

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES ACÚSTICAS Y DE CONDUCTIVIDAD
TÉRMICA DE MORTEROS MODIFICADOS CON JUGO DE FIQUE**

**CRISTHIAN EDUARDO ORTIZ RAMÍREZ
SERGIO RUIZ MARTÍNEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2016**

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES ACÚSTICAS Y DE CONDUCTIVIDAD
TÉRMICA DE MORTEROS MODIFICADOS CON JUGO DE FIQUE**

**CRISTHIAN EDUARDO ORTIZ RAMÍREZ
SERGIO RUIZ MARTÍNEZ**

Trabajo de grado como requisito para optar por el título de
Ingeniero Civil

Director:

RICARDO ALFREDO CRUZ HERNANDEZ
Ingeniero Civil. Ph D

Codirector:

JULIAN ORLANDO HERRERA ORTIZ
Ingeniero Metalúrgico. Msc

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCIÓN	14
1. OBJETIVOS	16
1.1. OBJETIVO GENERAL	16
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
2. METODOLOGÍA.....	17
2.1. CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES.....	17
2.1.1. Agua	17
2.1.2. Cemento	17
2.1.3. Agregado.....	18
2.1.4. Jugo de fique	19
2.1.4.2. Extracto seco convencional.....	20
2.1.4.3. Pérdidas por calcinación	20
2.1.4.4. Determinación del ph	21
2.2. DISEÑO DE MEZCLA.....	22
2.4. CURADO DE PROBETAS	26
2.5. ENSAYOS	28
2.5.1. Tiempos de fraguado.....	28
2.5.2. Fluidez.....	29
2.5.3. Densidad, porosidad y absorción	30
2.5.4. Compresión simple.....	31
2.5.5. Conductividad térmica	32
2.5.6. Impedancia acústica.....	35

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS	39
3.1. JUGO DE FIQUE	39
3.2. TIEMPOS DE FRAGUADO	40
3.3. FLUIDEZ.....	42
3.4. DENSIDAD Y POROSIDAD	44
3.5. COMPRESIÓN SIMPLE	46
3.6. CONDUCTIVIDAD TÉRMICA.....	49
3.7. IMPEDANCIA ACÚSTICA	53
4. CONCLUSIONES.....	56
5. RECOMENDACIONES	58
REFERENCIAS	59
BIBLIOGRAFÍA.....	63
ANEXOS	64

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Granulometría del agregado fino utilizado.	18
Tabla 2. Propiedades de los elementos utilizados en la mezcla.	23
Tabla 3. Dosificaciones utilizadas para la realización de la mezcla.	24
Tabla 4. Dimensiones de las probetas cilíndricas utilizadas.	25
Tabla 5. Cantidad de golpes y capas para la fabricación de probetas.	26
Tabla 6. Formación de espuma hallada en el jugo de fique (ASTM D1173).	39
Tabla 7. Características principales del jugo de fique.	39
Tabla 8. Resistencia promedio a la compresión.	47
Tabla 9. Coeficiente de conductividad térmica promedio para cada dosificación utilizada.	50
Tabla 10. Valores de conductividad térmica para diferentes materiales de construcción.	50
Tabla 11. Coeficiente de conductividad térmica para diferentes tipos de mortero.	51
Tabla 12. Coeficientes de absorción acústica para diferentes materiales.	54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Formación de espuma.	19
Figura 2. Medición del pH.	21
Figura 3. Probeta con adición de 9% de jugo de fique 24 horas después de la inmersión.	27
Figura 4. Probeta con adición de 9% al séptimo día de su fabricación.	28
Figura 5. Ensayo de tiempos de fraguado por el método de Vicat.	29
Figura 6. Imposición de la carga axial de compresión sobre el espécimen de mortero.	32
Figura 7. Banco de conductividad térmica en funcionamiento.	33
Figura 8. Esquema del banco de conductividad térmica en estado estable.	34
Figura 9. Montaje del tubo de impedancia acústica.	35
Figura 10. Generador de frecuencias y osciloscopio.	36

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Tiempos de fraguado inicial y final en función de la dosificación de jugo.	41
Gráfico 2. Fraguado final para cada dosificación utilizada.....	42
Gráfico 3. Fluidez promedio en función de la cantidad de jugo adicionada.	43
Gráfico 4. Densidad seca para cada dosificación de jugo de fique utilizada.....	44
Gráfico 5. Volumen promedio de poros permeables (vacíos) para cada dosificación utilizada.....	45
Gráfico 6. Porcentaje de absorción y porosidad en relación a la dosificación de jugo de fique.	46
Gráfico 7. Reducción de la compresión en relación a la cantidad de aditivo.	48
Gráfico 8. Relación entre la resistencia a la compresión y el volumen de poros permeables para cada dosificación.....	49
Gráfico 9. Relación entre la cantidad de aditivo, la conductividad térmica y la cantidad de poros.	52
Gráfico 10. Coeficiente de absorción acústica para cada dosificación.	53

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. CANTIDAD DE CEMENTO EN RELACIÓN AL MÓDULO DE FINURA DE LA ARENA Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE DISEÑO.....	64
ANEXO B. COEFICIENTE DE ABSORCIÓN POR FRECUENCIA OBTENIDO PARA CADA MUESTRA.....	65

RESUMEN

TÍTULO: EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES ACÚSTICAS Y DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE MORTEROS MODIFICADOS CON JUGO DE FIQUE*

AUTORES: CRISTHIAN EDUARDO ORTIZ RAMÍREZ
SERGIO RUIZ MARTÍNEZ**

PALABRAS CLAVE: Aditivo natural, Conductividad térmica, Jugo de fique, Impedancia acústica, Mortero de cemento.

Del proceso de extracción de la fibra de fique para la fabricación de productos artesanales en varias regiones de Colombia surge como residuo un jugo el cual no tiene un uso establecido y al considerarse éste como desecho es vertido en corrientes hídricas o sobre el terreno sin tratamiento alguno. Bajo la premisa de mitigar el impacto ambiental se ha optado por encontrar alguna utilidad a ese subproducto, por lo cual en este trabajo se desarrollaron morteros de cemento modificados por tres dosificaciones diferentes de jugo, 3%, 6% y 9% en base a la masa total de cemento. Inicialmente se realizaron ensayos al jugo para conocer su pH, la capacidad espumante, la cantidad de agua y cantidad de materia orgánica. Para cada mezcla se realizaron ensayos de fluidez, tiempos de fraguado en estado fresco, compresión simple y porosidad a 28 días obteniendo como resultado una mejoría en la trabajabilidad del mortero en estado fresco, disminuciones del tiempo de fraguado y aumento de porosidad, lo que por consecuencia disminuyó la resistencia a la compresión. Adicionalmente se investigó la conductividad térmica e impedancia acústica del mortero endurecido, con resultados que confirman la influencia de la presencia de poros permeables como determinante en la obtención de menores coeficientes de conductividad térmica y mayor absorción acústica para frecuencias menores a 1000 Hz.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Ricardo Alfredo Cruz Hernández. Codirector: Julián Orlando Herrera Ortiz

ABSTRACT

TITLE: EVALUATION OF ACOUSTIC AND THERMAL CONDUCTIVITY PROPERTIES OF CEMENT MORTARS MODIFIED WITH FIQUE LIQUOR*

AUTHORS: CRISTHIAN EDUARDO ORTIZ RAMÍREZ
SERGIO RUIZ MARTÍNEZ**

KEYWORDS: Acoustic impedance, Cement mortar, Fique liquor, Natural additive, Thermal conductivity.

From the process of extraction of the fique fiber for the manufacturing of handicraft products in several regions from Colombia it is produced as a residue a liquor which doesn't have an established use and that as a discard is poured into hydric streams or into the soil without any kind of treatment. Under the premise of mitigating the environmental impact, it was decided to find a utility for this byproduct. In this work were developed cement mortars with three dosages of liquor, 3%, 6% and 9% of the cement mass. Initially test were done to the liquor to determinate its pH, foaming capacity, water amount and percentage of organic material. Were done, for each modified mixture flow and setting time in fresh state, and compression and porosity tests at the age of 28 days having as results an improvement in the workability, reduction of the setting time and increase of the porosity, which consequently decreased the compression strength. Additionally it was investigated the thermal conductivity and acoustic impedance of the hardened mortar, with results that confirm the influence of permeable pores as determinant in the obtainment of lower thermal conductivity coefficients and higher acoustic absorption for under 1000 Hz frequencies.

* Bachelor Thesis

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Ricardo Alfredo Cruz Hernández. Codirector: Julián Orlando Herrera Ortiz

INTRODUCCIÓN

Actualmente la población mundial afronta problemas críticos debido a la misma actividad humana. Al considerar la contaminación como la enfermedad más grave para el medio ambiente, se han desarrollado propuestas, que aunque se enfoquen a problemáticas particulares, contribuyen en conjunto a disminuir el daño ecológico.

En Colombia el fique, crece en casi todos los climas y se desarrolla en sitios donde la tierra no es apta para los cultivos y cuya marginalidad económica es notoria, por lo que el empleo generado ayuda a la economía regional y genera la utilización adecuada de áreas marginales para la explotación agroindustrial. El país produce cerca de treinta mil (30000) toneladas de fique al año, principalmente en los departamentos del Cauca, Nariño, Santander y Antioquia, y de éste depende económicamente setenta mil (70000) familias [1]. Del fique sólo se aprovecha un 4% del total, para la producción de fibra (cabuya). El 96% restante se desecha al ambiente, lo cual causa severos problemas de contaminación. De los desechos (96% del total), el 70% es jugo [2].

Con la intención de disminuir el impacto ambiental que genera la producción de materia prima para la industria agrícola, uno de los enfoques principales de la academia debe ser la búsqueda de mecanismos de reutilización o aprovechamiento de subproductos y residuos de estas actividades, por lo cual se ha estudiado la posibilidad de uso de estos residuos como materiales alternativos, constituyentes de morteros y concretos, fundamentales en el sector de la construcción.

El aire ocluido en el mortero presenta una relación directamente proporcional a la cantidad de aditivo natural utilizado en la mezcla, así mismo se disminuye la densidad dado que el contenido de aire tiende a ser mayor por la generación de poros de diámetros minúsculos [3] espacios que se espera, puedan ayudar en la

disipación de ondas sonoras, y de la misma manera a la disminución de la conductividad térmica, de esta forma se pretende encontrar una utilidad a un subproducto de la agroindustria colombiana.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar las propiedades acústicas y de conductividad térmica de morteros de Cemento Portland Tipo I modificados con aditivo natural (jugo de fique).

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar la manejabilidad y los tiempos de fraguado del mortero con relación agua/cemento de 0,5 modificado por la adición de jugo de fique con dosificaciones de 0%, 3%, 6% y 9%.

Estimar la porosidad y distribución de poros del mortero con madurez superior a veintiocho (28) días para las diferentes dosificaciones previamente planteadas.

Evaluar el efecto del jugo de fique sobre las propiedades de absorción e impedancia acústica y de conductividad térmica del mortero modificado.

2. METODOLOGÍA

2.1. CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES

2.1.1. Agua Para la fabricación de la mezcla se utilizó agua proveniente del Acueducto Metropolitano de la ciudad de Bucaramanga, se consultó un informe sobre la cantidad de sulfatos y cloruros estando estos por debajo de los valores establecidos por la NTC 3459 [4] teniendo en cuenta que el agua de mezcla debe estar limpia y libre de sustancias abrasivas que puedan ser dañinas para el mortero según lo especificado en el título D del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10).

2.1.2. Cemento Para la elaboración de la totalidad de las probetas se utilizó cemento portland de uso general tipo 1 según las especificaciones químicas establecidas por la norma NTC 321 [5] y las especificaciones físicas y mecánicas de la norma NTC 121 [6], cuyo usos principales son las obras en concreto que no estén sujetas a factores abrasivos y el mortero para estructuras y acabados de todo tipo.

Se obtuvo el peso específico del cemento mediante el procedimiento estipulado en la norma ASTM C188 [7], siendo esta información de uso fundamental en el diseño de mezcla.

2.1.3. **Agregado** Cuando se habla de agregado fino o arena, se hace referencia al material que se encuentra entre los tamices No. 4 (4,76mm) y No. 200 (0,074 mm), la calidad de éste está determinada por su origen, distribución granulométrica, densidad, forma y superficie.

Para caracterizar y obtener el módulo de finura de la arena se realizó un análisis granulométrico por tamizado siguiendo el procedimiento establecido por la norma NTC 77 [8]. Se utilizó un agredo fino con la granulometría expuesta en la Tabla 1 la cual cumple con los parámetros establecidos en la especificación granulométrica de agregado fino para utilizar en morteros ASTM C144 [9].

La densidad seca del agregado fino se obtuvo mediante el procedimiento establecido en la NTC 237 [10].

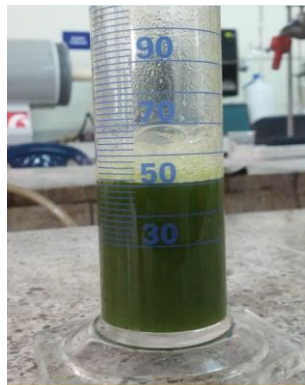
Tabla 1. Granulometría del agregado fino utilizado.

TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
No. 4	44,99	4,499	4,499	95,501
No. 8	52,3	5,23	9,729	90,271
No. 16	157,5	15,75	25,479	74,521
No. 30	514	51,4	76,879	23,121
No. 50	144	14,4	91,279	8,721
No. 100	70,7	7,07	98,349	1,651
FONDO	15,5	1,55	99,899	0,101
TOTAL	998,99			
MUESTRA	1000			

2.1.4. Jugo de fique Como objetivo general se busca analizar las propiedades que añadió el jugo de fique como aditivo natural en una mezcla de mortero, para lo cual hubo que analizar previamente el jugo mediante una serie de pruebas logrando caracterizar su composición y características principales.

2.1.4.1. Formación de espuma Para calcularla se midió la altura de espuma obtenida después de hacer fluir la solución libremente sobre una cantidad de ella misma previamente depositada a una altura de 450 mm como se muestra en la Figura 1, midiendo ésta en diferentes intervalos de tiempo según lo establecido en la norma ASTM D1173 [11].

Figura 1. Formación de espuma.



2.1.4.2. Extracto seco convencional Según lo establecido en la norma NTC 4601 [12] para determinar el contenido de extracto seco se calentó en una estufa a 105 ± 3 °C una muestra del aditivo líquido entre 5 y 10 gramos (M), durante un tiempo de 4 horas, y se tomó como dato final el peso al pasar por un desecador hasta obtener una masa constante (R). Para el cálculo del extracto seco se utilizó la Ecuación (1).

$$\text{Es (\%)} = \frac{R}{M} * 100\% \quad (1)$$

Donde:

Es: Extracto seco en porcentaje.

R: Masa de residuo, en gramos.

M: Masa de la muestra del aditivo, en gramos.

2.1.4.3. Pérdidas por calcinación Hace referencia a la pérdida de masa que sufre un líquido al ser expuesto a una temperatura de 1050 ± 25 °C. Para determinar la pérdida se depositó el residuo seco (M_2) en una cápsula metálica con una masa (M_1) la cual se introdujo posteriormente en un horno de mufla a 1050 ± 25 °C durante una hora. Después de este procedimiento se dejó enfriar la muestra durante 30 minutos en un desecador y se obtuvo una masa final (M_3). Para calcular las pérdidas por calcinación se utilizó la Ecuación (2) siguiendo así el procedimiento establecido por la norma ASTM C114 [13].

$$\text{Pc (\%)} = \frac{M_3 - M_1}{M_2 - M_1} * 100\% \quad (2)$$

Donde:

Pc: Pérdida por calcinación en %.

M₁: Masa de la cápsula en g.

M₂: Masa de la cápsula con residuo seco a 105° C.

M₃: Masa de la cápsula con el sobrantes del aditivo sometido a 1050° C.

2.1.4.4. Determinación del pH Según la norma ASTM E70 [14] si se quiere calcular el pH se deben tomar 3 muestras a una temperatura de $20 \pm 1^\circ \text{C}$ diluyéndolas posteriormente en 100 ml de agua desionizada.

Para la adecuación del jugo de fique se realizó la solución previamente mencionada, y se obtuvieron 3 muestras a las cuales se les calculó el pH por medio de un electrodo conectado al equipo medidor con una precisión de 0.01 el cual se muestra en la Figura 2, Todo esto después de haber calibrado el aparato sumergiendo el electrodo en soluciones con pH conocido (pH=7 y 4).

Figura 2. Medición del pH.



2.2. DISEÑO DE MEZCLA

Como parámetro fundamental en el diseño se estableció una relación agua/cemento de 0,5, basados en esto y en la granulometría de la arena, se obtuvo una resistencia de diseño de 19,1 MPa mediante la Ecuación 3 [15].

$$R_{C_{Mortero\ 28d}} = \frac{851.12}{19,86^{A/C}} \quad (3)$$

Donde:

$R_{C_{Mortero\ 28d}}$: Resistencia a la compresión del mortero a los 28 días de curado en Kg/cm².

A/C: Relación agua/cemento

Se decidió fabricar un mortero de pega de mampostería, baldosines, pañetes y revestimiento, con una fluidez media, es decir, una fluidez entre 100% y 120% [16], de esta manera se obtuvo el segundo parámetro de diseño el cual está directamente relacionado con la obtención de la relación agua/cemento.

El método que se utilizó se basa en el cálculo de los volúmenes absolutos de los materiales que componen la mezcla. Para calcular el contenido de cemento en el mortero se requirió, además de los parámetros constantes de diseño, conocer el módulo de finura de la arena observado en la Tabla 2. Al entrar con los valores del módulo de finura de la arena y la resistencia de diseño en la gráfica mostrada en el Anexo A se obtuvo el contenido de cemento en kg por metro cúbico de mezcla.

Tabla 2. Propiedades de los elementos utilizados en la mezcla.

Densidad de la Arena [Kg/m ³]	2569,373
Densidad del Agua [Kg/m ³]	1000
Densidad del Cemento [Kg/m ³]	3080
Resistencia 28d [MPa]	19,1
Módulo de finura Arena	2,76214
A/C	0,5

Posteriormente se calculó la cantidad de agua en kg/m³ utilizando la Ecuación (4).

$$A = C * (A/C) \quad (4)$$

Teniendo la cantidad de agua y de cemento se obtuvo el volumen de agregado fino (V_f) en dm³ mediante la Ecuación (5) utilizando las densidades de los materiales expuestas en la Tabla 2.

$$V_f = 1000 - \frac{C}{G_c} - \frac{A}{G_A} \quad (5)$$

Donde:

C: Cantidad de cemento en Kg

A: Cantidad de agua en Kg

G_c: Densidad del cemento en Kg/dm³

G_A: Densidad del agua en Kg/dm³

Las dosificaciones obtenidas se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Dosificaciones utilizadas para la realización de la mezcla.

	Agua	Cemento	Arena
Cantidad	0,5	1	2,5106
Masa [Kg]	277,5	555	1393,38
Volumen [m ³]	0,2775	0,1802	0,5423

En base a estos datos se establecen las diferentes dosificaciones correspondientes, para el agua, arena y cemento, y teniendo en cuenta la cantidad de agua que contiene el jugo de fique, se calculó la dosificación de este sin modificar la relación agua/cemento utilizando las Ecuaciones (6) y (7) planteadas por los autores.

$$J = C * \%_J \quad (6)$$

$$A_m = A - (100\% - Es) * J \quad (7)$$

Donde:

J: Masa del jugo

%_J: Dosificación de jugo

C: Masa del cemento

A: Volumen de agua

A_m: Volumen de agua modificado

Es: Extracto seco convencional

2.3.FABRICACIÓN DE PROBETAS

La mezcla de mortero se realizó batida a mano. Las probetas utilizadas en el ensayo de resistencia a la compresión se fundieron en moldes cúbicos de 50 mm de lado según establece la NTC 220 [17]. Los especímenes utilizados en las pruebas de impedancia acústica, conductividad térmica y porosidad se fabricaron en moldes cilíndricos de PVC cortadas en discos según el diámetro y espesor requeridos para cada ensayo. Las dimensiones de los moldes usados se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Dimensiones de las probetas cilíndricas utilizadas.

PRUEBA	DIÁMETRO [cm]	ESPESOR [cm]
Porosidad	10,16	5
Conductividad Térmica	16,7	1,5
Impedancia Acústica	10,16	2,0

Para cada prueba y cada dosificación de aditivo se realizaron 3 probetas, siguiendo para todas el mismo proceso de elaboración, el cual se indica a continuación:

1. Disponer de los moldes sobre la superficie (tabla de madera).
2. Engrasar los moldes para facilitar el posterior desencofrado.
3. Añadir el mortero en diferentes capas.
4. Compactar cada capa con la cantidad de golpes especificados.
5. Enrazar y alisar la superficie de la probeta.

La Tabla 5 presenta el número de capas y golpes con el cual se fabricó cada espécimen.

Tabla 5. Cantidad de golpes y capas para la fabricación de probetas.

PRUEBA	No. DE CAPAS	No. DE GOLPES
Compresión	4	8
Permeabilidad	3	25
Porosidad	3	25
Conductividad Térmica	2	30
Impedancia acústica	3	25

2.4. CURADO DE PROBETAS

Inicialmente se optó por utilizar el procedimiento establecido en la norma NTC 550 [18] como método de curado, siendo este el proceso convencional para muestras de concreto y mortero.

En primera instancia se fabricaron las muestras con mayor cantidad de jugo de fique (9%) pues se desconocía el efecto que produciría una alta dosificación en el fraguado y curado de una mezcla de mortero. Al cumplirse 48 horas posteriores a la fabricación, se realizó el proceso de desencofrado, ya que las muestras se observaban secas superficialmente.

Continuando con el proceso de curado, y sin transcurrir más de 30 minutos, se sumergieron las probetas en agua a una temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 2,0^{\circ}\text{C}$ durante el tiempo requerido sin exponer estas a goteo o a corrientes de agua.

Cumplidas 24 horas de inmersión se evidenció que algunas probetas se deshicieron total o parcialmente y en las muestras restantes, las de mayor tamaño, se observaron grietas sobre la totalidad de la superficie como se muestra en la Figura 3.

Figura 3. Probeta con adición de 9% de jugo de fique 24 horas después de la inmersión.



Teniendo en cuenta que para todas las muestras sin importar su dosificación, se debe realizar el mismo curado y que para altas dosificaciones de jugo no se pudo aplicar el curado convencional, se planteó empíricamente un método modificado en el cual, las probetas se desencofraron pasadas las 48 horas desde la fundición y se ubicaron en un mesón a temperatura ambiente (16 a 27°C) sin ser expuestos al sol o a la radiación. Al cumplir el séptimo día desde la fabricación se realizó el proceso de inmersión, sumergiendo las probetas por un periodo de 21 días siguiendo los parámetros de la NTC 550. Al cumplir el día 28 desde la fabricación, se retiraron las muestras del agua.

Este método se escogió mediante la fabricación de diferentes muestras, realizando la inmersión en periodos secuenciales de 24 horas, obteniendo mejor respuesta al

cumplirse el quinto día desde el desencofrado, pues se pudo evidenciar la muestra totalmente endurecida y seca, como se muestra en la Figura 4.

Figura 4. Probeta con adición de 9% al séptimo día de su fabricación.



2.5. ENSAYOS

2.5.1. Tiempos de fraguado Para cada dosificación de jugo de fique (0, 3, 6 y 9%) se optó por analizar los tiempos de fraguado por resistencia a la penetración utilizando el método de Vicat siguiendo la norma NTC 118 [19], cuyo montaje experimental se evidencia en la Figura 5.

Para el cálculo del tiempo de fraguado de la pasta se requiere la obtención del tiempo de fraguado inicial el cual se obtuvo mediante interpolación de los resultados hallados en el laboratorio, buscando el tiempo que la aguja tarda en penetrar 25

milímetros en la muestra y el tiempo de fraguado final el cual fue tomado cuando la aguja no logra penetrar en la muestra.

Figura 5. Ensayo de tiempos de fraguado por el método de Vicat.



2.5.2. **Fluidez** Se realizó el ensayo de fluidez para morteros de cemento hidráulico NTC 111 [20] con el objetivo de analizar qué tan fluido se encontraba el mortero fabricado, teniendo en cuenta la relación entre el diámetro original de la muestra, siendo éste el de la base del molde (un cono truncado) y el diámetro final después de que la mesa de flujo fue sometida a una serie de golpes según lo especificado en la norma NTC 5784 [21].

Para determinar la fluidez de cada mezcla se toma como diámetro final la media aritmética de los cuatro diámetros tomados.

2.5.3. **Densidad, porosidad y absorción** Para el cálculo de la porosidad y de la densidad se utilizaron probetas con las dimensiones establecidas en el numeral 2.3. Para la realización del ensayo se tomó la masa inicial de las probetas y luego se hornearon a una temperatura de 110 ± 5 °C por 24 horas. Cuando las muestras lograron la temperatura ambiente se midió la masa y se volvieron a depositar en el horno por otras 24 horas. Se tomó nuevamente la masa seca en horno (*A*) garantizando que las muestras lograran un peso constante en relación con el anterior. Posteriormente se depositaron en agua por un periodo mínimo de 48 horas y se registró la masa saturada sumergida (*B*) garantizando con la toma de varios pesos en diferentes intervalos de tiempo una masa constante de las mismas. En seguida las muestras se pusieron a hervir durante 5 horas y se dejaron enfriar por 16 horas hasta llegar a una temperatura de 25 °C y se registró la masa saturada después de hervir (*C*). Por último, se tomó la masa aparente en agua (*D*), suspendiendo y sumergiendo las muestras en agua por un alambre. El procedimiento fue desarrollado en consideración de la ASTM C642 [22].

El cálculo de la densidad seca (D_s) se hizo mediante la Ecuación (8), la porosidad o porcentaje volumen de vacíos permeables (%P) utilizando la Ecuación (9) y el porcentaje de absorción (%A) mediante la Ecuación (10).

$$D_s = [A/(A-D)] * \rho \quad (8)$$

$$(\%P) = (C-A)/(C-D) * 100 \quad (9)$$

$$(\%A) = [(B-A)/A] * 100 \quad (10)$$

Donde:

ρ : Densidad del agua= 1 g/cm³

- A:** Masa seca al horno
- B:** Masa saturada después de la inmersión
- C:** Masa saturada después de ebullición
- D:** Masa sumergida aparente

2.5.4. **Compresión simple** Como lo establece la NTC 220 [17] para calcular la resistencia a la compresión en morteros se realizan moldes cúbicos con las dimensiones establecidas en el numeral 2.3. Los cuales fueron sometidos a una carga axial de compresión como se muestra en la Figura 6, hasta lograr la fractura del espécimen. Utilizando un calibrador pie de rey con una precisión de 0,01 mm se obtuvieron dimensiones exactas de cada uno de los lados de las probetas; se tuvo en cuenta también que todas las caras estuviesen completamente lisas y al no estarlo se limaron las discontinuidades con la finalidad de que al imponer la carga, ésta se distribuyera adecuada y uniformemente sobre la cara más prolija de las muestras.

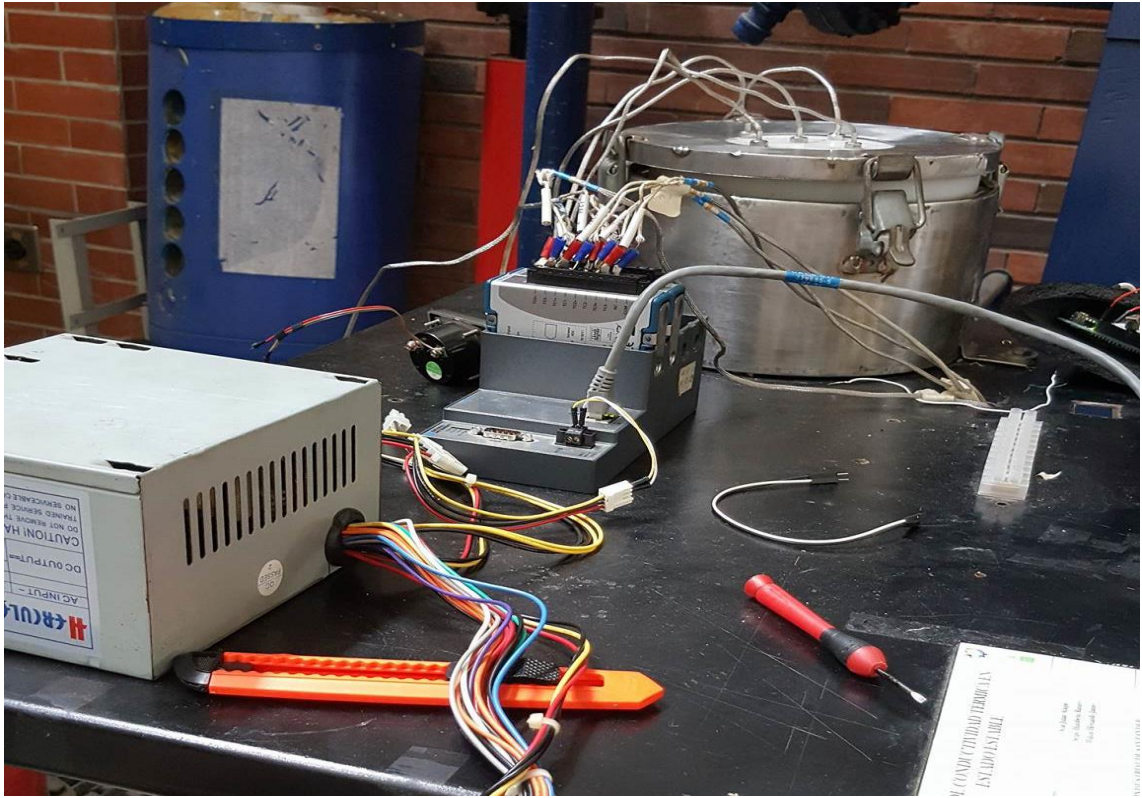
Para obtener el esfuerzo a compresión se dividió la carga máxima que se obtuvo, sobre el área transversal de la probeta, proceso que se realizó para todos los especímenes.

Figura 6. Imposición de la carga axial de compresión sobre el espécimen de mortero.



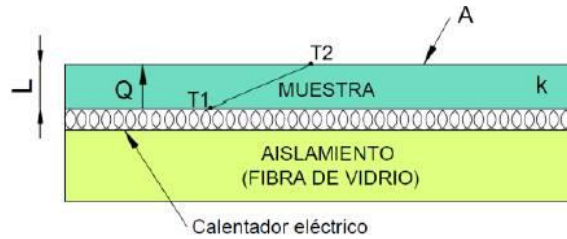
2.5.5. Conductividad térmica Para analizar la forma en que la que un material conduce el calor se debe calcular el coeficiente de conductividad térmica, para lo cual se utilizó el banco de conductividad térmica en estado estable que se muestra en la Figura 7. En la imagen se puede observar los componentes del banco, describiendo estos de arriba a abajo: un cilindro térmicamente aislado, cuya función es contener la muestra y transferirle el calor aislándola del medio; un NI cRIO-9075 encargado de transferir al computador la información de las temperaturas tomadas por las termocuplas, y en la parte inferior, una fuente de alimentación, cuya función es proporcionar energía eléctrica a todo el sistema. Además de esto se utilizó un Relé de estado sólido, el cual tiene como función controlar la temperatura de la resistencia por medio de una tarjeta Arduino.

Figura 7. Banco de conductividad térmica en funcionamiento.



Para este ensayo se utilizaron las probetas con las dimensiones establecidas en el numeral 2.3. Y a cada espécimen se le aplicó calor por la cara inferior utilizando la resistencia eléctrica sometida a un calor de 4 W, todo esto dispuesto dentro del cilindro térmicamente aislado, para reducir las pérdidas laterales de calor, se suponiendo un flujo unidimensional a través del material (desde la cara inferior hasta la superior). El esquema del sistema se expone en la Figura 8.

Figura 8. Esquema del banco de conductividad térmica en estado estable.



Fuente: J. D. RAMÍREZ, A. C. VELANDIA, Propuesta sostenible de aislamiento térmico y acústico a partir de celulosa, 2015.

Utilizando termocuplas se midió la temperatura en ambas caras de la probeta cuando esta alcanzó su estado estable de transferencia de calor, es decir, cuando la temperatura de entrada y de salida no representaba cambios significativos. Para cada muestra se tomaron siete temperaturas (5 en la parte superior del espécimen y 2 en la parte inferior) siendo estas temperaturas el promedio de veinte datos medidos consecutivamente en pequeños intervalos de tiempo.

Con esta medida se calculó la temperatura promedio en la cara superior mediante la Ecuación (11) y utilizando posteriormente la ecuación de Fourier adaptada (Ecuación 12), se logró finalmente obtener el coeficiente de conductividad térmica.

$$T = T_1 - \frac{(T_2 - T_3)^2 + (T_4 - T_5)^2}{4(T_2 + T_3 + T_4 + T_5 - 4T_1)} \quad (11)$$

$$K = \frac{QL}{A(T - T_R)} \left[\frac{w}{m * k} \right] \quad (12)$$

Donde:

T_i: Temperatura en el punto i

K: Coeficiente de conductividad térmica

A: Área efectiva perpendicular al flujo de calor [cm²]

T_R: Temperatura de la resistencia

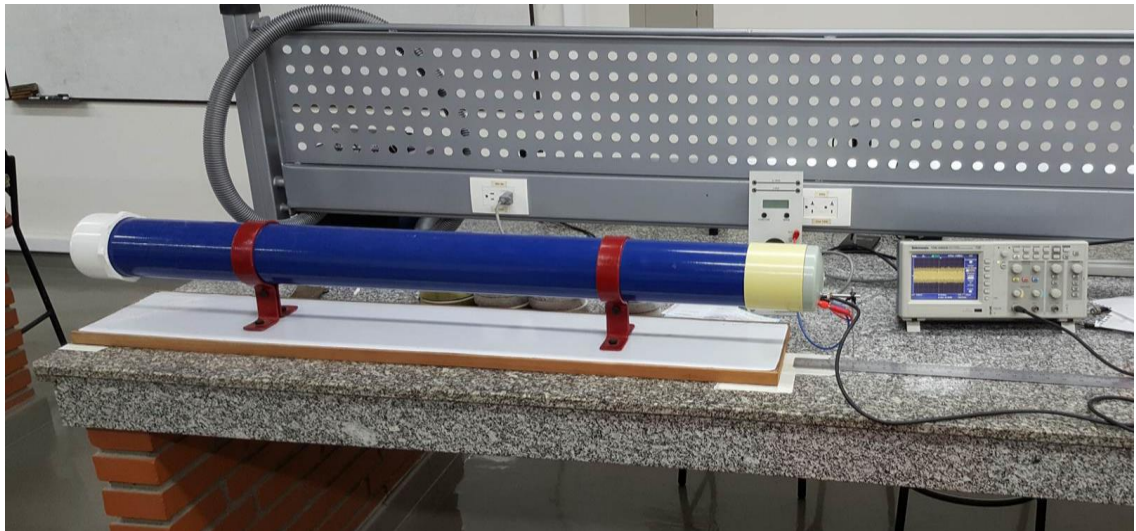
L: Espesor de la probeta

Q: Potencia eléctrica consumida por la resistencia [w]

Para la realización y análisis de este ensayo se debió asumir que el calor se encuentra distribuido uniformemente en el banco, además de considerar el mortero como un material cerámico indeformable, homogéneo e isotrópico.

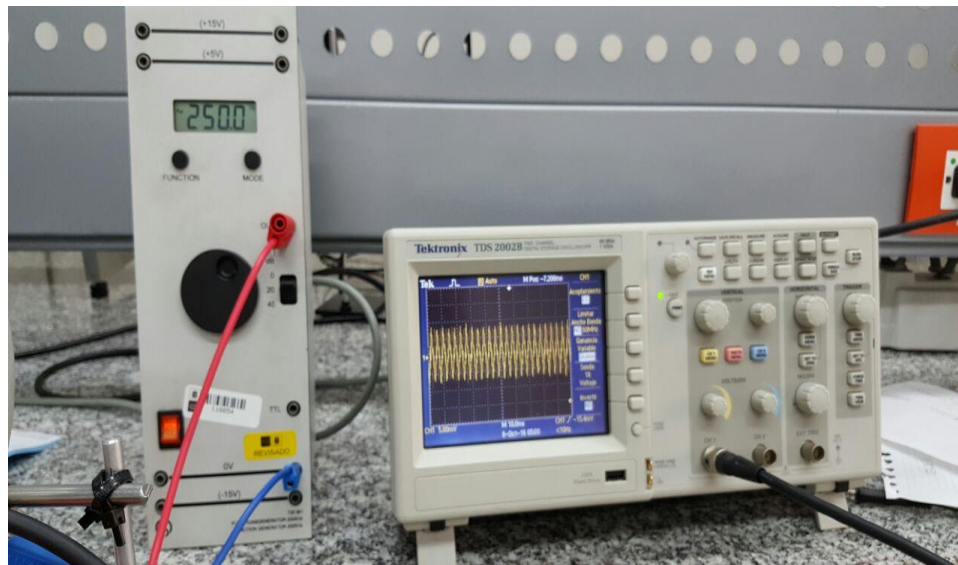
2.5.6. Impedancia acústica Con el fin de determinar el coeficiente de absorción acústica del mortero, se utilizó el tubo de impedancia de Kundt que se muestra en la Figura 9.

Figura 9. Montaje del tubo de impedancia acústica.



El sistema consta de un parlante ubicado en un extremo el cual está conectado a un generador de frecuencias y a su vez conectado a un osciloscopio por medio del que se observan gráficamente las ondas producidas al interior del y captadas por un micrófono móvil como se muestra en Figura 10.

Figura 10. Generador de frecuencias y osciloscopio.



Del espectro evidenciado por medio del osciloscopio se determinaron los máximos y mínimos de amplitud producidos en la onda estacionaria generada para cada posición del micrófono, ubicando su distancia mediante la utilización de un flexómetro en la parte externa del tubo. Las frecuencias utilizadas en el ensayo fueron de 250, 500, 700 y 1000 Hz y para la realización de la prueba se utilizaron las probetas con las dimensiones establecidas en el numeral 2.3.

Se determinó la frecuencia máxima que se podría utilizar por medio de la Ecuación (13) y la viabilidad del experimento considerando la longitud del tubo (1,2 m) según lo especificado en la ASTM C384 [23].

$$f < 0.586 \frac{c}{d} \quad (13)$$

Donde:

f: frecuencia máxima,

c: velocidad del sonido considerada como 343 m/s

d: diámetro del tubo.

Se obtuvo que la frecuencia máxima que se puede utilizar es de 1978.32 Hz.

La longitud mínima del tubo viene dada por la Ecuación (14).

$$f > 0.75c / (L - d) \quad (14)$$

Donde:

L: longitud del tubo.

De esta manera se conoció que la longitud mínima que debe tener el tubo para lograr máxima frecuencia es de 0.385m < 1.2m, con lo que se verifica la viabilidad del ensayo. Los valores máximos y mínimos obtenidos del osciloscopio permiten calcular el coeficiente de absorción acústica a partir de la Ecuación (15).

$$SWR = \frac{P_{m\acute{a}x}}{P_{m\acute{i}n}} \quad (15)$$

Donde:

SWR: Relación entre máximos y mínimos en una onda estacionaria.

Finalmente se calculó el coeficiente de absorción mediante la Ecuación (16).

$$\alpha_n = \left[\frac{SWR-1}{SWR+1} \right]^2 \quad (16)$$

Donde:

α_n : Coeficiente de absorción.

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. JUGO DE FIQUE

Siguiendo los procedimientos establecido en el numeral 2.1.4. Y con la finalidad de caracterizar y analizar el jugo de fique como aditivo, se calcularon cuatro parámetros, debido a su importancia, los cuales fueron: el contenido de espuma que determina la manera en que se distribuyen los poros dentro de la mezcla endurecida y que se muestra en la Tabla 6, el valor del de pH que indica la basicidad o acidez del fluido, el extracto seco convencional que hace referencia al porcentaje de agua que contiene el jugo y las pérdidas por calcinación que muestra el contenido de materia orgánica presente en este aditivo natural, cuyos resultados se exponen en la Tabla 7 .

Tabla 6. Formación de espuma hallada en el jugo de fique (ASTM D1173).

Tiempo (s)	H espuma (mm)
0	13.3
30	10.0
180	4.3
300	2.0

Tabla 7. Características principales del jugo de fique.

Parámetro	Valor
pH	4,33
Extracto seco convencional	9,77%
Perdidas por calcinación	6,15%

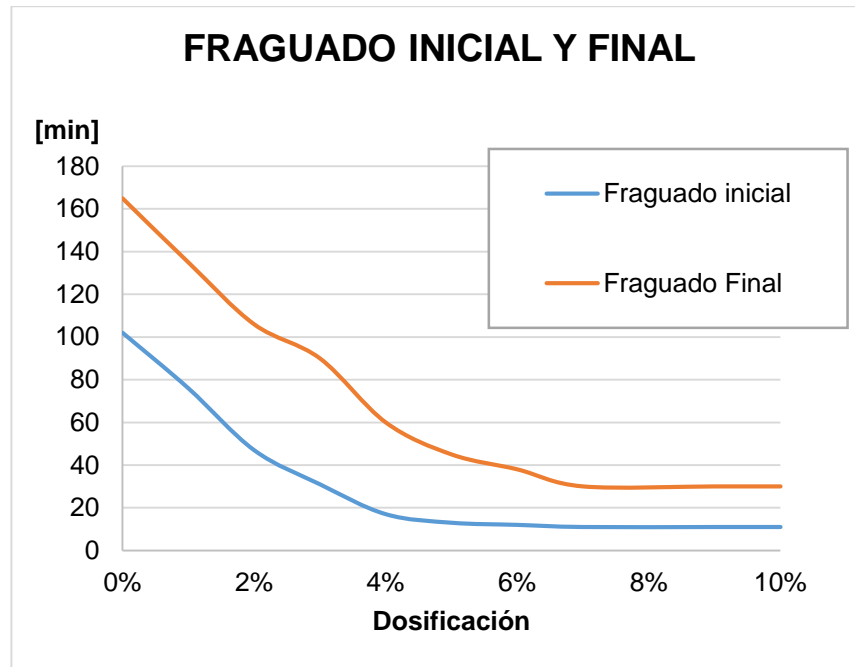
Según los valores obtenidos se logró evidenciar un bajo contenido de materia orgánica, representadas por las pérdidas por calcinación, pues este resulta menor al 10%, además del alto contenido de agua en el jugo, obtenido del extracto seco convencional, representado en el 90,23% de su totalidad. Adicionalmente el pH ácido del jugo genera un riesgo para la estructura química de los componentes del mortero y las reacciones entre ellas.

La cantidad de espuma es proporcional a la cantidad de poros y la distribución homogénea de la misma, por ende es indispensable utilizar el jugo antes de lograr su fermentación ya que el factor de mayor influencia en la formación de espuma es la edad del jugo, es decir, el tiempo que transcurre desde la extracción de la planta hasta el momento de su uso [24].

3.2. TIEMPOS DE FRAGUADO

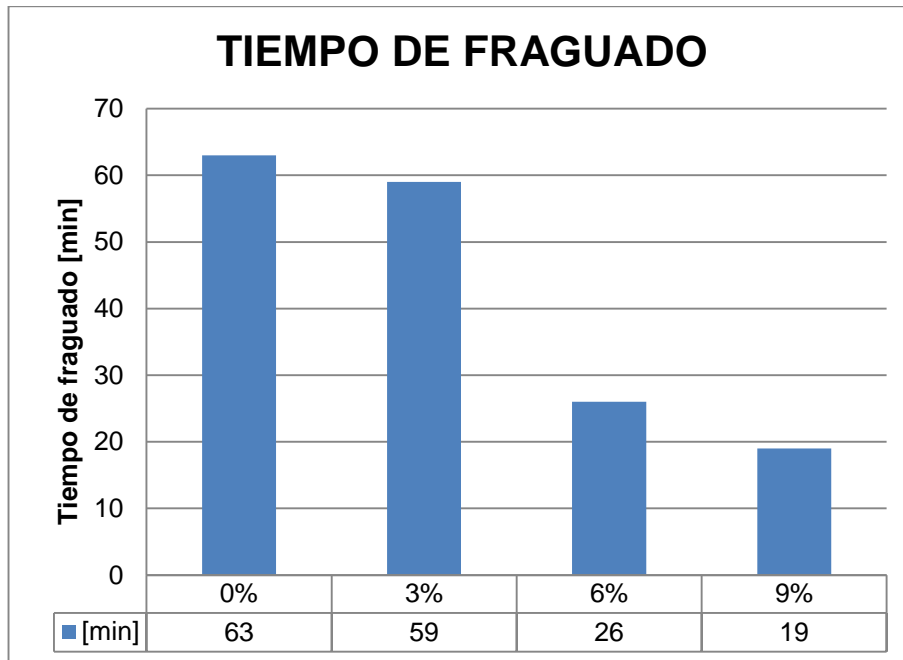
Del ensayo de tiempo de fraguado para diferentes dosificaciones de jugo de fique por medio del método de ensayo mediante el aparato de Vicat (NTC 118) [19], se obtuvieron los tiempos de fraguado inicial y final para la pasta de cemento hidráulico modificada con aditivo, como se muestra en el Gráfico 1.

Gráfico 1. Tiempos de fraguado inicial y final en función de la dosificación de jugo.



El tiempo de fraguado inicial hace referencia al momento en que la pasta de cemento empieza a adquirir rigidez, es decir, indica el fin del periodo plástico del sistema agua-cemento y el tiempo de fraguado final indica el inicio del periodo de endurecimiento, así el tiempo de fraguado de la mezcla hace referencia al periodo comprendido entre el fraguado inicial y final, obteniendo los tiempos de fraguado para cada dosificación como se muestra en el Gráfico 2.

Gráfico 2. Fraguado final para cada dosificación utilizada.

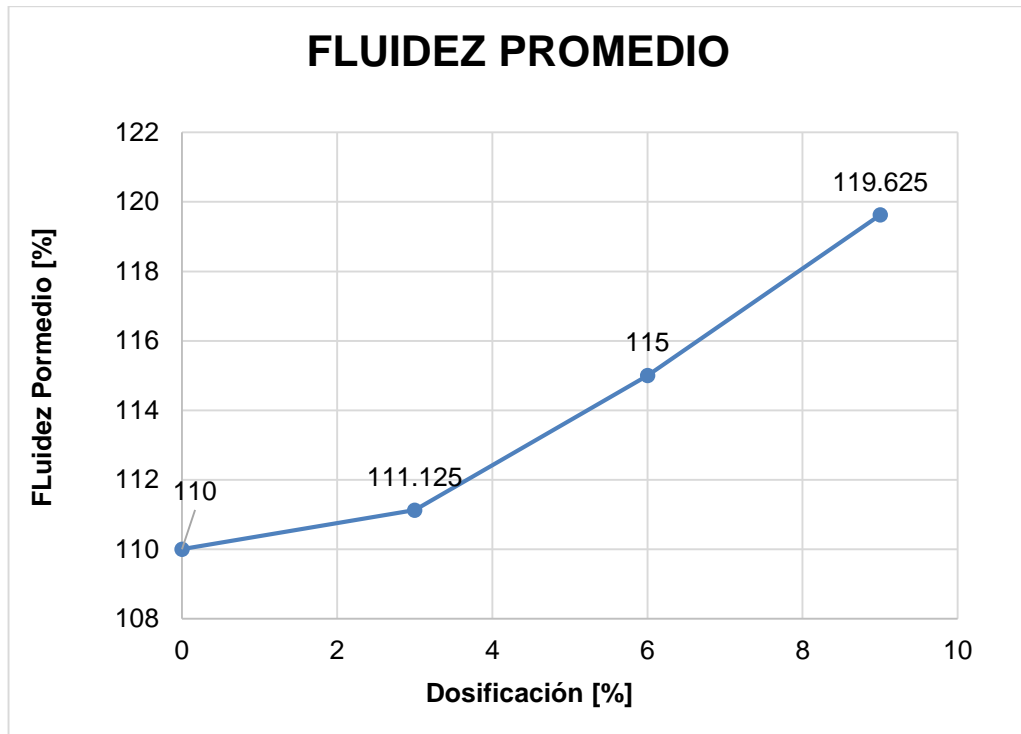


Mediante los resultados obtenidos se observó que el tiempo de fraguado se hizo más corto al aumentar la cantidad de jugo de fique en la pasta de cemento hidráulico, es decir conservan una relación inversa, lo cual podría catalogar al jugo de fique como un aditivo acelerante, siempre y cuando el mortero modificado conserve sus características físicas principales.

3.3. FLUIDEZ

El Gráfico 3 muestra los valores obtenidos en el ensayo de fluidez para todas las dosificaciones de jugo de fique.

Gráfico 3. Fluidez promedio en función de la cantidad de jugo adicionada.



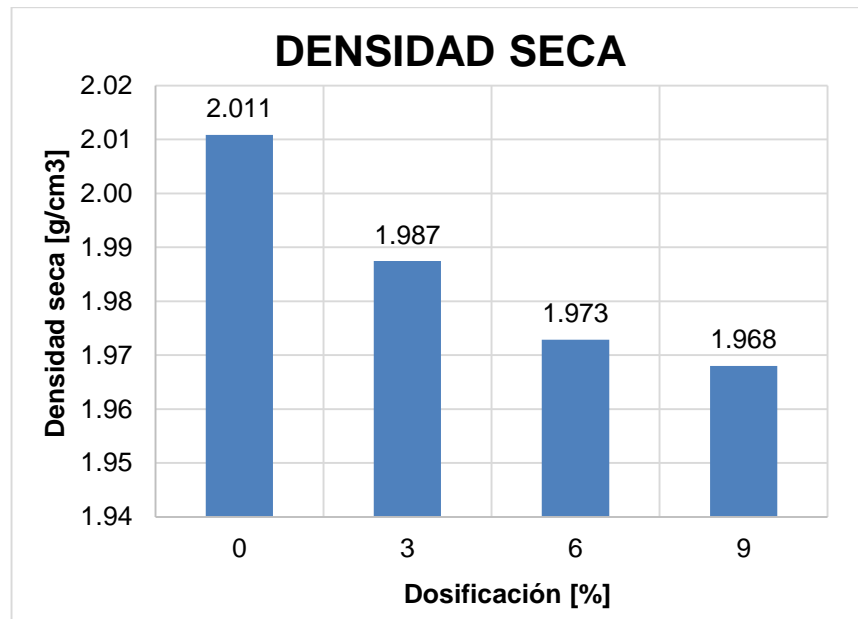
En base a los datos obtenidos con el ensayo se observa que al añadir jugo en la mezcla, manteniendo constante la relación agua/cemento, la fluidez aumenta gradualmente; sin embargo, para las dosificaciones utilizadas se mantiene el rango establecido en el diseño (100 a 120%), lo que representa una fluidez media garantizando que el mortero pueda seguir siendo utilizado para lo previsto en el diseño.

Además el aumento de la fluidez permite reducir la cantidad de agua necesaria para una determinada manejabilidad, obteniendo como consecuencia: menor segregación de los agregados, mayor resistencia mecánica y menor porosidad [25].

3.4. DENSIDAD Y POROSIDAD

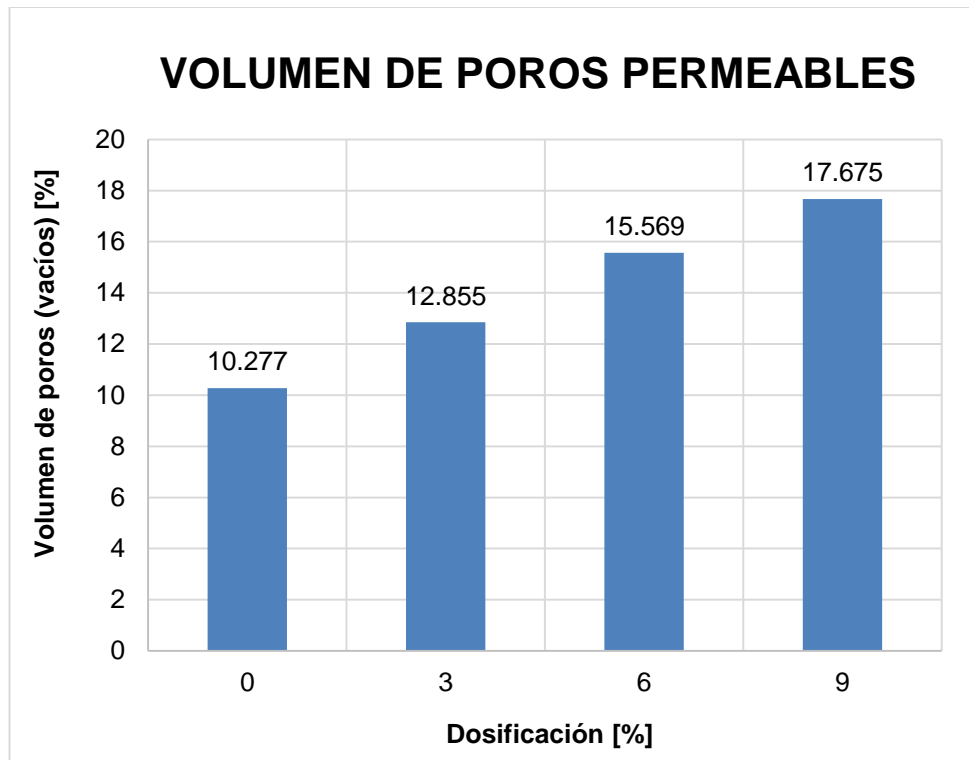
Siguiendo el procedimiento planteado en la metodología (numeral 2.5.3.), se obtuvo la densidad seca del mortero para cada dosificación la cual se muestra en el Gráfico 4.

Gráfico 4. Densidad seca para cada dosificación de jugo de fique utilizada.



Se obtuvo además el porcentaje de poros permeables promedio para cada dosificación como se observa en el Gráfico 5.

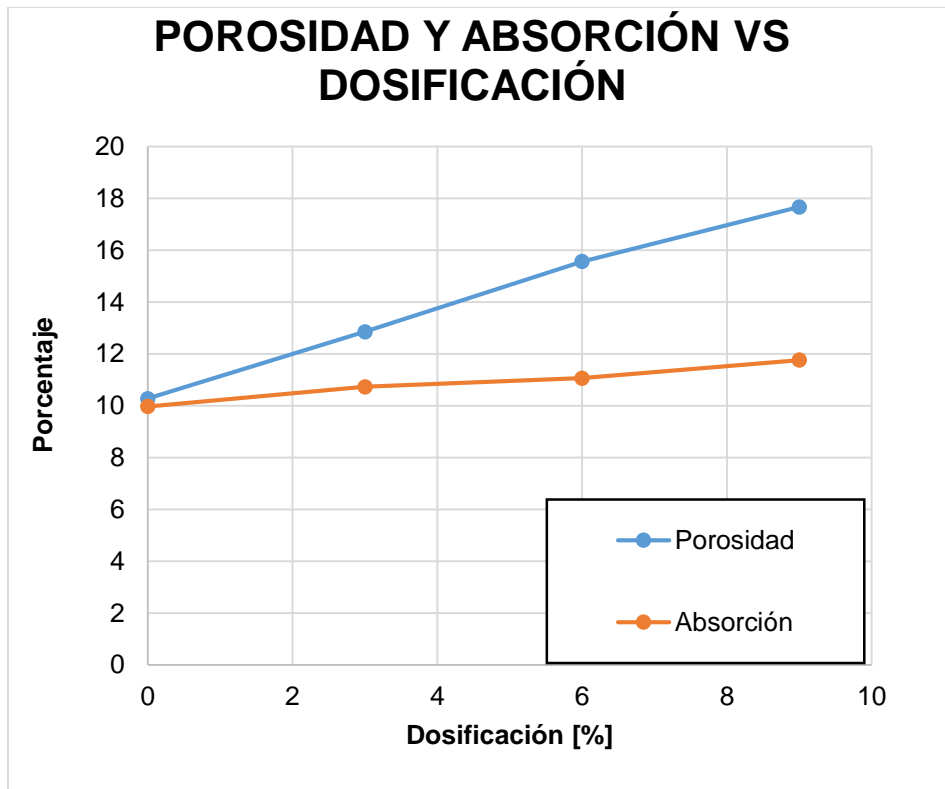
Gráfico 5. Volumen promedio de poros permeables (vacíos) para cada dosificación utilizada.



Es apreciable que, como producto del aumento en la dosificación de jugo, el porcentaje de poros permeables aumenta y así mismo disminuye la densidad seca. El aumento en la cantidad de vacíos y la disminución en la densidad seca, se deben a la incorporación de aire en la matriz del mortero, producto de la adición del jugo de fique.

En el Gráfico 6, se observa el comportamiento del porcentaje de absorción y el porcentaje de poros permeables en relación a las dosificaciones de jugo.

Gráfico 6. Porcentaje de absorción y porosidad en relación a la dosificación de jugo de fique.



El aumento de la porosidad junto con el de la absorción indica que los poros presentes en la matriz del mortero están interconectados, por lo que el agua absorbida es distribuida entre ellos.

3.5. COMPRESIÓN SIMPLE

Se realizó el ensayo de compresión simple analizando la resistencia de tres especímenes para cada dosificación, obteniendo como dato final el promedio de las tres muestras el cual se muestra en la Tabla 8.

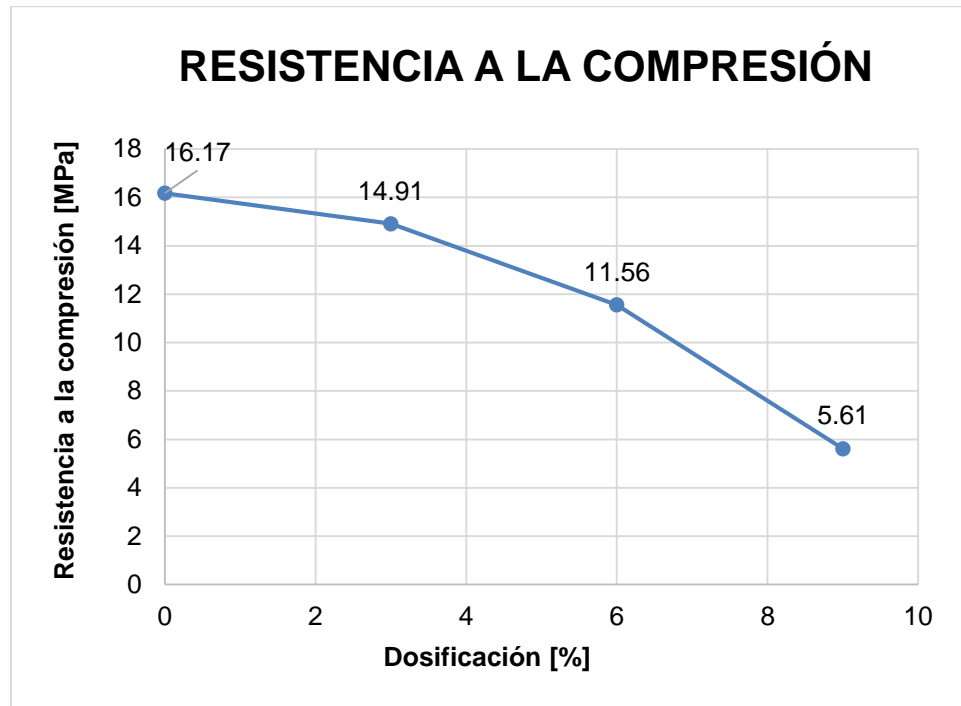
Tabla 8. Resistencia promedio a la compresión.

Dosificación (%)	Resistencia a la compresión [MPa]
0	16.17
3	14.91
6	11.56
9	5.61

Se infiere que la relación entre cantidad de jugo de fique adicionado al mortero es inversa a la resistencia a la compresión. Cabe mencionar que el uso de un curado modificado en el ensayo, comprometió la resistencia a la compresión de todas las muestras pues las mezclas cementicias deben ser curadas en un ambiente adecuado durante las primeras etapas de endurecimiento y la pérdida de agua por evaporación debe ser prevenida para obtener una buena mezcla endurecida. [26]. Lo que se evidencia en los resultados ya que para la muestra con 0% de adición de jugo se presentó una reducción del 17.08% con respecto a la resistencia diseño.

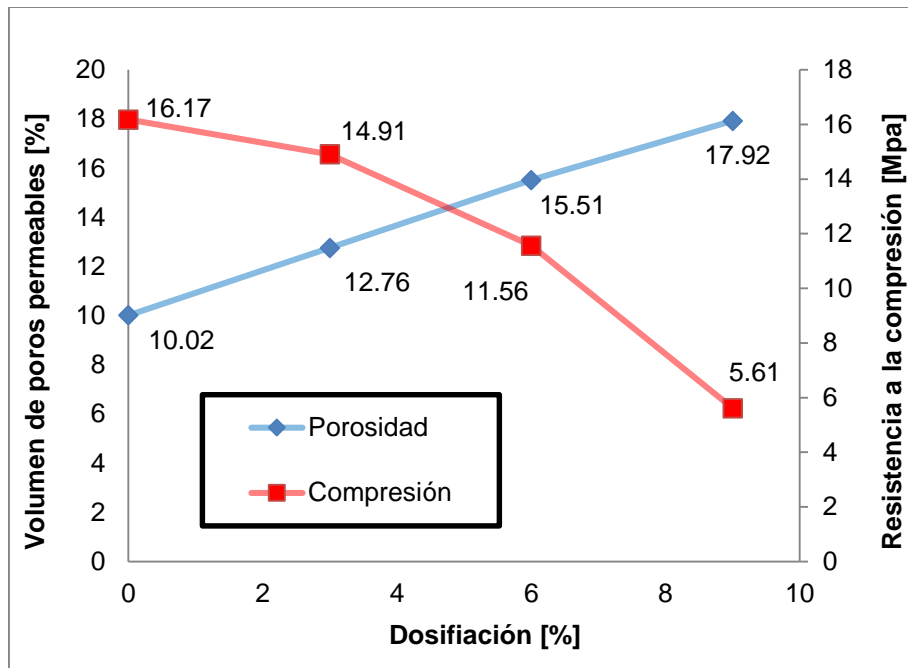
En el Gráfico 7 se muestra la disminución de la resistencia a la compresión en relación a la adición del jugo de fique.

Gráfico 7. Reducción de la compresión en relación a la cantidad de aditivo.



Al comparar los valores obtenidos para la resistencia a la compresión y la porosidad a medida que cambia la dosificación del jugo, se observa una disminución en la resistencia a la compresión debido al aumento del volumen de poros generado por el jugo lo cual se evidencia en el Gráfico 8.

Gráfico 8. Relación entre la resistencia a la compresión y el volumen de poros permeables para cada dosificación.



Al comparar todos los resultados se reconoce que, la reducción de la porosidad en materiales sólidos incrementa su resistencia en general, y particularmente la resistencia de materiales con base cementicia. [27]. Por lo tanto, la reducción en la resistencia a la compresión se debe al incremento en la porosidad del mortero.

3.6. CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

Utilizando las ecuaciones planteadas en el numeral 2.5.5. Se halló el coeficiente de conductividad térmica promedio para cada dosificación, representado en la Tabla 9.

Tabla 9. Coeficiente de conductividad térmica promedio para cada dosificación utilizada.

Dosificación	Conductividad Térmica (k) [W/m*K]
0%	0.7415
3%	0.7351
6%	0.7313
9%	0.7273

Los valores de los coeficientes de conductividad térmica se compararon con diferentes materiales de la construcción mostrados en la Tabla 10, y se compararon además con el coeficiente propio de diferentes tipos de mortero evidenciados en la Tabla 11.

Tabla 10. Valores de conductividad térmica para diferentes materiales de construcción.

Densidad kg/m ³	Conductividad W/m °K	Material: Pastas y hormigones <i>Fuente: NBE-CT-79</i>
305	0.09	Hormigón celular sin áridos
450	0.08	Hormigón de fibra de madera
500	0.12	Hormigón en masa arcilla expandida L
570	0.18	Enlucido de yeso con perlita
600	0.17	Hormigón con áridos ligeros L
800	0.30	Enlucido de yeso
1000	0.33	Hormigón con áridos ligeros M
1500	0.55	Hormigón en masa arcilla expandida P
1600	0.73	Hormigón en masa áridos ligeros
1600	0.87	Mortero de cal o bastardo
2000	1.16	Hormigón en masa sin vibrar
2000	1.40	Mortero de cemento
2100	0.93	Arcilla
2400	1.63	Hormigón en masa vibrado
2400	1.63	Hormigón armado normal

Fuente: Norma Básica de la Edificación, NBE-CT-79, 1979. Modificado por el autor.

Tabla 11. Coeficiente de conductividad térmica para diferentes tipos de mortero.

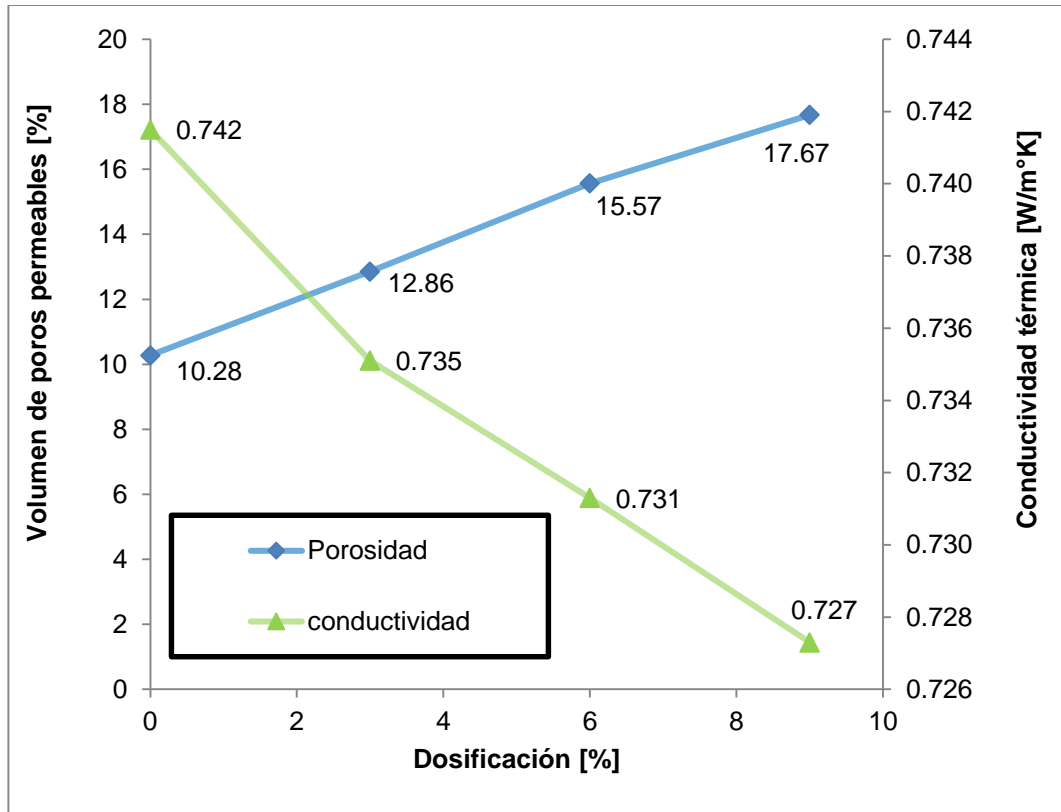
Material	Densidad [Kg/m ³]	Conductividad térmica [W/(m*K)]
Mortero de cal y cemento	1900	0,7
Mortero de cemento	2100	1,4
Mortero de vermiculita	300 - 650	0,14 - 0,26
Mortero de yeso	1000	0,76
Mortero para revoques	1800 - 2000	1,16

Fuente: Miliarium, Propiedades Térmicas de los Materiales [online].

Se observó que el coeficiente de conductividad térmica teórico es aproximadamente el doble del valor obtenido en el laboratorio para la muestra que no fue modificada con aditivo natural, obteniendo un error relativo porcentual en el ensayo del 47,04% lo cual se debió a las pérdidas laterales de temperatura y a un funcionamiento incorrecto parcial de los elementos que componen el banco, además de la influencia de la temperatura ambiente durante los días en los que se realizó la prueba.

Sin embargo se analizó individualmente el coeficiente K para cada dosificación, y se evidenció una disminución en su valor a medida que aumentaba la cantidad de jugo de fique en la mezcla. Teniendo en cuenta lo anterior y el ensayo de porosidad, se afirma que a mayor cantidad de jugo, mayor es la cantidad de poros y menor es la conductividad térmica, como se evidencia en el Gráfico 9.

Gráfico 9. Relación entre la cantidad de aditivo, la conductividad térmica y la cantidad de poros.

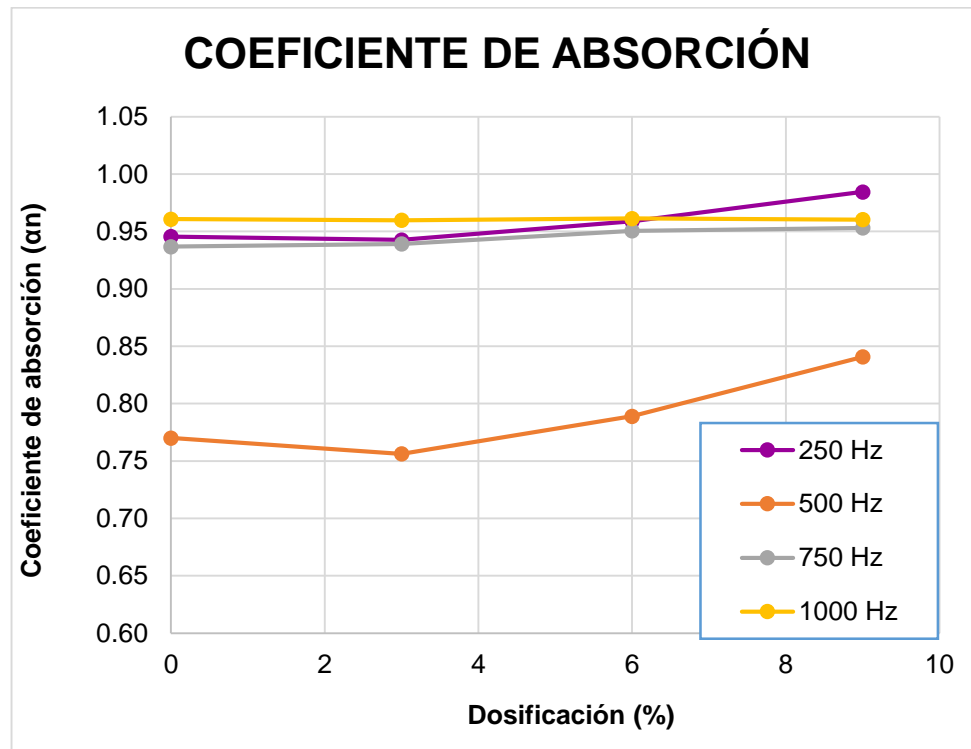


La disminución en el coeficiente de conductividad térmica se debe a que la transferencia de calor en materiales cerámicos ocurre básicamente por vibraciones de la red. Como la contribución electrónica está ausente, la conductividad térmica de casi todos los materiales cerámicos es mucho menor que la de los metales y la razón principal por la cual la conductividad observada experimentalmente en materiales cerámicos es baja, sin embargo, es el nivel de porosidad [28], así a mayor cantidad de poros, menor es la conducción de calor.

3.7. IMPEDANCIA ACÚSTICA

Con los datos de amplitud obtenidos de la prueba de impedancia acústica en condiciones ambientales (Anexo B), se calculó el coeficiente de absorción para cuatro frecuencias dentro del rango de audición y los parámetros permitidos por la dimensión del tubo, el valor de (α) varía para cada frecuencia lo cual impide calcular un valor único para cada material. Los datos calculados se exponen en el Gráfico 10.

Gráfico 10. Coeficiente de absorción acústica para cada dosificación.



Se compararon los valores obtenidos, con el coeficiente de absorción de diferentes materiales mostrados en la Tabla 12, evidenciando que el mortero fabricado (en

todas sus dosificaciones) absorbe gran parte de la onda sonora pues se conoce que las mezclas cementantes son materiales porosos los cuales están formados por partículas en contacto que dejan volúmenes interconectados de aire entre ellas y cuando una onda acústica atraviesa estos materiales y entra en contacto con estos huecos, el aire de su interior es obligado a moverse, transformándose parte de la energía acústica en calor [29] haciendo de la porosidad uno de los factores más determinantes en el estudio del comportamiento acústico de un material.

Tabla 12. Coeficientes de absorción acústica para diferentes materiales.

Descripción	Coeficiente de absorción sonora			
	Frecuencia central por banda de octava [Hz]			
	125	250	500	1000
Alfombra media sobre base espumosa	0,03	0,09	0,25	0,31
Placas de fibra 16mm	0,3	0,32	0,54	0,74
Placas lana de vidrio con lámina de vinilo sin perforar	0,57	0,39	0,41	0,82
Bloque de hormigón grueso	0,36	0,44	0,31	0,29
Bloque de hormigón pintado	0,01	0,05	0,06	0,07
Losa de marmol	0,01	0,01	0,01	0,01
Ladrillo liso con mezcla al ras	0,02	0,03	0,03	0,04
Hormigón suavizado sin pintar	0,01	0,01	0,02	0,02
Panel rígido de lana de vidrio con film de PVC	0,68	0,64	0,61	0,81
Revestimiento de corcho	0,12	0,27	0,72	0,79
Pavimento de corcho	0,04	0,03	0,05	0,11
Baldosas contra respaldo sólido	0,05	0,1	0,2	0,55
Alfombra de goma	0,03	0,04	0,06	0,08
Lastre u otra piedra estampada	0,19	0,23	0,43	0,37
Fieltro punzonado adherido a concreto	0,01	0,02	0,05	0,15
Revoque de cal y arena	0,04	0,05	0,06	0,08
Parquet de madera sobre hormigón	0,04	0,04	0,07	0,06

Fuente: M. D. FLORESA et al, Base de datos de coeficientes de absorción sonora de diferentes materiales, Mecánica Computacional, vol 32, 2013. Modificado por el autor.

Además de la porosidad del material, otro factor que influye en el cálculo de la absorción es el espesor de la muestra, así al aumentarlo, se aumenta el nivel de absorción en todo el rango de frecuencias. Esto es debido a que el camino que recorre la onda sonora en el interior del material es mayor, con el consiguiente incremento de la fricción en su trayecto, aumentando la energía transformada en calor en la estructura porosa interna [29], lo cual explica que el coeficiente de absorción entre las diferentes dosificaciones sea muy similar y difícil de evidenciar.

Del análisis general de los datos se pudo apreciar un aumento en la absorción acústica para todas las frecuencias, al aumentar la adición de jugo de fique. Sabiendo que la absorción es independiente para cada tono, se observó en el Gráfico 10 que la frecuencia de 500 Hz no es absorbida de la misma forma que las demás, lo cual resulta ser propio del material, pues la curva de absorción contra frecuencia debe presentar un comportamiento sinusoidal.

4. CONCLUSIONES

El aumento en la cantidad de jugo en la mezcla genera un incremento la cantidad de poros permeables, disminuyendo así la densidad seca, condición que compromete la resistencia a la compresión del mortero.

Las mezclas de mortero con dosificaciones de 6 y 9% no clasifican como ningún tipo de mortero según el título D del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente debido a la reducción de la resistencia a la compresión.

El aumento en la fluidez de la mezcla proporcionado por el jugo de fique no permite catalogar a éste como un aditivo plastificante, pues no se presentó aumento en la resistencia, ni disminución en la porosidad.

El jugo de fique no puede ser clasificado como aditivo acelerante, pues pese a la disminución en los tiempos de fraguado, impide el desarrollo de la resistencia a la compresión.

Los resultados obtenidos en el ensayo de conductividad térmica, muestran una disminución en el coeficiente (k) al adicionar mayor cantidad de jugo, haciendo que el material sea más poroso y por ende aíse mejor el calor. A pesar de esta mejoría no se puede catalogar al material modificado como un aislante térmico debido a las pérdidas en la resistencia a la compresión.

Debido a la disminución en la resistencia a la compresión, no es aceptable utilizar al mortero modificado como aislante acústico a pesar de que se evidenció mejoría en la absorción acústica para algunas frecuencias por debajo de los 1000 Hz, pues el aumento en la absorción es mínimo en relación a la pérdida de la resistencia a la compresión.

5. RECOMENDACIONES

Es recomendable realizar un estudio para determinar con exactitud el tiempo al que debe iniciar el curado de los especímenes debido a que las mezclas de cemento desarrollan la resistencia en edades tempranas de curado.

Debido a la disminución en la resistencia a la compresión del mortero, se recomienda hacer estudios químicos al jugo de fique para encontrar agentes perjudiciales a las reacciones entre los componentes del mortero y realizar un tratamiento al jugo.

Para futuros trabajos debe considerarse el uso del banco de conductividad térmica en estado estable en un ambiente completamente aislado para evitar errores por interferencia de corrientes de viento y pérdidas laterales.

Se recomienda trabajar con pequeñas dosificaciones de jugo (< 5%) para garantizar valores de resistencia a la compresión aceptables para morteros.

REFERENCIAS

- [1] OSORIO ACOSTA, María Fernanda. Fique, Un Recurso Subutilizado. En: El Mundo. 10, Octubre, 2010.
- [2] ROJAS SALAS, M. C. y LUQUE TURRIAGO, J. E. Biofungicida a partir del jugo de fique (*Furcraea* spp.) y evaluación de su efectividad sobre la gota (*Phytophthora infestans*) en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*). En: Revista Educación en Ingeniería. 2012. vol. 7, no. 13, p. 13–22.
- [3] OCHOA, J. C. y JARAMILLO, L. Uso del jugo de fique como aditivo orgánico en el hormigón. En: Scientia Et Technica. 2007. vol. VIII, no. 36, p. 455–459.
- [4] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). Concretos. Agua para la elaboración de concreto. NTC 3459. Bogotá D.C: El Instituto, 2001.7 p.
- [5] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). Ingeniería civil y arquitectura. Cemento pórtland. Especificaciones químicas. NTC 321. Bogotá D.C: El Instituto, 1982. 6 p.
- [6] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). Especificación de desempeño para cemento hidráulico. NTC 121. Bogotá D.C: El Instituto, 2014. 17 p.
- [7] ASTM INTERNATIONAL. Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement. ASTM C188-15. West Conshohocken, PA, 2015.
- [8] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). Concretos. Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos. NTC 77. Bogotá D.C: El Instituto, 2007. 10 p.

- [9] ASTM INTERNATIONAL. Standard Specification for Aggregate for Masonry Mortar. ASTM C144-11. West Conshohocken, PA, 2011.
- [10] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). Ingeniería civil y arquitectura. Método para determinar la densidad y la absorción del agregado fino. NTC 237. Bogotá D.C: El Instituto, 1995. 14 p.
- [11] ASTM INTERNATIONAL. Standard Test Method for Foaming Properties of Surface-Active Agents. ASTM D1173-07. West Conshohocken, PA, 2015.
- [12] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). Determinación del extracto seco. NTC 4601. Bogotá D.C: El Instituto, 1999. 5 p.
- [13] ASTM INTERNATIONAL. Standard Test Methods for Chemical Analysis of Hydraulic Cement. ASTM C114-15. West Conshohocken, PA, 2015.
- [14] ASTM INTERNATIONAL. Standard Test Method for pH of Aqueous Solutions With the Glass Electrode. ASTM E70-07. West Conshohocken, PA, 2015.
- [15] RIVERA LÓPEZ, G. A. Dosificación de morteros. En: Concreto simple. Popayán: 2010. p. 199–217.
- [16] SÁNCHEZ DE GUZMÁN, D. Tecnología del concreto y del mortero. 5 ed. Bogotá: Bhandar Editores, 2001. ISBN 9589247040.
- [17] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico usando cubos de 50 mm ó 50,8mm de lado. NTC 220. Bogotá D.C: El Instituto, p. 2004-13.

- [18] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). Concretos. Elaboración y curado de especímenes de concreto en obra. NTC 550. Bogotá D.C: El Instituto, 2000. 13 p.
- [19] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). Método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado del cemento hidráulico mediante el aparato de Vicat. NTC 118. Bogotá D.C: El Instituto, 2004.
- [20] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). Especificaciones para la mesa de flujo usada en ensayos de cemento hidráulico. NTC 111. Bogotá D.C: El Instituto, 2013.
- [21] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). Método para determinar la fluidez de morteros de cemento hidráulico. NTC 5784. Bogotá D.C: El Instituto, 2010.
- [22] ASTM INTERNATIONAL. Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete. ASTM C642-13. West Conshohocken, PA, 2013.
- [23] ASTM INTERNATIONAL. Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials by Impedance Tube Method. ASTM C384-04. West Conshohocken, PA, 2016.
- [24] CARREÑO SUPELANO, P. A. y JÁCOME QUEVEDO, Y. S. Propuesta del uso del jugo de fique como plastificante del concreto. Trabajo de grado. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Civil, 2016.
- [25] INSTITUTO DEL CONCRETO. Tecnología y propiedades. 2 ed. El Autor, 1997. 215 p. (Colección Básica del Concreto). ISBN 9589670911.
- [26] NEVILLE, A. M. Properties of Concrete. 5 ed. England: Pearson Education Limited, 2011. ISBN 978-0-273-75580-7.

[27] CHEN, X., WU, S. y ZHOU, J. Influence of porosity on compressive and tensile strength of cement mortar. En: Construction and Building Materials. 2013. vol. 40, p. 869–874.

[28] ASKELAND, D. R., FULAY, P. P. y WRIGHT, W. J. Ciencia e Ingeniería de Materiales. 6 ed. Estados unidos: Cengage Learning, 2010.

[29] ESQUERDO LLORET, T. V. Desarrollo de modelos de comportamiento acústico y caracterización experimental de materiales elaborados con aligerantes para la construcción. Aplicación a sistemas de control de ruido. Tesis doctoral. Valencia: Universitat Politècnica de València. Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales, p. 2015-335.

BIBLIOGRAFÍA

COMISIÓN ASESORA PERMANENTE PARA EL RÉGIMEN DE CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. NSR-10. Bogotá D.C: 2010. 406 p.

ESPAÑA. PRESIDENCIA DEL GOBIERNO. Real Decreto 2429. (6, Julio, 1979). Por el cual se aprueba la norma Básica de la Edificación NBE-CT-79. España, 1979.

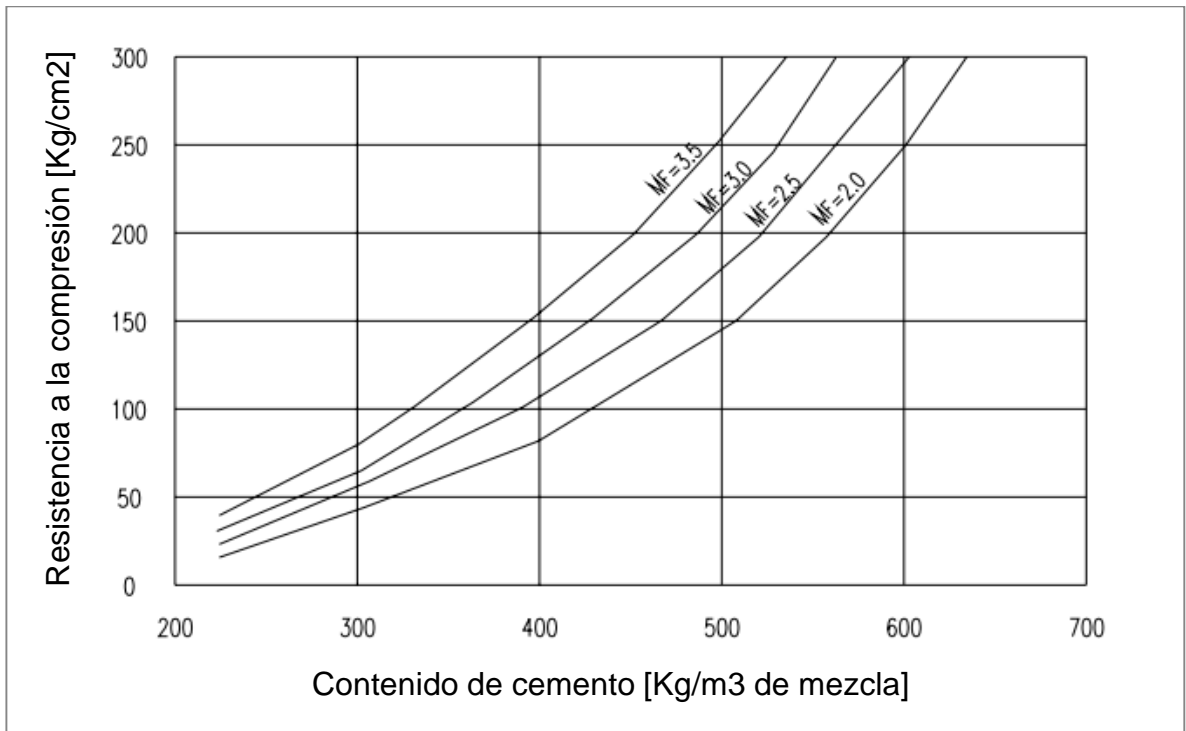
FLORESA, M. D, *et al.* Base de datos de coeficientes de absorción sonora de diferentes materiales. En: Mecánica Computacional. Noviembre, 2013. vol 32, p. 2901-2908.

PICO, C. M. Propuesta de concreto con agregado fino de escoria de cubilote como aporte al estudio de la durabilidad y propiedades acústicas. Trabajo de grado. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Civil, 2012.

RAMÍREZ, J. D. y VELANDIA, A. C. Propuesta sostenible de aislamiento térmico y acústico a partir de celulosa. Trabajo de grado. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Civil, 2015.

ANEXOS

ANEXO A. CANTIDAD DE CEMENTO EN RELACIÓN AL MÓDULO DE FINURA DE LA ARENA Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE DISEÑO.



ANEXO B. COEFICIENTE DE ABSORCIÓN POR FRECUENCIA OBTENIDO PARA CADA MUESTRA.

Frecuencia (Hz)	Dosificación (%)	Coeficiente de absorción (α_n)			
		Probeta A	Probeta B	Probeta C	Promedio
250	0	0,948	0,957	0,931	0,946
	3	0,946	0,972	0,910	0,943
	6	0,939	0,976	0,962	0,959
	9	0,980	0,989	0,984	0,984
500	0	0,813	0,753	0,743	0,770
	3	0,808	0,603	0,858	0,756
	6	0,882	0,663	0,822	0,789
	9	0,825	0,877	0,820	0,841
750	0	0,938	0,937	0,936	0,937
	3	0,949	0,928	0,941	0,939
	6	0,962	0,950	0,940	0,951
	9	0,957	0,955	0,947	0,953
1000	0	0,967	0,964	0,951	0,961
	3	0,961	0,953	0,965	0,960
	6	0,956	0,960	0,968	0,961
	9	0,957	0,960	0,964	0,960