

EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE UN  
CONCRETO MODIFICADO CON JUGO DE FIQUE Y SOMETIDO A  
CONDICIÓN DE INCENDIO

IVÁN FERNANDO BAYONA GÓMEZ  
NICOLAS CASTRO PINTO

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

2016

EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE UN  
CONCRETO MODIFICADO CON JUGO DE FIQUE Y SOMETIDO A  
CONDICIÓN DE INCENDIO

IVÁN FERNANDO BAYONA GÓMEZ

NICOLAS CASTRO PINTO

Trabajo de Grado para optar al título de  
Ingeniero Civil

Director

RICARDO ALFREDO CRUZ HERNÁNDEZ

Ingeniero Civil. MSc. PhD

Co-director

JULIÁN ORLANDO HERRERA ORTIZ

Ingeniero Metalúrgico. MSc

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

2016

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	
1. DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	14
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
1.2. OBJETIVOS .....	15
1.2.1. Objetivo general .....	15
1.2.2. Objetivos específicos .....	15
2. METODOLOGÍA .....	16
2.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES.....	16
2.1.1. Agua .....	16
2.1.2. Cemento .....	16
2.1.3. Agregados pétreos .....	16
2.1.4. Jugo de fique .....	16
2.2. DISEÑO DE MEZCLA .....	19
2.3. ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES .....	20
2.4. TIEMPO DE FRAGUADO .....	21
2.5. ASENTAMIENTO .....	23
2.6. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN .....	23
2.7. CONDICIÓN DE INCENDIO .....	24
2.8. POROSIDAD, DENSIDAD SECA Y ABSORCIÓN .....	26
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	27
3.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES.....	27
3.2. CARACTERIZACIÓN DEL JUGO DE FIQUE .....	27
3.2.1. Formación de espuma.....	27
3.2.2. Determinación del extracto seco convencional .....	28
3.2.3. Pérdidas por calcinación .....	29
3.2.4. Determinación de pH .....	29

3.3. TIEMPO DE FRAGUADO .....	29
3.4. ASENTAMIENTO.....	31
3.5. POROSIDAD, DENSIDAD SECA Y ABSORCIÓN.....	32
3.6. CONDICIÓN DE INCENDIO .....	33
3.6.1. Propiedades cualitativas .....	33
3.6.2. Propiedades cuantitativas.....	34
3.7. ENSAYO A LA COMPRESIÓN .....	36
4. CONCLUSIONES .....	39
5. REFERENCIAS .....	40
BIBLIOGRAFÍA .....	42
ANEXOS .....	46

## LISTA DE TABLAS

	<b>pág.</b>
Tabla 1. Kilogramos de material por metro cúbico de mezcla.....	19
Tabla 2. Formación de espuma .....	27
Tabla 3. Tiempo de fraguado inicial .....	30
Tabla 4. Tiempo de fraguado final .....	30
Tabla 5. Asentamientos .....	31
Tabla 6. Espacio de poros permeables, densidad seca y absorción .....	33
Tabla 7. Resistencia a la compresión .....	36
Tabla 8. Resistencia a la compresión con sometimiento a condición de incendio .....	38
Tabla 9. Pérdida de resistencia causada por el sometimiento a condición de incendio.... .....	39

## LISTA DE FIGURAS

	<b>pág.</b>
Figura 1. Medidor electrónico de pH .....	19
Figura 2. Elementos para la fabricación de probetas .....	21
Figura 3. Prueba de tiempo de fraguado .....	22
Figura 4. Prueba de asentamiento .....	23
Figura 5. Prueba a compresión .....	24
Figura 6. Termocupla tipo K.....	25
Figura 7. Curva estándar de calentamiento .....	25
Figura 8. Prueba a condición de incendio .....	26
Figura 9. Formación de espuma .....	28
Figura 10. Efecto del aditivo en el tiempo de fraguado .....	31
Figura 11. Prueba a temperatura externa 200 °C .....	35
Figura 12. Prueba a temperatura externa 600 °C .....	35
Figura 13. Prueba a temperatura externa 1000 °C .....	36
Figura 14. Efecto del aditivo en el f'c .....	37
Figura 15. Efecto de la condición de incendio en la resistencia a la compresión con diferentes porcentajes de aditivo .....	38

## LISTA DE ANÉXOS

	<b>pág.</b>
Anexo A. Caracterización de los agregados pétreos.....	46
Anexo B. Tabulación de las pruebas a compresión.....	47
Anexo C. Pruebas de tiempo de fraguado para los porcentajes de aditivo 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 6%, 7%, 9%, 10%, por medio del aparato de Vicat y Gilmore.....	48
Anexo D. Tabulación de la temperatura interna de los especímenes, registrada en los instrumentos de chequeo asignados para cada caso con temperatura externa máxima de 200 °C, 600 °C y 1000 °C .....	50

## RESUMEN

**TÍTULO:** EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE UN CONCRETO MODIFICADO CON JUGO DE FIQUE Y SOMETIDO A CONDICIÓN DE INCENDIO\*.

**AUTORES:** BAYONA GÓMEZ, Iván Fernando; CASTRO PINTO, Nicolás\*\*.

### DESCRIPCIÓN

Los cultivos de fique en Colombia generan una gran cantidad de residuos orgánicos debido a que únicamente se aprovecha el 4% de la planta, uno de estos residuos es el jugo de fique, por lo cual se investigó su uso como aditivo para el concreto y el efecto en la resistencia a la compresión de probetas luego de sometidas a condición de incendio fabricadas con el mismo. La obtención del jugo se hizo por medio de la trituración y filtración mecánica de las hojas de la *Furcraea Cabuya* y fue conservado a 5° C hasta su uso. Durante el amasado del concreto, el jugo de fique crea espuma, actuando como aditivo plastificante, aumentando la porosidad y reduciendo la densidad en estado endurecido. Las probetas fueron sometidas a condición de incendio a los 28 días de fabricadas, alcanzando temperaturas de 200, 600 y 1000 °C, obteniendo como resultado un mayor aislamiento térmico y menor pérdida de resistencia por fuego a mayor porcentaje de aditivo; sin embargo, la resistencia a la compresión disminuye a mayor cantidad del mismo debido al aumento de la porosidad en las muestras, esta pérdida es de un 28% de pérdida para el 5% de aditivo hasta un 69% para los especímenes con 10%.

**PALABRAS CLAVE:** Concreto, aditivo, jugo de fique, condición de incendio.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de ingeniería Civil. Director: Ricardo Alfredo Cruz Hernández, Ingeniero Civil. MSc. PhD.

## **ABSTRACT**

**TITLE:** EVALUATION OF THE COMPRESSION STRENGTH OF A MODIFIED CONCRETE WITH FIQUE LIQUOR AND UNDER FIRE CONDITION\*.

**AUTHORS:** BAYONA GÓMEZ, Iván Fernando; CASTRO PINTO, Nicolás\*\*.

## **DESCRIPTION**

Crops of fique in Colombia generate a lot of organic waste because only 4% of the plant is used, one of these residues is fique liquor, and it was investigated its usage as an additive for concrete and the effect on the compressive strength of specimens after being subjected under fire condition manufactured therewith. The fique liquor was obtained by grinding and mechanical filtration of Furcraea Cabuya leaves and was kept at 5° C until use. During the mixing of concrete, the fique liquor creates foam, acting as a plasticizer additive, increasing porosity and decreasing density in hardened state. The specimens were subjected to fire condition after 28 days of manufactured, reaching temperatures of 200, 600 and 1000 °C, obtaining as a result more thermal isolation and a less reduction of compressive resistance on fire when more additive, however, the compressive strength is reduced to a mayor amount of it, from 28% loss for a 5% additive to 69% for specimens with 10%.

**KEYWORDS:** Concrete, additive, fique liquor, fire condition.

---

\* Bachelor Thesis

\*\* Facultad de ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de ingeniería Civil. Director: Ricardo Alfredo Cruz Hernández, Ingeniero Civil. MSc. PhD.

## INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción es muy importante para Colombia debido a que ha sido el sector líder en crecimiento y gran protagonista en el aumento del PIB en relación con los demás sectores económicos en los últimos años [1] con un crecimiento del 9,9% en el 2014 y 9,7% en el 2015 [2]; este crecimiento lleva al aumento del uso de materia prima como lo es el concreto y directamente aumenta el empleo de aditivos para mejorar algunas de sus propiedades físicas y mecánicas, en estado fresco o endurecido; generalmente estos aditivos son sintéticos pero se ha investigado el uso de extractos orgánicos de origen vegetal como aditivo en materiales cementicios [3], uno de estos aditivos orgánicos es el jugo de fique, un subproducto orgánico de origen vegetal, resultante de la producción de fibras a partir de la *Furcraea Cabuya* [4].

En investigaciones anteriores se ha determinado que el jugo de fique actúa como un surfactante que al mezclarse con el agua de amasado del hormigón disminuye su tensión superficial, y permite la formación de pequeñas burbujas de aire estables que permanecen durante el proceso de fabricación y posteriormente forman pequeños poros no coalescentes, que disminuyen la densidad de la mezcla [4], la cual es una propiedad importante en los concretos que funcionan como aislantes y son resistentes al fuego, lo que permite que estructuras construidas con este material no colapsen ante elevadas temperaturas [5]; estos concretos también son usados para la construcción de chimeneas, ductos de gas, hornos de secado, calentadores, hornos de caldera, entre otros [6].

En esta investigación se realizaron diferentes ensayos a un concreto de relación  $a/c=0,4$  fabricadas con jugo de fique como aditivo en porcentajes de 0%, 5%, 7% y 10% antes y después de ser sometidas a condición de incendio, estas pruebas buscaban comprender el efecto del aditivo en el concreto tanto en estado fresco como en estado endurecido.

En la etapa de resultados y análisis se muestran los efectos que el aditivo genera en algunas de sus propiedades del concreto, tales como: Resistencia a la compresión,

porcentaje de porosidad, densidad seca, absorción, asentamiento, tiempo de fraguado y pérdida de resistencia por efecto del fuego.

## **1. DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En Colombia el área cultivada de fique es superior a las 23.000 hectáreas, con una producción aproximada de 18.750 toneladas de fibra al año, la cual representa únicamente el 4% del peso de la hoja; el restante 96% son desechos industriales (70% jugo y 26% bagazo), que son arrojados sin ningún tratamiento a suelos y fuentes hídricas en zonas rurales [7]. Estos residuos, en especial el jugo de fique, constituyen un desecho altamente contaminante y tóxico para los peces y los organismos acuáticos, debido a su contenido de azúcares y otros compuestos como saponinas y alcaloides [8].

Por otra parte se ha determinado que el jugo de fique actúa como un surfactante que al mezclarse con el agua de amasado del hormigón permite la formación de pequeñas burbujas de aire estables que permanecen durante el proceso de fabricación y posteriormente forman pequeños poros no coalescentes, que disminuyen la densidad de la mezcla [4].

En este contexto, se plantea la pregunta de investigación ¿Qué efecto produce el jugo de fique sobre la resistencia del concreto adicionado con este aditivo orgánico, antes y después de estar expuesta bajo una condición de incendio? Por lo anterior, esta investigación estudiará el efecto en la resistencia de una mezcla de concreto antes y después de estar sometido a condición de incendio, empleando jugo de fique como aditivo natural.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. Objetivo general**

Evaluar el efecto en la resistencia a compresión de un concreto de Cemento Portland Tipo 1, de relación a/c 0.40, modificado con jugo de fique después de someterse a condición de incendio.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Determinar el efecto del aditivo orgánico, en proporciones de 0%, 5%, 7% y 10%, sobre el tiempo de fraguado de la pasta de cemento y la porosidad en estado endurecido de la mezcla de concreto con relación a/c de 0.40.
- Determinar la resistencia a la compresión simple de una mezcla de concreto con jugo de fique como aditivo orgánico en proporciones de 0%, 5%, 7% y 10% de peso de cemento, antes y después de ser sometidas a condición de incendio.

## **2. METODOLOGÍA**

### **2.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES**

Se realizó la caracterización de los materiales como el cemento, agregados pétreos y jugo de fique de acuerdo con sus normas técnicas correspondientes. Los resultados de esta caracterización se presentan resumidos en el Anexo A.

A continuación, se describe la caracterización de cada uno de los materiales usados.

#### **2.1.1. Agua**

El agua potable utilizada para la mezcla es la suministrada por el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga (AMB). Esta agua es tratada en los laboratorios de control de calidad, cumple con los parámetros de la norma NTC 3459 y sus propiedades fisicoquímicas y biológicas.

#### **2.1.2. Cemento**

Se utilizó cemento Portland de uso general que cumple con las especificaciones física y mecánicas de la NTC 121 y especificaciones químicas de NTC 321.

#### **2.1.3. Agregados pétreos**

Como agregado grueso fue usado triturado y como agregado fino arena. Para los agregados se cumplieron los requisitos de gradación y calidad de agregados establecidos en la norma NTC 174 y las normas NTC 176 y NTC 237 para determinar la densidad y la absorción del agregado grueso y fino respectivamente.

#### **2.1.4. Jugo de fique**

El jugo de fique, un subproducto orgánico de origen vegetal, resultante de la producción de fibras a partir de la *Furcraea Cabuya* [4] fue el aditivo orgánico que usamos para la mezcla de concreto; este jugo fue extraído de la planta por medio de un trapiche que

exprimía las hojas y en un recipiente se recolectaba para después llevar a refrigerar a aproximadamente 5°C y así conservarlo mejor hasta que se usara como aditivo.

La caracterización del jugo de fique consistió en cuatro ensayos físico-químicos: formación de espuma, extracto seco convencional, pérdidas por calcinación, y pH.

- Formación de espuma

Este ensayo se realizó siguiendo la norma ASTM D1173 establecida para surfactantes el cual consiste en medir el volumen de espuma obtenido después de que la solución a medir fluya libremente a una altura de 450 mm sobre una superficie de la misma solución, este volumen se midió a los 0, 30 segundos, 3 minutos y 5 minutos y así se determinó su capacidad espumante.

- Determinación del extracto seco convencional.

Este ensayo busca determinar el contenido de extracto seco, a los 105±3 °C. El procedimiento para determinar esta característica se realizó siguiendo la norma NTC 4601, donde se indica que se debe pesar una masa entre 5 g y 10 g del aditivo líquido con una exactitud de 0.001 g, para posteriormente llevar a la estufa precalentada a 105±3 °C y se mantiene durante 6 horas, después de esto se pasa a un desecador y se pesa, este procedimiento se repite hasta obtener masa constante.

Ya con estos datos se calculó el porcentaje de extracto seco con la ecuación [1]

$$Es (\%) = R/M * 100\% \quad [1]$$

Donde:

*Es* es el extracto seco en porcentaje.

*R* es la masa de residuo, en gramos.

*M* es la masa de la muestra del aditivo, en gramos.

- Pérdidas por calcinación

Este ensayo tiene como objetivo determinar la pérdida de masa que sufre el aditivo cuando es expuesto a  $1000 \pm 25$  °C, hasta obtener una masa constante. El procedimiento se realizó siguiendo la norma ASTM C 114, en la cual se indica que la capsula que contiene el residuo seco obtenido a los  $105 \pm 3$  °C se introduzca durante una hora en un horno de mufla a  $1050 \pm 25$  °C, transcurrido ese tiempo, se saca la capsula del horno y se pasa a un desecador donde se deja enfriar durante 30 minutos para luego pesar con una precisión no inferior a 0.001 g, esto se repite hasta obtener masa constante.

El porcentaje de pérdidas por calcinación se calculó con la ecuación [2]

$$P_c (\%) = \frac{M_3 - M_1}{M_2 - M_1} * 100\% \quad [2]$$

Donde.

$P_c$  es la pérdida por calcinación en %.

$M_1$  es la masa de la capsula en g.

$M_2$  es la masa de la capsula con residuo seco a 105° C.

$M_3$  es la masa de la capsula con el sobrante del aditivo sometido a 1050° C.

- Determinación del pH

Para la determinación del pH del aditivo se siguió la norma NTC 5114, donde se indica que se deben tomar 3 muestras a  $20 \pm 1$ ° C que se diluyen en 100 ml de agua des-ionizada, se usó un medidor de pH con una precisión de 0.01 que se muestra en la Figura 1, el resultado de la prueba es la media aritmética de las 3 muestras de aditivo.

**Figura 1.** Medidor electrónico de pH



## 2.2. DISEÑO DE MEZCLA

El diseño de mezcla se realizó siguiendo los pasos del método ACI 211.1 para una relación agua-cemento de 0.4 con tamaño máximo de agregados de 19 mm. En la Tabla 1 se presenta la masa de cada material para un metro cúbico de concreto, obtenidas del diseño de mezcla.

**Tabla 1.** Kilogramos de material por metro cúbico de mezcla.

<b>Aditivo</b>	<b>0%</b>	<b>5%</b>	<b>7%</b>	<b>10%</b>
Jugo	0	23.1	32.3	46.2
Agua	186	165	156.6	144
Cemento	462			
Fino	804.2			
Grueso	916.5			

El jugo de fique como aditivo orgánico tiene un alto contenido de agua. El valor de la masa de agua para la mezcla de concreto con los porcentajes de aditivo 5, 7 y 10 %, fue modificado, de modo que no se alterara la relación agua-cemento en la mezcla.

### **2.3. ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES**

Para la elaboración de las muestras de concreto se siguió la norma NTC 1377- Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos de laboratorio, de acuerdo a esta norma la dimensión de una sección transversal para los especímenes prismáticos de concreto debe ser como mínimo 3 veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso [9] que en este caso es 19 mm, es decir que el tamaño mínimo que puede tener una sección de los especímenes es de 57 mm, para más practicidad en el manejo de los moldes se decidió que las dimensiones de los especímenes serían 100 mm de alto, 100 mm de largo y 100 mm de ancho, estos especímenes fueron cúbicos debido a que se expondrían a condición de incendio y los especímenes cilíndricos no brindaban una cara plana para exponer.

En el proceso de fabricación de las probetas se usaron moldes de madera con una capa de desmoldante, para la compactación se usó una varilla de compactación y un mazo con las características que indica la norma, estos elementos se pueden observar en la Figura 2; adicionalmente se usó: Cono para medir asentamientos, recipiente para mezclado y muestreo, balanza, palustres y probeta de 1000 ml; el mezclado y la compactación fueron manuales de acuerdo como indica la norma: 25 golpes por capa con la varilla de compactación y 15 golpes con el mazo para sacar las burbujas de aire que pudieran haber quedado atrapadas, finalmente el acabado se realizó enrazando con un palustre y 24 horas después se desmoldaron y pasaron a un ambiente de curado libre de vibraciones.

**Figura 2.** Elementos para la fabricación de probetas.



#### **2.4. TIEMPO DE FRAGUADO**

El tiempo de fraguado es un periodo en el cual mediante reacciones químicas del cemento y el agua conducen a un proceso, que mediante diferentes velocidades de reacción, generan calor y dan origen a nuevos compuestos, estos en la pasta de cemento generan que este endurezca y aglutine al agregado de la mezcla de hormigón, y se ponga fuerte y denso [10], para calcular el tiempo de fraguado se siguió la norma NTC 118- Metodo y ensayo para determinar el tiempo de fraguado del cemento hidráulico mediante el aparato Vicat, para cumplir con esta norma y obtener el tiempo de fraguado del cemento con diferentes porcentajes de jugo de fique como aditivo se usaron los siguientes elementos de laboratorio: Balanza, aparato Vicat manual, probeta de 1000 ml, batidora industrial y palustre.

Para iniciar la prueba de tiempo de fraguado por medio del aparato Vicat se debe conocer con anticipación la consistencia normal de la pasta de cemento, la cual puede definirse como la cantidad de agua necesaria para que la aguja de 10 mm de diámetro del aparato Vicat penetre  $10 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$  después de 30 segundos de estar en contacto con la pasta

de cemento [11]; en las pruebas con el cemento de uso general empleado en todo el proyecto, la consistencia normal fue de 26%; se procedió a preparar la pasta de cemento para la prueba de tiempo de fraguado con el aparato Vicat, para esto se necesita mezclar 650 g de cemento con 169 g de agua que es el porcentaje requerido para la consistencia normal [12] y llevar esta pasta de cemento al molde de prueba del aparato Vicat para dar inicio a la prueba.

La prueba consiste en dejar caer una aguja de 1 mm de diámetro desde la superficie del espécimen iniciando a los 30 minutos transcurridos desde la preparación de la pasta y verificar la penetración para luego repetirse cada 15 minutos hasta el momento en que la aguja no penetre, se registraron los valores de todas las penetraciones; por medio de interpolación se determina el tiempo transcurrido para una penetración correspondiente a 25 mm el cual indicó el tiempo de fraguado inicial. El tiempo de fraguado final se tomó cuando la aguja no dejó marca visible sobre el espécimen [12], el montaje de la prueba se observa en la Figura 3.

**Figura 3.** Prueba tiempo de fraguado



## 2.5. ASENTAMIENTO

Una forma indirecta de conocer la manejabilidad de una mezcla consiste en medir la fluidez por medio de la prueba de asentamiento, que se realizó siguiendo la norma NTC 396-Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto, en el cual una muestra de concreto fresco se coloca en un molde tronco cónico y se compacta mediante una varilla. El molde se levanta permitiendo que el concreto se asiente. El asentamiento corresponde a la diferencia entre la posición inicial y la desplazada de la superficie del concreto [13].

Esta medida se tomó para cada porcentaje de aditivo en la mezcla, para así conocer el efecto que genera el jugo de fique en la manejabilidad del concreto, esta prueba se puede ver en la Figura 4.

**Figura 4.** Prueba asentamiento



## 2.6. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

La propiedad más importante del concreto es su capacidad para resistir los esfuerzos de compresión [14]. Este parámetro se calcula según la Norma NTC 673. Para esta investigación fue fundamental realizar el ensayo de compresión para cada porcentaje de aditivo, cumplidos los 28 días de curado especificados en la norma y compararlo con la resistencia obtenida de probetas con iguales dosificaciones de aditivo después de

sometidas a condición de incendio, el montaje de esta prueba se puede observar en la Figura 5. Los resultados de la prueba de compresión se encuentran en el Anexo B.

**Figura 5.** Prueba a compresión



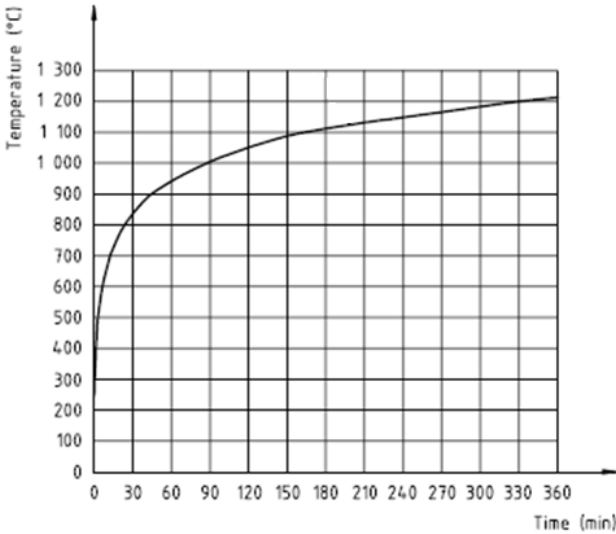
## 2.7. CONDICIÓN DE INCENDIO

La condición de incendio se realizó mediante el sometimiento de las probetas a fuego en el horno de ladrillo ubicado en el edificio de laboratorios de caracterización de materiales de la UIS. El montaje del ensayo consiste en la lectura de la temperatura interna y externa de las probetas dentro del horno usando termocuplas tipo K (Figura 6) conectadas a un multímetro. La llama se graduó paulatinamente de modo que se cumplió la curva estándar de calentamiento ISO 834-11. Una vez se consiguió la temperatura deseada para cada caso de prueba, esta misma se mantuvo por 5 minutos antes de suspender la condición de incendio para prolongar el efecto del fuego a la temperatura máxima deseada. Se recopilaron todos los datos de temperatura registrados por el instrumento durante la prueba, desde el comienzo de la condición de incendio, hasta los 32, 54 y 105 minutos para las temperaturas de 200, 600 y 1000 °C respectivamente después de suspendida la condición de incendio, con el fin de obtener información sobre el enfriamiento interno de las probetas. En la Figura 7 se observa la curva que se siguió en esta prueba, igualmente en la Figura 8 se observa el montaje que se llevó a cabo.

**Figura 6.** Termocupla tipo k



**Figura 7:** Curva estándar de calentamiento.



**Fuente:** ISO 834-11

**Figura 8.** Prueba condición de incendio



## **2.8. POROSIDAD, DENSIDAD SECA Y ABSORCIÓN**

La porosidad es una característica importante del concreto y de ésta dependen en parte otras características como la resistencia a la compresión y la durabilidad [15], directamente relacionadas con la porosidad están la densidad seca y la absorción, para el cálculo de estas características se siguió la norma NTC 674, esta norma brinda un procedimiento para calcular la porosidad, la densidad seca y la absorción de una probeta de concreto endurecido, donde por medio de cuatro mediciones que se le realizan a la probeta se calcularon, éstas son: Masa de la probeta seca al horno (A), masa saturada de superficie seca (B), masa saturada de superficie seca después de ebullición (C) y su masa sumergida aparente (D) (NTC 674); ya con estas mediciones realizadas se calculó la porosidad de las probetas con la ecuación 3, la densidad seca con la ecuación 4 y la absorción con la ecuación 5:

$$\text{Espacio de poros permeables} = ((C - A) / ((C - D))) * 100\% \quad (3)$$

$$\text{Densidad seca} = [A / (C - D)] \rho \quad (4)$$

$$\text{Absorción} = [(B - A) / A] * 100\% \quad (5)$$

Donde:

$A$  es la masa de la probeta seca al horno

$B$  es la masa saturada de superficie seca

$C$  es la masa saturada de superficie seca después de ebullición

$D$  es la masa sumergida aparente

$\rho$  es la densidad del agua

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 3.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

Se realizó la caracterización del cemento y de los agregados fino y grueso como lo indican las normas técnicas colombianas.

Los resultados de la caracterización de los materiales se presentan en el Anexo A.

#### 3.2. CARACTERIZACIÓN DEL JUGO DE FIQUE

Las pruebas físico-químicas que se realizaron al jugo de fique para analizar sus características arrojaron los siguientes resultados:

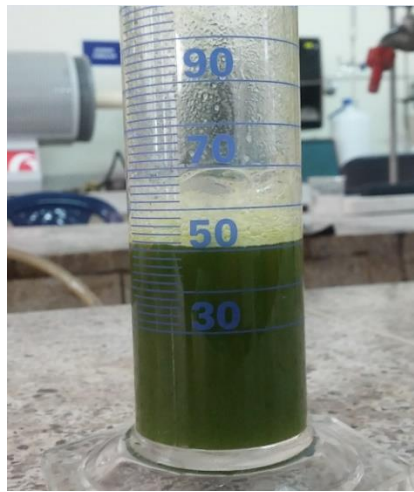
##### 3.2.1. Formación de espuma

En la Tabla 2 se muestran las alturas de espuma para cada tiempo e igualmente en la figura 9 se puede observar la formación de espuma.

**Tabla 2.** Formación de espuma

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

**Figura 9.** Formación de espuma



Este ensayo demostró que el jugo de fique cuenta con una buena capacidad espumante obteniendo una altura promedio de 13.3 mm en el tiempo inicial.

### **3.2.2. Determinación del extracto seco convencional**

Con los datos obtenidos de la prueba se calculó el porcentaje de extracto seco que compone el jugo de fique que como resultado se obtuvo un 9.7657%, este resultado indica que el contenido de agua en el jugo de fique es de 90.2343%.

El resultado se calculó por medio de la ecuación 1:

$$Es (\%) = R/M * 100\% \quad (1)$$

Donde.

*Es* es el extracto seco en porcentaje.

*R* es la masa de residuo, en gramos.

*M* es la masa de la muestra del aditivo, en gramos.

### 3.2.3. Pérdidas por calcinación

Con los pesos obtenidos calculó el porcentaje de pérdidas por calcinación del aditivo que fue de 93.85%, esto indica que un 6.15% del extracto seco es inorgánico.

Este resultado se calculó con la siguiente ecuación 2:

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

Donde:

$Pc$  es la pérdida por calcinación en %.

$M_1$  es la masa de la capsula en g.

$M_2$  es la masa de la capsula con residuo seco a 105° C.

$M_3$  es la masa de la capsula con el sobrante del aditivo sometido a 1050° C.

### 3.2.4. Determinación de pH

El pH obtenido como el promedio de 3 muestras fue de 4.33 lo indica que el jugo es de carácter ácido.

## 3.3. TIEMPO DE FRAGUADO

El tiempo de fraguado inicial se determina cuando la aguja de 1 mm de diámetro penetra 25 mm en la pasta de cemento [12], este tiempo se obtiene por medio de una interpolación en los tiempos de la prueba, en la Tabla 3 se hallan los tiempos de fraguado inicial obtenidos para diferentes dosificaciones de aditivo.

**Tabla 3.** Tiempo de fraguado inicial

<b>Porcentaje de jugo</b>	<b>Tiempo de fraguado inicial (min)</b>
0%	102
1%	76
2%	47
3%	31
4%	17
5%	13
7%	11
9%	11
10%	11

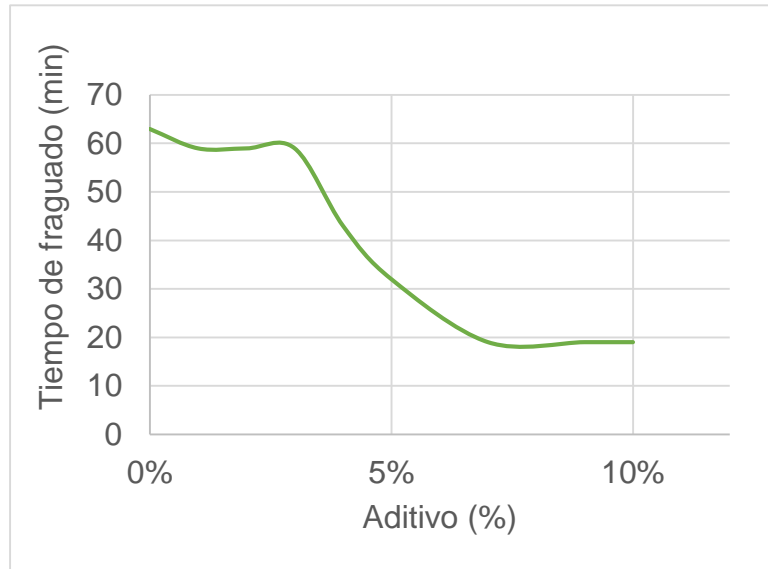
El tiempo de fraguado final es el tiempo transcurrido hasta el momento que la aguja no deja marca visible en la pasta de cemento [12]. En la Tabla 4 se muestran los resultados del tiempo de fraguado final.

**Tabla 4.** Tiempo de fraguado final.

<b>Porcentaje de jugo</b>	<b>Tiempo de fraguado final (min)</b>
0%	165
1%	135
2%	106
3%	90
4%	60
5%	45
7%	30
9%	30
10%	30

El tiempo de fraguado de la mezcla se define como el tiempo que transcurre entre el tiempo de fraguado inicial donde la pasta pierde su plasticidad y el tiempo de fraguado final donde la aguja no deja marca visible, en la Figura 10 se muestra el comportamiento del tiempo de fraguado respecto a la cantidad de aditivo.

**Figura 10.** Efecto del aditivo en el tiempo de fraguado



Se observa que el aditivo (jugo de fique) genera una disminución significativa en el tiempo de fraguado de la pasta de cemento a medida que va aumentando su porcentaje, disminuyendo tanto su tiempo de fraguado inicial con su tiempo de fraguado final, los resultados de las pruebas individuales de tiempo de fraguado se encuentran en el Anexo C.

### 3.4. ASENTAMIENTO

La Tabla 5 muestra los asentamientos obtenidos para los porcentajes de aditivo de la investigación.

**Tabla 5.** Asentamientos.

% Aditivo	0 %	5 %	7 %	10 %
Asentamiento (mm)	21	28	35	40

El asentamiento obtenido para la mezcla sin aditivo es de 21 mm, un valor representativo de mezclas secas. A medida que el porcentaje de aditivo aumenta, lo hace también el asentamiento, consiguiendo un asentamiento máximo de 40 mm para el mayor porcentaje de aditivo de 10%.

### 3.5. POROSIDAD, DENSIDAD SECA Y ABSORCIÓN

La porosidad, la densidad seca y la absorción se calcularon de acuerdo a la norma NTC 467, se obtuvieron pesos de los especímenes a diferentes condiciones para calcular estas propiedades en el concreto endurecido de acuerdo a las ecuaciones 3,4 y 5 respectivamente:

$$\text{Espacio de poros permeables} = \frac{(C-A)}{(C-D)} * 100\% \quad (3)$$

$$\text{Densidad seca} = \left[ \frac{A}{C-D} \right] \rho \quad (4)$$

$$\text{Absorción} = [(B - A)/A] * 100\% \quad (5)$$

Donde.

*A* es la masa de la probeta seca al horno

*B* es la masa saturada de superficie seca

*C* es la masa saturada de superficie seca después de ebullición

*D* es la masa sumergida aparente

$\rho$  es la densidad del agua

Los resultados de la prueba de porosidad, densidad seca y absorción se muestran en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Espacio de poros permeables, densidad seca y absorción.

<b>Aditivo (%)</b>	<b>0%</b>	<b>5%</b>	<b>7%</b>	<b>10%</b>
A	2350.6	2240.4	2216.7	2180.6
B	2461.3	2365.5	2363.4	2350.2
C	2473.5	2378.6	2375.5	2362.4
D	1475	1465	1430	1420
Porosidad (%)	12.3%	15.1%	16.8%	19.3%
Absorción (%)	4.7%	5.6%	6.6%	7.8%
Densidad seca (Kg/m <sup>3</sup> )	2354.1	2350.5	2344.5	2313.9

Se puede notar que el porcentaje de poros permeables aumenta a medida que la cantidad de aditivo (jugo de fique) es mayor, siendo de 12.3% para la mezcla sin aditivo y 19.3% para la mezcla que tiene un 10% de peso de cemento como aditivo, directamente junto a esta propiedad aumenta la absorción de los especímenes y disminuye la densidad seca lo que es un efecto positivo en el concreto seco, pues disminuye el peso por metro cúbico lo que se traduce en menores cargas muertas.

### **3.6. CONDICIÓN DE INCENDIO**

#### **3.6.1. Propiedades cualitativas**

Todas las probetas presentaron una superficie color negro característico de superficies quemadas por el fuego. El relieve de las probetas sometidas a las temperaturas externas de 200 °C y 600 °C, no se vio afectado como las sometidas a la temperatura externa de 1000 °C, que presentaron pérdida de material superficial, en especial para las probetas sin el aditivo.

### **3.6.2. Propiedades cuantitativas**

En las Figuras 11, 12 y 13 se observa la temperatura registrada por las termocuplas en el interior de las probetas para las condiciones de incendio de 200 °C, 600°C y 1000 °C respectivamente. La línea vertical punteada indica el tiempo de finalización de la condición de incendio.

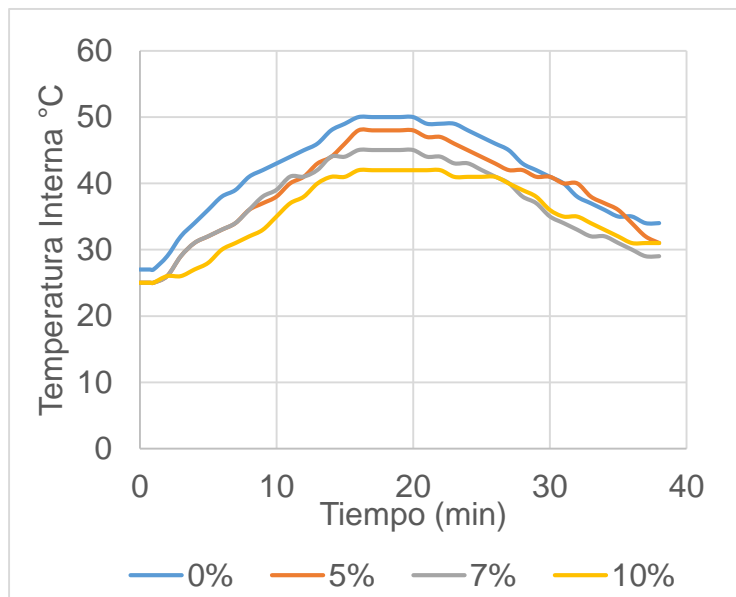
Cuando se suspende la prueba, es decir, cuando se deja de aplicar la temperatura externa con el soplete, la temperatura interna en cada probeta continua en aumento. Minutos después (que dependen de la temperatura externa aplicada), se alcanza un máximo y comienza el proceso de enfriamiento.

En la Figura 11 se observa que el tiempo que transcurre entre la finalización de la condición de incendio, y el tiempo en que la probeta internamente alcanza su máxima temperatura, es de aproximadamente 11 minutos para todas las probetas sometidas a 200 °C.

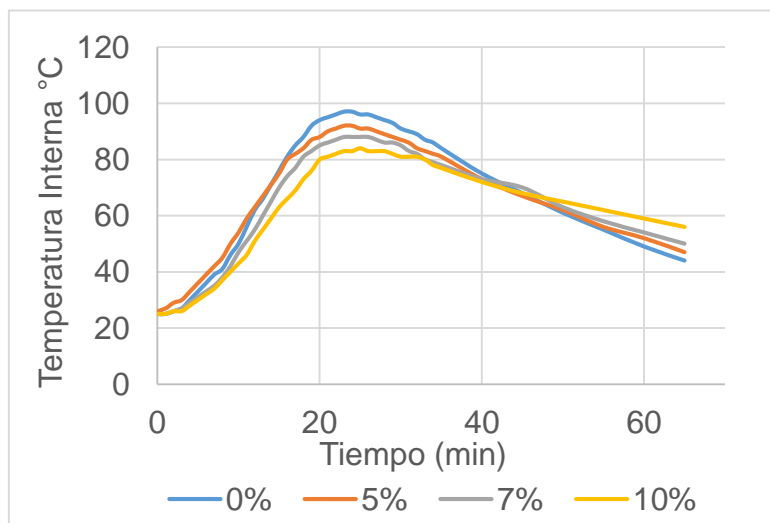
En las Figuras 12 y 13 se observa que el tiempo de enfriamiento es mayor para las probetas con mayor porcentaje de aditivo sometidas a la misma temperatura externa.

El resultado de los ensayos de condición de incendio permite observar que las temperaturas internas máximas alcanzadas son menores si aumenta el porcentaje de aditivo, esto se evidencia en la Figuras 11,12 y 13.

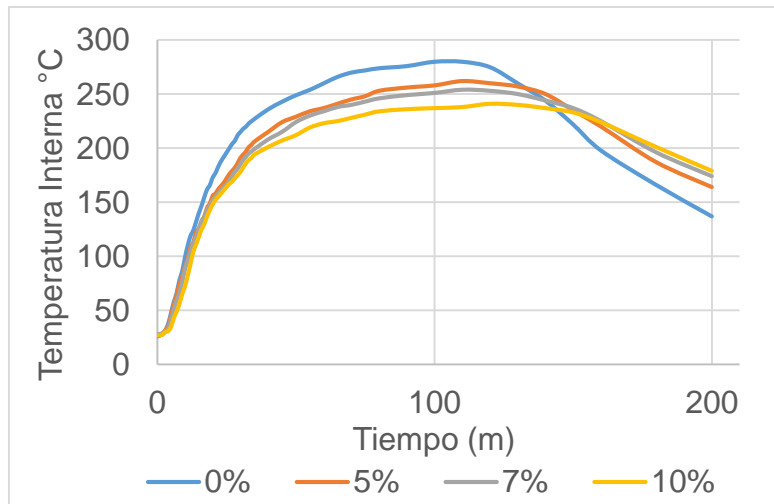
**Figura 11.** Prueba a temperatura externa 200° C



**Figura 12.** Prueba a temperatura externa 600° C



**Figura 13.** Prueba a temperatura externa 1000° C



En el Anexo D se presenta la tabulación completa de la temperatura interna registrada por el instrumento en el tiempo para cada prueba con temperatura externa máxima y cada porcentaje de aditivo.

### 3.7. ENSAYO A LA COMPRESIÓN

La resistencia a la compresión se midió para cada porcentaje de aditivo a los 28 días de curado, con 3 probetas para cada caso y así obtener como resultado una media aritmética junto a una desviación estándar para así conocer el grado de dispersión entre los datos.

En la Tabla 7 se ven los resultados de la resistencia a compresión a los 7 y 28 días, y la desviación estándar de la distribución, con cada porcentaje de aditivo, los resultados de los ensayos a compresión se encuentran en el Anexo B.

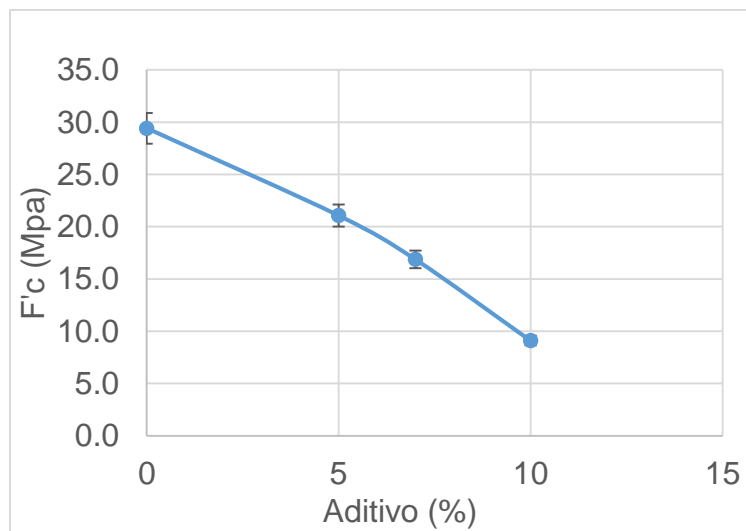
**Tabla 7.** Prueba de compresión.

Aditivo (%)	0%	5%	7%	10%
Compresión 7 días (MPa)	22.1	15.6	8.8	3.5
Desviación 7 días (MPa)	2.131	0.562	1.2337	0.277
Compresión 28 días (MPa)	29.4	21.1	16.9	9.1
Desviación 28 días (MPa)	1.667	1.841	0.8016	0.5

Se evidencia una reducción considerable en la resistencia a la compresión en los especímenes a medida que se aumenta el porcentaje de aditivo. Este resultado tiene relación con una investigación antecedente sobre el uso del jugo de fique como aditivo orgánico en el concreto, en la cual se cita lo siguiente: “el uso del aditivo disminuye significativamente las resistencias del concreto en todas las edades” [3]. La reducción de la resistencia está relacionada con el aumento en la porosidad de las muestras como se mostró anteriormente en la Tabla 6, ya que la resistencia del concreto depende principalmente de la porosidad del material [17].

En la Figura 14 se observa el efecto del aditivo en la resistencia a los 28 días, es decir el  $F'_c$ .

**Figura 14.** Efecto del aditivo en el  $F'_c$ .

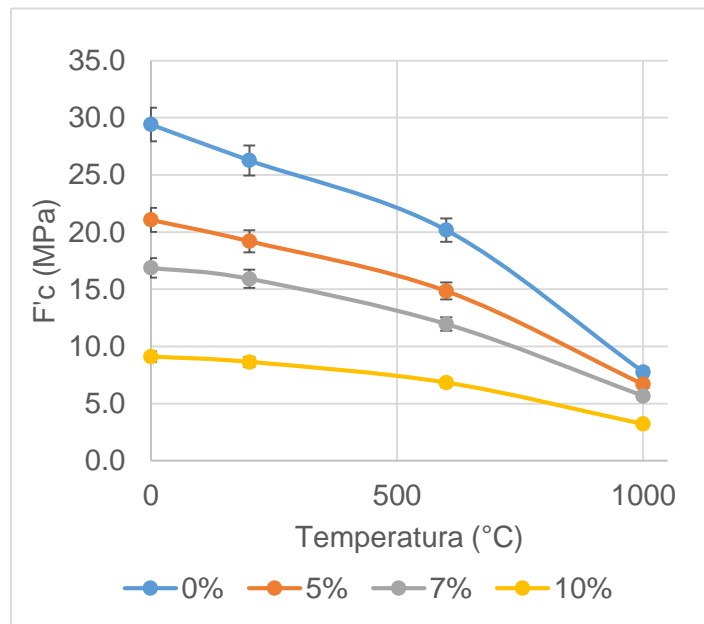


Los especímenes también fueron expuestos a condición de incendio a 200° C, 600° C y 1000° C, y posteriormente se sometieron a la prueba a compresión para conocer la pérdida de resistencia que le generaba e igualmente conocer el efecto que tiene el aditivo bajo esta exposición a fuego, el resultado de la media aritmética obtenida y las desviaciones estándar de cada conjunto de especímenes se puede observar en la Tabla 8 y gráficamente en la Figura 15.

**Tabla 8.** Resistencia a la compresión con sometimiento a condición de incendio

Aditivo (%)	0%	5%	7%	10%
F'c ambiente (MPa)	29.4	21.1	16.9	9.1
Desviación F'c ambiente (MPa)	1.66	1.84	0.80	0.50
F'c a 200 (MPa)	26.3	19.2	15.9	8.6
Desviación F'c a 200 °C (MPa)	0.61	0.42	0.55	0.48
F'c a 600 (MPa)	20.2	14.8	12.0	6.8
Desviación F'c a 600 °C (MPa)	0.68	0.46	0.59	0.45
F'c a 1000 (MPa)	7.8	6.7	5.7	3.2
Desviación F'c a 1000 °C (MPa)	0.36	0.37	0.73	0.26

**Figura 15.** Efecto de la condición de incendio en la resistencia a la compresión con diferentes porcentajes de aditivo.



Se evidencia una pérdida de resistencia en los especímenes cuando se someten a la condición de incendio, sin embargo, la pérdida de resistencia es menor a media que el porcentaje de jugo de fique en las probetas aumenta, esto se observa en la Tabla 9. Tomando como ejemplo las probetas que se sometieron a 200° C que sin contar con la presencia de aditivo perdieron un 11% de su resistencia y con un 10% de aditivo esa pérdida de resistencia bajó al 5%.

**Tabla 9.** Pérdida de resistencia causada por el sometimiento a condición de incendio.

<b>Aditivo (%)</b>	<b>0%</b>	<b>5%</b>	<b>7%</b>	<b>10%</b>
Pérdida de F'c a 200° C	11%	9%	6%	5%
Pérdida de F'c a 600° C	31%	30%	29%	25%
Pérdida de F'c a 1000° C	74%	68%	66%	65%

#### **4. CONCLUSIONES**

La caracterización del jugo de fique indica que está compuesto en un 90.24% de agua y un 9.66% de extracto seco, también se observó que cuenta con una buena capacidad espumante y tiene un pH ácido de 4.33 lo cual no es bueno pues el pH del concreto debe ser básico entre 11 y 12.

El jugo de fique como aditivo se comporta a modo de un acelerador de fraguado, disminuyendo considerablemente tanto el tiempo de fraguado inicial como el tiempo de fraguado final, esta propiedad aumenta a medida que el porcentaje adicionado se incrementa.

El jugo de fique en la mezcla de concreto en estado fresco, aumenta la fluidez de forma directa dando mayor manejabilidad y colocación, en estado endurecido disminuye la densidad en el concreto comportándose como un aditivo ocluidor de aire.

La resistencia a la compresión en los especímenes con jugo de fique se reduce respecto a la del diseño de referencia, esta pérdida incrementa a medida que el porcentaje de aditivo aumenta, pues depende de la porosidad del material y esta aumenta a mayor cantidad de aditivo

La mezcla en estado endurecido con jugo de fique aumenta su porcentaje de poros permeables lo cual le brinda un comportamiento aislante, por tanto, las temperaturas internas máximas alcanzadas disminuyen si aumenta el porcentaje de aditivo, y de igual forma, se puede observar que en el tiempo de enfriamiento se conserva mejor la temperatura interna alcanzada durante la prueba para las probetas con mayor porcentaje de aditivo.

## 5. REFERENCIAS

- [1] El País. Cali 17, septiembre, 2014. Sector de la construcción, gran protagonista del aumento de PIB en Colombia. [Web en línea]. <<http://www.elpais.com.co/elpais/economia/noticias/economia-colombiana-crecio-43-segundo-trimestre>> [Consulta: 13-01-2016]
- [2] Ministerio de Vivienda. Bogotá D.C. 25, marzo, 2015. [Web en línea]. <<http://www.minvivienda.gov.co/sala-de-prensa/noticias/2015/marzo/la-viviendade-Interes-social-va-ha-macar-el-pasó-para-el-crecimiento-de-la-construccionminvivienda>> [Consulta: 13-01-2016]
- [3] JARAMILLO, Leyla; OCHOA, Juan Carlos. “Uso del jugo de fique como aditivo orgánico en el hormigón”. En: Revista Scientia et Technica Año XIII, No 36, (septiembre 2007); Universidad Tecnológica de Pereira; ISSN 0122-1701.
- [4] OCHOA, Juan Carlos. “Uso del licor de plantas agaváceas como aditivo en morteros y hormigones de cemento Portland”. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, 2005.
- [5] CATALÁN, L. V; MAESTRO, M. B. (2007). Seguridad frente al fuego de las estructuras de hormigón. Cemento Hormigón, (899), 44-51.
- [6] Hamex S.A. Cuautitlán Izcalli, México. Tabla de concretos aislantes. [Web en línea] <<http://www.hamex.com.mx/refra1.htm>> [Consulta: 20-01-2016]
- [7] Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural MADR y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial MAVDT. Guía Ambiental del Subsector Fiquero. Panamericana Formas e Impresos, Bogotá. Ed. 2, pp. 6-13 (2006)
- [8] MARTÍNEZ, A; CAICEDO, T. Bioensayos de toxicidad de jugo de fique en peces en el municipio de El Tambo (Nariño), Tesis de titulación, Dpto. Biología, Universidad El Bosque, Bogotá (2002).

[9] NTC 1377-Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos de laboratorio.

[10] GABALEC, M.A. “Tiempo de fraguado del hormigón”. Tesis de becarios de investigación. Universidad tecnológica nacional, 2008.

[11] NTC 110-Método para determinar la consistencia normal de un cemento hidráulico.

[12] NTC 118-Método para determinar el tiempo de fraguado del cemento hidráulico mediante el aparato de Vicat.

[13] NTC 396- Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto.

[14] ARQUYS. Architects site. [En línea] Página Web. República Dominicana. <Disponible en: [www.arqhys.com](http://www.arqhys.com)>. Visitado en septiembre de 2016.

[15] LÓPEZ, J.O. “Porosidad del concreto”. Trabajo de graduación. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2004.

[16] NTC 674 – método de ensayo para determinar porosidad aparente, absorción de agua, gravedad específica aparente y densidad aparente por agua en ebullición de ladrillos refractarios y piezas refractarias quemadas

[17] Du, Lianxiang; Folliard, Kevin J. “Mechanisms of air entrainment in concrete”. Cement and Concrete Research. Vol 35, pp 1463– 1471, 2005.

## BIBLIOGRAFÍA

ACI 211.1 (1985). Práctica Recomendada para Seleccionar el Proporcionamiento de Concreto Normal, Pesado y Masivo. Reporte del Comité ACI 211 del Instituto Americano del Concreto.

ARQUYS. Architecs site. [En línea] Página Web. República Dominicana. <Disponible en: [www.arqhys.com](http://www.arqhys.com)>. Visitado en septiembre de 2016.

ASTM C 114- Standard Test Methods for Chemical Analysis of Hydraulic Cement.

ASTM D1173-Standard Test Method for Foaming Properties of Surface-Active Agents

“Determinación de la consistencia normal del cemento portland”. Universidad centro americana José Simeón Cañas.

El País. Cali 17, septiembre, 2014. Sector de la construcción, gran protagonista del aumento de PIB en Colombia. [Web en línea]. <<http://www.elpais.com.co/elpais/economia/noticias/economia-colombiana-crecio-43-segundo-trimestre>> [Consulta: 13-01-2016]

ISO 696 (1975). Surface active agents. Measurement of foaming power.

ISO 834-11 (2014). Fire resistance tests. Elements of building construction. Part 11: Specific requirements for the assessment of fire protection to structural steel elements.

J.C. Ochoa “Uso del licor de plantas agaváceas como aditivo en morteros y hormigones de cemento Portland”. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, 2005.

J.O. López “Porosidad del concreto”. Trabajo de graduación. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2004.

Jaramillo, Leyla; Ochoa, Juan Carlos. “Uso del jugo de fique como aditivo orgánico en el hormigón”. En: Revista Scientia et Technica Año XIII, No 36, (septiembre 2007); Universidad Tecnológica de Pereira; ISSN 0122-1701.

Du, Lianxiang; Folliard, Kevin J. "Mechanisms of air entrainment in concrete". Cement and Concrete Research. Vol 35, pp 1463– 1471, 2005.

M.A. Gabalec "Tiempo de fraguado del hormigón". Tesis de becarios de investigación. Universidad tecnológica nacional, 2008.

Martínez, A., y Caicedo, T., Bioensayos de toxicidad de jugo de fique en peces en el municipio de El Tambo (Nariño), Tesis de titulación, Dpto. Biología, Universidad El Bosque, Bogotá (2002).

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural MADR y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial MAVDT. Guía Ambiental del Subsector Fiquero. Panamericana Formas e Impresos, Bogotá. Ed. 2, pp. 6-13 (2006).

Ministerio de Vivienda. Bogotá D.C. 25, marzo, 2015. [Web en línea]. <[http://www.minvivienda.gov.co/sala-de prensa/noticias/2015/marzo/la-viviendade-Interes-social-va-ha-marcar-el-pasó-para-el-crecimiento-de-la-construccionminvivienda](http://www.minvivienda.gov.co/sala-de-prensa/noticias/2015/marzo/la-viviendade-Interes-social-va-ha-marcar-el-pasó-para-el-crecimiento-de-la-construccionminvivienda)> [Consulta: 13-01-2016]

NTC – Norma Técnica Colombia.

NTC 110-Método para determinar la consistencia normal de un cemento hidráulico.

NTC 118-Método para determinar el tiempo de fraguado del cemento hidráulico mediante el aparato de Vicat.

NTC 121 (1995). Cemento Portland. Especificaciones físicas y mecánicas. NTC – Norma Técnica Colombiana.

NTC 1377-Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos de laboratorio.

NTC 174 (2000). Concretos. Especificaciones de los agregados para el concreto. NTC – Norma Técnica Colombiana.

NTC 176 (1995). Método de ensayo para determinar la densidad y la absorción del agregado grueso. NTC – Norma Técnica Colombiana.

NTC 237 (1995). Método para determinar la densidad y la absorción del agregado fino. NTC – Norma Técnica Colombiana.

NTC 321 (1995). Cemento Portland. Especificaciones químicas. NTC – Norma Técnica Colombiana.

NTC 3459 (2001). Concretos. Agua para la elaboración de Concreto. NTC – Norma Técnica Colombiana.

NTC 396- Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto.

NTC 4601-Te. Determinación del extracto seco.

NTC 5114-Método para determinar la acidez y el pH.

NTC 673 (2010). Concretos. Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.

NTC 674 – método de ensayo para determinar porosidad aparente, absorción de agua, gravedad específica aparente y densidad aparente por agua en ebullición de ladrillos refractarios y piezas refractarias quemadas

NTG 4101-Metodo de ensayo, determinación de la densidad, la absorción de agua y los vacíos en el concreto endurecido.

UNE 83-207-85 Determinación de la pérdida por calcinación.

UNE 83-227-86. Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Determinación de pH.

UNE-EN 480-8 (1997). Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Métodos de ensayo.  
Parte 8: Determinación del extracto seco convencional.

## ANEXOS

### Anexo A.

Resultado de la caracterización de los agregados pétreos, agregado fino y agregado grueso.

Agregados Pétreos	Agregado Fino	Agregado Grueso
Gravedad específica Real	2662,49	2671,18
Gravedad específica Aparente	2513,36	2574,94
Gravedad específica Aparente SSS	2569,37	2610,97
Pero unitario suelto	1375,12	1426,7
Peso unitario compactado	1546,86	1580,03
Absorción (%)	2,23	1,40
Vacíos (%)	39,80	39,49
Materia orgánica	-	-

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO FINO - NTC 174

Procedencia:		Bocas-Santander	
Pero retenido	% Retenido	% retenido Acumulado	% Pasa
44,990	4,499	4,499	95,501
52,300	5,230	9,729	90,271
127,500	12,750	22,479	77,521
514,000	51,400	73,879	26,121
174,000	17,400	91,279	8,721
70,700	7,070	98,349	1,651
15,500	1,550	99,899	0,101
998,99	99,899		
Peso muestra (gr)		1000	
Coeficiente de uniformidad		3,003	
Tamaño Efectivo		0,313	

## ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO GRUESO - NTC 174

Tamiz (mm)	Pero retenido	% Retenido	% retenido Acumulado	% Pasa
1 (25,4)				
3/4 (19,05)	0,000	0,000	0,000	100,000
1/2 (12,7)	2455	35,971	35,071	64,929
3/8 (9,525)	2438	34,829	34,829	30,100
4 (4,75)	2107	30,100	30,100	0,000
Total (gr)	7000,000			
Peso muestra (gr)			7000	
Coeficiente de uniformidad			2,038	
Tamaño Efectivo			5,986	
Tamaño Máximo			3/4	

### Anexo B.

Tabulación de las pruebas a compresión a los 7 y 28 días de curado e igualmente con exposición a la condición de incendio a 200. 600 y 1000 °C.

		<i>Aditivo 0%</i>			<i>Aditivo 5%</i>			<i>Aditivo 7%</i>			<i>Aditivo 10%</i>		
<b>Compresión 7 días</b>	Mpa	20.32	24.48	21.6	15.04	16.16	15.52	8.755	7.661	10.12	3.36	3.84	3.36
<b>Compresión 28 días</b>	Mpa	29.76	30.88	27.6	21.12	22.88	19.2	16.55	17.78	16.28	8.6	9.12	9.6
<b>Compresión 28 días 200 °C</b>	Mpa	26.4	25.6	26.8	19.68	19.04	18.88	16.01	15.32	16.42	9.12	8.64	8.16
<b>Compresión 28 días 600 °C</b>	Mpa	19.38	20.62	20.52	15.35	14.44	14.74	12.48	11.31	12.09	6.384	7.296	6.84
<b>Compresión 28 días 1000 °C</b>	Mpa	7.504	8.176	7.616	6.989	6.272	6.81	5.746	4.903	6.358	2.957	3.494	3.226

### Anexo C.

Pruebas de tiempo de fraguado para los porcentajes de aditivo 0%,1%,2%,3%,4%,5%,7%,9% y 10%, por medio del aparato Vicat y Gilmore.

TIEMPO DE FRAGUADO- ICONTEC 109-118 (0%)

Hora inicio	9:05	Penetración (mm)	Hora inicio	9:05	Penetración (mm)
30´	9:35	39	30´	9:35	SI
15"	9:50	39	15"	9:50	SI
15"	10:05	39	15"	10:05	SI
15"	10:20	38	15"	10:20	SI
15"	10:35	37	15"	10:35	SI
15"	10:50	22	15"	10:50	NO
15"	11:05	16	15"	11:05	SI
15"	11:20	7	15"	11:20	SI
15"	11:35	1	15"	11:35	SI
15"	11:50	0	15"	11:50	SI
15"			15"		NO

TIEMPO DE FRAGUADO- ICONTEC 109-118 (1%)

Hora inicio	14:15	Penetración (mm)	Hora inicio	14:15	Penetración (mm)
30´	14:45	39	30´	14:45	SI
15"	15:00	39	15"	15:00	SI
15"	15:15	33	15"	15:15	SI
15"	15:30	26	15"	15:30	SI
15"	15:45	14	15"	15:45	NO
15"	16:00	6	15"	16:00	SI
15"	16:15	2	15"	16:15	SI
15"	16:30	0	15"	16:30	SI
15"					NO

TIEMPO DE FRAGUADO- ICONTEC 109-118 (2%)

Hora inicio	14:30	Penetración (mm)	Hora inicio	14:30	Penetración (mm)
30´	15:00	31	30´	15:00	SI
15"	15:15	26	15"	15:15	SI
15"	15:30	15	15"	15:30	SI
15"	15:45	7	15"	15:45	NO
15"	16:00	2	15"	16:00	SI
15"	16:15	0	15"	16:15	SI
15"	16:30			16:30	SI
15"	16:45			16:45	NO

TIEMPO DE FRAGUADO- ICONTEC 109-118 (3%)

Hora inicio	9:25	Penetración (mm)	Hora inicio	9:25	Penetración (mm)
30´	9:55	24	30´	9:55	SI
15"	10:10	16	15"	10:10	SI
15"	10:25	9	15"	10:25	NO
15"	10:40	3	15"	10:40	SI
15"	10:55	0	15"	10:55	SI
15"	11:10		15"	11:10	SI
15"	11:25		15"	11:25	SI
15"	11:40		15"	11:40	SI
15"	11:55		15"	11:55	SI
15"			15"		SI
15"			15"		SI
15"			15"		NO

TIEMPO DE FRAGUADO- ICONTEC 109-118 (4%)

Hora inicio	9:15	Penetración (mm)	Hora inicio	9:15	Penetración (mm)
30´	9:45	10	30´	9:45	SI
15"	10:00	4	15"	10:00	NO
15"	10:15	0	15"	10:15	SI
15"	10:30		15"	10:30	SI
15"			15"		NO

TIEMPO DE FRAGUADO- ICONTEC 109-118 (5%)

Hora inicio	15:15	Penetración (mm)	Hora inicio	15:15	Penetración (mm)
30´	15:45	6	30´	15:45	NO
15"	16:00	0	15"	16:00	SI
15"	16:15		15"	16:15	SI
15"			15"	16:30	NO

TIEMPO DE FRAGUADO- ICONTEC 109-118 (7%)

Hora inicio	10:15	Penetración (mm)	Hora inicio	10:15	Penetración (mm)
30´	10:45	0	30´	10:45	NO
15"	11:00		15"	11:00	SI
15"	11:15		15"	11:15	NO

TIEMPO DE FRAGUADO- ICONTEC 109-118 (9%)

Hora inicio	11:00	Penetración (mm)	Hora inicio	11:00	Penetración (mm)
30´	11:30	0	30´	11:30	NO
15"	11:45		15"	11:45	SI
15"	12:00		15"	12:00	NO

TIEMPO DE FRAGUADO- ICONTEC 109-118 (10%)

Hora inicio	9:55	Penetración (mm)	Hora inicio	9:55	Penetración (mm)
30´	10:25	0	30´	10:25	NO
15"	10:40		15"	10:40	NO

**Anexo D**

Tabulación de la temperatura interna de los especímenes, registrada en el instrumento en los tiempos de chequeo asignados para los casos con temperatura externa máxima de 200 °C, 600°C y 1000°C.

PROBETAS CON 0% DE ADITIVO

Prueba 200 °C (Interna)	
Tiempo (Min)	Temp. (°C)
0	27
0,25	27
0,5	27
0,75	27
1	27
2	29
3	32

4	34
5	36
6	38
7	39
8	41
9	42
10	43
11	44
12	45
13	46
14	48
15	49

16	50
17	50
18	50
19	50
20	50
21	49
22	49
23	49
24	48
25	47
26	46
27	45

28	43
29	42
30	41
31	40
32	38
33	37
34	36
35	35
36	35
37	34
38	34

Prueba a 600 °C (Interna)	
Tiempo (min)	Temp. (°C)
0	25
1	25
2	26
3	27
4	30
5	33
6	36
7	39

8	41
9	46
10	50
11	56
12	62
13	66
14	71
15	76
16	81
17	85
18	88
19	92

20	94
21	95
22	96
23	97
24	97
25	96
26	96
27	95
28	94
29	93
30	91
31	90

32	89
33	87
34	86
35	84
40	75
45	68
50	61
55	55
60	49
65	44

Prueba a 1000 °C (Interna)	
Tiempo (min)	Temp. (°C)
0	26
1	27
2	29
3	32
4	38
5	48
6	58
7	66
8	78
9	86
10	99

11	110
12	119
13	124
14	132
15	140
16	147
17	155
18	162
19	166
20	173
21	177
22	183
23	188
24	192
25	196

26	200
27	204
28	207
29	212
30	215
31	218
32	220
33	223
34	225
35	227
40	236
45	243
50	249
55	254
60	260

65	266
70	270
75	272
80	274
90	276
100	280
110	280
120	275
130	260
140	244
150	222
160	198
180	166
200	137

### PROBETAS CON 5% DE ADITIVO

Prueba 200 °C (Interna)	
Tiempo (Min)	Temp. (°C)
0	25
0,25	25
0,5	25
0,75	25
1	25
2	26
3	29
4	31

5	32
6	33
7	34
8	36
9	37
10	38
11	40
12	41
13	43
14	44
15	46
16	48

17	48
18	48
19	48
20	48
21	47
22	47
23	46
24	45
25	44
26	43
27	42
28	42

29	41
30	41
31	40
32	40
33	38
34	37
35	36
36	34
37	32
38	31

Prueba a 600 °C (Interna)	
Tiempo (min)	Temp. (°C)
0	26
1	27
2	29
3	30
4	33
5	36
6	39
7	42

8	45
9	50
10	54
11	59
12	63
13	67
14	71
15	75
16	80
17	82
18	84
19	87

20	88
21	90
22	91
23	92
24	92
25	91
26	91
27	90
28	89
29	88
30	87
31	86

32	84
33	83
34	82
35	81
40	73
45	67
50	62
55	56
60	52
65	47

Prueba a 1000 °C (Interna)	
Tiempo (min)	Temp. (°C)
0	27
1	27
2	28
3	32
4	35
5	46
6	55
7	64
8	74
9	81
10	90

11	98
12	108
13	113
14	122
15	126
16	132
17	137
18	145
19	149
20	156
21	158
22	162
23	165
24	168
25	172

26	176
27	179
28	182
29	186
30	191
31	194
32	197
33	201
34	203
35	206
40	215
45	224
50	229
55	234
60	237

65	241
70	245
75	248
80	253
90	256
100	258
110	262
120	260
130	257
140	250
150	235
160	220
180	187
200	164

PROBETAS CON 7% DE ADITIVO

Prueba 200 °C (Interna)	
Tiempo (Min)	Temp. (°C)
0	25
0,25	25
0,5	25
0,75	25
1	25
2	26
3	29
4	31

5	32
6	33
7	34
8	36
9	38
10	39
11	41
12	41
13	42
14	44
15	44
16	45

17	45
18	45
19	45
20	45
21	44
22	44
23	43
24	43
25	42
26	41
27	40
28	38

29	37
30	35
31	34
32	33
33	32
34	32
35	31
36	30
37	29
38	29

Prueba a 600 °C (interna)	
Tiempo (min)	Temp. (°C)
0	25
1	25
2	26
3	27
4	29
5	31
6	33
7	35

8	38
9	42
10	47
11	51
12	55
13	60
14	65
15	70
16	74
17	77
18	81
19	83

20	85
21	86
22	87
23	88
24	88
25	88
26	88
27	87
28	86
29	86
30	85
31	83

32	82
33	80
34	79
35	78
40	73
45	70
50	63
55	58
60	54
65	50

Prueba a 1000 °C (Interna)	
Tiempo (min)	Temp. (°C)
0	28
1	28
2	29
3	31
4	33
5	42
6	50
7	59
8	66
9	76
10	88

11	96
12	104
13	112
14	118
15	125
16	133
17	136
18	143
19	147
20	152
21	155
22	158
23	161
24	164
25	166

26	170
27	174
28	178
29	181
30	185
31	189
32	192
33	195
34	197
35	199
40	208
45	215
50	224
55	230
60	234

65	238
70	240
75	243
80	246
90	249
100	251
110	254
120	253
130	250
140	244
150	237
160	225
180	196
200	174

PROBETAS CON 10% DE ADITIVO

Prueba 200 °C (Interna)	
Tiempo (Min)	Temp. (°C)
0	25
0,25	25
0,5	25
0,75	25
1	25
2	26
3	26
4	27

5	28
6	30
7	31
8	32
9	33
10	35
11	37
12	38
13	40
14	41
15	41
16	42

17	42
18	42
19	42
20	42
21	42
22	42
23	41
24	41
25	41
26	41
27	40
28	39

29	38
30	36
31	35
32	35
33	34
34	33
35	32
36	31
37	31
38	31

Prueba a 600 °C (interna)	
Tiempo (min)	Temp. (°C)
0	25
1	25
2	26
3	26
4	28
5	30
6	32
7	34

8	37
9	40
10	43
11	46
12	51
13	55
14	59
15	63
16	66
17	69
18	73
19	76

20	80
21	81
22	82
23	83
24	83
25	84
26	83
27	83
28	83
29	82
30	81
31	81

32	81
33	80
34	78
35	77
40	72
45	68
50	65
55	62
60	59

Prueba a 1000 °C (interna)	
Tiempo (min)	Temp. (°C)
0	27
1	27
2	28
3	30
4	31
5	35
6	43
7	49
8	56
9	65
10	72

11	82
12	93
13	104
14	111
15	118
16	125
17	130
18	137
19	143
20	148
21	152
22	155
23	158
24	161
25	164

26	167
27	169
28	172
29	175
30	178
31	182
32	186
33	189
34	191
35	194
40	201
45	207
50	212
55	219
60	223

65	225
70	228
75	231
80	234
90	236
100	237
110	238
120	241
130	240
140	237
150	233
160	224
180	201
200	179

