD APARENTE SECA	DENSIDAD ABSOLUTA SECA	
1100 Kg/m ³	2100 Kg/m ³	

CE 06
UNE 771-3



RESISTENCIA A LA ADHERENCIA: valor fijo	
0,15 N/mm ²	
PESO	PIEZAS PALET
15 Kg.	75

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

	FICHA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS BLOQUES Rev: 0 (Nov-10)			

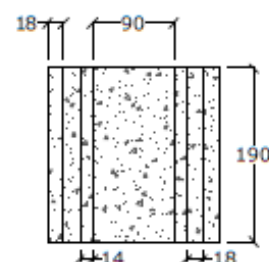
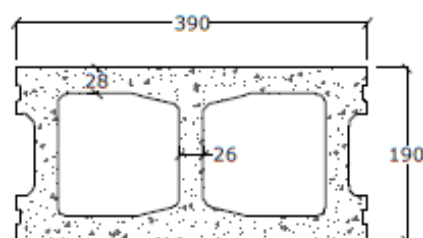
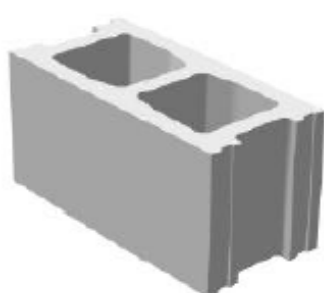
NOMBRE COMERCIAL: BLOQUE IGNÍFUGO 40x20 R-6

NORMA DE REFERENCIA: UNE-EN 771-3:2003 + A1 / UNE 127.771-3

USOS PREVISTOS: estructural, exigencias frente al fuego, condiciones a prueba de humedad, elementos exteriores con caras expuestas, elementos exteriores, exigencias acústicas, exigencias térmicas y durabilidad frente al hielo/deshielo.

DIMENSIONES			
	Longitud	Anchura	Altura
Nominal (mm)	400	200	200
Real (mm)	390	190	190
Tolerancia (mm): Categoría D2	+1, -3	+1, -3	+2

PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS			
Resistencia a compresión	Categoría I	> 6 N/mm ²	Perpendicular superficie apoyo
Absorción agua por capilaridad	Promedio < 3 g/m ² s		Valor individual < 4.2 g/m ² s
Estabilidad dimensional	NPD		
Resistencia a cortante	0.15 N/mm ² para morteros de uso corriente y ligero 0.30 N/mm ² para morteros para juntas y capas finas		
Resistencia a flexión	NPD		
Reacción al fuego	Clase A1		
Permeabilidad al vapor de agua	5/15		
Densidad aparente/absoluta	1100 / 2100 kgs/m ³		
Resistencia térmica	1.30 W/mK		
Durabilidad hielo/deshielo	NPD		
Sustancias peligrosas	NPD		



OTRAS CARACTERÍSTICAS		
Peso bloque/palet	14.5 kgs/ud	1335 kgs/palet
Colores de fabricación	Gris, blanco, crema, amarillo.	
Uds/palet	90	
Resistencia al fuego	EI-180	
Embalaje	Palet normalmente usado 1200x1050 mm embolsado con funda retráctil (salvo gris: flejado).	
Disponibilidad de todo tipo de piezas especiales con las mismas características que el bloque. Posibilidad de hacerlo también con acabado split.		

Bloque hueco de hormigón de áridos densos para uso estructural y de resistencia al fuego.

Las especificaciones que aparecen en las fichas técnicas pueden sufrir modificaciones que quedan recogidas a través de las revisiones actualizadas.

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.



CENTROS DE PRODUCCIÓN	
PREFHORVISA DOMINICANA, S.R.L. Carretera Sánchez, Nil a 4 Km de BANI a AZUA BANI - PERAVIA Tlf. 809 926 2695 e-mail: dominicana@prefhorvisa.com ; prefhorvisadominicana@gmail.com ; Web: www.prefhorvisa.com	

Declaramos, de acuerdo con el **Control de Producción en Fábrica**, que los bloques de hormigón indicados cumplen como referencia con las disposiciones de la norma europea **UNE-EN 771-3:2003+A1 "Especificaciones de piezas para fábrica de albañilería. Bloques de hormigón (áridos densos y ligeros)"**, Anexo ZA de la citada Norma **UNE 127771-3: 2008 CTE y sus DB complementarios**.
 De igual forma cumplen las disposiciones de la **norma dominicana NORDOM 461** según normas ASTM de aplicación.
 En etiqueta identificativa en paletas figura: N° de Lote, fábrica de procedencia y características principales para la trazabilidad del producto.
 Resultados declarados según ensayos periódicos realizados en laboratorios internos y externos.
 Las propiedades no ensayadas están determinadas por tabulación de normativas en función de agregados empleados.

FICHA TÉCNICA DE PRODUCTO. Declaración de Prestaciones nº 1

DENOMINACIÓN COMERCIAL	BLOQUE DE 4 NORMAL						
	Código	X=0	X=1	X=3	X=4	X=5	X=6
	100000X	GRIS	BLANCO	SALMON	CREMA	OCRE	AMARILLO



USO	DE DIVISIÓN (PARTICIONES) Y CERRAMIENTO (MUROS)						
TIPO	Áridos	Agregados de peso Normal	Tipo (control humedad)		II	Familia superficial	Caras laterales lisas
	Familia resistente	R6	Cemento	NORDOM 178	Hidrofugado	NO	Color
BLOQUES / PALET, descripción	158 unidades / palet. 130 uds con laterales extremos con pestañas y 26 uds. con laterales extremos lisos						

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS			
Grupo	Bloque hueco, perforado	Configuración	Dos celdas o huecos pasantes. Relación Área neta/bruta = entre 0,7 y 0,8
Espesores mínimos	Espesor de pared (ep) > 20 mm, Espesor de tabiques (et) > 20 mm, Espesor tabique equivalente (eta) > 0,150		
DIMENSIONES		l (longitud)	w (anchura)
Dimensión nominal (mm):		400	100
Dimensión de fabricación (mm):		397	92
Tolerancia dimensional (mm):		+1 / -3	+1 / -3

PROPIEDADES FÍSICAS	
DENSIDAD	Densidad aparente en seco: 1,200 Kg/m³ ±10% Densidad seca absoluta: > 2,000 Kg/m³ ± 10%

PROPIEDADES MECÁNICAS Carga aplicada perpendicular a las superficies de apoyo	
RESISTENCIA MECÁNICA	Resistencia a compresión media: > 80 Kg/cm² Resistencia normalizada: > 100 Kg/cm²

PROPIEDADES TÉRMICAS			
Conductividad térmica λ	1,18 W/m·K	Resistencia térmica R	0,17 m²·K/W
Calor específico Cp	1,000 J/kg·K		

PROPIEDADES HIGROMÉTRICAS			
Absorción de agua s/peso	< 12%	Durabilidad Hielo-Deshielo	FND
Factor resistencia al vapor de agua (μ)	10	Retracción	0,55 mm/m
Entumecimiento	0,65 mm/m		

REACCIÓN Y RESISTENCIA AL FUEGO	
Reacción al fuego	Inerte
Resistencia al fuego (muro sin revestir)	Estabilidad e Integridad 15 min

PROPIEDADES ACÚSTICAS. Valor mínimo declarado con revestimiento en ambas caras de 15 mm		
Aislamiento acústico al ruido aéreo directo	R = 43 dBA	MASA aproximada (mortero junta d=1900 Kg/m³)
		170 Kg/m²

SUSTANCIAS PELIGROSAS	
FND (Prestación No Declarada). Solicitar ficha de datos de seguridad.	

NOMBRE	JAVIER GARCIA CARRILLO. Ingeniero Industrial Español	FIRMA	
CARGO	DIRECTOR TÉCNICO. REPRESENTANTE DE CALIDAD		
SELLO	<p>NOTA: Este documento no es válido si no va acompañado de albarán o factura emitido por PREFHORVISA</p>	FECHA	15/06/2015

Rev.0. 15/06/2015

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.



CENTROS DE PRODUCCIÓN	
PREFHORVISA DOMINICANA, S.R.L.	
Carretera Sánchez, NII a 4 Km de BANI a AZUA BANI - PERAVIA Tif. 809 926 2695	
e-mail: dominicana@prefhorvisa.com ; prefhorvisadominicana@gmail.com ; Web: www.prefhorvisa.com	

Declaramos, de acuerdo con el **Control de Producción en Fábrica**, que los bloques de hormigón indicados cumplen como referencia con las disposiciones de la norma europea **UNE-EN 771-3:2003+A1 "Especificaciones de piezas para fábrica de albañilería. Bloques de hormigón (áridos densos y ligeros)"**. Anexo ZA de la citada Norma **UNE 127771-3: 2008 CTE y sus DB complementarios**. De igual forma cumplen las disposiciones de la **norma dominicana NORDOM 461** según normas ASTM de aplicación. En etiqueta identificativa en paletas figura: Nº de Lote, fábrica de procedencia y características principales para la trazabilidad del producto. Resultados declarados según ensayos periódicos realizados en laboratorios internos y externos. Las propiedades no ensayadas están determinadas por tabulación de normativas en función de agregados empleados.

FICHA TÉCNICA DE PRODUCTO. Declaración de Prestaciones nº 2									
DENOMINACIÓN COMERCIAL	BLOQUE DE 5 NORMAL								
	Código	120000X	X=0	X=1	X=3	X=4	X=5		
			GRIS	BLANCO	SALMON	CREMA	OCRE	AMARILLO	
USO	DE DIVISIÓN (PARTICIONES) Y CERRAMIENTO (MUROS)								
TIPO	Árdoos	Agregados de peso Normal	Tipo (control humedad)		II	Familia superficial		Caras laterales lisas	
	Familia resistente	R5	Cemento	NORDOM 178	Hidrofugado	NO	Color	Según último dígito del código	
BLOQUES / PALET, descripción	156 unidades / palet 125 uds con laterales extremos con pestaña y 31 ud. divisibles un lateral extremo con pestaña otro liso								
CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS									
Grupo	Bloque hueco, perforado	Configuración	Dos celdas o huecos pasantes. Relación Área neta/bruta = entre 0,5 y 0,6						
Espesores mínimos	Espesor de pared (ep) > 22 mm, Espesor de tabiques (et) > 20 mm, Espesor tabique equivalente (ete) > 0,165								
DIMENSIONES			l (longitud)		w (anchura)		h (altura)		
Dimensión nominal (mm):			400		120		200		
Dimensión de fabricación (mm):			397		115		192		
Tolerancia dimensional (mm):			+1 / -3		+1 / -3		± 2		
PROPIEDADES FÍSICAS									
DENSIDAD	Densidad aparente en seco	1.200 Kg/m³ ± 10%			Densidad seca absoluta	> 2.000 Kg/m³ ± 10%			
PROPIEDADES MECÁNICAS Carga aplicada perpendicular a las superficies de apoyo									
RESISTENCIA MECÁNICA	Resistencia a compresión media	> 50 Kg/cm²			Resistencia normalizada	> 75 Kg/cm²			
PROPIEDADES TÉRMICAS									
Conductividad térmica λ	1,18 W/m.K	Resistencia térmica R	0,18 m² / KW		Calor específico Cp	1.000 J/kg.K			
PROPIEDADES HIGROMÉTRICAS									
Absorción de agua s/peso	< 12%	Durabilidad Hielo-Deshielo	PND	Factor resistencia al vapor de agua (μ)	10				
ESTABILIDAD DIMENSIONAL. Variación debida a la humedad			Retracción	0,55 mm/m	Entumecimiento	0,65 mm/m			
REACCIÓN Y RESISTENCIA AL FUEGO									
Reacción al fuego	Inerte	Resistencia al fuego (muro sin revestir)			Estabilidad e Integridad 15 min				
PROPIEDADES ACÚSTICAS. Valor mínimo declarado con revestimiento en ambas caras de 15 mm									
Aislamiento acústico al ruido aéreo directo	R = 43 dBA	MASA aproximada (mortero junta d=1900 Kg/m³)			170 Kg/m²				
SUSTANCIAS PELIGROSAS									
PND (Prestación No Declarada). Solicitar ficha de datos de seguridad.									
NOMBRE	JAVIER GARCIA CARRILLO. Ingeniero Industrial Español				FIRMA				
CARGO	DIRECTOR TÉCNICO. REPRESENTANTE DE CALIDAD								
SELLO	<p>NOTA: Este documento no es válido si no va acompañado de albarán o factura emitido por PREFHORVISA</p>				FECHA	15/06/2015			

Rev.0. 15/06/2015

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.



CENTROS DE PRODUCCIÓN	
PREFHORVISA DOMINICANA, S.R.L.	
Carretera Sánchez, NII a 4 Km de BANI a AZUA BANI - PERAVIA Tif. 809 926 2695	
e-mail: dominicana@prefhorvisa.com ; prefhorvisadominicana@gmail.com ; Web: www.prefhorvisa.com	

Declaramos, de acuerdo con el **Control de Producción en Fábrica**, que los bloques de hormigón indicados cumplen como referencia con las disposiciones de la norma europea **UNE-EN 771-3:2003+A1 "Especificaciones de piezas para fábrica de albañilería. Bloques de hormigón (áridos densos y ligeros)"**. Anexo ZA, de la citada Norma **UNE 127771-3: 2008. CTE y sus DB complementarios**.
De igual forma cumplen las disposiciones de la **norma dominicana NORDOM 461** según normas ASTM de aplicación.
En etiqueta identificativa en paletas figura: N° de Lote, fábrica de procedencia y características principales para la trazabilidad del producto.
Resultados declarados según ensayos periódicos realizados en laboratorios internos y externos.
Las propiedades no ensayadas están determinadas por tabulación de normativas en función de agregados empleados.

FICHA TÉCNICA DE PRODUCTO. Declaración de Prestaciones nº 3								
DENOMINACIÓN COMERCIAL	BLOQUE DE 6 NORMAL							
	Código	150000X	X=0	X=1	X=3	X=4		X=5
			GRIS	BLANCO	SALMON	CREMA	OCRE	AMARILLO
USO	DE DIVISIÓN (PARTICIONES) Y CERRAMIENTO (MUROS)							
TIPO	Áridos	Agregados de peso Normal	Tipo (control humedad)		II	Familia superficial	Caras laterales lisas	
	Familia resistente	R6	Cemento	NORDOM 178	Hidrofugado	NO	Color	Según último dígito del código
BLOQUES / PALET, descripción	129 unidades / palet. 97 uds con un lateral extremo con pestaña y otro liso y 32 uds. divisibles dos laterales extremos lisos							
CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS								
Grupo	Bloque hueco, perforado	Configuración	Dos celdas o huecos pasantes. Relación Área neta/bruta = entre 0,5 y 0,6					
Espesores mínimos	Espesor de pared (ep) > 25 mm, Espesor de tabiques (et) > 25 mm, Espesor tabique equivalente (ete) > 0,188							
DIMENSIONES		l (longitud)	w (anchura)	h (altura)				
Dimensión nominal (mm):		400	150	200				
Dimensión de fabricación (mm):		397	145	192				
Tolerancia dimensional (mm):		+1 / -3	+1 / -3	± 2				
PROPIEDADES FÍSICAS								
DENSIDAD	Densidad aparente en seco	1.200 Kg/m³ ± 10%		Densidad seca absoluta	> 2.000 Kg/m³ ± 10%			
PROPIEDADES MECÁNICAS Carga aplicada perpendicular a las superficies de apoyo								
RESISTENCIA MECÁNICA	Resistencia a compresión media	> 60 Kg/cm²		Resistencia normalizada	> 100 Kg/cm²			
PROPIEDADES TÉRMICAS								
Conductividad térmica λ	1,18 W/m.K	Resistencia térmica R	0,19 m².K/W		Calor específico Cp	1.000 J/kg.K		
PROPIEDADES HIGROMÉTRICAS								
Absorción de agua sí peso	< 12%	Durabilidad Hielo-Deshielo	PND	Factor resistencia al vapor de agua (μ)	10			
ESTABILIDAD DIMENSIONAL. Variación debida a la humedad	Retracción	0,55 mm/m		Entumecimiento	0,65 mm/m			
REACCIÓN Y RESISTENCIA AL FUEGO								
Reacción al fuego	Inerte	Resistencia al fuego (muro sin revestir)		Resistencia Estabilidad e Integridad 60 min				
PROPIEDADES ACÚSTICAS. Valor mínimo declarado con revestimiento en ambas caras de 15 mm								
Aislamiento acústico al ruido aéreo directo	R = 45 dBA	MASA aproximada (mortero junta d=1900 Kg/m³)		198 Kg/m²				
SUSTANCIAS PELIGROSAS								
PND (Prestación No Declarada). Solicitar ficha de datos de seguridad.								

NOMBRE	JAVIER GARCIA CARRILLO. Ingeniero Industrial Español	FIRMA	
CARGO	DIRECTOR TÉCNICO. REPRESENTANTE DE CALIDAD		
SELLO	<p>NOTA: Este documento no es válido si no va acompañado de albarán o factura emitido por PREFHORVISA</p>	FECHA	15/06/2015

Rev.0. 15/06/2015

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.



CENTROS DE PRODUCCIÓN	
PREFHORVISA DOMINICANA, S.R.L. Carretera Sánchez, NII a 4 Km de BANI a AZUA BANI - PERAVIA TIF. 809 926 2695 e-mail: dominicana@prefhorvisa.com ; prefhorvisadominicana@gmail.com ; Web: www.prefhorvisa.com	

Declaramos, de acuerdo con el **Control de Producción en Fábrica**, que los bloques de hormigón indicados cumplen como referencia con las disposiciones de la norma europea **UNE-EN 771-3:2003+A1 "Especificaciones de piezas para fábrica de albañilería. Bloques de hormigón (áridos densos y ligeros)"**. Anexo ZA de la citada Norma **UNE 127771-3: 2008 CTE y sus DB complementarios**.
 De igual forma cumplen las disposiciones de la **norma dominicana NORDOM 461** según normas ASTM de aplicación.
 En etiqueta identificativa en paletas figura: Nº de Lote, fábrica de procedencia y características principales para la trazabilidad del producto. Resultados declarados según ensayos periódicos realizados en laboratorios internos y externos.
 Las propiedades no ensayadas están determinadas por tabulación de normativas en función de agregados empleados.

FICHA TÉCNICA DE PRODUCTO. Declaración de Prestaciones nº 4

DENOMINACIÓN COMERCIAL	BLOQUE DE 8 NORMAL								
	Código	200000X	X=0	X=1	X=3	X=4	X=5	X=6	
			GRIS	BLANCO	SALMON	CREMA	OCRE	AMARILLO	
USO	ESTRUCTURAL (CARGA), DE DIVISIÓN (PARTICIONES) Y CERRAMIENTO (MUROS)								
TIPO	Áridos	Agregados de peso Normal			Tipo (control humedad)		II	Familia superficial	Caras laterales lisas
	Familia resistente	R6	Cemento	NORDOM 178	Hidrofugado	NO	Color	Según último dígito del código	
BLOQUES / PALET, descripción	105 unidades / palet. 70 uds con un lateral extremo con pestaña y otro liso y 35 ud. divisibles dos laterales extremos lisos								
CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS									
Grupo	Bloque hueco, perforado	Configuración	Dos celdas o huecos pasantes. Relación Área neta/bruta = entre 0,5 y 0,6.						
Espesores mínimos	Espesor de pared (ep) > 30 mm, Espesor de tabiques (et) > 25 mm, Espesor tabique equivalente (ete) > 0,18e								
DIMENSIONES		l (longitud)		w (anchura)		h (altura)			
Dimensión nominal (mm):		400		200		200			
Dimensión de fabricación (mm):		397		195		192			
Tolerancia dimensional (mm):		+1 / -3		+1 / -3		± 2			
PROPIEDADES FÍSICAS									
DENSIDAD	Densidad aparente en seco	1.150 Kg/m³ ±10%			Densidad seca absoluta	> 2.000 Kg/m³ ± 10%			
PROPIEDADES MECÁNICAS Carga aplicada perpendicular a las superficies de apoyo									
RESISTENCIA MECÁNICA	Resistencia a compresión media	> 60 Kg/cm²			Resistencia normalizada	> 100 Kg/cm²			
PROPIEDADES TÉRMICAS									
Conductividad térmica λ	1,18 W/m·K	Resistencia térmica R	0,22 m²·K/W		Calor específico Cp	1.000 J/kg·K			
PROPIEDADES HIGROMÉTRICAS									
Absorción de agua a peso	< 12%	Durabilidad Hielo-Deshielo	PND	Factor resistencia al vapor de agua (μ)	10				
ESTABILIDAD DIMENSIONAL. Variación debida a la humedad	Retracción	0,55 mm/m		Entumecimiento	0,65 mm/m				
REACCIÓN Y RESISTENCIA AL FUEGO									
Reacción al fuego	Inerte	Resistencia al fuego (muro sin revestir)			Resistencia Estabilidad e Integridad 60 min				
PROPIEDADES ACÚSTICAS. Valor mínimo declarado con revestimiento en ambas caras de 15 mm									
Aislamiento acústico al ruido aéreo directo	R = 49 dBA	MASA aproximada (mortero junta d=1900 Kg/m³)			244 Kg/m²				
SUSTANCIAS PELIGROSAS									
PND (Prestación No Declarada). Solicitar ficha de datos de seguridad.									

NOMBRE	JAVIER GARCIA CARRILLO. Ingeniero Industrial Español	FIRMA	
CARGO	DIRECTOR TÉCNICO. REPRESENTANTE DE CALIDAD		
SELLO	<div style="border: 1px solid red; padding: 2px; display: inline-block;"> NOTA: Este documento no es válido si no va acompañado de albarán o factura emitido por PREFHORVISA </div>	FECHA	15/06/2015

Rev.0. 15/06/2015

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

Construcción

Hoja de Datos de Producto

Edición 29/11/2013
Identificación n.º 1.1.11<
Versión n.º 1
Sika® ViscoCrete®-5970

Sika® ViscoCrete®-5970



Superplastificante de tercera generación para la fabricación de hormigones preparados

Descripción del Producto	Superplastificante de tercera generación para hormigones preparados, tanto en planta de hormigón como en planta de obra. Está exento de cloruros.
Usos	<ul style="list-style-type: none"> ■ Hormigones fluidos y autocompactante (S.C.C.) ■ Hormigones proyectados ■ Hormigones con altas resistencias iniciales y finales ■ Hormigones de altas durabilidad ■ Hormigones fabricados en obra ■ Hormigones fabricados en planta ■ Hormigonado con temperaturas bajas-medias ■ Hormigonado con curvas granulométricas no muy adecuadas
Características/Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> ■ Se utiliza en la confección de hormigones con relaciones a/c bajas sin pérdida de propiedades como: <ul style="list-style-type: none"> - bombeabilidad, - fluidez, - plasticidad ■ La introducción de este aditivo en la fabricación del hormigón incrementa las resistencias iniciales y finales del mismo. ■ Proporciona alta durabilidad e impermeabilidad en los hormigones
Ensayo	
Certificados/Normas	Cumple con las especificaciones de la norma UNE EN 932-2: Tablas 11.1 y 11.2 reductor de agua/plastificante /retardador.
Datos del Producto	
Forma	
Apariencia/Color	Líquido marrón amarillento
Presentación	Contenedores de m ³ . Bajo pedido puede suministrarse a granel.
Almacenamiento	
Condiciones de almacenamiento/Conservación	12 meses, desde su fecha de fabricación en sus envases de origen bien cerrados y no deteriorados al resguardo de las heladas y de la luz directa del sol, entre +5°C y +35°C.
Datos Técnicos	
Composición química	Policarboxilatos modificados.
Densidad	Aprox. 1,06 kg/l.
Valor de pH	5 ± 1.



Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

Versión y fecha de revisión: 5 07.10.2017.

Fecha de edición: 07.10.2017.



Ficha de Datos de Seguridad
Según Reglamento (UE) 830/2015

1098 **Aluminio *metal polvo**

3. Composición/información sobre los componentes

3.1 Sustancias

Denominación: Aluminio *metal polvo

Fórmula: Al M.= 26,98 CAS [7429-90-5]

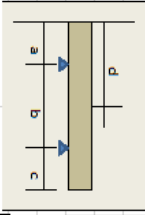
Número CE (EINECS): 231-072-3

Número de índice CE: 013-002-00-1

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

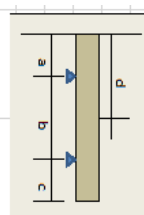
2AA

especificacions	nº proveta	SEPARACIÓ SUPORTS	Peso (g)	altura	anchura base	Longitud	Flexión. Cara1	Flexión. Cara2	freq. longitudinal	velocitat de pas sò maretlet long.	MOE MPa flex. cara 1	MOE MPa flex. cara 2	MOE MPa longitudinal
			g	mm	mm	mm	Hz	Hz	Hz	m/seg	(2) ref.	(2) ref.	1319
		a	340,73	39,01	39,49	157,26	1654		3594	876,79	1116	#DIV/0!	considera
		b	67,5	38,75	36,61	17,41	1658		3584				considera
		c	27,4	39,94	39,48	156,96	1654		3601				Poisson
		d	61,1	39,67	39,57	157,24	1652		3585				(3) ref.
							1650		3574				1404
							1653		3584				no consid.
		Std. Dev.					2,66458252		9,33809402				Poisson
		mítiames	340,73	39,34	38,79	122,22	1654	#DIV/0!	3587				(1) ref.
		sensibilitat	0,01	0,01	0,01	0,01	1	1	1				
		err. Mes. rel.	2,93E-05	2,54E-04	2,58E-04	8,18E-05	6,05E-04	#DIV/0!	2,79E-04	3,35E-03			
		err. accid.					3,06370009	#DIV/0!	10,7368112				
		err. Accid. relatiu					1,85E-03	#DIV/0!	2,99E-03				
		ERROR									10,83	#DIV/0!	1,66



1BH

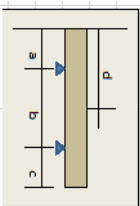
especificacions	nº proveta	SEPARACIÓ SUPORTS	Peso (g)	altura	anchura base	Longitud	Flexión. Cara1	Flexión. Cara2	freq. longitudinal	velocitat de pas sò maretlet long.	MOE MPa flex. cara 1	MOE MPa flex. cara 2	MOE MPa longitudinal
			g	mm	mm	mm	Hz	Hz	Hz	m/seg	(2) ref.	(2) ref.	1333
		a	338,84	40,05	38,84	158,71	1487		3184	1014,65	1597	#DIV/0!	considera
		b	87,7	40,02	38,57	158,99	1486		3200				considera
		c	35,6	40,19	38,51	158,96	1485		3185				Poisson
		d	79,4	40,04	38,48	158,82	1479		3192				(3) ref.
							1477		3212				1419
							1481		3187				no consid.
		Std. Dev.					4,086569335		10,8750479				Poisson
		mítiames	338,84	40,08	38,60	158,87	1483	#DIV/0!	3193				(1) ref.
		sensibilitat	0,01	0,01	0,01	0,01	1	1	1				
		err. Mes. rel.	2,95E-05	2,50E-04	2,59E-04	6,29E-05	6,75E-04	#DIV/0!	3,13E-04	4,29E-03			
		err. accid.					4,69867396	#DIV/0!	12,5039795				
		err. Accid. relatiu					3,17E-03	#DIV/0!	3,92E-03				
		ERROR									18,54	#DIV/0!	1,74



Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

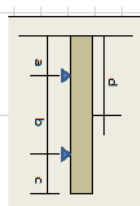
2CA

especificacions	nº proveta	SEPARACIÓ SUPORTS		Peso (g)	altura	anchura base	Longitud	Flexión. Cara1	Flexión. Cara2	freq. longitudinal	velocitat de pas sò maretlet long.	MOE MPa flex. cara 1	MOE MPa flex. cara 2	MOE MPa longitudinal
		a	b											
		34,9	85,9	331,15	39,6	38,6	155,83	1600		3473	1079,95	(2) ref.	(2) ref.	1528
			34,9		39,11	39,36	155,69	1593		3470				considera Poisson
			77,8		39,16	38,54	155,47	1590		3469				considera Poisson
					39,01	39,05	155,46	1595		3479				(3) ref.
								1592		3468				1627
								1592		3461				no consid.
		Std. Desv.						3,40587727		5,99295879				Poisson
		múltiples						1594	#DIV/0!	3470				(1) ref.
		sensibilitat			0,01	0,01	0,01	1	#DIV/0!	1				
		err. Mes. rel.			2,55E-04	2,57E-04	6,43E-05	6,27E-04	#DIV/0!	2,88E-04				
		err. accid.						3,91603053	#DIV/0!	6,82163387				
		err. Accid. relatiu						2,46E-03	#DIV/0!	1,97E-03				
		ERROR										18,25	#DIV/0!	1,93

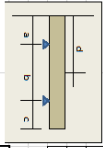


2BA

especificacions	nº proveta	SEPARACIÓ SUPORTS		Peso (g)	altura	anchura base	Longitud	Flexión. Cara1	Flexión. Cara2	freq. longitudinal	velocitat de pas sò maretlet long.	MOE MPa flex. cara 1	MOE MPa flex. cara 2	MOE MPa longitudinal
		a	b											
		35,6	87,8	364,44	39,31	39,81	159,29	1611		3660	1163,80	(2) ref.	(2) ref.	1863
			35,6		39,5	39,61	159,26	1614		3662				considera Poisson
			79,5		39,47	39,76	158,67	1610		3662				considera Poisson
					39,31	39,65	158,91	1606		3652				(3) ref.
								1611		3660				1984
								1611		3658				no consid.
		Std. Desv.						2,58843582		3,74165739				Poisson
		múltiples						1611	#DIV/0!	3659				(1) ref.
		sensibilitat			0,01	0,01	0,01	1	#DIV/0!	1				
		err. Mes. rel.			2,74E-05	2,54E-04	6,29E-05	6,21E-04	#DIV/0!	2,73E-04				
		err. accid.						2,97614767	#DIV/0!	4,30210586				
		err. Accid. relatiu						1,85E-03	#DIV/0!	1,18E-03				
		ERROR										18,28	#DIV/0!	2,27



Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

M2H5										M2A1										M2A2									
especificacions		nº proveta		SEPARACIÓ SUPORTS		Peso (g)		altura		anchura base		Longitud		Flexión. Cara1		Flexión. Cara2		freq. longitudinal		velocitat de pas sò maretlet long.		MOE MPa flex. cara 1		MOE MPa flex. cara 2		MOE MPa longitudinal			
																													
		a		35,7		409,76		40,19		38,73		159,17		1673		1673		3485		1109,06		2434		1888					
		b		87,9				39,93		38,93		159,74		1674				3490											
		c		35,7				39,76		40,14		159,28		1672				3472											
		d		79,7				40,19		39,55		159,05		1666				3469											
		Std. Desv.																											
		mitjanes		409,76		40,02		39,33		159,31		1672		3481				3487											
		sensibilitat		0,01		0,01		0,01		0,01		1		1				8,47153092											
		err. Mes. rel.		2,44E-05		2,50E-04		2,54E-04		6,28E-05		3,89911455		8,74043746				2,30E-03											
		err. Acclid. relatiu																											
		ERROR																											
		Poissou hipoct.(h)		0,16																									
		Std. Desv.																											
		mitjanes		315,51		37,04		39,32		156,23		1191		2953				2678											
		sensibilitat		0,01		0,01		0,01		0,01		1		1				18,3193886											
		err. Mes. rel.		3,17E-05		2,70E-04		2,54E-04		6,40E-05		6,31310734		21,0633794				7,94E-03											
		err. Acclid. relatiu																											
		ERROR																											
		Poissou hipoct.(h)		0,2																									
		Std. Desv.																											
		mitjanes		315,51		39,19		38,42		156,26		1218		2743				2743											
		sensibilitat		0,01		0,01		0,01		0,01		1		1				7,30524925											
		err. Mes. rel.		3,17E-05		2,55E-04		2,60E-04		6,40E-05		8,21E-04		3,65E-04				8,39947444											
		err. Acclid. relatiu																											
		ERROR																											
		Poissou hipoct.(h)		0,2																									
		Std. Desv.																											
		mitjanes		315,51		39,19		38,42		156,26		1218		2743				7,30524925											
		sensibilitat		0,01		0,01		0,01		0,01		1		1				8,06693118											
		err. Mes. rel.		3,17E-05		2,55E-04		2,60E-04		6,40E-05		8,21E-04		3,65E-04				9,27862489											
		err. Acclid. relatiu																											
		ERROR																											
		Poissou hipoct.(h)		0,2																									
		Std. Desv.																											
		mitjanes		315,51		39,19		38,42		156,26		1218		2743				7,30524925											
		sensibilitat		0,01		0,01		0,01		0,01		1		1				8,06693118											
		err. Mes. rel.		3,17E-05		2,55E-04		2,60E-04		6,40E-05		8,21E-04		3,65E-04				9,27862489											
		err. Acclid. relatiu																											
		ERROR																											
		Poissou hipoct.(h)		0,2																									
		Std. Desv.																											
		mitjanes		315,51		39,19		38,42		156,26		1218		2743				7,30524925											
		sensibilitat		0,01		0,01		0,01		0,01		1		1				8,06693118											
		err. Mes. rel.		3,17E-05		2,55E-04		2,60E-04		6,40E-05		8,21E-04		3,65E-04				9,27862489											
		err. Acclid. relatiu																											
		ERROR																											
		Poissou hipoct.(h)		0,2																									
		Std. Desv.																											
		mitjanes		315,51		39,19		38,42		156,26		1218		2743				7,30524925											
		sensibilitat		0,01		0,01		0,01		0,01		1		1				8,06693118											
		err. Mes. rel.		3,17E-05		2,55E-04		2,60E-04		6,40E-05		8,21E-04		3,65E-04				9,27862489											
		err. Acclid. relatiu																											
		ERROR																											

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

M6C3												M6C4																											
especificacions		nº proveta		SEPARACIÓ SUPORTS		Peso (g)		altura		anchura base		Longitud		Flexión. Cara1		Flexión. Cara2		freq. longitudinal		velocitat de pas sò maretlet long.		MOE MPa flex. cara 1		MOE MPa flex. cara 2		MOE MPa longitudinal													
				a		b		c		d		g		mm		mm		mm		mm		Hz		Hz		Hz		m/seg		(2) ref.		(2) ref.		(1) ref.					
				35,0		86,2		35,0		78,1		333,38		40,79		40,03		40,7		40,74		40,17		155,87		2990		2990		6628		2070,84		5682		5238			
				mitjanes		sensibilitat		err. Mes. rel.		err. accid.		Std. Desv.																											
				0,16		3,00E-05		2,47E-04		2,47E-04		156,22		2,42212028		2990		1,16904519		6628		4,18E-04		36,78		#DIV/0!		4,96											
				333,38		0,01		40,57		40,45		156,22		2,42212028		2990		1,16904519		6628		4,18E-04		36,78		#DIV/0!		4,96											
				sensibilitat		err. Mes. rel.		err. accid.		err. accid. relatiu		ERROR																											
				0,16		3,00E-05		2,47E-04		2,47E-04		6,40E-05		2,78492037		#DIV/0!		1,34415198		2,03E-04																			
				333,38		0,01		40,57		40,45		156,22		2,42212028		2990		1,16904519		6628		4,18E-04		36,78		#DIV/0!		4,96											
				sensibilitat		err. Mes. rel.		err. accid.		err. accid. relatiu		ERROR																											
				0,16		3,00E-05		2,47E-04		2,47E-04		6,40E-05		2,78492037		#DIV/0!		1,34415198		2,03E-04																			
				333,38		0,01		40,57		40,45		156,22		2,42212028		2990		1,16904519		6628		4,18E-04		36,78		#DIV/0!		4,96											
				sensibilitat		err. Mes. rel.		err. accid.		err. accid. relatiu		ERROR																											
				0,16		3,00E-05		2,47E-04		2,47E-04		6,40E-05		2,78492037		#DIV/0!		1,34415198		2,03E-04																			
				333,38		0,01		40,57		40,45		156,22		2,42212028		2990		1,16904519		6628		4,18E-04		36,78		#DIV/0!		4,96											
				sensibilitat		err. Mes. rel.		err. accid.		err. accid. relatiu		ERROR																											
				0,16		3,00E-05		2,47E-04		2,47E-04		6,40E-05		2,78492037		#DIV/0!		1,34415198		2,03E-04																			
				333,38		0,01		40,57		40,45		156,22		2,42212028		2990		1,16904519		6628		4,18E-04		36,78		#DIV/0!		4,96											
				sensibilitat		err. Mes. rel.		err. accid.		err. accid. relatiu		ERROR																											
				0,16		3,00E-05		2,47E-04		2,47E-04		6,40E-05		2,78492037		#DIV/0!		1,34415198		2,03E-04																			
				333,38		0,01		40,57		40,45		156,22		2,42212028		2990		1,16904519		6628		4,18E-04		36,78		#DIV/0!		4,96											
				sensibilitat		err. Mes. rel.		err. accid.		err. accid. relatiu		ERROR																											
				0,16		3,00E-05		2,47E-04		2,47E-04		6,40E-05		2,78492037		#DIV/0!		1,34415198		2,03E-04																			
				333,38		0,01		40,57		40,45		156,22		2,42212028		2990		1,16904519		6628		4,18E-04		36,78		#DIV/0!		4,96											
				sensibilitat		err. Mes. rel.		err. accid.		err. accid. relatiu		ERROR																											
				0,16		3,00E-05		2,47E-04		2,47E-04		6,40E-05		2,78492037		#DIV/0!		1,34415198		2,03E-04																			
				333,38		0,01		40,57		40,45		156,22		2,42212028		2990		1,16904519		6628		4,18E-04		36,78		#DIV/0!		4,96											
				sensibilitat		err. Mes. rel.		err. accid.		err. accid. relatiu		ERROR																											
				0,16		3,00E-05		2,47E-04		2,47E-04		6,40E-05		2,78492037		#DIV/0!		1,34415198		2,03E-04																			
				333,38		0,01		40,57		40,45		156,22		2,42212028		2990		1,16904519		6628		4,18E-04		36,78		#DIV/0!		4,96											
				sensibilitat		err. Mes. rel.		err. accid.		err. accid. relatiu		ERROR																											
				0,16		3,00E-05		2,47E-04		2,47E-04		6,40E-05		2,78492037		#DIV/0!		1,34415198		2,03E-04																			
				333,38		0,01		40,57		40,45		156,22		2,42212028		2990		1,16904519		6628		4,18E-04		36,78		#DIV/0!		4,96											
				sensibilitat		err. Mes. rel.		err. accid.		err. accid. relatiu		ERROR																											

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

M6HC5

especificacions		nº proveta		SEPARACIÓ SUPORTS		Peso (g)		altura		anchura base		Longitud		Flexión. Cara1		Flexión. Cara2		freq. longitudinal		velocitat de pas sò maretllet long.		MOE MPa flex. cara 1		MOE MPa flex. cara 2		MOE MPa longitudinal		
				a	34,8	g	360,79	mm	39,98	mm	39,96	mm	155,13	Hz	3180	Hz	3180	Hz	3594	m/seg	1113,75	(2) ref.	7063	(2) ref.	1681			
				b	85,7				39,56		40,03		155,31		3181		3181		3584				considera					
				c	34,8				40,65		40,08		155,15		3181		3181		3601				Poisson					
				d	77,6				40,7		40,1		155,4		3181		3175		3585									
				Std. Desv.											3181		3181		3584									
				mïtjanes			360,79		40,22		40,04		155,25		3180		3180		3587									
				sensibilitat			0,01		0,01		0,01		0,01		1		1		1									
				err. Mes. rel.			2,77E-05		2,49E-04		2,50E-04		6,44E-05		3,14E-04		3,14E-04		2,79E-04									
				err. accid.											2,76108323		2,76108323		10,7368112									
				err. Accid. relatiu											8,68E-04		8,68E-04		2,99E-03									
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								
				ERROR																								

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

Prueba de Succión Capilar

FECHA:	15/01/2007	"T":	
MUESTRA:	M6H1	CARA:	
"S"		"Mo"	
(m*2):	0,0026	(Kg):	0,3

"T"(min)	"T"(h1/2)	"Mi"(Kg)	m"(Kg/m*2)	
1	0,1290994	0,306	2,3076923	2,3076923
4	0,2581989	0,31	3,8461538	3,8461538
9	0,3872983	0,313	5	5
16	0,5163978	0,315	5,7692308	5,7692308
25	0,6454972	0,318	6,9230769	6,9230769
36	0,7745967	0,321	8,0769231	8,0769231
49	0,9036961	0,324	9,2307692	9,2307692
64	1,0327956	0,327	10,384615	10,384615

FECHA:	15/01/2007	"T":	
MUESTRA:	M6H2	CARA:	
"S"		"Mo"	
(m*2):	0,0026	(Kg):	0,396

"T"(min)	"T"(h1/2)	"Mi"(Kg)	m"(Kg/m*2)	
1	0,1290994	0,402	2,3076923	2,3076923
4	0,2581989	0,405	3,4615385	3,4615385
9	0,3872983	0,407	4,2307692	4,2307692
16	0,5163978	0,41	5,3846154	5,3846154
25	0,6454972	0,412	6,1538462	6,1538462
36	0,7745967	0,414	6,9230769	6,9230769
49	0,9036961	0,416	7,6923077	7,6923077
64	1,0327956	0,419	8,8461538	8,8461538

FECHA:	15/01/2007	"T":	
MUESTRA:	M6C3	CARA:	
"S"		"Mo"	
(m*2):	0,0026	(Kg):	0,325

"T"(min)	"T"(h1/2)	"Mi"(Kg)	m"(Kg/m*2)	
1	0,1290994	0,331	2,3076923	2,3076923
4	0,2581989	0,333	3,0769231	3,0769231
9	0,3872983	0,335	3,8461538	3,8461538
16	0,5163978	0,337	4,6153846	4,6153846
25	0,6454972	0,339	5,3846154	5,3846154
36	0,7745967	0,341	6,1538462	6,1538462
49	0,9036961	0,343	6,9230769	6,9230769
64	1,0327956	0,345	7,6923077	7,6923077

Bloques ecológicos transpirables no permeables, mediante la utilización de residuos o cenizas producidas por la incineración del bagazo de la caña de azúcar.

FECHA:	15/01/2007	"T":	
MUESTRA:	M6C4	CARA:	
"S"		"Mo"	
(m*2):	0,0026	(Kg):	0,365

"T"(min)	"T"(h1/2)	"Mi"(Kg)	m"(Kg/m*2)	
1	0,1290994	0,372	2,6923077	2,6923077
4	0,2581989	0,374	3,4615385	3,4615385
9	0,3872983	0,376	4,2307692	4,2307692
16	0,5163978	0,378	5	5
25	0,6454972	0,38	5,7692308	5,7692308
36	0,7745967	0,382	6,5384615	6,5384615
49	0,9036961	0,384	7,3076923	7,3076923
64	1,0327956	0,386	8,0769231	8,0769231

FECHA:	15/01/2007	"T":	
MUESTRA:	M6HC5	CARA:	
"S"		"Mo"	
(m*2):	0,0026	(Kg):	0,358

"T"(min)	"T"(h1/2)	"Mi"(Kg)	m"(Kg/m*2)	
1	0,12909944	0,362	1,5384615	1,5384615
4	0,25819889	0,364	2,3076923	2,3076923
9	0,38729833	0,365	2,6923077	2,6923077
16	0,51639778	0,366	3,0769231	3,0769231
25	0,64549722	0,367	3,4615385	3,4615385
36	0,77459667	0,368	3,8461538	3,8461538
49	0,90369611	0,369	4,2307692	4,2307692
64	1,03279556	0,37	4,6153846	4,6153846

FECHA:	15/01/2007	"T":	
MUESTRA:	M6HC6	CARA:	
"S"		"Mo"	
(m*2):	0,0026	(Kg):	0,387

"T"(min)	"T"(h1/2)	"Mi"(Kg)	m"(Kg/m*2)	
1	0,12909944	0,39237	2,0653846	2,0653846
4	0,25819889	0,39407	2,7192308	2,7192308
9	0,38729833	0,39473	2,9730769	2,9730769
16	0,51639778	0,39535	3,2115385	3,2115385
25	0,64549722	0,39592	3,4307692	3,4307692
36	0,77459667	0,39631	3,5807692	3,5807692
49	0,90369611	0,39631	3,5807692	3,5807692
64	1,03279556	0,39731	3,9653846	3,9653846