

**UTILIZACIÓN DE LA SEMILLA DE PALMA AFRICANA COMO UN  
AGREGADO AL CONCRETO**



**NELLY JOHANNA RÍOS CAMARGO**

**VLADIMIR SUAREZ PALENCIA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMENCÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2013**

**UTILIZACIÓN DE LA SEMILLA DE PALMA AFRICANA COMO UN  
AGREGADO AL CONCRETO**

**NELLY JOHANNA RÍOS CAMARGO**

**VLADIMIR SUAREZ PALENCIA**

*Trabajo De Grado En La Modalidad Investigación Para Optar Por El Título De  
Ingeniero(A) Civil*

*Director*

**Ing. OSCAR JAVIER BEGAMBRE CARRILLO**

*Codirector*

**Ing. RICARDO ALFREDO CRUZ HERNÁNDEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMENCÁNICAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**BUCARAMANGA**

**2013**

*A Dios, el dueño de mis metas y fracasos, quien me sostiene en los momentos buenos y en los momentos malos, el que eligió con quien compartir mi camino y la velocidad de mis pasos, espero nunca me aparte de usted mi señor, y la gloria sea para usted señor Jehová.*

*Amen*

*A mi madre, quien desea lo mejor para mí y siempre está presente en mis pensamientos ya que ella me enseñó a soñar y despertar para hacer realidad. Ella que puede ser mamá, papá, amiga, psicóloga, economista y todo lo que quiera ya que su amor por mí le permite hacer cualquier oficio que me hace sentir orgulloso de ella.*

*A mi Papá, quien la palabra científico solo tiene significado si se asocia contigo ya que nada es imposible cuando estás a mi lado, los miedos son cosas del pasado porque con tu experiencia demuestras que nada es imposible de alcanzar.*

*A mi abuela Geltrudis quien con su mano suave y su voz fuerte forjó mi carácter y me enseñó el respeto y el amor por la familia que son todos los que te aman sin importar el tipo de sangre o el apellido y que hoy día no está para compartir este triunfo.*

*A mi hermana Eliamilt y su esposo Reinaldo, Lucelis; Ninfa, liceht y Nahúm los cuales asumieron el papel de mamá y papá cuando ellos no estaban quienes me alimentaron, me cuidaron y pagaron estos últimos años de mi vida a quienes amo y admiro por su alegría, y a quienes dedico este trabajo como una motivación para mi realización personal.*

*A mi familia ideal Marlon, Walter, Harold, Rolando, Zaid, Ever, William, Samuel, Luis, Garrís, Wilson y mis 40 Sobrinos quienes me hacen feliz y motivan a salir adelante, gracias por estar conmigo.*

**VLADIMIR SUAREZ PALENCIA**

*Gracias a Dios por ser mi guía espiritual y la sabiduría de mi vida  
diaria y profesional.*

*A mi Nonita Matilde mi angelito que desde el cielo me acompaño a  
culminar mis estudios, por ser esa fuerza para seguir adelante cada  
día, mi segunda madre y una de mis razones para vivir, Te Amo y  
Extraño mi nonis querida.*

*A mi mamá por ser la mejor mamá del mundo, porque sin la ayuda  
de ella, el apoyo y su educación no hubiese podido salir adelante, por  
ser mi motor, mi presente, mi futuro y mi vida entera, este triunfo es  
gracias a ella y para ella.*

*A mi papí, que siempre estuvo de corazón en mí día a día,  
apoyándome en mis decisiones y mi carrera.*

*A Harold la persona que llegó a terminar de alegrarme la vida, por  
apoyarme durante este proceso, sus palabras de ánimo, su compañía,  
a tu familia por quererme y apoyar este amor.*

*A mis otros angelitos, mis tíos y nonita, por cuidar todos mis pasos.*

*A mi Familia que de una u otra manera estuvieron ahí apoyándome  
y compartiendo mis alegrías académicas.*

*Mis amigas y primas del alma que siempre creyeron en mí y me  
apoyaron, dándome fuerza y sacándome sonrisas en momentos  
duros.*

*A la familia Parra Hernández, que me han colaborado y apoyado  
para poder terminar esta etapa tan importante en mi vida, gracias  
y mil gracias.*

*A mis amigos de la U que vivieron y sufrieron conmigo este largo  
camino, fueron momentos inolvidables con ustedes.*

***Nelly Johanna Ríos Camargo.***

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Industrial de Santander, por darnos las bases para ser profesionales íntegros, contando con el apoyo constante en la realización de nuestro sueño.

A la Escuela de Ingeniería Civil, por brindarnos una educación de calidad con su talento humano e infraestructura física.

Al profesor Oscar Begambre director de la investigación, por su valiosa colaboración y confianza a lo largo de todo el proyecto, atendiéndonos siempre con buena disposición.

Al profesor Ricardo Cruz, codirector de la investigación, por su ayuda, guía y colaboración con nosotros, de manera atenta y profesional

Al ingeniero Ludwing Pérez, por ser nuestra ayuda incondicional en cada una de las fases que se desarrolladas, de una manera invaluable.

A los tecnólogos del Laboratorio de Caracterización de Materiales de la Escuela de Ingeniería Civil, en especial, a Jairo Hernández por su guía y cooperación en el desarrollo de los ensayos físico-mecánicos y de durabilidad.

## Tabla De Contenido

INTRODUCCIÓN .....	18
1. PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	20
1.1 OBJETIVOS.....	21
1.1.1 OBJETIVO GENERAL.....	21
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	21
1.2 ALCANCE .....	22
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	22
2.1. GENERALIDADES DEL CONCRETO .....	22
2.2. CONCEPTO DE DURABILIDAD.....	25
2.3 EL CUESCO DE PALMA AFRICANA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN .....	26
2.3.1 CLASIFICACIÓN DE LAS CUESCO DE PALMA AFRICANA .....	26
2.4 ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN .....	29
2.5 ENSAYOS DE DURABILIDAD .....	30
2.5.1 COMPORTAMIENTO ANTE PRESENCIA DE FUEGO .....	30
2.6 ENSAYOS COMPLEMENTARIOS.....	31
2.7 AISLAMIENTO ACÚSTICO DEL CONCRETO.....	32
2.7.1 COEFICIENTE DE ABSORCIÓN DEL SONIDO E ÍNDICE DE REDUCCIÓN DE RUIDO      34	
2.7.2. FUNDAMENTO FÍSICO DEL TUBO DE IMPEDANCIA .....	35
3. DISEÑO METODOLÓGICO .....	38
3.1. FASE 1: PRELIMINARES .....	39
3.1.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	39
3.1.2. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA .....	39
3.2. FASE 2: FABRICACIÓN DE LAS MUESTRAS .....	40
3.2.1. DISEÑO DE MEZCLA .....	40
3.2.2. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS PARA LA PRUEBA DE RESISTENCIA .....	41
3.3. FASE 3. SELECCIÓN DE LA DOSIFICACIÓN .....	43
3.4. FASE 4: ENSAYO DE RESISTENCIA PARA LA DOSIFICACIÓN SELECCIONADA	45
3.5. FASE 5: ELABORACIÓN DE PROBETAS PARA ENSAYOS A PROPUESTOS.....	46

3.5.1. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS PARA EL ENSAYO DEL TUBO DE IMPEDANCIA.....	46
3.5.2. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS PARA EL ENSAYO DE COMPORTAMIENTO ANTE FUEGO.....	47
3.5.3. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS PARA EL ENSAYO DE FLEXIÓN.....	48
3.6. FASE 6: DESARROLLO DE ENSAYOS PROPUESTOS.....	49
3.6.1. DESARROLLO DE ENSAYO ACÚSTICO.....	49
3.6.2. ENSAYO DE COMPORTAMIENTO ANTE EL FUEGO.....	53
3.6.3. ENSAYO DE FLEXIÓN.....	56
4. ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	58
4.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICA.....	58
4.2. DISEÑO DE MEZCLA.....	61
4.3. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	62
4.4. ENSAYO DE RESISTENCIA A TRACCIÓN INDIRECTA.....	65
4.5. ENSAYO DE FLEXIÓN.....	65
4.6. ENSAYO ACÚSTICO POR EL MÉTODO DEL TUBO DE IMPEDANCIA.....	66
4.7. ENSAYO DE COMPORTAMIENTO ANTE EL FUEGO.....	69
5. CONCLUSIONES.....	71
RECOMENDACIONES.....	73
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74
ANEXOS.....	78

## ÍNDICE DE TABLAS

1. Principales tipos de cemento portland.....	23
2. Resultados de Gravedad específica y peso unitario.....	57
3. Modulo de Finura.....	59
4. Granulometría del agregado Grueso.....	59
5. Granulometría de la Semilla.....	60

## ÍNDICE DE FIGURAS

1. Descripción del cuesco de palma.....	25
2. Diagrama de flujo modelo de extracción.....	27
3. Porción equivalente en porcentajes.....	28
4. Tubo de impedancia.....	32
5. Representación de amplitud en e tubo de impedancia.....	35
6. Metodología de la investigación.....	37
7. Preparación de mezclas.....	42
8. Registro de resistencia a la compresión.....	43
9. Registro de resistencia a la tracción indirecta.....	44
10.Registro de ensayo de Acústica.....	45
11.Registro de ensayo de Fuego.....	46
12.Registro de ensayo de Flexión .....	47
13.Esquema de tubo de Kundt.....	49
14.Osciloscopio y generador de señales.....	50
15.Osciloscopio .....	51
16.Horno utilizado para el ensayo de fuego.....	52
17.Labvieww 8.5.....	53
18.Horno refractario.....	54
19.Equipo marca AMSLER.....	55
20.Elementos arquitectónicos.....	67
21.Probetas Después de ser Expuestas al Fuego.....	69

## ÍNDICE DE GRAFICAS

1. Curva granulométrica de la Arena.....	58
2. Resultados ensayo de resistencia a compresión.....	61
3. Resultados calculo de densidad.....	62
4. Tendencia ensayo resistencia compresión.....	63
5. Resultado ensayo tracción.....	64
6. Modulo de rotura.....	65
7. Comportamiento en el tubo de impedancia.....	66
8. Índice de reducción del ruido.....	66
9. Pérdida de Masa, Después de ser Sometidas a Fuego.....	68
10. Resistencia, después de ser Sometidas a Fuego .....	69

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A Caracterización de la materia prima .....	78
Anexo B Diseño de mezcla .....	88
Anexo C Memorias de ensayo a Compresión.....	91
Anexo D Memorias de ensayo a Traccion Indirecta .....	96
Anexo E Memorias de ensayo a Flexión .....	97
Anexo F Memorias de ensayo de Acústica .....	99
Anexo G Memorias de ensayo de Fuego .....	104

## RESUMEN

**TÍTULO:** UTILIZACIÓN DE LA SEMILLA DE PALMA AFRICANA COMO UN AGREGADO AL CONCRETO \*

**AUTORES:** VLADIMIR SUAREZ PALENCIA, NELLY JOHANNA RIOS CAMARGO \*\*

**PALABRAS CLAVES:** Concreto, durabilidad, sonido, semilla de palma africana, fuego, absorción acústica, tubo de impedancia.

Se presenta el comportamiento del concreto modificado con semilla de palma en sustituciones del 0%, 15%, 30%, 50% y 100%, la dosificación se hace por volumen, pues la semilla presenta menor densidad que el agregado grueso, estas muestras serán sometidas a ataques resistencia y durabilidad, analizando dichos ensayos se ha seleccionado la dosificación del 30%. Se hace el ajuste necesario al diseño de mezcla y los resultados indican que la dosificación seleccionada cumple con las condiciones de resistencia y densidad, alcanzando los 21 MPa. Se determinan las características de absorción del sonido del material por medio de coeficientes de absorción acústica ( $\alpha$ ), e índices de reducción de ruido (NRC). El comportamiento ante el ataque de fuego, permite calcular su durabilidad. La medición del coeficiente de absorción acústica se realiza con el método de tubo de impedancia, relacionando valores máximos y mínimos de amplitud de onda estacionaria. Los resultados muestran que el concreto modificado es favorable para la absorción de ruidos en las edificaciones. Ante el fuego, no se presenta favorable la utilización de la semilla en ninguna proporción, para ello deberá ser aplicado un aislante térmico. En los demás ensayos de resistencia, como lo son Tracción Indirecta y Flexión, se harán mediante las normas establecidas.

---

\*trabajo de grado

\*\*Facultad de Fisicomecánicas      Escuela de Ingeniería Civil

Director: Ing. Oscar Begambre      Codirector: Ing. Ricardo Cruz

### ABSTRACT

**TITLE:** USE OF AFRICAN PALM SEED AS AN ADDED TO CONCRETE.\*

**AUTHORS:** VLADIMIR SUAREZ PALENCIA, NELLY JOHANNA RIOS CAMARGO.\*\*

**KEYWORDS:** concrete, durability, sound, palm seed, fire, acoustic absorption, impedance tube.

Shows the behavior of the modified concrete substitutions palm seed 0%, 15%, 30%, 50% and 100%, the dosing is done by volume, because the seed has a lower density than the coarse aggregate, these samples will under attack resistance and durability, such assays analyzing the dosage is selected by 30%. It becomes necessary to adjust the mix design and the results indicate that the selected dosage satisfies the conditions of density and strength, reaching 21 MPa. Determining the sound absorption characteristics of the material by means of sound absorption coefficients ( $\alpha$ ), and noise reduction rates (NRC). The behavior before the fire attack, to calculate its durability. Measuring the absorption coefficient is performed with the impedance tube method, relating minimum and maximum values of amplitude wave. The results show that the modified concrete is favorable for sound absorption in buildings. To the fire, it isn't favorable to the use of seed in any proportion, for it must be applied a thermal insulator. In other strength tests, such as indirect tensile and bending, shall be by the rules.

---

\*Degree project

\*\*School of Civil Engineering      School physicommechanical

Directed by: Ing. Oscar Begambre      Co: Ing. Ricardo Cruz

## INTRODUCCIÓN

En el siglo XXI, el hombre se preocupa por reducir la contaminación, para eso se hallan nuevas fuentes de recursos más amables con el medio ambiente y que puedan competir con las ya existentes, ofreciendo seguridad y confortabilidad. Materiales cerámicos, metálicos, poliméricos y compuestos hacen parte de la gran variedad de alternativas con las cuales se busca cumplir este propósito. El concreto u hormigón sigue siendo el material de construcción por excelencia, por su bajo costo y la garantía de la experiencia adquirida a través del tiempo.

En el mercado se encuentra una gran variedad de concretos, optimizando diversas propiedades. Por ejemplo, en cuanto a la funcionalidad, se ha estudiado la fluidez del concreto para poder mejorar su manejabilidad sin disminuir la relación agua/cemento [1]; respecto a la seguridad, cada día se realizan nuevos estudios para aumentar la resistencia o la durabilidad [2]; y con relación al confort, se ha hecho indispensable el estudio de factores como la acústica [3]; la temperatura en espacios cerrados y reacción a ataques de cloruros.

Existe una gran diversidad de aditivos, que contribuyen a optimizar las propiedades básicas del concreto. Generalmente se trata de productos capaces de disolverse en agua. Sin embargo, en los últimos años se han adelantado investigaciones con residuos de otras industrias como sustitutos en el concreto en forma de agregado. Las razones por las cuales se han planteado estas soluciones

tienen que ver con la contaminación que se genera al no realizarse una correcta gestión de los residuos. La semilla de *Elaeis guineensis Jacq*, conocida popularmente como palma africana de aceite, es uno de los materiales que se puede utilizar como agregado.

El concreto con sustituciones de residuos puede verse afectado de manera diferente que los concretos convencionales ante ataques químicos, causados por factores externos presentes en el ambiente de servicio. Mediante la presente investigación se pretende contribuir al estudio de concretos con semilla de *Elaeis guineensis Jacq* como agregado grueso, en diferentes porcentajes de sustitución semilla por grava (s/g), sometidos a ataques de cloruros. Además, se pretende hacer un aporte al confort acústico de las edificaciones a través del análisis del coeficiente de absorción de sonido y su comportamiento a altas temperaturas.

Inicialmente en el capítulo 1 se mostrará de manera simplificada el planteamiento y justificación del problema de este estudio.

Consecutivamente en el capítulo 2 se presentara el estado del arte, el cual plasma algunos de los estudios realizados hasta el momento en cuanto a los avances del concreto, la durabilidad de las estructuras sometidas a pruebas y el uso de diferentes residuos como agregado del mismo.

Posteriormente, en el capítulo 3 se muestra el diseño metodológico empleado, como las fases del proyecto, con sus etapas y la descripción detallada de las actividades realizadas. Se incluyen los ensayos realizados para determinar el comportamiento del material.

El capítulo 4 se presenta el informe de resultados obtenidos a partir de los ensayos realizados, los cuales serán sustentados y analizados con tablas o gráficas, además de su discusión.

Para dar como finalizada la investigación, se presentan las conclusiones obtenidas, con el fin de proponer elementos para la construcción que se comporten adecuadamente en las condiciones evaluadas. Además, se hacen recomendaciones para tener en cuenta si se requieren plantear nuevas alternativas. Adicionalmente, en los anexos del documento, se encuentra información detallada correspondiente a la caracterización de los materiales y el diseño de mezcla, así como las memorias con los datos de todos los ensayos realizados.

## **1. PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

En el mundo actual existe una tendencia creciente por utilizar materiales de construcción no convencionales, buscando soluciones a problemas de la sociedad, en especial a la población de bajos ingresos. Con esta investigación, continua un proceso de búsqueda de alternativas a problemas de arquitectura e ingeniería, en cuanto al uso del concreto, este proyecto de alguna forma da a conocer el grado de aprovechamiento que para el campo de la construcción tiene un material que por sus características de dureza y poco peso puede en un momento dado ser empleado como componente de este tipo de mezclas, es el caso del cuesco de palma africana.

La razón principal de utilizar este tipo de agregado en la composición de la mezcla de concreto es que actúe como material de relleno haciendo más económica la mezcla y que proporcione su resistencia como elemento esencial a la compresión y que controle el cambio volumétrico en el fraguado al pasar de un estado plástico ha endurecido.

En este estudio se analiza la posibilidad de combinar la semilla de palma africana (desecho de la industria de aceite) con el agregado grueso para la fabricación de concreto. La palma de aceite es una plata tropical que crece en tierras ubicadas

por debajo de los 500 metros sobre el nivel del mar, hoy existen más de 360.000 hectáreas lo cual ofrece una gran fuente de abastecimiento y puede ser una solución ecológica y auto sostenible. Su origen se ubica en el golfo de Guinea en el África occidental, de ahí su nombre científico *Elaeis guineensis Jacq* y su denominación popular: palma africana de aceite.

No solamente las caracterizaciones físico-mecánicas y de durabilidad en el material son trascendentes. El estudio de las propiedades acústicas del concreto también es muy importante. Cada día más se trabaja por establecer el adecuado control del sonido dentro de las edificaciones, razón por la cual es importante el estudio de este factor en el concreto. Se desea evaluar el comportamiento acústico con las mismas sustituciones de agregado grueso, utilizando el método del tubo de impedancia. Por otra parte se harán estudios del comportamiento que tendrá el concreto respecto al fuego, sometiéndolo a temperaturas elevadas y mirando el paso de calor.

Con el fin de tener un concreto con dichas características, se proponen los siguientes objetivos:

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 OBJETIVO GENERAL**

Proponer un concreto estructural base de cuesco de palma africana.

### **1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ✓ Determinar un diseño de mezcla apropiado con agregado convencional y *Elaeis guineensis* (Cuesco de Palma Africana), que permita obtener una resistencia de 21 Mpa.
- ✓ Caracterizar física y mecánicamente el concreto modificado con el cuesco, sometiéndolo a ensayos como durabilidad, compresión, tracción, flexión y acústica.

## **1.2 ALCANCE**

Esta investigación se enfoca en el estudio de concretos con semilla de palma, con porcentajes de sustitución del agregado grueso del 0, 15, 30, 50 y 100%. Se pretende realizar un aporte significativo a su caracterización en términos de durabilidad por medio de ensayos que evalúen si el material presenta comportamiento satisfactorio desde el punto de vista físico, mecánico y acústico

## **2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

### **2.1. GENERALIDADES DEL CONCRETO**

El concreto, también llamado hormigón, es un material compuesto por un aglutinante (normalmente cemento Portland Hidráulico), materiales de relleno, como lo son el agregado fino y el agregado grueso, agua y eventualmente aditivos. El concreto se ha convertido en el material de construcción más utilizado a nivel mundial, gracias a la versatilidad en cuanto a las formas que se pueden obtener, las propiedades físico-mecánicas al ser usado como elemento estructural y, su economía [4].

El concreto tiene tres estados diferentes: fresco, fraguado y endurecido. En cada estado, el concreto tiene propiedades diferentes. En el estado fresco, es blando,

tiene aspecto de “masa” y puede ser trabajado o moldeado en diferentes formas. El estado fraguado tiene lugar después de la compactación, comienza a ponerse rígido, y aunque puede ser colocado, es difícil darle acabados. Después de cierto tiempo el concreto ha fraguado, empieza a ganar resistencia y se endurece. Las propiedades del concreto endurecido son resistencia (principalmente a la compresión) y durabilidad [5].

La dosificación para el diseño de un concreto se basa en la capacidad de cumplir equilibradamente con las propiedades de manejabilidad en estado fresco, versus las propiedades de resistencia y estabilidad de volumen (masa unitaria) en estado endurecido. Los agregados constituyen aproximadamente entre el 60% al 75% del volumen total del concreto, razón por la cual deben ser seleccionados conforme a su buena resistencia mecánica y condiciones de exposición, sin embargo, la calidad del concreto no depende exclusivamente de los agregados, sino también de la pasta y de la unión entre ellas. [6]

La pasta es la mezcla entre el cemento, el agua y el aire naturalmente atrapado en la mezcla. Según la Ley de Abrams, la relación agua/cemento también influye significativamente en la calidad del concreto. Existen diferentes métodos para dosificar los componentes del concreto. Uno de los más utilizados es el método estandarizado por el Instituto Americano del Concreto (ACI), el cual se basa en la selección del asentamiento de acuerdo al tipo de construcción, la resistencia promedio de diseño, el tamaño máximo del agregado, la relación agua/cemento y el módulo de finura de la arena. Es posible emplear cualquiera de los dos procedimientos siguientes: por peso o por volumen absoluto. [6]

➤ **Cemento Portland**

La hidratación del cemento es el proceso por medio del cual el cemento reacciona con el agua, liberando una cierta cantidad de calor y endureciendo la pasta de cemento.

Los aluminatos se hidratan más rápido que los silicatos, la reacción del aluminato tricálcico con el agua es inmediata y libera mucho calor, el yeso se usa para retrasar la velocidad de esta reacción produciendo iones de sulfato. El balance entre el aluminato y sulfato determina la velocidad de fraguado, el silicato tricálcico se hidrata más rápido que el silicato dicálcico, contribuyendo al tiempo de fraguado final y la ganancia de resistencia inicial. Existen principalmente cinco tipos de Cemento Portland (*ver tabla 1*), cada uno con distintos comportamientos, según el ataque externo al que se ha previsto someter [7]:

Tipo de cemento	Nombre	Características
I IA	Normal	Cualquiera de los no considerados
II IIA	Resistencia moderada a los sulfatos	C3A<8%, SiO2>20%, Al2O3<6% Fe2O3<6%
III IIIA	Alta resistencia Inicial	inura Bline > 450 m2/Kg Resistencia>19Mpa (1d); >30Mpa (3d)
IV	Bajo calor de Hidratación	Bajo contenido de C3A Bajo contenido de C3S
V	Alta resistencia a los sulfatos	C3A<5%, SO3<2,3% Si es tipo LA: % Álcalis < 0,6%

*Tabla 1. Principales tipos de cemento Portland y sus características. Fuente [7]*

\*Los cementos con la denominación A corresponden a cementos con inclusión de un aditivo que incorpora aire en ellos. El cemento Portland tipo I es el más utilizado en el mercado para obras civiles en general.

## **2.2. CONCEPTO DE DURABILIDAD**

Las estructuras de concreto se han diseñado, a través de la historia, en base a su resistencia a la compresión. La premisa indicaba que si el concreto era suficientemente resistente como para soportar las cargas diseñadas, también tendría un comportamiento favorable en todos los demás aspectos. Cuando se identificaban determinados mecanismos de destrucción, por ejemplo: el ataque hielo-deshielo, ataque por sulfatos, reacción álcali-agregado, corrosión por cloruros, etcétera, se tenían en cuenta a través de limitaciones en la composición química del cemento o en la relación agua/cemento. [8]

El término *durabilidad* se refiere a la habilidad del concreto para resistir la acción del medio ambiente, los ataques químicos, la abrasión y otras condiciones de servicio de tal manera que sus características y propiedades se mantengan a lo largo de su vida útil.

El concreto tiene la tendencia de ser durable por sí mismo, sin embargo, muchas estructuras modernas de concreto no duran tanto, como lo pone en evidencia la continua necesidad de reparar y rehabilitar infraestructuras de concreto. Desde luego, esto tiene que ver con las exigencias, mucho más severas, que se fijan a los concretos modernos, los entornos especiales en los que se espera que el material cumpla sus funciones, y la complejidad creciente de los sistemas cementantes en sí mismos. Por otra parte, mucho de esto se debe a una selección inapropiada de materiales, a prácticas constructivas pobres, a falta de entendimiento por parte de los ingenieros que construyen en ambientes potencialmente destructivos y una creciente tendencia a “hacer recortes”, con el fin de ahorrar algún dinero.

## 2.3 EL CUESCO DE PALMA AFRICANA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN

La palma de aceite es una planta tropical propia de climas cálidos que crece en tierras ubicadas por debajo de los 500 metros sobre el nivel del mar, hoy existen más de de 360.000 hectáreas lo cual ofrece una gran fuente de abastecimiento y puede ser una solución ecológica y auto sostenible.

### 2.3.1 CLASIFICACIÓN DE LAS CUESCO DE PALMA AFRICANA

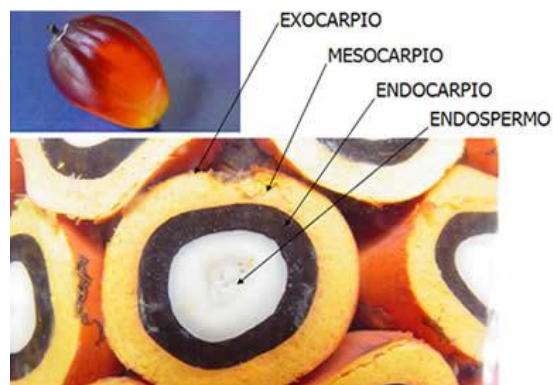


Figura 1. Descripción del Cuesco de Palma Africana. Fuente [9]

La palma africana (Palma aceitera africana, Coroto de Guinea, Palmera Aabora, Palmera de Guinea) es una planta tropical propia de climas cálidos cuyo origen se ubica en la región occidental y central del continente africano, concretamente en el golfo de Guinea, de ahí su nombre científico *Elaeis guineensis* Jacq. Donde ya se obtenía desde hace 5 milenios. A pesar de ello, fue a partir del siglo XV cuando su cultivo se extendió a otras regiones de África. [9]

Su propagación a mínima escala se inició en el siglo XVI a través del tráfico de esclavos en navíos portugueses, siendo entonces cuando llegó a América, después de los viajes de Cristóbal Colón, concretamente a Brasil. En esta misma época pasa a Asia Oriental (Indonesia, Malasia, etc.).

La clasificación se realiza mediante una separación estática o dinámica de fases por diferencia de densidades, en sistemas estáticos en tanques circulares verticales, en tanques cuadrangulares horizontales o también puede hacerse por sistemas dinámicos. El aceite clarificado pasa a los tanques sedimentados donde las partículas pesadas se van decantando por reposo, Así se separa de la mezcla lodosa restante que pasa a las centrifugas deslizadoras. [10]

- **Trituración:** la mezcla compuesta por fibra y nueces, que se seca a una humedad requerida es conducida mediante sinfines para la separación. La separación es un proceso neumático, donde se utiliza una columna vertical a través de la cual pasa un flujo de aire ascendente a una velocidad determinada que toda la fibra sube y las nueces caen al fondo de la columna de separación. Las nueces pasan al tambor pulidor para separarlas de impurezas y de este van al silo de almacenamiento, donde se secan para facilitar el rompimiento de la cáscara y poder recuperar la almendra contenida en ella.[11]
  
- **Transformación:** En la figura 2 se presenta el diagrama del flujo del proceso de extracción de aceite de palma, donde se destacan los principales productos y subproductos. [12]

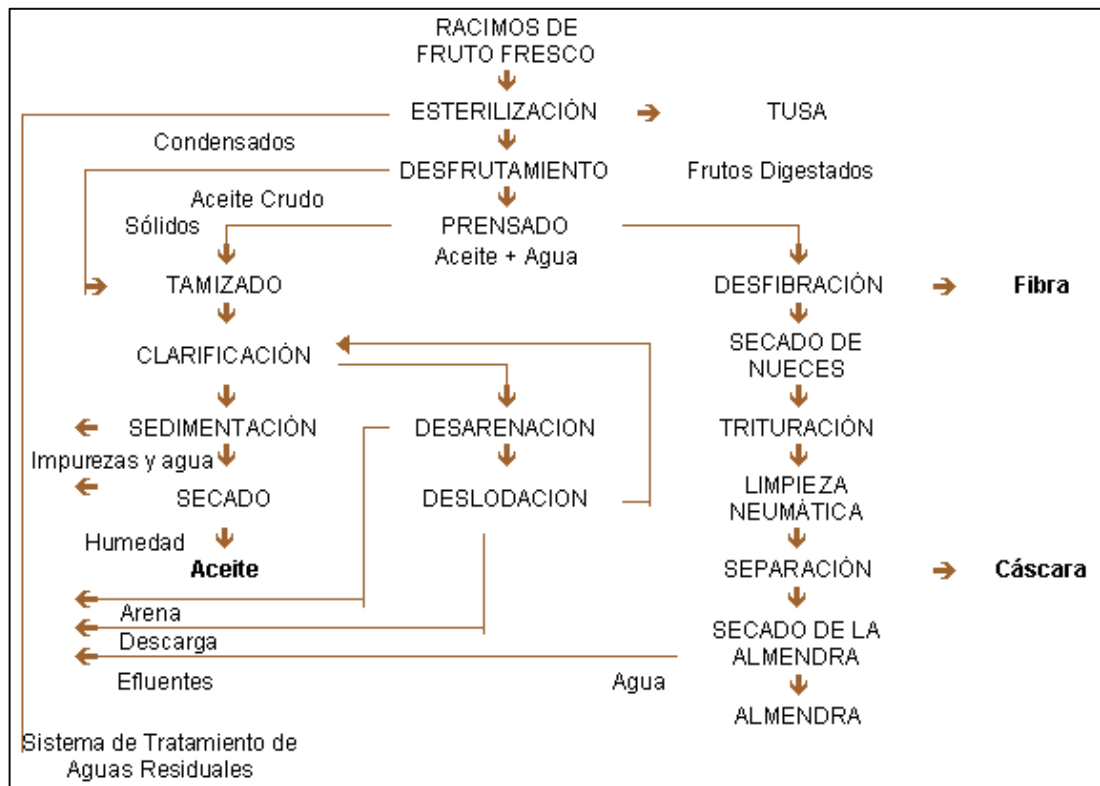
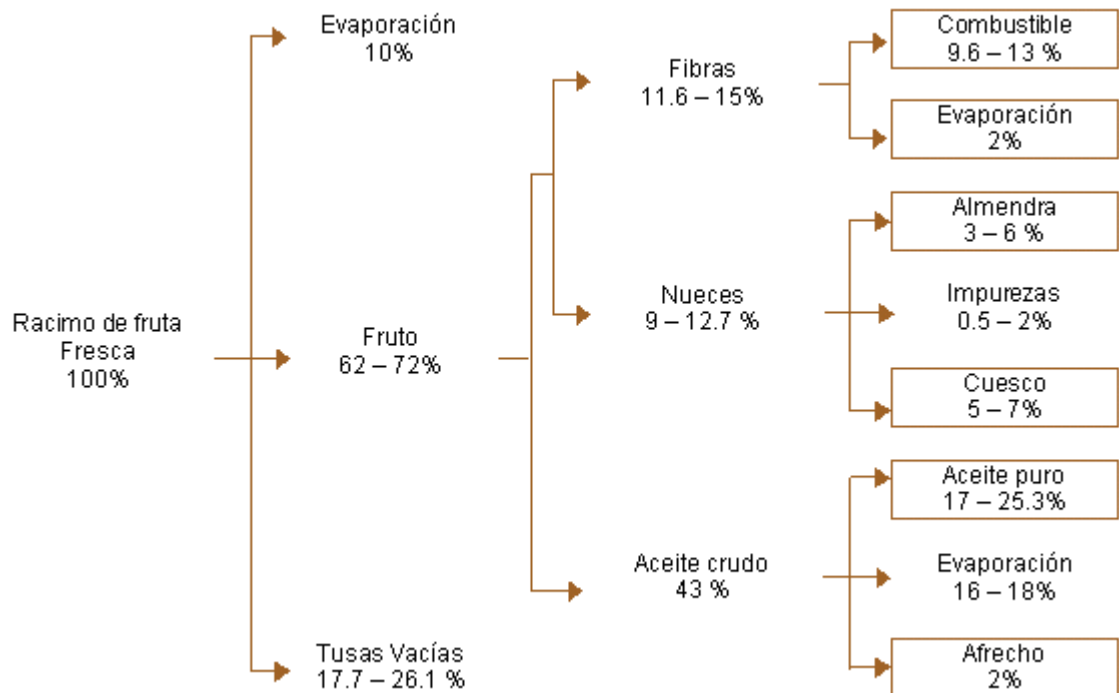


Figura 2. Diagrama del Flujo del Proceso de Extracción de Aceite de Palma.

Fuente [12]

- **Subproductos sólidos:** los subproductos sólidos generados por el proceso de extracción son de gran importancia por su composición, para ser utilizados en su totalidad como bioabonos y como combustibles principalmente. La porción equivalente en porcentajes, sus características y valores se presentan en la figura 3.



*Figura 3. Porción Equivalente en Porcentajes, sus Características y Valores.*

*Fuente [12]*

## 2.4 ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN

En la actualidad son un sin número de elementos estructurales con que el ingeniero civil cuenta a su disposición, para que de manera óptima y consiente elija cual es el más ideal para llevar a cabo una construcción basándose esta escogencia en los tipos de cargas que van a resistir.

Es por esto que es de vital importancia, antes de ejecutar cualquier proyecto realizar todo tipo de ensayos y pruebas, a través de las cuales se pueda determinar el comportamiento de los elementos como estructuras, en el campo de la ingeniería civil, la compresión es una de las propiedades del concreto que más nos interesa. El ensayo consiste en determinar la máxima resistencia a la

compresión de un cilindro de muestra de un concreto frente a una carga aplicada axialmente. La forma de evaluar la resistencia del concreto es mediante pruebas mecánicas que pueden ser destructivas, las cuales permiten probar repetidamente la muestra de manera que se pueda estudiar la variación de la resistencia a través del tiempo.[12]

## **2.5 ENSAYOS DE DURABILIDAD**

### **2.5.1 COMPORTAMIENTO ANTE PRESENCIA DE FUEGO**

En consecuencia las afectaciones producidas por las altas temperaturas son mucho más notorias cuando el hormigón supera los 500 °C; considerándose que para este nivel, los daños que se producen son prácticamente irreversibles [13]

La deshidratación y cambios de porosidad de la pasta de cemento y las deformaciones diferenciales o procesos de transformación de los agregados que genera la exposición a altas temperaturas afectan como era de esperar la resistencia y la deformación del hormigón. Los principales efectos se traducen en el debilitamiento en la zona de interfaces, reducción en la resistencia de la matriz por incremento de la porosidad o destrucción de los productos de hidratación, alteraciones de los agregados y desarrollo de microfisuración. [14]

En la microestructura del concreto se presentan fisuras y otras imperfecciones que en numerosos casos se extienden hasta la macro estructura. Cuando el material se somete a altas temperaturas se crean cambio volumétricos diferenciales en todos los componentes de la mezcla al tener diferentes coeficientes de dilatación. El proceso puede agravarse según el tipo de enfriamiento al que se exponga la estructura. En un enfriamiento acelerado, como el que se produce por la acción de los bomberos, se presenta un cambio brusco de temperatura que genera un

choque térmico, con la consecuente aparición de micro fisuras en la masa del concreto que afectan a su estructura interna. [15]

- **Efecto De La Temperatura Sobre Los Agregados:** La porosidad y mineralogía del agregado parecen ejercer una influencia importante sobre el comportamiento del hormigón expuesto al fuego. Dependiendo de la velocidad de calentamiento, el tamaño, la permeabilidad y el estado de humedad del agregado, el agregado poroso, puede ser también susceptible a la expansión perturbadora [16].

## **2.6 ENSAYOS COMPLEMENTARIOS**

El ensayo a tracción indirecta (NTC 722 - ASTM C 496) se utiliza como ensayo complementario para la evaluación de la resistencia como punto de comparación entre los diferentes porcentajes de sustitución de agregado grueso por semilla de palma.

El ensayo de tracción indirecta, destaca por ser un método simple y representativo, que permite obtener la carga máxima que aguanta una mezcla antes de romper. [17]

El ensayo a flexión consiste básicamente en la aplicación de una carga en una viga simplemente apoyada. La resistencia a la flexión se expresa como el modulo de rotura y es determinada mediante el ensayo de ASTM C293.

## 2.7 AISLAMIENTO ACÚSTICO DEL CONCRETO

Las propiedades acústicas del concreto modificado con endocarpio (semilla) son el estudio de esta investigación. Para familiarizar al lector con el tema, se definen los siguientes conceptos [18]:

**Sonido:** Todo fenómeno que denote una alteración física, o de presión, capaz de ser registrada por un oído normal.

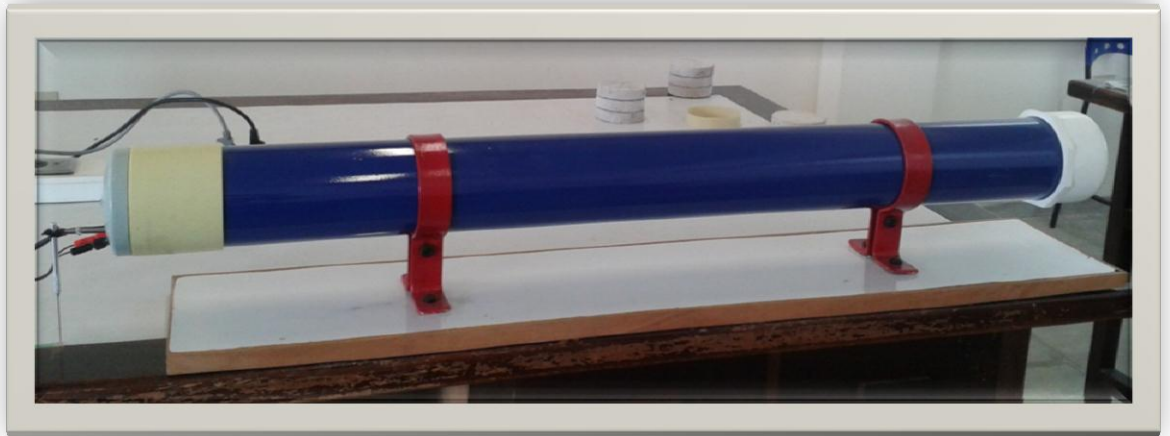
**Frecuencia:** Número de ciclos realizados dentro de una onda sonora. Debido a que las partículas de aire siguen el mismo movimiento que el cuerpo vibratorio, tendrán las mismas frecuencias que él. Por ejemplo, si una fuente de vibración vibra 100 veces por cada segundo, la frecuencia del sonido será 100 ciclos por segundo (Hz).

**Amplitud:** Es una medida de la variación máxima de la presión (para onda acústica) que varía periódica o cuasi-periódicamente en el tiempo. Es la distancia máxima entre el punto más alejado de una onda y el punto de equilibrio o medio.

**Absorción del sonido:** Habilidad que tiene un material para absorber la energía de las ondas sonoras que llegan a su superficie, en tal forma que la energía reflejada sea la menor posible.

### ➤ Descripción Del Equipo

El equipo consiste en un tubo cerrado de PVC (puede ser de metal, madera o plástico) de 4" de diámetro, con sección transversal circular uniforme de extremo a extremo. Está provisto de un parlante de 3 pulgadas que se encuentra en el extremo opuesto a la muestra, un sistema de micrófono móvil que puede ser externo o interno como es el caso del tubo de impedancia utilizado, como se muestra en la figura 4. El micrófono es unidireccional y tiene 18 mm de diámetro.



*Figura 4. Tubo de Impedancia. Fuente: [Autores]*

El sistema de micrófono móvil consiste en una varilla de acero inoxidable de longitud 1.3 m soldada a una platina de hierro con ruedas de caucho para el desplazamiento del sistema. El micrófono se ubica sobre el sistema móvil de manera que se coincida con el centro de la sección transversal del tubo. El cable del micrófono cuenta con un conector BNC en su otro extremo.

Se utilizó un bafle de 3 pulgadas marca Tech de 32 ohmios y 5W. Se atornilló a una lámina acrílica para el soporte del bafle en el centro de la sección transversal del tubo y para el paso de la varilla y del cable del micrófono sin afectar el parlante parlante. Se fijaron también conectores tipo “banana” hembra en la tapa del tubo para que el cable que conduce la señal del generador de funciones al bafle se conectaran en la tapa por medio de conectores tipo “banana” macho.

### 2.7.1 COEFICIENTE DE ABSORCIÓN DEL SONIDO E ÍNDICE DE REDUCCIÓN DE RUIDO

La energía acústica total que choca contra una pared, una parte se refleja, otra parte, es absorbida en la propia pared y la otra parte, transmitida al espacio detrás de la pared [50]. Así, los fragmentos de energía se pueden representar mediante:

El coeficiente de reflexión de energía  $|r|^2$

El coeficiente de absorción  $\alpha$

El coeficiente de transmisión de energía  $|t|^2$  y, aplicando la ley de la conservación de energía se tiene:

$$|r|^2 + \alpha + |t|^2 = 1 \quad (1)$$

Si una onda plana con movimiento armónico choca contra una superficie, en dirección perpendicular, será reflejada con una intensidad disminuida debido a la absorción del material. Si la presión de la onda de sonido incidente y reflejada se denominan  $P_i$  y  $P_r$  respectivamente, y el coeficiente de reflexión  $r$  a un punto, es definido como:

$$r = \frac{P_r}{P_i} \quad (2)$$

Si la fracción de energía que traspasa la muestra es muy pequeña comparada con la absorbida, se desprecia, y el coeficiente de transmisión es cero, por lo que el coeficiente de absorción se convierte en:

$$\alpha = 1 - |r|^2 \quad (3)$$

El índice de absorción del sonido es el valor que indica qué tanto sonido absorbe determinado material. Se define como el valor medio de los coeficientes de absorción del material a las frecuencias de 250, 500, 1000 y 2000 Hz. Aunque

también puede ser calculado mediante la obtención de datos de bandas de tercio de octava entre estas frecuencias, tales como 630, 800 1000, 1250 y 1600 Hz.

$$NRC = \frac{\sum \alpha}{n} \quad (4)$$

## 2.7.2 FUNDAMENTO FÍSICO DEL TUBO DE IMPEDANCIA

El tubo de impedancia tiene distintas aplicaciones, entre las más importantes, comprobar la velocidad del sonido y medir las propiedades acústicas de los materiales. Por medio de muestras ubicadas a un extremo del tubo cerrado es posible determinar el coeficiente de absorción. Este es un método sencillo y tiene una precisión admisible (95% [19]). El tubo está provisto de un parlante que se encuentra en el extremo opuesto a la muestra, el cual produce ondas acústicas, las cuales viajan dentro del tubo y son reflejadas por el material. La onda incidente y la onda reflejada se presentan por medio de la formación de un patrón de ondas estacionarias dentro del tubo. Cuando la totalidad de la onda incidente es reflejada, la onda incidente y la onda reflejada tienen la misma amplitud; los nodos en el tubo tienen presión cero y los antinodos el doble de presión.

Cuando una parte de la energía incidente es absorbida por la muestra, la onda incidente y la onda reflejada tienen diferente amplitud. En este caso los nodos no son muy largos y cuentan con una presión nula. La magnitud de la presión en los nodos y antinodos es medida con un micrófono de prueba, el cual se desliza dentro del tubo. La relación entre la presión máxima (antinodo) y la presión mínima (nodo) es llamada Standing Wave Ratio (SWR), esta relación es mayor o igual a uno y se usa para determinar el coeficiente de amplitud reflejada de la muestra y el coeficiente de absorción del material.

La amplitud en un antinodo de presión (máxima presión) es:

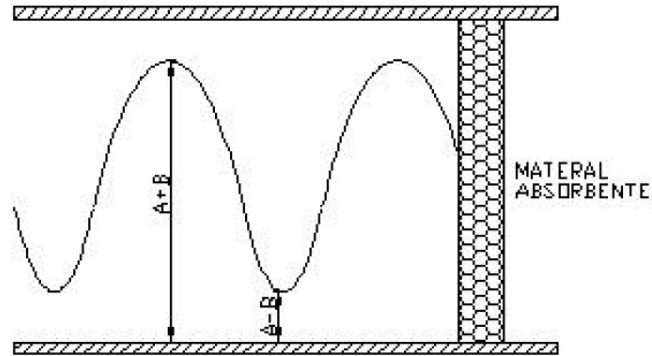


Figura 5. Representación de la Máxima y Mínima Amplitud en un Tubo de Impedancia. Fuente [21]

La amplitud en un antinodo de presión (mínima presión) es:

$$P_{\text{mín}} = (A - B)\cos(\omega t) \quad (5)$$

No es posible medir A o B directamente pero se puede medir (A+B) y (A-B), los cuales son valores de amplitud medida en unidades de voltaje. La medición se logra al resonar la onda en el tubo, formándose de esta manera ondas estacionarias. Se puede definir la relación de presión máxima a presión mínima como SWR (standing wave ratio), mediante la siguiente ecuación:

$$SWR = \frac{P_{\text{máx}}}{P_{\text{mín}}} \quad (6),$$

Así que:

$$SWR = \frac{A+B}{A-B} \quad (7)$$

La ecuación de conservación de la energía, puede ser manipulada para determinar el coeficiente de reflexión del sonido:

$$(8) \quad |r| = \frac{B}{A} = \frac{SWR-1}{SWR+1}$$

Como se ha definido previamente en la ecuación 7, la energía absorbida es proporcional al cuadrado de las relaciones de amplitud de las ondas:

$$\alpha = 1 - |r|^2 \quad (9)$$

### 3. DISEÑO METODOLÓGICO

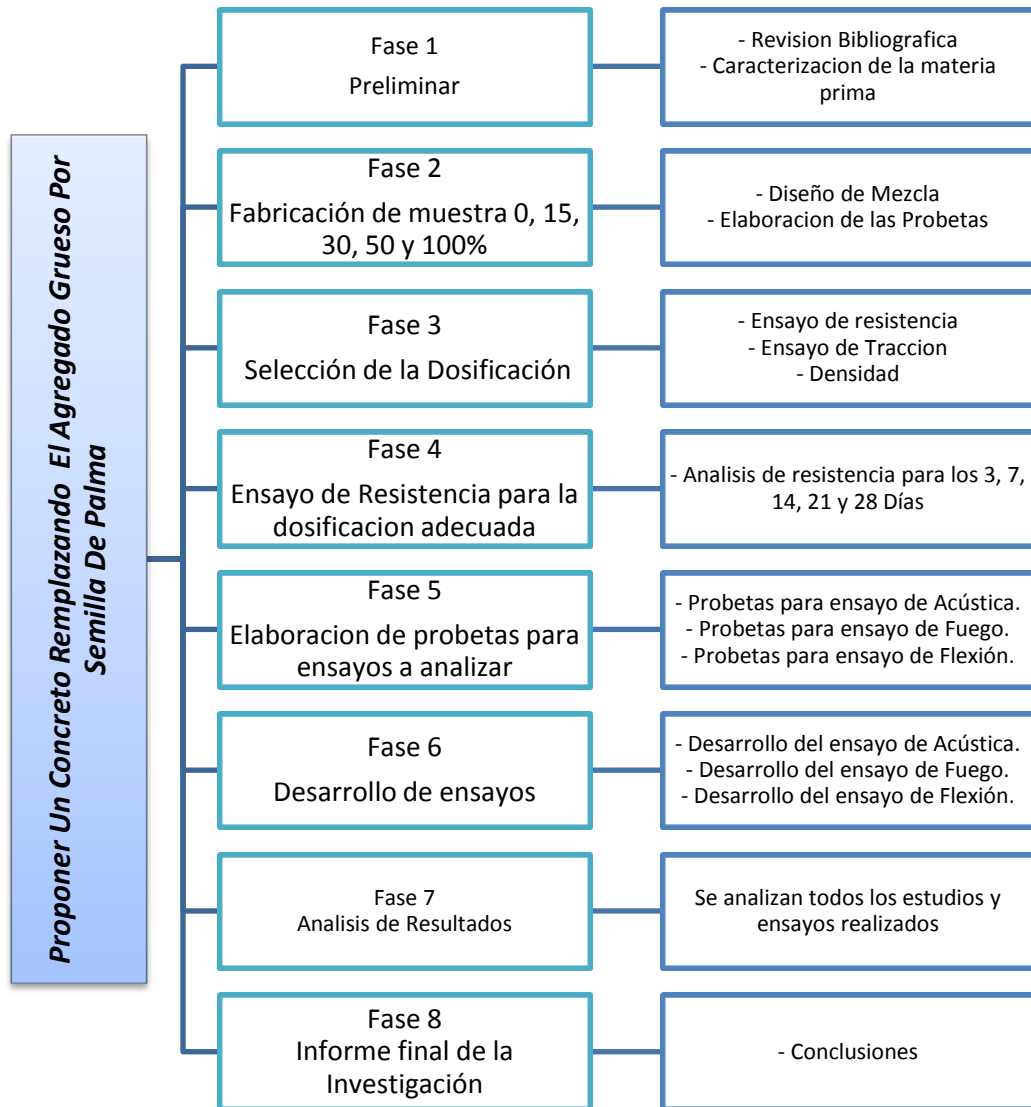


Figura 6. Diagrama de la Metodología de la Investigación. Fuente: [Autores]

### **3.1. FASE 1: PRELIMINARES**

#### **3.1.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

Inicialmente se realizó una recopilación de la información necesaria y relacionada con el tema de investigación, constituida por tesis, trabajos de grado, artículos y libros. Adicionalmente se consultaron normas técnicas como ASTM, ISO, ICONTEC, de donde se pudo extraer información importante para esta investigación.

Con esta información recopilada se pudieron establecer las variables a considerar durante la realización de este trabajo, tales como, el tamaño de agregado, relación a/c, dimensionamiento de las probetas, tiempo de curado, frecuencias a las que se sometieron las probetas, temperatura y ensayos de resistencia.

#### **3.1.2. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA**

##### **➤ Cemento**

La caracterización del cemento está dada por las exigencias en cuanto a propiedades físico-mecánicas de la norma NTC 121 y en cuanto a propiedades químicas de la norma NTC 321, además de un análisis de densidad (Anexo A).

##### **➤ Agua**

Se garantizó, para el diseño de mezcla que se utilizara agua potable y libre de sustancias que eventualmente pudieran afectar la resistencia y/o la durabilidad del concreto. El análisis físicoquímico y microbiológico suministrado por el acueducto metropolitano de Bucaramanga (*Ver Anexo A*) nos proporciona esta información.

### ➤ **Agregado y Semilla**

Tanto el agregado grueso como el agregado fino y la Semilla se caracterizaron por medio del cálculo de peso unitario (suelto y compactado), la gravedad específica, el porcentaje de absorción y el porcentaje de vacíos, según NTC 92, NTC 176, y NTC 237. Además se determinó la granulometría de arena y escoria, y el módulo de finura mediante las especificaciones de la norma NTC 77. (Ver Anexo A).

## **3.2. FASE 2: FABRICACIÓN DE LAS MUESTRAS**

### **3.2.1. DISEÑO DE MEZCLA**

La segunda fase de esta investigación comenzó con el diseño de la mezcla a utilizar, para cada tipo de concreto con semilla, según el porcentaje de la sustitución de agregado grueso por semilla. Estos porcentajes son: 0, 15, 30, 50 y 100%.

La dosificación para el diseño de mezcla se realizó por el método estandarizado por el Instituto Americano del Concreto (ACI 211) [6], el cual se basa en la selección del asentamiento de acuerdo al tipo de construcción, la resistencia promedio de diseño, el tamaño máximo del agregado, la relación agua/cemento y el módulo de finura de la arena. Para este trabajo se realizó la dosificación del concreto por volumen de sus componentes.

La dosificación se realizó para una resistencia de diseño de 21 MPa (3000 psi), puesto que el objetivo de esta investigación es proponer un concreto de alta resistencia y verificar las propiedades de durabilidad y acústicas del concreto con

semilla de palma, con el fin de proponer elementos de construcción que se comporten adecuadamente en las condiciones de servicio.

En el anexo B se presenta en detalle el diseño de la mezcla, incluyendo el cálculo de la relación agua/cemento, la cual varía para todos los remplazos de agregado grueso por semilla. Obviamente, las cantidades de semilla y agregado grueso son distintas para cada porcentaje de sustitución.

### **3.2.2. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS PARA LA PRUEBA DE RESISTENCIA**

La preparación de las probetas de concreto se realizó teniendo en cuenta la cantidad de muestras necesarias para tener resultados representativos. Por medio del método de muestreo por selección intencionada [20], se determinó que 3 muestras por cada sustitución de s/t (0, 15, 30, 50 y 100%), es decir, 15 probetas para el ensayo de resistencia, arrojan los datos necesarios para un análisis adecuado de la resistencia esperada. (*Ver anexo B*). Dichas muestras fueron ensayadas los días representativos para la curva de comportamiento, que fueron 3, 7, 14, 21 y 28 días, para un total de 75 probetas por prueba.

Por lo tanto, se fabricaron 15 probetas para los dos ensayos principales de resistencia, de dimensiones 10 cm de diámetro y 20 cm de longitud, bajo las condiciones de la norma NTC 1377, teniendo especial cuidado en las cantidades de triturado y semilla.

El procedimiento comenzó con el pesaje de los componentes del concreto en una balanza digital con precisión de 0.01 gramos. Se mezclaron el cemento con la arena en una bandeja metálica limpia. Posteriormente se adiciona el agregado grueso (tanto triturado como semilla) hasta que esté uniformemente distribuido en la mezcla. Por último se agrega el agua, la cual ha sido medida con una probeta

de medición de volumen líquido. Se realiza la mezcla de los componentes hasta que haya una consistencia adecuada de la mezcla.

Al alcanzar la consistencia adecuada de la mezcla, se procedió a lubricar los moldes con aceite para facilitar el desmolde de las probetas. Luego, se introdujo la mezcla en los moldes en tres capas del mismo espesor. Cada capa fue compactada con 25 golpes de la varilla metálica, según la norma, teniendo la precaución de no compactar la capa anterior, además las paredes del molde se golpearon suavemente con un martillo de goma con el fin de extraer el aire atrapado en el concreto, evitando así, la disminución de la resistencia.

El desmolde de las probetas se realizó 24 horas después de su fabricación utilizando un compresor de aire Black & Decker a 50 psi para luego empezar su tiempo de curado por 28 días.

Al finalizar el tiempo de curado, se sacaron las probetas para realizar un proceso de secado al ambiente, puesto que se requiere que no haya una humedad considerable que pueda alterar los resultados de las pruebas.



*Figura 7. Secuencia de Preparación de Mezclas. Fuente: [Autores]*

### **3.3. FASE 3. SELECCIÓN DE LA DOSIFICACIÓN**

La selección de la dosificación óptima para alcanzar el objetivo de la investigación, se realiza a partir del resultado de la resistencia a compresión. Con el resultado de la prueba se determinan los parámetros de densidad y resistencia y se escogerá el más adecuado para el estudio y serán modificados para alcanzar el objetivo principal “un concreto 21 Mpa” (Ver Anexo B).

### ➤ RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Después de cumplir con el tiempo de curado, es decir a los 28 días Las probetas con las diferentes dosificaciones, son sometidas a la prueba de resistencia a compresión utilizando el equipo MTS 637 Hydraulic Wedge Grip.



*Figura 8.Registro de Resistencia a la Compresión. Fuente: [Autores]*

### ➤ RESISTENCIA TRACCIÓN INDIRECTA

Después de cumplir con el tiempo de curado, es decir a los 28 días, las probetas con las diferentes dosificaciones son sometidas a la prueba de resistencia de tracción indirecta, la cual consiste en someter a compresión diametral una probeta cilíndrica, igual a la definida en el ensayo de compresión, aplicando una carga de manera uniforme a lo largo de dos líneas o generatrices opuestas hasta alcanzar la rotura, utilizando el equipo MTS 637 Hydraulic Wedge Grip.[17].

Esta configuración de carga provoca un esfuerzo de tracción relativamente uniforme en todo el diámetro del plano de carga vertical, y esta tracción es la que agota la probeta y desencadena la rotura en el plano diametral.



*Figura 9. Registro de Resistencia a la Tracción Indirecta. Fuente: [Autores]*

Basados en los resultados se escoge la dosificación correspondiente al 30% de sustitución de Agregado Grueso por Semilla.

#### **3.4. FASE 4: ENSAYO DE RESISTENCIA PARA LA DOSIFICACIÓN SELECCIONADA**

Se evaluó la resistencia a la compresión de las probetas utilizando el equipo MTS 637 Hydraulic Wedge Grip los siguientes días de fraguado: 3, 7, 14, 21 y 28, para crear una curva de comportamiento, la cual se analiza y deberá cumplir con la resistencia de diseño de 21 Mpa.

### 3.5. FASE 5: ELABORACIÓN DE PROBETAS PARA ENSAYOS A PROPUESTOS

#### 3.5.1. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS PARA EL ENSAYO DEL TUBO DE IMPEDANCIA

Después de escoger la dosificación adecuada, que haya alcanzado la resistencia estimada, se realizaron 6 muestras para el ensayo del tubo de impedancia, de éstas 3 son con el diseño de mezcla base, es decir con dosificación de semilla del 0% y las 3 restantes con el diseño de mezcla de la dosificación adecuada.

Las probetas para este ensayo variaron; se utilizaron moldes de PVC en forma de disco de 10 cm (4") de diámetro (según el diámetro del tubo de impedancia) y 2 cm de espesor. Se debe tener en cuenta que no todos los tubos de PVC tienen el mismo diámetro interno, éste deriva del tipo de aplicación y fabricante. Así, que se elige, un molde del mismo diámetro interno del tubo de impedancia para no tener inconvenientes al momento de realizar la prueba. El proceso de fraguado, desmolde, curado y secado fue el mismo utilizado en las probetas de los ensayos de resistencia.



*Figura 10. Registro de Ensayo de Acústica. Fuente: [Autores]*

### 3.5.2. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS PARA EL ENSAYO DE COMPORTAMIENTO ANTE FUEGO

Para la realización de esta investigación, se establecieron probetas cubicas de dimensiones 0,20 m X 0,20m X 0,06 m, según norma ISO 834, con relación a/c de 0,58 y tamaño máximo de agregado de  $\frac{3}{4}$  " y un tiempo de curado de 28 días.

Se elaboran 20 probetas, de las cuales 10 son con el diseño de mezcla base (con dosificación de 0%) y las otras 10 con la dosificación escogida. Las temperaturas a las que se van a someter son de 200, 400, 600, 800 y 1000 °C, siguiendo el comportamiento de un incendio y analizando la reacción de la misma.

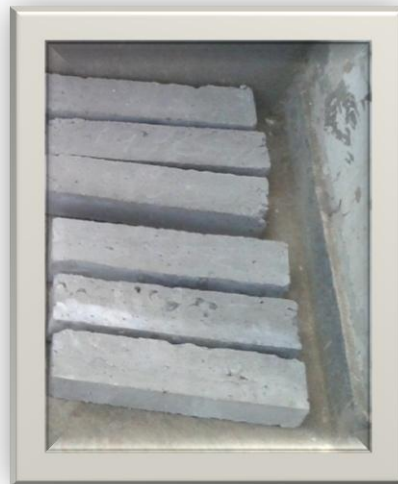


*Figura 11. Registro de Ensayo de Resistencia al Fuego. Fuente: [Autores]*

### 3.5.3. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS PARA EL ENSAYO DE FLEXIÓN.

Para la realización de este ensayo, se establecieron vigas de dimensiones 0,06 m X 0,05 m X 0,28 m, según **INVIAS E-415**. Con relación a/c de 0,58 y tamaño máximo de agregado de  $\frac{3}{4}$ " y un tiempo de curado de 28 días.

Se elaboran 4 probetas, de las cuales 2 son con el diseño de mezcla base (con dosificación de 0%) y las otras 2 con la dosificación escogida. La prueba se realizó en la máquina universal ubicada en el Laboratorio de Materiales de la Escuela de Ingeniería Civil.



*Figura 12. Registro de Ensayo a Flexión. Fuente: [Autores]*

## 3.6. FASE 6: DESARROLLO DE ENSAYOS PROPUESTOS

### 3.6.1. DESARROLLO DE ENSAYO ACÚSTICO

Se determinaron el coeficiente de absorción del sonido y el índice de reducción de ruido del concreto con semilla de palma por medio del ensayo del tubo de impedancia efectuado a las muestras, cuya fabricación ya fue descrita en el numeral 3.5.1.

#### ➤ Ensayo Acústico Por El Método Del Tubo De Impedancia

El ensayo tiene como fundamento físico la teoría de ondas estacionarias en un tubo cerrado, descrita por el numeral 2.5.2. El límite superior de frecuencias a utilizar en el ensayo y el diámetro del tubo están relacionados por la siguiente desigualdad (*ver ecuación 10*), según la norma ASTM C 384:

$$f < 0.586 \frac{vs}{d} \quad (10)$$

Siendo  $f$  la frecuencia máxima permitida en el ensayo (Hz),  $vs$  la velocidad del sonido (m/s),  $d$  el diámetro del tubo (m). Con esta expresión se definió  $f$  a partir de  $d$ .

Asumiendo  $vs = 343 \text{ m/s}$  y  $d = 0.107 \text{ m}$

Entonces:  $f < 1878.5 \text{ Hz}$  (11)

Frecuencias a utilizar en el ensayo [Hz]:

250, 315, 400, 630, 800, 1000, 1250 y 1600 Hz < 1878.5 Hz

Sabiendo esto,  $\lambda \geq 0.1826 \text{ m}$  (12)

La longitud del tubo también se restringe a la siguiente desigualdad que la relaciona con la longitud de onda y diámetro:

$$3\frac{\lambda}{4} < L - d \qquad L > 0.24 \text{ m}$$

Es decir:

Donde L es la longitud del tubo (m) y  $\lambda$  es la longitud de onda (m)  $L=1,10 \text{ m}$ . Se comprueba la viabilidad del ensayo.

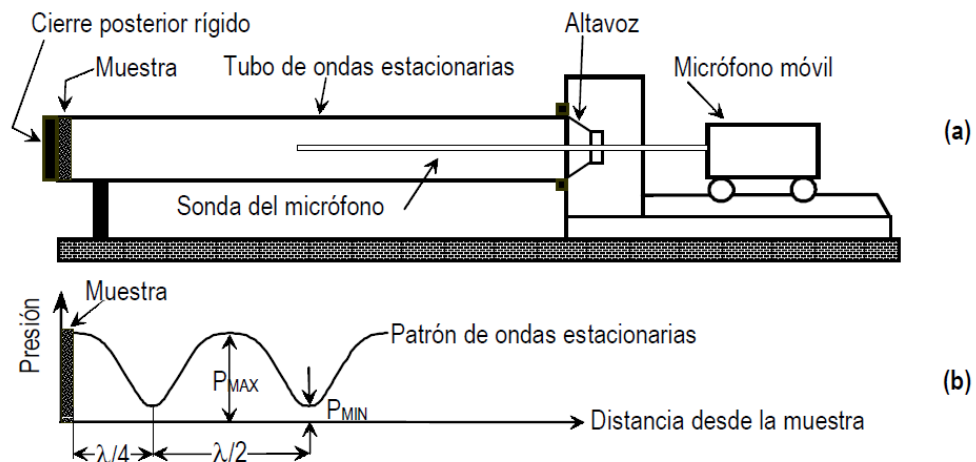
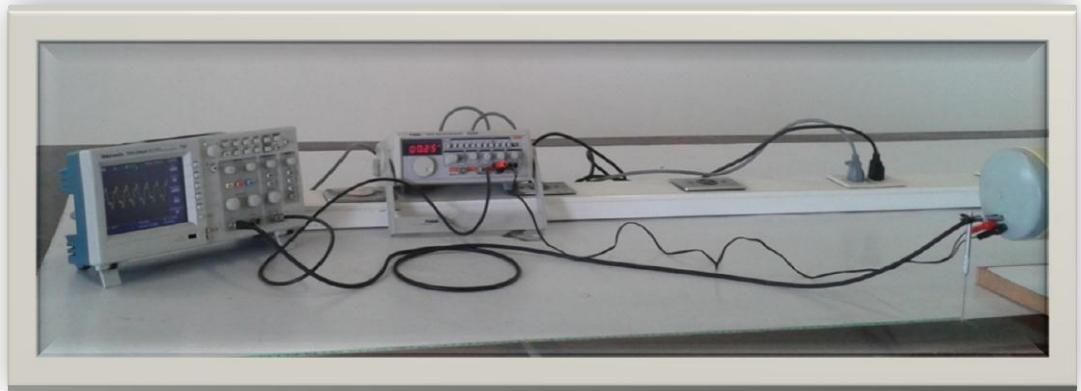


Figura 13. Esquema de Tubo de Kundt (a) y Perfil de la Onda Estacionaria Formada en su Interior (b). Sistema de micrófono Móvil Externo. Fuente [3]

El ensayo se realizó en el taller de electrónica de la Escuela de Física de la Universidad Industrial de Santander, con los parámetros que propone la norma ASTM C 384, utilizando el equipo ya descrito, un osciloscopio marca Tektronic de referencia TDS 200 2B y un generador de señales marca PROTEK de referencia 9205A. Tanto el osciloscopio, como el generador de señales, pertenecen a la Escuela de Física de la UIS.



*Figura 14. Osciloscopio y Generador de Señales del Laboratorio de Física.*

*Fuente: [Autores]*

Se colocó la primera muestra de concreto el diseño de mezcla base en un extremo del tubo de impedancia, el parlante con su soporte en el otro extremo y el micrófono desplazándose a lo largo del tubo por medio del sistema de varilla móvil. Se ubicó un apoyo en cada extremo del tubo (uno atrás del parlante y el otro después de la muestra) con el propósito de evitar la alteración de las mediciones. Se conectó el cable del micrófono directamente a la entrada del osciloscopio por medio de un conector BNC y el cable del parlante al generador de señales por medio de conectores tipo “banana”.



*Figura 15. Osciloscopio del Laboratorio de Física Empelado en este Trabajo.*

*Fuente: [Autores]*

Se generó una señal de 250 Hz. La magnitud de la presión en los nodos y antinodos fue medida con el micrófono de prueba. Se observó el osciloscopio para registrar los valores de amplitud, máximos (A+B) y mínimos (A-B) en voltios, a una distancia  $d$  igual a cero, es decir, con el micrófono a 1 mm de la muestra. Se desplazó el sistema móvil para ubicar el micrófono a una nueva distancia  $d$ , la cual registró el valor del nodo o antinodo adyacente al cero.

Se repitió el procedimiento buscando todos los valores máximos y mínimos de amplitud a diferentes distancias, con la ayuda de una cinta métrica hasta llegar al otro extremo del tubo. Al concluir con la medición en los 250 Hz, se aumentó la frecuencia hasta 315 Hz, y se repitió el procedimiento de medición. Así mismo para todas las frecuencias hasta alcanzar los 1600 Hz.

Para finalizar la medición de amplitudes en todas las frecuencias, se cambio muestras de concreto y se repitió el procedimiento de la toma de datos a 250 Hz hasta 1600 Hz. Este procedimiento aplicó para las 6 muestras utilizadas, de las

cuales eran 3 de diseño de mezcla sin dosificación y 3 con al dosificación adecuada.

### 3.6.2. ENSAYO DE COMPORTAMIENTO ANTE EL FUEGO

El horno con dimensiones externas de 80cm x 90cm x 70cm, el cual fue elaborado con ladrillos refractarios tipo "Tolete", esta construido sobre una estructura constituida por cilindros de concreto y una placa de concreto reforzado que sirvió como base del horno. (Ver Figura16).



*Figura 16. Horno utilizado para el Ensayo de Fuego. Fuente [Autores]*

La fuente de calentamiento del horno, consistió en una llama lograda mediante una boquilla alimentada con gas propano cuya intensidad se reguló manualmente.

Para el control de la temperatura se le adecuó una termocupla tipo K con la que se midió y controló la temperatura de la llama que incidió sobre la cara expuesta

de la probeta. Esta termocupla se conectó a una tarjeta de adquisición de datos, la cual enviaba los datos de las temperaturas al computador. Para el registro y toma de datos se utilizó un programa elaborado en Labview 8.5, el cual permitió ver los datos de la temperatura de la llama y la temperatura interna de la probeta. Este programa suministra la temperatura con respecto al tiempo mediante una curva de calentamiento patrón, la cual mostró el calentamiento que se debía llevar en los ensayos de exposición a fuego, según la norma ISO 834.

Para comenzar, se ubicó la probeta a exponer dentro del horno, luego se conectaron todas las termocuplas en la tarjeta de adquisición y por medio del programa mencionado se verificaba si las mediciones de temperatura antes de comenzar la prueba correspondían a las condiciones ambientales. Después de comprobar las temperaturas iniciales, se dio inicio al calentamiento con una llama considerablemente baja y simultáneamente se puso en marcha el programa con el fin de tener un control de la temperatura con relación al tiempo, buscando seguir el calentamiento indicado por la curva patrón.



*Figura 17. Labview 8.5. Fuente [Autores]*

La temperatura fue controlada mediante la válvula de salida del cilindro del gas, buscando siempre mantener una llama con temperatura acorde a la curva patrón. Una vez conseguida la temperatura de ensayo esta se mantuvo constante durante una hora para los respectivos ensayos de 200, 400, 600, 800 y 1000°C

Una vez terminado el ensayo, las probetas expuestas se dejaron enfriar dentro del horno durante aproximadamente 30 a 40 minutos, luego se sacaron del horno y se dejaron a temperatura ambiente, para ser ensayadas posteriormente a compresión.



*Figura 18. Horno Refractario. Fuente: [Autor]*

### 3.6.3. ENSAYO DE FLEXIÓN.

Este ensayo se realizó a las probetas que fueron elaboradas con semilla en el porcentaje elegido 30% y la muestra patrón la cual no contiene semilla, de acuerdo a la exigencia de la *I.N.V. E – 415*.

El equipo utilizado marca AMSLER, se encuentra en el Laboratorio de Caracterización de Materiales de la Universidad Industrial de Santander



*Figura 19. Equipo Marca AMSLER. Fuente: [Autor]*

Se toman tres medidas a lo largo de cada dimensión (una en cada borde y una en el centro) con una precisión de 1.3 mm (0.05") para determinar el ancho y la altura promedio de la viga, y el punto de fractura.

El modulo de rotura, se calcula pro medio de la ecuación 13:

$$R = \frac{3P_1L}{2bd^2} \quad (13)$$

Donde:

- R = Módulo de rotura, MPa
- P = Máxima carga aplicada indicada por la máquina de ensayo, N
- L = Longitud de la luz, mm
- b = Ancho promedio del espécimen en el punto de fractura, mm
- d = Altura promedio del espécimen, en el punto de fractura mm

Si la fractura ocurre en la zona recubierta, se debe incluir el espesor del recubrimiento en la medición, despreciando el peso de la viga.

## 4. ANÁLISIS Y RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos (con base en lo expuesto en los capítulos 2 y 3) y los análisis pertinentes. Vale la pena recordar que los ensayos y estudios realizados fueron:

- Caracterización física de la materia prima
- Diseño de mezcla (con su respectiva dosificación)
- Resistencia a la compresión.
- Tracción indirecta.
- Flexión.
- Absorción acústica (tubo de impedancia)
- Comportamiento frente al fuego.

### 4.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICA

Se calculó la gravedad específica y pesos unitarios de los agregados, la cual se muestra en la tabla 2:

GRAVEDAD ESPECIFICA Y PESOS UNITARIOS	ARENA	A. GRUESO	SEMILLA
Gravedad específica real (Adim)	2,722	2,700	3,027
Gravedad específica aparente (Adim)	2,579	2,592	2,240
Gravedad específica aparente S.S.S (Adim)	2,632	2,632	2,500
Peso unitario del agregado S.S.S. compactado (Ka/m <sup>3</sup> )	1649,666	1298,28	1525,501
Peso unitario del agregado S.S.S. suelto (Ka/m <sup>3</sup> )	1390,257	1343,65	1446,711
% de Absorción	1,042	1,543	11,607
% de Vacíos	37,313	50,665	38,980
% de humedad	1,215	0,604	5,485

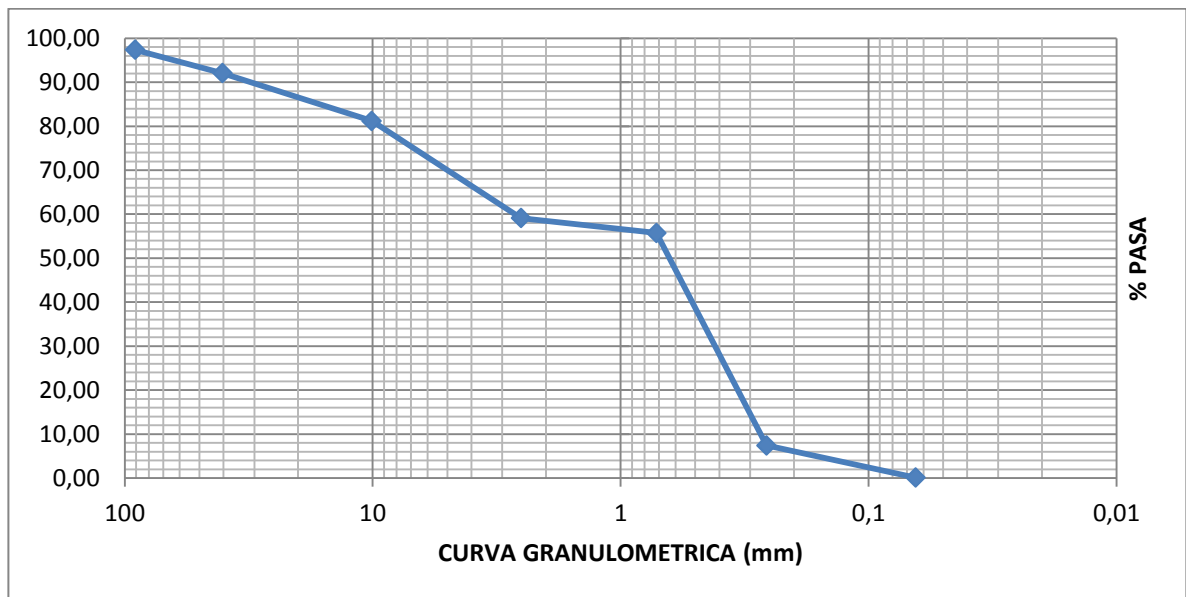
*Tabla 2. Resultados de gravedad específica y peso unitario de los agregados.*

*Fuente: [Autores]*

El porcentaje de vacíos y peso unitario se calcularon según (NTC 92), así mismo, la gravedad específica y el porcentaje de absorción del agregado fino (NTC 237) grueso y semilla (NTC 176). El porcentaje de humedad se calcula según INV E - 122.

➤ **Granulometría del Agregado Fino**

Se determinó la curva granulométrica del agregado fino y el módulo de finura por medio de la aplicación de la NTC 77. (Grafica 1)



Gráfica 1. Curva granulométrica de la arena. Fuente [Autores]

El sistema de clasificación unificada de suelos (USCS) indicó que la arena utilizada es de tipo SP Arena MAL gradada, con grava. El módulo de finura de la arena según NTC 77 es de 2.073, se encuentra en el rango de “arenas finas”.

➤ **Calculo del Modulo de Finura (MF):**

$$MF = \frac{\sum \%Retenido Acumulado desde el Tamiz N^{\circ}4 al N^{\circ}100}{100} \quad (14)$$

<b>MF</b>	<b>3,0701</b>
-----------	---------------

<b>MODULO DE FINURA</b>	
Ideal	2,8 – 3,4
Tolerable	2,7 – 3,5

*Tabla 3. Modulo de Finura. Fuente [USCS]*

Las arenas cuyo modulo de finura es inferior a 2.70, normalmente se consideran demasiado finas y son un perjudicial para esta aplicación, por que suelen requerir mayores consumo de pasta de cemento, lo cual repercute adversamente en los cambios volumétricos y en el costo del concreto. En extremo opuesto, las arenas con modulo de finura mayor de 3.50 resultan demasiado gruesas y también se les juzga inadecuadas por que tienden a producir mezclas de concreto ásperas, segregables y proclives al sangrado.

La arena ensayada en el laboratorio posee un módulo de finura de 3,07, lo que dice que es una arena de tipo SP: Arena MAL gradada.

#### ➤ **Granulometría del Agregado Grueso y Semilla**

Se determinó la granulometría del agregado grueso y la semilla y tamaño máximo por medio de la aplicación de la NTC 174, teniendo como base las tablas 4 y 5:

<b>GRUESO</b>				
<b>TAMIZ</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% RETENIDO ACUMULADO</b>	<b>% PASA</b>
<b>3/4</b>	0	0,00	0,00	100,00
<b>1/2</b>	523	4,75	4,75	95,25
<b>3/8</b>	3500	31,82	36,57	63,43
<b>N°4</b>	5490	49,91	86,48	13,52
<b>FONDO</b>	1487	13,52	100,00	0,00
<b>TOTAL</b>	11000			

*Tabla 4. Granulometría del Agregado Grueso. Fuente [Autores]*

SEMILLA				
TAMIZ	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
3/4	0	0,00	0,00	100,00
1/2	53	5,30	5,30	94,70
3/8	203	20,30	25,60	74,40
N°4	530	53,00	78,60	21,40
FONDO	214	21,40	100,00	0,00
TOTAL	1000			

*Tabla 5. Granulometría de La Semilla. Fuente [Autores]*

El agregado fino si se puede utilizar para la elaboración de concreto, brindando una buena resistencia, pues cumple con la norma NTC174.

El agregado grueso cumple todas especificaciones para este establecidas en la norma NTC 174 por lo que sí se puede utilizar para la elaboración de concreto de alta resistencia.

#### **4.2. DISEÑO DE MEZCLA**

La dosificación de los componentes básicos del concreto seria: cemento: 1, A. Fino: 1.87, A. Grueso: 2.21, con una relación de a/c de 0.58, esto se realizó a partir del Método ACI 211 en un concreto apto de 21 MPa. Detalle en el anexo B:

Al realizar los ensayos de resistencia a la muestra diseñada con sustitución de 0, 15, 30, 50 y 100%, se encontró que con la dosificación del 30% se obtuvo la resistencia de diseño más cercana a la deseada, en este caso de 21 MPa. Por

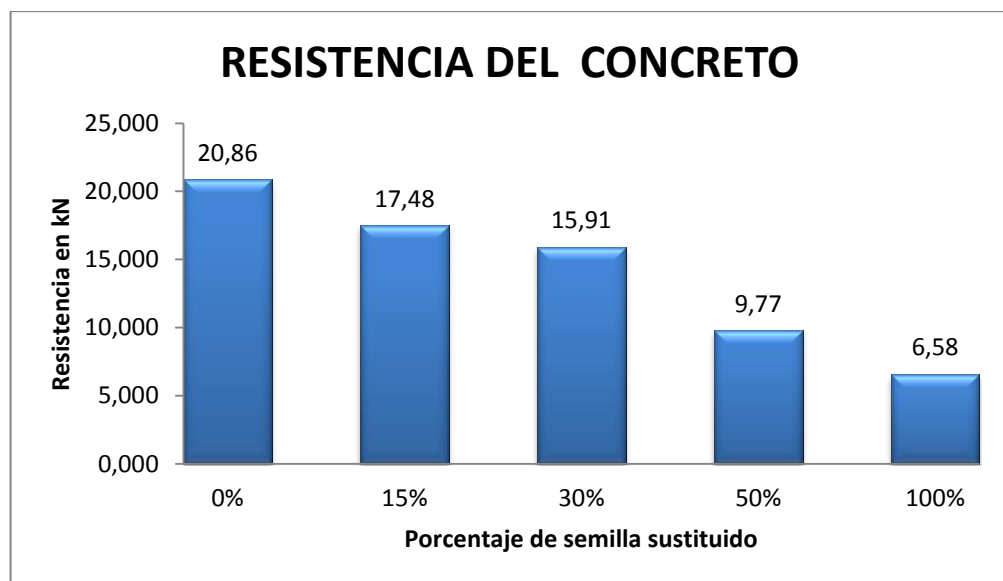
esto se propuso un nuevo diseño, aplicándolo solo para la dosificación seleccionada.

Llevando el procedimiento de diseño de mezcla, el cual se puede ver paso a paso en el Anexo B, se tiene que la dosificación de los componentes básicos del concreto sería: cemento: 1, A. Fino: 1.41, A. Grueso: 1.46, con una relación de a/c de 0.47.

### 4.3. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Al realizarse el ensayo de compresión simple a probetas de concreto (curado 28 días) con diferentes sustituciones de semilla (0%, 15%, 30%, 50%, 100%), y con base en la NTC 673 se obtuvieron los resultados mostrados en la grafica 2. Los detalles se encuentran en el *Anexo C*.

Del mismo modo, se analizo la densidad de dichas probetas.

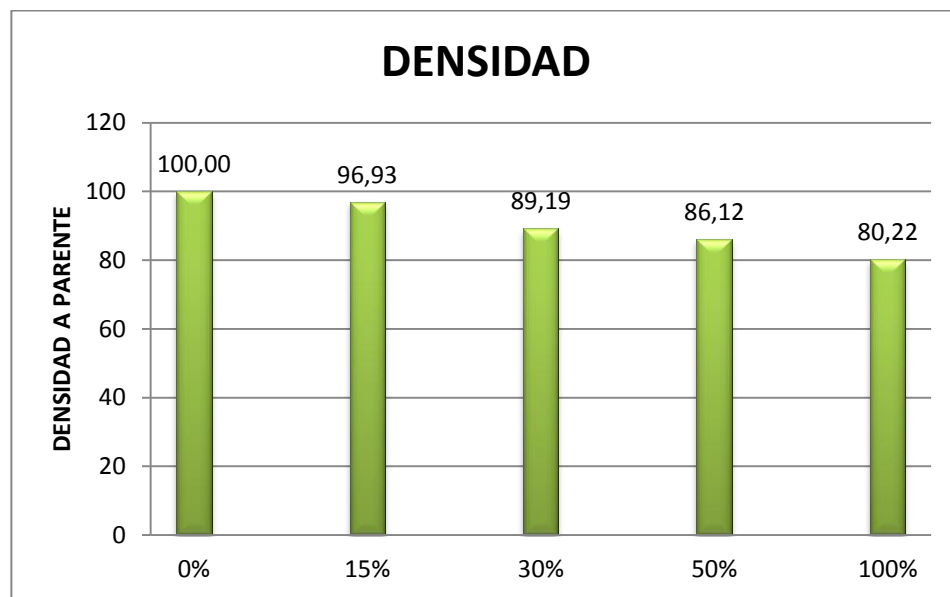


*Grafica 2. Resultados del Ensayo Resistencia a Compresión. Fuente: [Autores]*

El concreto convencional, empleado normalmente en pavimentos, edificios y en otras estructuras tiene un peso unitario (densidad), el cual varia dependiendo de

la cantidad y de la densidad relativa del agregado, de la cantidad del aire atrapado o intencionalmente incluido, y de los contenidos de agua, cemento, y a su vez se ven influenciados por el tamaño máximo del agregado. Para el diseño de estructuras de concreto, comúnmente se supone que la densidad del concreto es de 2400 kg/m<sup>3</sup>.

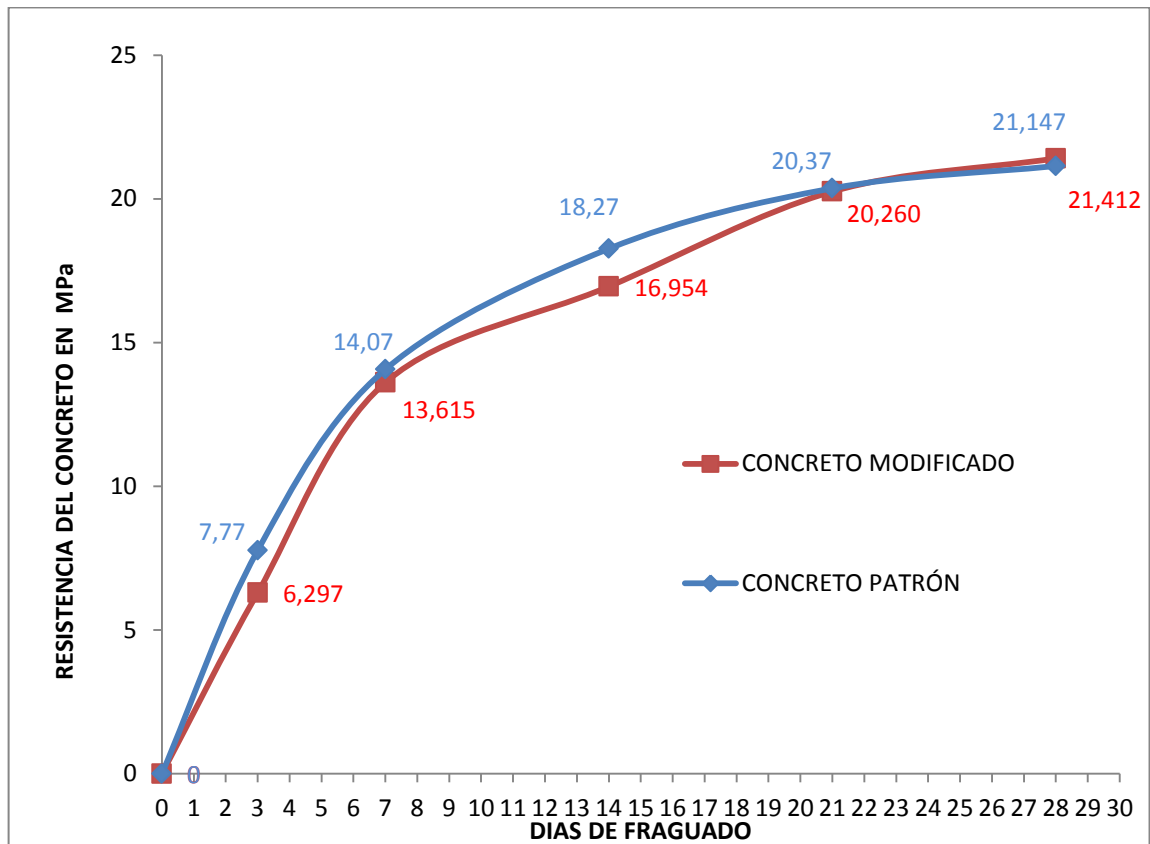
Las densidades calculadas para cada una de las probetas se muestran en la gráfica 3.



*Gráfica 3. Resultados del Cálculo de Densidad del Concreto. Fuente: [Autores]*

Analizando los datos obtenidos en los ensayos, se concluyó que en el rango de 15% y 30% existe mayor cercanía a la resistencia de diseño, detallando cuidadosamente se vio que a pesar de que la sustitución del 15% presenta mayor resistencia, no cuenta con un valor de densidad favorable. Por esto se tomó un concreto con dosificación del 30%, ya que esta presentaba mejor densidad y al hacer el ajuste en el diseño de mezcla, se alcanzaría con la resistencia deseada, en este caso 21 MPa.

Se prepararon muestras con la dosificación seleccionada, para los siguientes días: 3, 7, 14, 21 y 28, con el fin de crear una curva de comportamiento del diseño propuesto y compararlo con la muestra guía. Teniendo como resultado final lo expresado en la grafica 4.

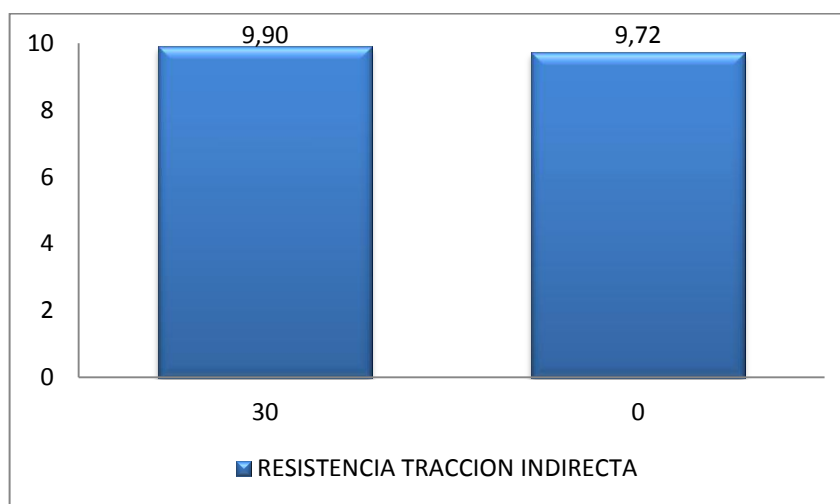


Grafica 4. Tendencia del Ensayo Resistencia a Compresión. Fuente: [Autores]

La grafica nos muestra que el diseño propuesto satisface el objetivo de diseño, pues está en el rango esperado.

#### 4.4. ENSAYO DE RESISTENCIA A TRACCIÓN INDIRECTA

Basándonos en el procedimiento y parámetro establecidos en la NTC 722, se hicieron las pruebas a los 28 días de fraguado y se obtuvieron los resultados presentados en la gráfica 5. Detalles pueden ser consultados en el *Anexos D*.



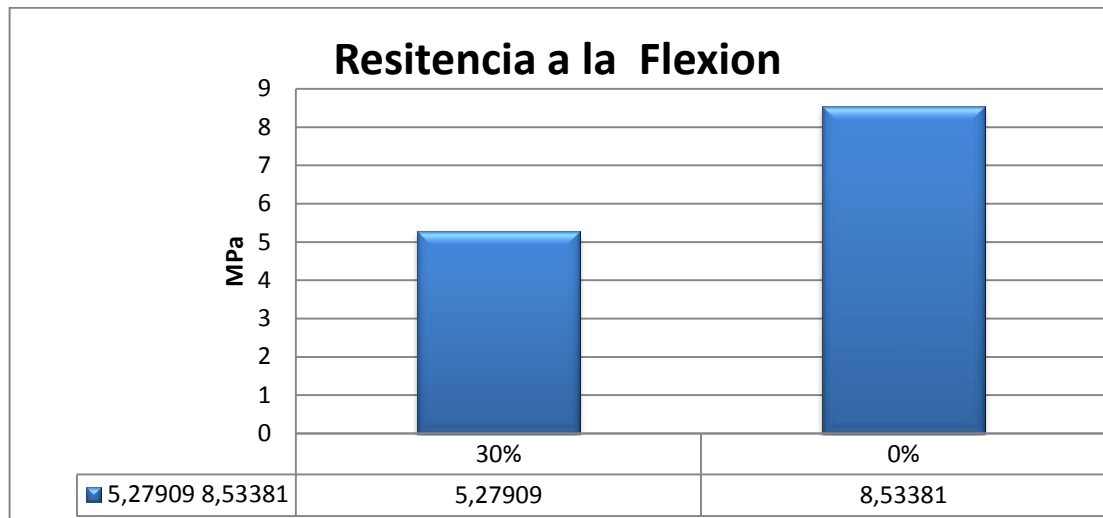
*Grafica 5. Resultados del Ensayo Tracción Indirecta. Fuente: [Autores]*

Graficando los datos, se puede ver que la mezcla con la dosificación del 30% de Semilla, presenta mayor resistencia a la mezcla patrón.

#### 4.5. ENSAYO DE FLEXIÓN

Se realizó el procedimiento descrito en el numeral 3.6.3 con el fin de determinar el módulo de rotura del concreto con semilla.

A continuación en la grafica 6, se presentan los resultados obtenidos a partir de la síntesis de los datos registrados en el *Anexo E*.

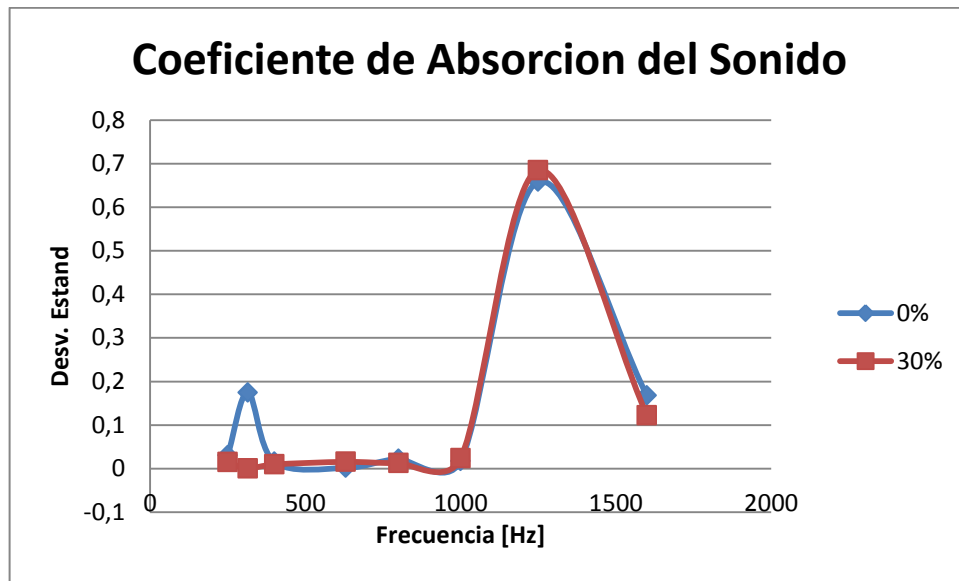


*Gráfica 6. Modulo de rotura. Fuente: [Autores]*

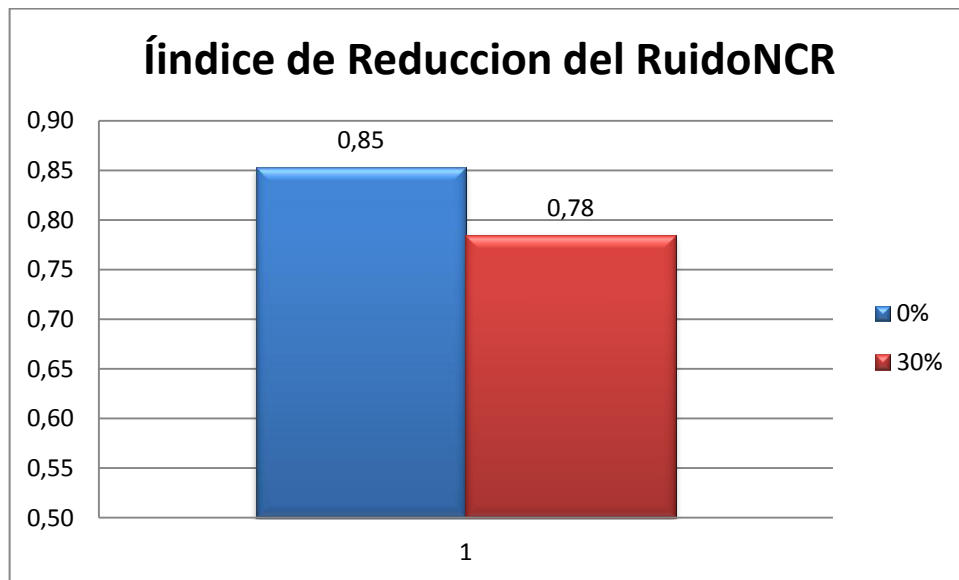
Los datos tomados arrojan un resultado concluyente y poco favorable para la dosificación, pues las probetas con la semilla no alcanzó una resistencia esperada, la cual sería cercana o superior a la mezcla guía. Para ello es necesario reforzar el espécimen para mejorar su resistencia a la flexión.

#### **4.6. ENSAYO ACÚSTICO POR EL MÉTODO DEL TUBO DE IMPEDANCIA**

Se realizó el procedimiento descrito en el numeral 4.6.1 con el fin de determinar el coeficiente de absorción acústica y el índice de reducción de ruido del concreto con semilla. A continuación se presentan los resultados obtenidos a partir de la síntesis de los datos registrados en el *Anexo F*.



Gráfica 7. Comportamiento de Muestras en el Ensayo del Tubo de Impedancia. Fuente: [Autor]



Gráfica 8. Comportamiento de Índice de Reducción del Ruido NCR. Fuente: [Autor]

Las gráficas 7 y 8 indican que la semilla de palma como agregado grueso contribuye a la misma absorción acústica del concreto, con la mezcla base, pero la

reducción del ruido es menor a dicha dosificación (0%), pero con una diferencia mínima y aceptable del 0.07.

En la figura 20, se pueden ver los rangos de valores típicos del índice de reducción de ruido, de acuerdo a los tipos de elementos arquitectónicos que se utilizan como absorbentes de sonido

ABSORBENTE	ESPESOR (PULG.)	DENSIDAD (LB/PIE <sup>3</sup> )	NCR
Paneles de fibra de vidrio o minerales	½ - 4	½ - 6	0.45 – 0.95
Losetas, paneles o tabletas moldeadas	½ - 1 1/8	8 - 25	0.45 – 0.90
Repello (poroso)	3/8 – 3/4	20 - 30	0.25 – 0.40
Fibras y aglutinantes rociados	3/8 – 1 1/8	15 - 30	0.25 – 0.75
Espumas, plásticos de celda abierta, elastómeros, etc.	½ - 2	1 - 3	0.35 – 0.90
Alfombras	Varía con ondulaciones, textura, respaldo, bajo-alfombras, etc.		0.30 – 0.60
Cortinas	Varía con pliegues, textura, peso, tejido abierto		0.10 – 0.60

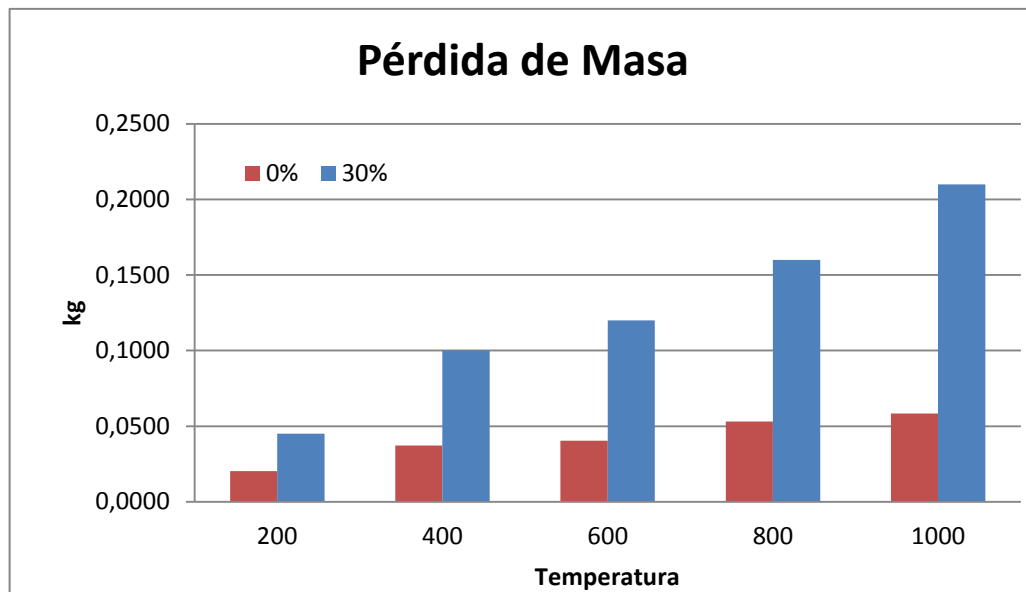
*Figura 20. Elementos Arquitectónicos Absorbentes y sus Valores Típicos del Índice de Reducción de Ruido. Espesores y Densidades. [3]*

Analizando los resultados obtenidos y la figura 19 teniendo en cuenta que se utilizó un espesor de muestra de 2 cm, podemos verificar que el concreto con semilla presenta valores de NCR que están en los rangos de elementos como paneles, losetas o tabletas.

#### 4.7. ENSAYO DE COMPORTAMIENTO ANTE EL FUEGO

El proceso de calentamiento realizado a las probetas de concreto se hizo de acuerdo a la curva característica establecida en la norma ISO 834. En el análisis se resaltaré el cambio de peso y resistencia después de ser sometidas a fuego.

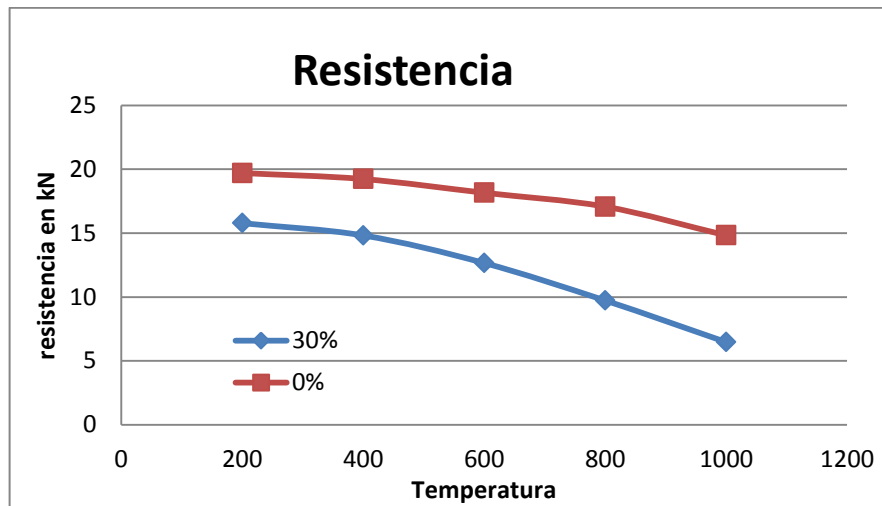
En la Grafica 9 se vera la perdida de peso de cada muestra.



*Grafica 9. Pérdida de Masa, Después de ser Sometidas a Fuego. Fuente [Autores]*

Es claro que las probetas con dosificación del 30%, presentan una pérdida de masa mayor que la muestra patrón.

En la grafica 10 se indica el comportamiento que tuvieron las muestras al ser ensayadas a compresión.



*Grafica 10. Evaluación de la Resistencia, después de ser Sometidas a Fuego.*

*Fuente [Autores]*

Al reaccionar con el fuego, la semilla pierde sus características y su resistencia notablemente, mientras que el comportamiento de las probetas de la mezcla patrón es más aceptable.

A medida que el fuego aumenta, la mezcla con dosificación tiene una caída en su resistencia mayor a la que presenta la mezcla patrón.



*Figura 21. Probetas con Dosificación Después de ser Expuestas al Fuego. Fuente [Autores]*

En la figura 21 se puede ver que si la semilla entra en contacto directo con el fuego reacciona y trabaja como combustible, alimentando la llama.

## 5. CONCLUSIONES

A pesar de que la sustitución del 15% presenta mayor resistencia, no cuenta con un valor de densidad favorable. Por esto se tomó un concreto con dosificación del 30%, ya que esta presentaba mejor densidad y al hacer el ajuste en el diseño de mezcla, se alcanzaría con la resistencia deseada, en este caso 21 MPa. Por esto se recomienda una dosificación del 30% de semilla como agregado grueso en el diseño de mezcla, para tener una densidad aceptable y una resistencia de 21 Mpa.

En el módulo de rotura, a mezcla con dosificación del 30%, muestra resultados concluyentes y poco favorables, pues dichas probetas no alcanzan una resistencia esperada, la cual sería cercana o superior a la mezcla guía. Caso contrario se presenta en su comportamiento durante la prueba de tracción indirecta, la cual a partir de una configuración de carga constante provoca un esfuerzo de tracción relativamente uniforme en todo el diámetro del plano de carga vertical, agotando la probeta y desencadena la rotura en el plano diametral, presentando mayor resistencia que la esperada

La semilla de palma, como agregado grueso mantiene la absorción acústica del concreto simple. Se presentó un índice (sin redondeo) de 0.78 para el 30% de sustitución, en comparación con un NCR igual a 0.85 sin remplazo. A pesar de que fue mayor el NCR de la mezcla base, la mezcla con sustitución de semilla se encuentra en un rango favorable y aceptable, no muy lejos de la realidad. Se obtuvieron resultados favorables al utilizar frecuencias de 250, 315, 400, 630, 800, 1000, 1250 y 1600 Hz para cada probeta, en el tubo de impedancia con el cual se realizó el estudio de las propiedades acústicas, determinándose índices de

reducción de ruido NCR en base a los coeficientes de absorción, que comparados con valores teóricos, estaban dentro de los rangos típicos de reducción acústica de algunos elementos de construcción absorbentes.

De esta investigación se puede concluir que el fuego es un agente de ataque muy agresivo para el concreto modificado con semilla de palma, pues no se presenta favorable la utilización de la semilla en ninguna proporción, debido a que al entrar en contacto con el fuego, se convierte en material combustible y le proporciona un deterioro severo en su estructura ocasionándole daños internos que afectan su durabilidad. Hasta donde los autores tienen conocimiento, la caracterización de respuesta al fuego no se encuentra reportada en la literatura relevante relacionada con este trabajo.

## RECOMENDACIONES

Es recomendable que la mezcla sea recubierta con un aislante térmico para que pueda evitar daños en la estructura en caso de un incendio.

El diseñador estructural deberá estar seguro de las limitaciones que presenta este material. En caso de usarlo como elemento estructural deberá castigarlo con factor de seguridad o compensarlo con mayor volumen de acero.

Tomar mayores tiempos de curado, que involucren mayor cantidad de muestras para caracterizar el material de manera completa. Se recomienda comprobar resistencia a la compresión a 56, 120, 180, 240 y 360 días.

Plantear ensayos que consideren la totalidad de los ataques que podría sufrir una estructura con mezcla modificada, siendo complementados con modelos matemáticos que simulen los procesos de deterioro.

La semilla deberá ser procesada químicamente para retirar el material vegetal y poder analizar su durabilidad de una manera completa.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] RAMIREZ, Gloria y SALAZAR, Lady. Hormigones de alto desempeño, caso de estudio: hormigón auto- compactante. Guayaquil, 2009, 8p. Artículo de Tesis de Grado. Escuela Superior POLITÉCNICA DEL LITORAL, Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra.
- [2] MARCHAND, J. Modeling the Behavior of Unsaturated Cement Systems Exposed to Aggressive Chemical Environments, Materials and Structures. En: RILEM, Vol. 34, No. 230, (2001). P. 195-200.
- [3] RODRIGUEZ, [Documento electrónico] Marcelo et al. Medida del coeficiente de absorción acústica. Estimación de la velocidad del sonido en el aire. Universidad de SEVILLA y CATÁLOGO CHILENO DE LA CONSTRUCCIÓN. Mecanismos de aislación térmica y acústica en edificios. Cámara Chilena de la construcción (2007).
- [4] SANCHEZ DE GUZMÁN, Diego. Tecnología y Propiedades. 2 ed. Bogotá: Instituto del Concreto, 1997. 215 p. (Colección básica del concreto; no. 1)
- [5] Conceptos Básicos del Concreto: Propiedades del Concreto. [Documento electrónico]. México D.F. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. (Julio. 2004) <<http://www.imcyc.com/cyt/julio04/CONCEPTOS.pdf>>
- [6] Diego Sánchez De Guzmán, "Tecnología Y Propiedades Del Concreto", Cap. 11 "Diseño De Mezclas De Concreto De Peso Normal" Pag. 187-213
- [7] GONZÁLES, Manuel. Características de los Cementos Portland en Norteamérica. [Documento electrónico]. Lima. Asociación de Productores de Cemento, 1997.

[http://www.asocem.org.pe/SCMRoot/bva/f\\_doc/cemento/MGC43\\_cementos\\_norte\\_america.pdf](http://www.asocem.org.pe/SCMRoot/bva/f_doc/cemento/MGC43_cementos_norte_america.pdf)

[8] BOYD, A.J.; MINDESS, S. y SKALNY, J. Designing concrete for durability. En: Materiales de Construcción. Vol. 51, no. 263–264. (2001). P. 37–53. ISSN

[9] Cuesco De Palma Africana (Documento electrónico) Palma de Aceite - <http://www.fedepalma.org/palma.htm>

[10] Características Del Cuesco De Palma Africana- (Documento electrónico), visitado el 13 de Abril de 2013

[http://www.hort.purdue.edu/newcrop/nexus/Elaeis\\_guineensis\\_nex.html](http://www.hort.purdue.edu/newcrop/nexus/Elaeis_guineensis_nex.html)

[11] Transformación Del Cuesco De Palma Africana- (Documento electrónico), visitado en Abril de 2013.

[http://www.coinvertir.com/documentos/PalmadeAceitePS\\_10\\_40\\_25.doc](http://www.coinvertir.com/documentos/PalmadeAceitePS_10_40_25.doc)

[12] CLASIFICACIÓN DE CONCRETOS POR SU RESISTENCIA. < Disponible en: <http://www.imcyc.com/concretohistoria/resistencia.htm>> visitada en abril de 2013.

[13] Bazant, Z. P. And Kaplan, M. F. “Concrete at High Temperatures. Material properties and mathematical models”. Concrete Design & Construction Series, Longman, 1996,p.412.

[14] Di Maio, Ferreyra Hirschi, Giaccio Y Zerbino, “Hormigones Expuestos A Altas Temperaturas: Evaluación De La Permeabilidad Y Otras Propiedades Físicas”

[15] Pruebas No Destructivas (Documento electrónico) “vpu E le En La Evaluación De Concreto Sometido A Altas Temperaturas”

[16] KUMAR MEHTA P. y MONTEIRO Paulo J.M, CONCRETE Microstructure, Properties and Materials, Edition THIRD, p. 150.

[17] Ensayo De Tracción Indirecta (Documento Electrónico), Visitado En Abril De 2013 [Http://Upcommons.Upc.Edu/Pfc/Bitstream/2099.1/3324/8/55872-8.Pdf](http://Upcommons.Upc.Edu/Pfc/Bitstream/2099.1/3324/8/55872-8.Pdf).

[18] El aislamiento acústico en las edificaciones. [Documento electrónico]. México D.F. NOVIDESA. Boletín Técnico N° 3. (Diciembre. 2007)  
[http://www.novidesa.com.mx/uploads/boletin\\_tecnico\\_3.pdf](http://www.novidesa.com.mx/uploads/boletin_tecnico_3.pdf)

[18] El aislamiento acústico en las edificaciones. [Documento electrónico]. México D.F. NOVIDESA. Boletín Técnico N° 3. (Diciembre. 2007)  
[http://www.novidesa.com.mx/uploads/boletin\\_tecnico\\_3.pdf](http://www.novidesa.com.mx/uploads/boletin_tecnico_3.pdf)

[20] CASAL, Jordi y MATEU, Enric. Tipos de muestreo. En: Rev. Epidem. Med. Prev. Vol. 1. P. 3-7. Universidad AUTÓNOMA DE BARCELONA. [Documento electrónico] <http://minnie.uab.es/~veteri/21216/TiposMuestreo1.pdf>

[21] CASTAÑEDA, Jaime y GONZÁLEZ Álvaro. Medición del coeficiente de absorción del sonido. En: Scientia et Technica Año X, No 25, Agosto (2004). Universidad TECNOLÓGICA DE PEREIRA. ISSN.

## NORMAS TECNICAS

[22] \_\_\_NTC 673 (2010) Concretos. Ensayo de Resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

[23] \_\_\_NTC 121 (1982) Cemento Portland. Especificaciones físicas y mecánicas. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

[24] \_\_\_NTC 92 (1995) Determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas o agregados. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

[25] \_\_\_NTC 176 (1995) Método de ensayo para determinar la densidad y la absorción del agregado grueso. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

[26] \_\_\_NTC 237 (1995) Método de ensayo para determinar la densidad y la absorción del agregado fino. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

[27] \_\_\_NTC 77 (2007)Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

[28] \_\_\_NTC 1377 (1994) Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos de laboratorio. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

[29] \_\_\_NTC 722 Concretos. Ensayo de Resistencia a la tracción indirecta de especímenes cilíndricos de concreto. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

[30] \_\_\_ NTC 30 Cementos Pórtland. Clasificación y Nomenclatura. NTC - Norma Técnica Colombiana.

[31] \_\_\_ ASTM C33-01. Standard Specification for Concrete Aggregates. Philadelphia, USA, 2001.

[32] \_\_\_ ISO 834 (1975). "Fire Resistance Test - Element of Building, Construction" ISO - International Organization for Standardization.

## ANEXOS

### ANEXO A: CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

#### A1. DENSIDAD DEL CEMENTO

DENSIDAD DEL CEMENTO HIDRAULICO (ARGOS T-1)		
PRUEBA No.1		
Peso de la muestra de cemento	65	grs
Volumen inicial (Vo)	0.7	ml
Volumen final (Vf)	23	ml
Volumen (V = Vf - Vo)	22.3	ml
Peso específico (Pe = W / V)	2.915	g/ml

DENSIDAD DEL CEMENTO HIDRAULICO (ARGOS T-1)		
PRUEBA No.2		
Peso de la muestra de cemento	65	grs
Volumen inicial (Vo)	0.3	ml
Volumen final (Vf)	21.7	ml
Volumen (V = Vf - Vo)	21.4	ml
Peso específico (Pe = W / V)	3.037	g/ml

DENSIDAD DEL CEMENTO HIDRAULICO (ARGOS T-1)		
PRUEBA No.3		
Peso de la muestra de cemento	65	grs
Volumen inicial (Vo)	0.4	ml
Volumen final (Vf)	21.35	ml
Volumen (V = Vf - Vo)	20.95	ml
Peso específico (Pe = W / V)	3.103	g/ml

DENSIDAD DEL CEMENTO HIDRAULICO (ARGOS T-1)		
PRUEBA No.4		
Peso de la muestra de cemento	65	grs
Volumen inicial (Vo)	0.2	ml
Volumen final (Vf)	22.5	ml
Volumen (V = Vf - Vo)	22.3	ml
Peso específico (Pe = W / V)	2.915	g/ml

MEDIDA DE VOLUMEN EN EL FRASCO DE LECHATIER	
t (min)	V (ml)
0	0.4
3	0.3
6	0.3

MEDIDA DE VOLUMEN CON EL CEMENTO (PRUEBA 2)	
t (min)	V (ml)
0	21.8
3	21.7
6	21.7

MEDIDA DE VOLUMEN EN EL FRASCO DE LECHATIER	
t (min)	V (ml)
0	0.8
3	0.7
6	0.6
9	0.7
12	0.7

MEDIDA DE VOLUMEN CON EL CEMENTO (PRUEBA 1)	
t (min)	V (ml)
0	23.3
3	22.9
6	23
9	23

MEDIDA DE VOLUMEN EN EL FRASCO DE LECHATIER	
t (min)	V (ml)
0	0.4
3	0.3
6	0.2
9	0.2

MEDIDA DE VOLUMEN CON EL CEMENTO (PRUEBA 1)	
t (min)	V (ml)
0	22.8
3	22.5
6	22.5

## A2. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DEL AGUA UTILIZADA EN LA MEZCLA, SUMINISTRADO POR EL ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA

No Aplica F CC 507-006 Rev.:0		CALIDAD FÍSICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA PROMEDIO MENSUAL DEL AGUA TRATADA RED DE DISTRIBUCIÓN																		
LABORATORIO DE CONTROL CALIDAD AGUAS																				
MUNICIPIO:		BUCARAMANGA				AÑO:		2012												
PARAMETROS  MES	Parámetros Físicoquímicos												Parámetros Microbiológicos					Σ IRCA MENSUAL		
	No. Muestras Físicoquímicas	Cloro residual mg Cl <sub>2</sub> /L	Turbiedad UNT	Color Aparente Unidades Pt-Co	Unidades de pH	Olor y Sabor 0: Aceptable 1: No Aceptable	Aluminio mg Al/L	Alcalinidad mg CaCO <sub>3</sub> /L	Dureza mg CaCO <sub>3</sub> /L	Cloruros mg Cl/L	Sulfatos mg SO <sub>4</sub> /L	Hierro mg Fe/L	Nitratos mg NO <sub>3</sub> /L	Nitritos mg NO <sub>2</sub> /L	No. de Muestras Microbiológicas	Muestras Positivas Coliformes Totales	% Aceptabilidad Coliformes Totales		Muestras positivas E. Coli	% Aceptabilidad E. Coli
Enero	90	1,02	0,54	1,3	7,27	0	0,04	49,0	63,9	3,3	22,8	N.D.	1,5	N.D.	180	0	100	0	100	0,00
Febrero	87	0,90	1,30	8,2	7,30	0	0,12	47,9	57,5	2,2	14,4	N.D.	1,3	N.D.	174	0	100	0	100	0,66
Marzo	93	0,93	1,08	6,0	7,26	0	0,08	46,0	68,6	3,4	17,0	N.D.	1,6	N.D.	186	0	100	0	100	0,30
Abril	87	0,91	1,13	7,2	7,20	0	0,05	39,5	66,1	3,1	20,0	N.D.	1,7	N.D.	174	0	100	0	100	0,80
Mayo	93	0,92	1,35	8,6	7,16	0	0,06	41,7	81,0	2,7	20,4	N.D.	1,2	N.D.	186	0	100	0	100	0,83
Junio	90	0,92	0,84	5,0	6,94	0	0,07	48,5	72,1	2,7	20,6	N.D.	1,2	N.D.	180	0	100	0	100	0,10
Julio	93	0,87	1,08	6,4	7,42	0	0,08	50,4	75,3	3,3	23,1	N.D.	1,2	N.D.	186	0	100	0	100	0,58
Agosto	93	0,87	1,30	6,7	7,23	0	0,09	45,4	62,8	2,7	21,7	N.D.	1,4	N.D.	186	0	100	0	100	0,41
Septiembre	90	0,86	1,11	6,1	7,25	0	0,08	49,2	69,4	3,1	33,1	N.D.	1,2	N.D.	180	0	100	0	100	0,61
Octubre	93	0,88	1,24	6,9	7,09	0	0,08	43,5	66,2	2,7	28,4	N.D.	1,2	N.D.	186	0	100	0	100	0,98
Noviembre	90	0,90	1,15	6,7	7,25	0	0,08	47,2	66,7	2,6	25,0	N.D.	1,2	N.D.	180	0	100	0	100	0,61
Diciembre	90	0,94	1,21	7,2	7,39	0	0,07	50,3	72,8	4,0	29,7	N.D.	1,0	N.D.	180	0	100	0	100	0,73
PROMEDIO	91	0,91	1,11	6,4	7,23	0	0,08	46,6	68,5	3,0	22,9	N.D.	1,3	N.D.	182	0,0	100	0,0	100	0,55
RES. 2115/07	3/día	0,3-2,0	≤2	≤15	6,5-9,0	ACEP	0,2	200	300	250	250	0,3	10	0,1	6/día	0	100	0	100	0 - 5
Convenciones:	mg/L: miligramos por litro UNT: Unidades Nefelométricas de Turbiedad Unidades Pt-Co: Unidades de Platino Cobalto IRCA: Índice de Riesgo de Calidad del Agua ND: No Detectable																			
Nota:	El IRCA promedio, determinado en este periodo con los parámetros ensayados y establecidos en la Resolución 2115 de 2007, clasifica el agua "sin riesgo" y "apta para el consumo humano"																			

## A3. CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS

Para los agregados gruesos (Triturado y semilla) y los agregados finos se determinaron las siguientes propiedades.

- Gravedades específicas
- Peso unitario
- % de absorción
- % de vacíos.

Las tablas que muestran los resultados, se muestran a continuación:

AGREGADO FINO				
<b>GRAVEDADES ESPECIFICAS</b>				
A=	Peso del frasco + Agua hasta la marca, en el aire	650	Gramos	
B=	Peso de la muestra en condiciones S.S.S. en el aire	500	Gramos	
C=	Peso de la muestra, frasco y agua agregada hasta la marca en aire	960	Gramos	
D=	Peso de la muestra seca al horno	490	Gramos	
<b>CALCULOS</b>				
Gravedad especifica real=	$D/(A-C+D)$	2,72	Adim	
Gravedad especifica aparente=	$D/(A+B-C)$	2,58	Adim	
Gravedad especifica aparente S.S.S.=	$B/(A+B-C)$	2,63	Adim	E**
<b>PESO UNITARIO</b>				
<b>CALIBRACION DEL MEDIDOR</b>				
P1=	Peso del medidor + Vidrio	3000	Gramos	
P2=	Peso del medidor + Vidrio + Agua	5843	Gramos	
V=	Volumen del medidor $(P2-P1)/1000$	2,843	dcm <sup>3</sup>	
<b>DATOS</b>				
Pm=	Peso del medidor Vacío	2530	Gramos	
Pc=	Peso del medidor + material S.S.S compactado	7220	Gramos	
Ps=	Peso del medidor + material S.S.S suelto	6482,5	Gramos	
Peso unitario del agregado S.S.S. compactado	$(Pc-Pm)/V$	1649,67	Kg/m <sup>3</sup>	F**
Peso unitario del agregado S.S.S. suelto	$(Ps-Pm)/V$	1390,26	Kg/m <sup>3</sup>	
% de Absorción	$((B-D)*100)/C$	1,042	%	
% de Vacíos	$(E*1000-F)/(E*10)$	37,313	%	
<b>% de Humedad</b>				
Peso de la tara (Wt)		300	Grs	
Peso de la muestra húmeda (Wmh)		500	Grs	
Peso de la tara + Peso muestra húmeda (Wt + Wmh)		800	Grs	
Peso de la tara + Peso muestra seca al horno (Wt + Wms)		794	Grs	
% de humedad	$H=((Wt+Wmh)-(Wt+Wms))/((Wt+Wms)-Wt)*100$	1,21	%	

AGREGADO GRUESO				
<b>GRAVEDADES ESPECIFICAS</b>				
A=	Peso de la muestra en condiciones S.S.S. en el aire	5000	Gramos	
Pa=	Peso de la canasta, sumergida en agua	1800	Gramos	
Pb=	Peso de la canasta + muestra S.S.S, sumergida en agua	4900	Gramos	
B=	Peso de la muestra en agua (Pb-Pa)	3100	Gramos	
C=	Peso de la muestra secada en el horno	4924	Gramos	
<b>CALCULOS</b>				
Gravedad especifica real=	$C/(C-B)$	2,70	Adim	
Gravedad especifica aparente=	$C/(A-B)$	2,59	Adim	
Gravedad especifica aparente S.S.S=	$A/(A-B)$	2,63	Adim	D**
<b>PESO UNITARIO</b>				
<b>CALIBRACION DEL MEDIDOR</b>				
P1=	Peso del medidor + Vidrio	3000	Gramos	
P2=	Peso del medidor + Vidrio + Agua	5843	Gramos	
V=	Volumen del medidor $(P2-P1)/1000$	2,843	dc <sup>m</sup> ^3	
<b>DATOS</b>				
Pm=	Peso del medidor Vacío	2530	Gramos	
Pc=	Peso del medidor + material S.S.S compactado	6221	Gramos	
Ps=	Peso del medidor + material S.S.S suelto	6350	Gramos	
Peso unitario del agregado S.S.S. compactado	$(Pc-Pm)/V$	1298,28	Kg/m <sup>3</sup>	E**
Peso unitario del agregado S.S.S. suelto	$(Ps-Pm)/V$	1343,65	Kg/m <sup>3</sup>	
% de Absorción	$((A-C)*100)/C$	1,543	%	
% de Vacíos	$(D*1000-E)/(D*10)$	50,665	%	
<b>% de Humedad</b>				
Peso de la tara (Wt)		343,6	grs	
Peso de la muestra húmeda (Wmh)		1000	grs	
Peso de la tara + Peso muestra húmeda (Wt + Wmh)		1343,6	grs	
Peso de la tara + Peso muestra seca al horno (Wt + Wms)		1337,6	grs	
% de humedad	$H=((Wt+Wmh)-(Wt+Wms))/((Wt+Wms)-Wt)*100$	0,604	%	

SEMILLA				
<b>GRAVEDADES ESPECIFICAS</b>				
A=	Peso de la muestra en condiciones S.S.S. en el aire	5000	Gramos	
Pa=	Peso de la canasta, sumergida en agua	1800	Gramos	
Pb=	Peso de la canasta + muestra S.S.S, sumergida en agua	4800	Gramos	
B=	Peso de la muestra en agua (Pb-Pa)	3000	Gramos	
C=	Peso de la muestra secada en el horno	4480	Gramos	
<b>CALCULOS</b>				
Gravedad especifica real=	$C/(C-B)$	3,03	Adim	
Gravedad especifica aparente=	$C/(A-B)$	2,24	Adim	
Gravedad especifica aparente S.S.S=	$A/(A-B)$	2,50	Adim	D**
<b>PESO UNITARIO</b>				
<b>CALIBRACION DEL MEDIDOR</b>				
P1=	Peso del medidor + Vidrio	3000	Gramos	
P2=	Peso del medidor + Vidrio + Agua	5843	Gramos	
V=	Volumen del medidor $(P2-P1)/1000$	2,843	dcm <sup>3</sup>	
<b>DATOS</b>				
Pm=	Peso del medidor Vacío	2530	Gramos	
Pc=	Peso del medidor + material S.S.S compactado	6867	Gramos	
Ps=	Peso del medidor + material S.S.S suelto	6643	Gramos	
Peso unitario del agregado S.S.S. compactado	$(Pc-Pm)/V$	1525,50	Kg/m <sup>3</sup>	E**
Peso unitario del agregado S.S.S. suelto	$(Ps-Pm)/V$	1446,71	Kg/m <sup>3</sup>	
% de Absorción	$((A-C)*100)/C$	11,607	%	
% de Vacíos	$(D*1000-E)/(D*10)$	38,980	%	
<b>% de Humedad</b>				
Peso de la tara (Wt)		343,6	grs	
Peso de la muestra húmeda (Wmh)		1000	grs	
Peso de la tara + Peso muestra húmeda (Wt + Wmh)		1343,6	grs	
Peso de la tara + Peso muestra seca al horno (Wt + Wms)		1291,6	grs	
% de humedad	$H=(((Wt+Wmh)-(Wt+Wms)))/((Wt+Wms)-Wt)*100$	5,485	%	

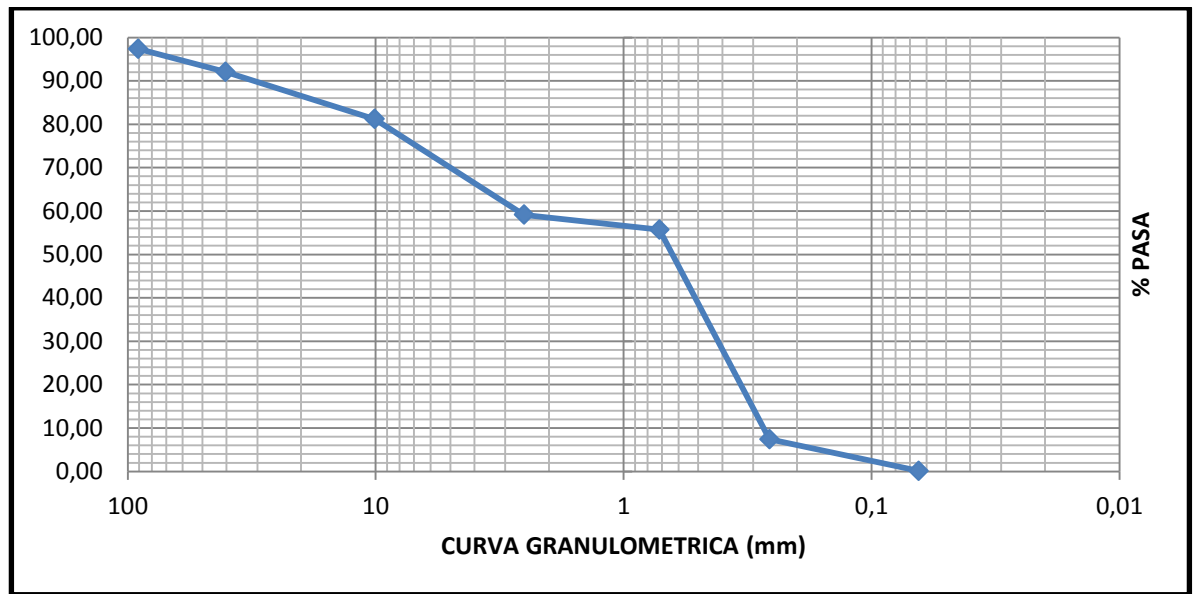
#### A4. GRANULOMETRÍA Y MÓDULO DE FINURA DEL AGREGADO FINO

ARENA				
TAMIZ	PESO RETENIDO (Grs)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
3/8	1,2	0,12	0,12	99,88
N°4	26,3	2,63	2,63	97,37
N° 8	53	5,30	7,93	92,07
N°16	109	10,90	18,83	81,17
N°30	220,5	22,05	40,88	59,12
N°50	34	3,40	44,28	55,72
N°100	483	48,30	92,58	7,42
FONDO	73	7,30	100	0
TOTAL	1000			

#### GUIÁNDONOS PRO EL SISTEMA DE CLASIFICACIÓN USCS:

- % pasa n° 200 > 50% Suelo Grueso
- % pasa n° 4 > 50% Arena
- %pasa n° 200 < 5% Arena SW o SP

Las arenas cuyo modulo de finura es inferior a 2.70, normalmente se consideran demasiado finas y son un perjudicial para esta aplicación, por que suelen requerir mayores consumo de pasta de cemento, lo cual repercute adversamente en los cambios volumétricos y en el costo del concreto. En extremo opuesto, las arenas con modulo de finura mayor de 3.50 resultan demasiado gruesas y también se les juzga inadecuadas por que tienden a producir mezclas de concreto ásperas, segregables y proclives al sangrado.



$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}; \quad Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}} \Rightarrow \text{bien gradado cuando } \begin{cases} Cu > 4 \text{ a } 6 \\ 1 < Cc < 3 \end{cases}$$

<b>D60</b>	1,25
<b>D30</b>	0,42
<b>D10</b>	0,28
<b>Cu</b>	4,46
<b>Cc</b>	0,504

$$MF = \frac{\sum \% \text{Retenido Acumulado desde el Tamiz N}^\circ 4 \text{ al N}^\circ 100}{100}$$

<b>MF</b>	3,0701
-----------	--------

<b>MODULO DE FINURA</b>	
Ideal	2,8 – 3,4
Tolerable	2,7 – 3,5

La arena ensaya en el laboratorio posee un modulo de finura de 3,07, lo que dice que es una arena.

#### A5. GRANULOMETRÍA Y CLASIFICACIÓN DEL TAMAÑO DEL AGREGADO GRUESO

GRUESO				
TAMIZ	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
3/4	0	0,00	0,00	100,00
1/2	523	4,75	4,75	95,25
3/8	3500	31,82	36,57	63,43
N°4	5490	49,91	86,48	13,52
FONDO	1487	13,52	100,00	0,00
TOTAL	11000			

VOLUMEN DE GRAVA POR UNIDAD DE VOLUMEN DE CONCRETO (b/bo)					
MAXIMO TAMAÑO NOMINAL DE LOS AGREGADOS		Volumen de agregado grueso secado en el horno por unidad de volumen de concreto para diferentes MF del agregado fino			
		MODULO DE FINURA			
PULGADAS	mm	2,40	2,60	2,80	3,00
3/8	9,51	0,50	0,48	0,46	0,44
1/2	12,50	0,59	0,57	0,55	0,53
3/4	19,10	0,66	0,64	0,62	0,60
1	25,40	0,71	0,69	0,67	0,65
1 1/2	38,10	0,75	0,73	0,71	0,69
2	50,80	0,78	0,76	0,74	0,72
3	76,10	0,82	0,80	0,78	0,76
6	152,40	0,87	0,85	0,83	0,81

Concluyendo de la granulometría elaborada, el máximo tamaño nominal de los agregados a trabajar es de 3/8, por ende el modulo de finura seria 2,8 basados sobre agregados en condiciones de secado y de igual manera para la Semilla, pues cuenta con características similares.

<b>SEMILLA</b>				
<b>TAMIZ</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% RETENIDO ACUMULADO</b>	<b>% PASA</b>
<b>3/4</b>	0	0,00	0,00	100,00
<b>1/2</b>	53	5,30	5,30	94,70
<b>3/8</b>	203	20,30	25,60	74,40
<b>N°4</b>	530	53,00	78,60	21,40
<b>FONDO</b>	214	21,40	100,00	0,00
<b>TOTAL</b>	1000			

El calculo del tamaño nominal se hallara basándonos en al tabla N° 2 de la NTC 174 figura 22.

Tabla 2. Requisitos de gradación para agregado grueso

Número del tamaño del agregado	Tamaño nominal (tamices de abertura cuadrada)	Material que pasa uno de los siguientes tamices (porcentaje en masa)												
		100 mm	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37,5 mm	25,0 mm	19,0 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm (No.4)	2,36 mm (No.8)	1,18 mm (No.16)
1	90 mm a 37,5 mm	100	90-100	-	25-60	-	0-15	-	0-5	-	-	-	-	-
2	63 mm a 37,5 mm	-	-	100	90-100	0-15	0-15	0-5	0-5	-	-	-	-	-
3	50 mm a 25,0 mm	-	-	-	100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-	-	-
357	50 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	100	95-100	35-70	-	10-30	-	0-5	-	-	-
4	37,5 mm a 19,0 mm	-	-	-	-	100	90-100	0-15	0-5	0-5	-	-	-	-
467	37,5 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	100	95-100	20-55	10-30	0-5	-	-	-	-
5	25,0 mm a 12,5 mm	-	-	-	-	-	90-100	0-15	0-5	0-5	-	-	-	-
56	25,0 mm a 9,5 mm	-	-	-	-	-	100	90-100	0-10	0-5	-	-	-	-
57	25,0 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	-	100	90-100	0-15	0-5	-	-	-	-
6	19,0 mm a 9,5 mm	-	-	-	-	-	100	40-85	0-10	0-5	-	-	-	-
67	19,0 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	-	100	90-100	0-10	0-5	-	-	-	-
7	12,5 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	-	100	90-100	0-15	0-5	-	-	-	-
8	9,5 mm a 2,36 mm (No.8)	-	-	-	-	-	-	90-100	40-70	0-15	-	-	-	-
								100	85-100	10-30	0-10	0-5	0-5	0-5

Figura 22. Requisitos de gradación para agregado grueso.



Ahora teniendo el diseño base, se varía el agregado grueso con la semilla de palma, en dosificación de volumen y se tienen los siguientes resultados de diseño de mezcla.

<b>Volumen</b>	0,0019
	$(20*((5,08)^2)*\pi)/(100^3)$

0%	kg	densidad	Volumen	1 Probeta
<b>cemento</b>	382,758621	3100	0,12347052	0,72724138
<b>aire</b>	0	0	0,03	0
<b>agua</b>	222	1000	0,222	0,4218
<b>grava</b>	717,6	2642	0,27161241	1,36344
<b>arena</b>	895,7035	2538	0,35291706	1,70183665

15%	kg	densidad	Volumen	1 Probeta
<b>cemento</b>	386,797685	3100	0,12477345	0,7349156
<b>aire</b>	0	0	0,03	0
<b>agua</b>	224,342657	1000	0,22434266	0,42625105
<b>grava</b>	600,32838	2642	0,22722497	1,14062392
<b>arena</b>	895,7035	2538	0,35291706	1,70183665
<b>semilla</b>	46,8531416	1150	0,04074186	0,08902097

30%	kg	densidad	Volumen	1 Probeta
<b>cemento</b>	390,836749	3100	0,12607637	0,74258982
<b>aire</b>	0	0	0,03	0
<b>agua</b>	226,685314	1000	0,242857	0,4307021
<b>grava</b>	440,331161	2642	0,16666584	0,83662921
<b>arena</b>	895,7035	2538	0,35291706	1,70183665
<b>semilla</b>	93,7062831	1150	0,08148372	0,17804194

50%	kg	densidad	Volumen	1 probeta
<b>cemento</b>	396,222167	3100	0,1278136	0,75282212
<b>aire</b>	0	0	0,03	0
<b>agua</b>	229,808857	1000	0,242857	0,43663683
<b>grava</b>	292,221394	2642	0,11060613	0,55522065
<b>arena</b>	895,7035	2538	0,35291706	1,70183665
<b>semilla</b>	156,177139	1150	0,13580621	0,29673656

100%	kg	densidad	Volumen	1 Probeta
<b>cimento</b>	409,685714	3100	0,13215668	0,77840286
<b>aire</b>	0	0	0,03	0
<b>agua</b>	237,617714	1000	0,23761771	0,45147366
<b>grava</b>	0	2642	0	0
<b>arena</b>	895,7035	2538	0,35291706	1,70183665
<b>semilla</b>	312,354277	1150	0,27161241	0,59347313

Debido a que con dicho diseño de mezcla no se cumplió el objetivo del proyecto, que era alcanzar una resistencia del 21 Mpa, se propuso un nuevo diseño de mezcla, a el cual solo se le hará la dosificación del 30% de semilla, pues este conserva el principio de crear un concreto con menor densidad y mas cercano a la resistencia.

		UNID		UNID
RESISTENCIA A LOS 28 DIAS	<b>4000,00</b>	PSI	28	Mpa
DENSIDAD CEMENTO	<b>3100,00</b>	Kg/m3	3,10	g/m3

AGREGADO GRUESO	TAMAÑO MAXIMO	<b>19,10</b>	Mm	0,7519685	Pulg
	TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	<b>9,51</b>	Mm	0,3744094	Pulg
	MASA UNITARIA COMPACTA (MUC)	<b>1560,00</b>	Kg/m3		
	MASA UNITARIA SUELTA (MUS)	<b>1540,00</b>	Kg/m3		
	DENSIDAD APARENTE	<b>2642,00</b>	Kg/m3		
	ABSORCION	<b>2,50</b>	%	0,025	
	HUMEDAD NATURAL	<b>4,00</b>	%	0,04	

AGREGADO FINO	MODULO DE FINURA (MF)	<b>3,05</b>			
	MASA UNITARIA COMPACTA (MUC)	<b>1460,00</b>	Kg/m3		
	MASA UNITARIA SUELTA (MUS)	<b>1590,00</b>	Kg/m3		
	DENSIDAD APARENTE	<b>2538,00</b>	Kg/m3		
	ABSORCION	<b>1,30</b>	%	0,013	
	PORCENTAJE DE ARCILLA	<b>1,40</b>	%	0,014	
	ENSAYO COLORIMETRICO	<b>2,00</b>	-		
	HUMEDAD NATURAL	<b>8,00</b>	%	0,08	

ASENTAMIENTO	<b>6</b>	Cm		
CONTENIDO DE AIRE	<b>3</b>	%	<b>0,03</b>	

CANTIDAD DE AGUA DE MEZCLADO	<b>240</b>	Lts	<b>0,24</b>	
REALACION (a/c)	<b>0,47</b>	Adim		
CONTENIDO DE CEMENTO ( C )	<b>510,638</b>	Kg/m3	<b>511,00</b>	Lts
VOLUMEN DE CEMENTO POR m3 DE CONCRETO (Vc)	<b>0,165</b>	m3/m3		
CONTENIDO DE GRAVA (b/bo), CONOCIENDO EL MF Y TMN	<b>0,460</b>	Adim		
bo' (DATOS DEL AGREGADO GRUESO)	<b>0,590</b>	Adim		
VOLUMEN DE GRAVA POR m3 (B)	<b>0,272</b>	m3/m3		
CONTENIDO DE ARENA (Va)	<b>0,294</b>	m3/m3		
<b>PESO DE LOS MATERIALES</b>				
<b>DESCRIPCION</b>	<b>DENSIDAD</b>	<b>PESO</b>	<b>VOLUMEN</b>	
CEMENTO	3100,00	510,64	0,165	<b>1,00</b>
AIRE	0,00	0,00	0,030	
AGUA	1000,00	240,00	0,240	
GRAVA	2642,00	717,60	0,272	<b>1,41</b>
ARENA	2538,00	745,32	0,294	<b>1,46</b>
		<b>TOTAL</b>	<b>1,000</b>	

Entonces su nueva dosificación sería:

<b>Volumen Total</b>	<b>0,0426</b>
----------------------	---------------

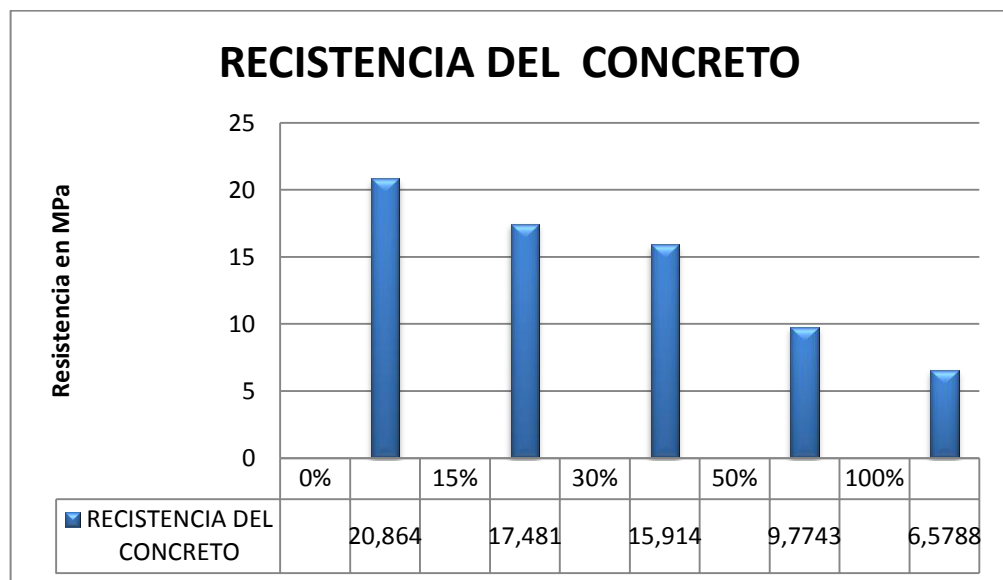
0%	kg	densidad	Volumen	Probeta
<b>cimento</b>	510,638298	3100	0,1647220	0,97021277
<b>aire</b>	0	0	0,03	0
<b>agua</b>	240	1000	0,24	0,456
<b>grava</b>	717,6	2642	0,27161241	1,36344
<b>arena</b>	745,323175	2538	0,29366555	1,41611403

30%	kg	densidad	Volumen	1 Probeta
<b>cimento</b>	520,607051	3100	0,16793776	0,9891534
<b>aire</b>	0	0	0,03	0
<b>agua</b>	244,685314	1000	0,242857	0,4649021
<b>grava</b>	486,275855	2642	0,18405596	0,92392413
<b>arena</b>	745,323175	2538	0,29366555	1,41611403
<b>semilla</b>	93,7062831	1150	0,08148372	0,17804194

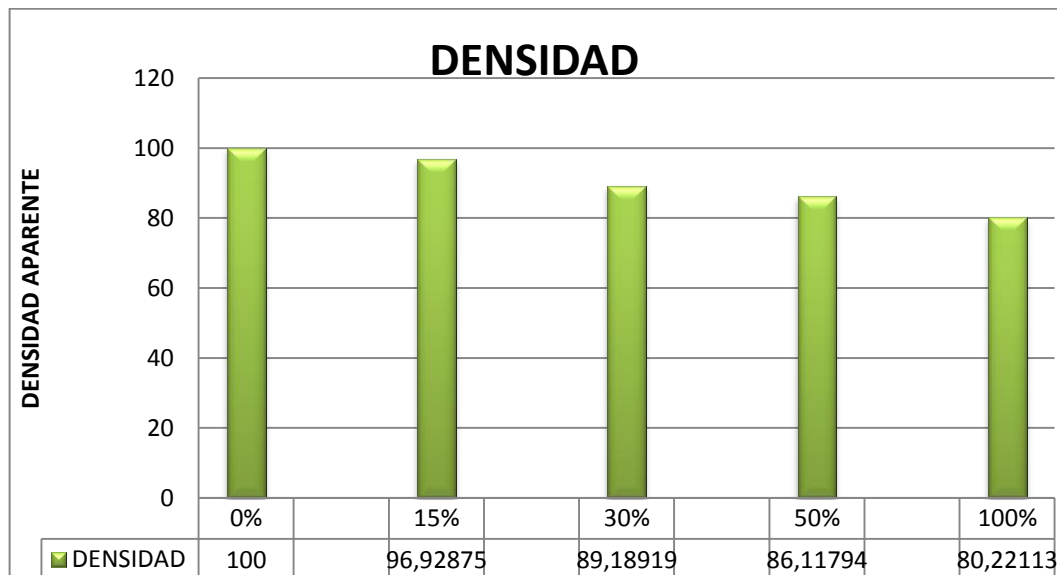
## ANEXO C: MEMORIAS DE ENSAYO DE COMPRESIÓN

En este proceso se tomó una muestra inicial variando el agrado grueso por la semilla en los siguientes porcentajes (0%, 15%, 30%, 50%, 100%) dándonos una resistencia a la comprensión, la cual está enmarcada en la norma NTC 673.

	Resistencia					
	%	Días de Fraguado	Kg	Kg/cm <sup>2</sup>	Psi	promedio
<b>COMPRESION</b>	0	28	16800	210,522411	3007,46302	
	0	28	16500	206,763083	2953,75832	20,8642747
	15	28	13900	174,182233	2488,31762	
	15	28	14000	175,435343	2506,21918	17,4808788
	30	28	12900	161,651137	2309,30196	
	30	28	12500	156,638699	2237,6957	15,9144918
	50	28	7200	90,2238906	1288,91272	
	50	28	8400	105,261206	1503,73151	9,77425482
	100	28	5500	68,9210276	984,586108	
	100	28	5000	62,6554796	895,07828	6,57882536



	DENSIDAD					
	%	Días de Fraguado	MASA Kg	Kg/m <sup>3</sup>	Promedio	% DENCIDAD Kg/m <sup>3</sup>
COMPRESION	0	28	4,06	2422,67855		
	0	28	4,08	2434,61292	2428,6457	100
	15	28	3,96	2363,00666		
	15	28	3,93	2345,10509	2354,05588	96,92874693
	30	28	3,5	2088,51599		
	30	28	3,76	2243,66289	2166,08944	89,18918919
	50	28	3,54	2112,38474		
	50	28	3,47	2070,61442	2091,49958	86,11793612
	100	28	3,24	1933,36909		
	100	28	3,29	1963,20503	1948,28706	80,22113022



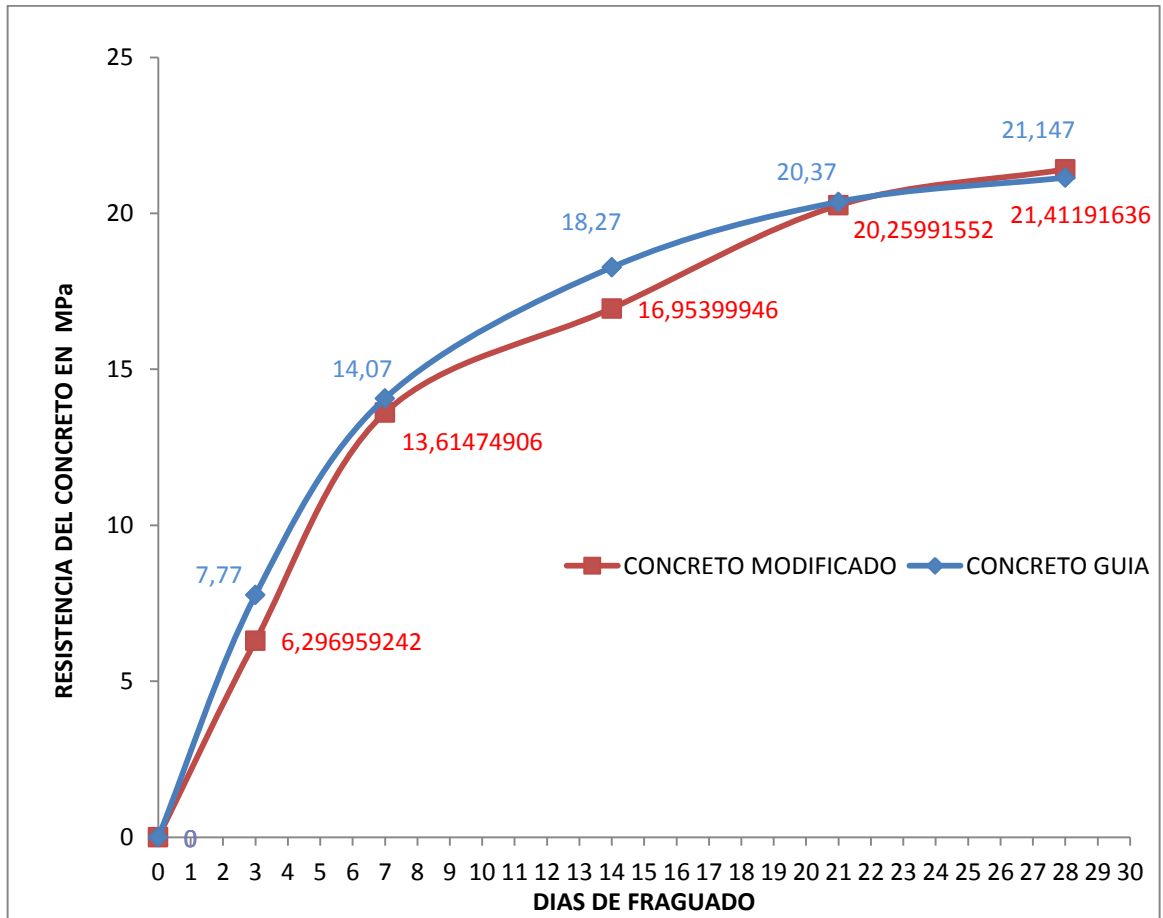
Después de observar los datos anterior de las tabla de resistencia y densidad se tomó un concreto de treinta 30% de semilla, debido a que su resistencia está cercana al concreto deseado y su densidad es menor en 10%.

Se prepararon muestras para la siguiente días (3, 7, 14, 21 y 28) con el fin de crear una curva de comportamiento del diseño propuesto y compararlo con la muestra guía.

	Días de Fraguado	Resistencia			
		Kg	Kg/cm <sup>2</sup>	Psi	Promedio Mpa
<b>COMPRESION 0% DE SUSTITUCION</b>	3	6200,57499	77,7	1110	
	3	6324,58649	79,254	1132,2	7,62
	3	6076,56349	76,146	1087,8	
	7	11239,2963	140,8407	2012,01	
	7	11250,5244	140,9814	2014,02	9,86
	7	111,94384	14,02779	200,397	
	14	14288,5732	179,051481	2557,8783	
	14	14652,629	183,6135	2623,05	17,83
	14	14608,8898	183,0654	2615,22	
	21	16288,0726	204,1074	2915,82	
	21	16304,3282	204,3111	2918,73	19,97
	21	16184,037	202,80372	2897,196	
	28	16926,2458	212,10441	3030,063	
	28	16909,3702	211,89294	3027,042	20,75
	28	16841,8677	211,04706	3014,958	

	Días de Fraguado	Resistencia			
		Kg	Kg/cm <sup>2</sup>	Psi	Promedio Mpa
<b>COMPRESION 30% DE SUSTITUCION</b>	3	5028,4	63,0113627	900,162325	
	3	5050	63,2820344	904,029063	62,97
	3	4996,8	62,6153801	894,50543	
	7	11054,8	138,528759	1978,98227	
	7	11080,9	138,855821	1983,65458	13,61
	7	11110,5	139,226741	1988,95345	
	14	13934,2	174,610797	2494,43995	
	14	13577	170,134689	2430,49556	16,95
	14	13889,2	174,046897	2486,38425	
	21	16453	206,174121	2945,34459	
	21	16689,6	209,138979	2987,69969	20,26
	21	16330,6	204,640315	2923,43307	
	28	17425,8	218,364371	3119,49102	
	28	17358,4	217,519775	3107,42536	21,41
	28	17502,1	219,320494	3133,14991	

La grafica de comportamiento seria:



## ANEXO D: MEMORIAS DE ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA

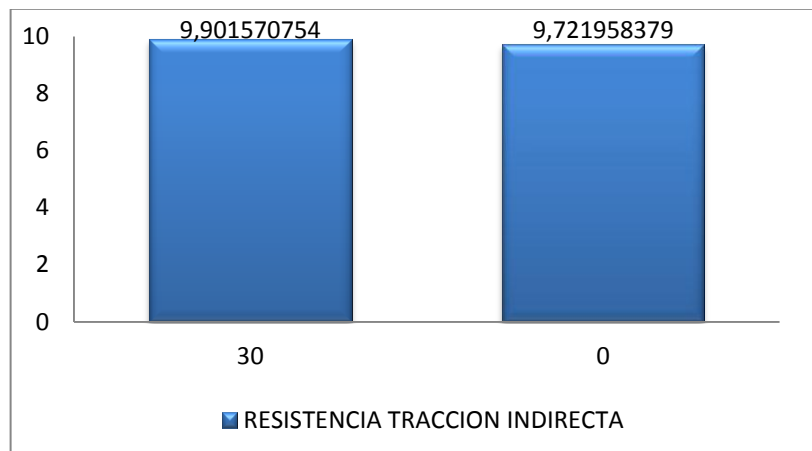
Basándonos en el procedimiento y parámetro establecidos en la NTC 722, se hicieron las pruebas a los 28 días de fraguado y se obtuvieron los siguientes resultados:

- Con dosificación del 0%:

Resistencia Compresión Indirecta				
Días de Fraguado	Kg	Kg/cm <sup>2</sup>	MPa	Promedio Mpa
28	8425,2	105,576989	10,5576989	
28	7036,4	88,1738033	8,81738033	9,721958379
28	7813,2	97,9079587	9,79079587	

- Con dosificación del 30%:

Resistencia Compresión Indirecta Semilla 30%				
Días de Fraguado	Kg	Kg/cm <sup>2</sup>	MPa	Promedio Mpa
28	8425,2	105,576989	10,5576989	
28	7466,4	93,5621746	9,35621746	9,901570754
28	7813,2	97,9079587	9,79079587	

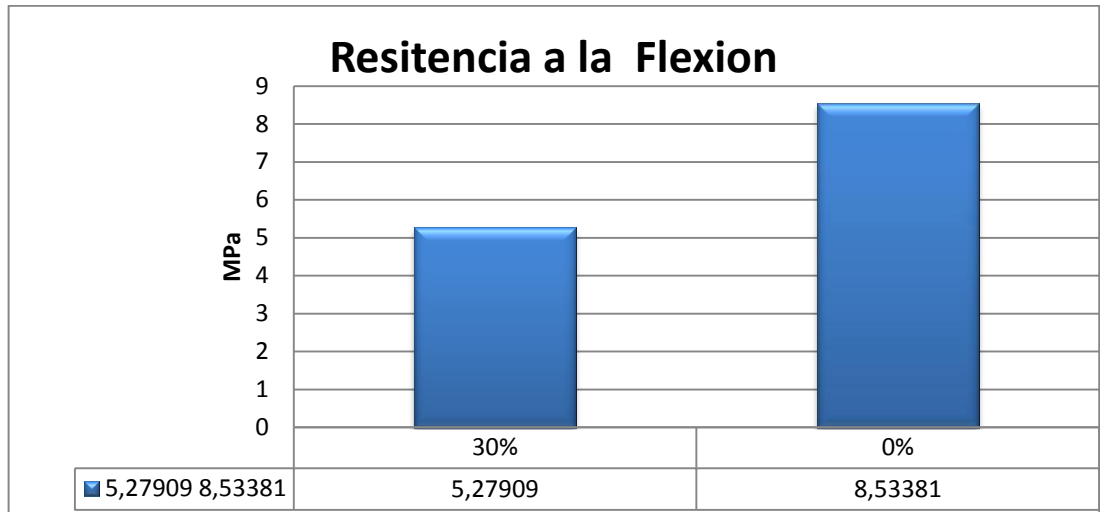




### ANEXO E: MEMORIAS DE ENSAYO DE FLEXIÓN

Modulo De Rotura Para Un Concreto Sin Semilla				
Fuerza	Longitud [mm]	Ancho [mm]	Altura [mm]	Modulo de Roturas
5782	180	50	60	8,673
5709,42	180	50	60	8,56413
5576,2	180	50	60	8,3643

modulo de rotura para un concreto modificado con semilla 30%				
Fuerza	Longitud [mm]	Ancho [mm]	Altura [mm]	Modulo de Roturas
3430	180	50	60	5,145
3511,98	180	50	60	5,26797
3616,2	180	50	60	5,4243



## ANEXO F: MEMORIAS DE ENSAYO ACÚSTICO DEL TUBO DE IMPEDANCIA

- Mediciones de amplitud de onda en función de la distancia d (de muestra a micrófono):

0%-1									
Medida	1	2	3	4	5	6	7		
Distancia	0	0,1826	0,3652	0,5478	0,7304	0,913	1,0956	P. Max	P. Min
Hz	250	250	250	250	250	250	250		
LECTURA (V)	1,1	1	0,8	0,8	0,5	1	0,7	1,1	0,5
Hz	315	315	315	315	315	315	315		
LECTURA	1,51	1	1,4	1,1	0,9	0,65	0,8	1,5	0,7
Hz	400	400	400	400	400	400	400		
LECTURA	2,5	1,9	1,85	1,75	1,9	2,1	1,8	2,5	1,8
Hz	630	630	630	630	630	630	630		
LECTURA	1,2	1,1	1,3	1,5	1,2	1,2	1,9	1,9	1,1
Hz	800	800	800	800	800	800	800		
LECTURA	0,45	0,43	0,45	0,35	0,3	0,48	0,5	0,5	0,3
Hz	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000		
LECTURA	1,1	1,1	1,13	1,3	1,7	1,85	1,8	1,9	1,1
Hz	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250		
LECTURA	0,2	0,3	0,2	0,23	0,28	0,25	0,2	0,3	0,2
Hz	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600		
LECTURA	1,2	0,9	0,6	1,2	1	0,6	0,79	1,2	0,6

0%-2									
Medida	1	2	3	4	5	6	7		
Distancia	0	0,1826	0,3652	0,5478	0,7304	0,913	1,0956	P. Max	P. Min
Hz	250	250	250	250	250	250	250		
LECTURA (V)	1,00	0,40	0,70	0,69	0,40	0,75	0,70	1,0	0,4
Hz	315	315	315	315	315	315	315		
LECTURA	1,8	1	0,23	0,6	0,4	0,5	0,8	1,8	0,4
Hz	400	400	400	400	400	400	400		
LECTURA	2	2	1,9	2,2	2,1	2,3	1,9	2,3	1,9
Hz	630	630	630	630	630	630	630		
LECTURA	1,17	1,2	1,1	1,9	1,09	1,1	1,3	1,9	1,1
Hz	800	800	800	800	800	800	800		
LECTURA	0,4	0,49	0,45	0,35	0,4	0,5	0,5	0,5	0,4
Hz	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000		
LECTURA	0,5	0,51	0,6	0,7	0,65	0,75	0,7	0,8	0,5
Hz	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250		
LECTURA	0,25	0,255	0,249	0,25	0,3	0,25	0,249	0,3	0,2
Hz	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600		
LECTURA	1,1	0,9	2,3	1	0,9	2,9	1	2,9	0,9

0%-3									
Medida	1	2	3	4	5	6	7		
Distancia	0	0,1826	0,3652	0,5478	0,7304	0,913	1,0956	P. Max	P. Min
Hz	250	250	250	250	250	250	250		
LECTURA (V)	0,9	0,8	0,7	0,7	0,55	0,8	0,7	0,9	0,6
Hz	315	315	315	315	315	315	315		
LECTURA	1,4	0,7	1,3	0,7	0,8	0,5	0,65	1,4	0,5
Hz	400	400	400	400	400	400	400		
LECTURA	2,1	2,2	2	2,1	2,15	2,1	1,7	2,2	1,7
Hz	630	630	630	630	630	630	630		
LECTURA	1,75	1,1	1,3	1,9	1	1,6	1,2	1,9	1,0
Hz	800	800	800	800	800	800	800		
LECTURA	0,45	0,45	0,4	0,35	0,35	0,5	0,5	0,5	0,4
Hz	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000		
LECTURA	0,5	0,3	0,3	0,45	0,7	0,75	0,7	0,8	0,3
Hz	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250		
LECTURA	0,25	0,25	0,2	0,25	0,25	0,23	0,25	0,3	0,2
Hz	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600		
LECTURA	2,8	2,2	0,8	2,8	2,2	1	2	2,8	0,8

30%-1									
Medida	1	2	3	4	5	6	7		
Distancia	0	0,1826	0,3652	0,5478	0,7304	0,913	1,0956	P. Max	P. Min
Hz	250	250	250	250	250	250	250		
LECTURA (V)	1,0	1,3	0,8	0,9	0,70	0,9	0,7	1,3	0,7
Hz	315	315	315	315	315	315	315		
LECTURA	1,5	0,5	0,5	0,6	0,8	0,6	0,7	1,5	0,5
Hz	400	400	400	400	400	400	400		
LECTURA	2,2	2,3	2	2,2	2,1	2,1	1,7	2,3	1,7
Hz	630	630	630	630	630	630	630		
LECTURA	1,4	1,2	1,1	1,6	1,2	1,3	1,5	1,6	1,1
Hz	800	800	800	800	800	800	800		
LECTURA	0,4	0,45	0,45	0,4	0,35	0,5	0,5	0,5	0,4
Hz	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000		
LECTURA	0,45	0,55	0,5	0,6	0,6	0,65	0,65	0,7	0,5
Hz	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250		
LECTURA	0,255	0,25	0,23	0,25	0,24	0,25	0,25	0,3	0,2
Hz	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600		
LECTURA	1,8	1,6	1,2	2,2	1,2	1,4	2,4	2,4	1,2

30%-2		1	2	3	4	5	6	7		
Medida									P. Max	P. Min
Distancia	0	0,1826	0,3652	0,5478	0,7304	0,913	1,0956			
Hz	250	250	250	250	250	250	250			
LECTURA (V)	0,9	1,0	0,5	0,6	0,60	0,8	0,7		1,0	0,5
Hz	315	315	315	315	315	315	315			
LECTURA	1,1	1	0,5	0,6	0,9	0,4	0,8		1,1	0,4
Hz	400	400	400	400	400	400	400			
LECTURA	2,3	2,2	2	2,2	2,1	2,2	1,9		2,3	1,9
Hz	630	630	630	630	630	630	630			
LECTURA	1,4	1,2	1,4	1,5	1,2	1,3	1,5		1,5	1,2
Hz	800	800	800	800	800	800	800			
LECTURA	0,45	0,45	0,4	0,4	0,35	0,5	0,55		0,6	0,4
Hz	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000			
LECTURA	0,45	0,5	0,55	0,55	0,5	0,6	0,6		0,6	0,5
Hz	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250			
LECTURA	0,25	0,25	0,2	0,3	0,25	0,25	0,25		0,3	0,2
Hz	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600			
LECTURA	1,1	0,9	2,2	1,6	1	2,2	1,7		2,2	0,9

30%-3		1	2	3	4	5	6	7		
Medida									P. Max	P. Min
Distancia	0	0,1826	0,3652	0,5478	0,7304	0,913	1,0956			
Hz	250	250	250	250	250	250	250			
LECTURA (V)	0,8	0,9	0,5	1,0	0,50	0,8	0,8		1,00	0,50
Hz	315	315	315	315	315	315	315			
LECTURA	1,3	1,3	1,2	1	0,7	0,5	0,7		1,30	0,50
Hz	400	400	400	400	400	400	400			
LECTURA	2,1	2,6	2,2	2,3	2,2	2,1	2		2,60	2,00
Hz	630	630	630	630	630	630	630			
LECTURA	1,4	1,2	1,1	1,4	1	1	1,5		1,50	1,00
Hz	800	800	800	800	800	800	800			
LECTURA	0,4	0,4	0,5	0,35	0,45	0,45	0,5		0,50	0,35
Hz	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000			
LECTURA	0,45	0,55	0,55	0,6	0,55	0,7	0,6		0,70	0,45
Hz	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250			
LECTURA	0,25	0,25	0,2	0,25	0,25	0,25	0,25		0,25	0,20
Hz	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600			
LECTURA	1,6	1,7	1,4	2	1,2	1,6	2		2,00	1,20

0%				
Medida	1	2	3	desv.esta
Hz	250	250	250	0,03043986
swr	2,2	2,5	1,6	
swr +1	3,2	3,5	2,6	
swr -1	1,2	1,5	0,6	
α	0,9	0,8	0,9	
Hz	315	315	315	0,17425708
swr	2,32307692	4,5	2,8	
swr +1	3,32307692	5,5	3,8	
swr -1	1,32307692	3,5	1,8	
α	0,8	0,6	0,8	
Hz	400	400	400	0,01560696
swr	1,42857143	1,21052632	1,29411765	
swr +1	2,42857143	2,21052632	2,29411765	
swr -1	0,42857143	0,21052632	0,29411765	
α	1,0	1,0	1,0	
Hz	630	630	630	0,00161032
swr	1,72727273	1,74311927	1,9	
swr +1	2,72727273	2,74311927	2,9	
swr -1	0,72727273	0,74311927	0,9	
α	0,9	0,9	0,9	
Hz	800,0	800,0	801,0	0,02217355
swr	1,66666667	1,42857143	1,42857143	
swr +1	2,66666667	2,42857143	2,42857143	
swr -1	0,66666667	0,42857143	0,42857143	
α	0,9	1,0	1,0	
Hz	1000	1000	1000	0,01742071
swr	1,68181818	1,5	2,5	
swr +1	2,68181818	2,5	3,5	
swr -1	0,68181818	0,5	1,5	
α	0,9	1,0	0,8	
Hz	1250	1250	1250	0,65842628
swr	1,5	0,00731707	1,25	
swr +1	2,5	1,00731707	2,25	
swr -1	0,5	-0,99268293	0,25	
α	1,0	0,0	1,0	
Hz	1600	1600	1601	0,16759018
swr	1,5	3,22222222	3,5	
swr +1	2,5	4,22222222	4,5	
swr -1	0,5	2,22222222	2,5	
α	1,0	0,7	0,7	

30%				
Medida	1	2	3	desv.esta
Hz	250	250	250	0,01492781
swr	1,9	2,0	2,0	
swr +1	2,9	3,0	3,0	
swr -1	0,9	1,0	1,0	
$\alpha$	0,9	0,9	0,9	
Hz	315	315	315	0,00039284
swr	3	2,75	2,6	
swr +1	4	3,75	3,6	
swr -1	2	1,75	1,6	
$\alpha$	0,9	0,9	0,9	
Hz	400	400	400	0,00949624
swr	1,35294118	1,21052632	1,3	
swr +1	2,35294118	2,21052632	2,3	
swr -1	0,35294118	0,21052632	0,3	
$\alpha$	1,0	1,0	1,0	
Hz	630	630	630	0,01551949
swr	1,45454545	1,25	1,5	
swr +1	2,45454545	2,25	2,5	
swr -1	0,45454545	0,25	0,5	
$\alpha$	1,0	1,0	1,0	
Hz	800,0	800,0	801,0	0,01289823
swr	1,42857143	1,57142857	1,42857143	
swr +1	2,42857143	2,57142857	2,42857143	
swr -1	0,42857143	0,57142857	0,42857143	
$\alpha$	1,0	1,0	1,0	
Hz	1000	1000	1000	0,02337543
swr	1,44444444	1	1,55555556	
swr +1	2,44444444	2	2,55555556	
swr -1	0,44444444	0	0,55555556	
$\alpha$	1,0	1,0	1,0	
Hz	1250	1250	1250	0,68483174
swr	1,10869565	0,00731707	1,25	
swr +1	2,10869565	1,00731707	2,25	
swr -1	0,10869565	-0,99268293	0,25	
$\alpha$	1,0	0,0	1,0	
Hz	1600	1600	1601	0,12247192
swr	1,10869565	2,44444444	3,5	
swr +1	2,10869565	3,44444444	4,5	
swr -1	0,10869565	1,44444444	2,5	
$\alpha$	1,0	0,8	0,7	

## ANEXO G: MEMORIAS DE ENSAYO DE COMPORTAMIENTO ANTE FUEGO

0%					
Área	120				
temperatura	kN	masa inicial	masa final	perdida de masa	fuerza
200	234	5,29	5,27	0,0228	19,539
200	238	5,31	5,295	0,0180	19,873
400	235,8	5,34	5,312	0,0314	19,6893
400	225	5,33	5,29	0,0432	18,7875
600	215	5,32	5,285	0,0381	17,9525
600	220	5,30	5,26	0,0429	18,37
800	200	5,33	5,28	0,0532	16,7
800	209	5,31	5,26	0,0530	17,4515
1000	175,1	5,34	5,28	0,0634	14,62085
1000	180	5,35	5,3	0,0535	15,03

Promedio			
Área	120		
temperatura	KN	perdida de masa	Mpa
200	234	0,0204	19,706
400	225	0,0373	19,2384
600	210	0,0405	18,16125
800	203	0,0531	17,07575
1000	195	0,0584	14,825425

30%					
Área	120				
Temperatura	kN	masa inicial	masa final	perdida de masa	fuerza
200	180	5,23	5,19	0,04	15,03
200	198	5,25	5,2	0,05	16,533
400	180	5,28	5,17	0,11	15,03
400	175	5,27	5,18	0,09	14,6125
600	158,2	5,26	5,14	0,12	13,2097
600	145,1	5,24	5,12	0,12	12,11585
800	120	5,27	5,11	0,16	10,02
800	113	5,25	5,09	0,16	9,4355
1000	80	5,28	5,1	0,18	6,68
1000	75	5,29	5,05	0,24	6,2625

<b>Promedio</b>			
<b>Area</b>	<b>120</b>		
temperatura	Mpa	perdida de masa	kN
200	15,7815	0,04	189
400	14,82125	0,10	177,5
600	12,662775	0,12	151,65
800	9,72775	0,16	116,5
1000	6,47125	0,21	77,50