

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

**Cuantificación del deterioro de hormigones convencionales por carga**

Proyecto de investigación

**Ana María Zhindón Salinas**

Ingeniería Civil

Trabajo de titulación presentado como requisito

para la obtención del título de

Ingeniera Civil

Quito, 17 de diciembre de 2018

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**COLEGIO DE CIENCIAS E INGENIERÍA**

**HOJA DE CALIFICACIÓN  
DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Cuantificación del deterioro de hormigones convencionales por carga**

**Ana María Zhindón Salinas**

**Calificación:** \_\_\_\_\_

**Nombre del profesor, Título Académico:** **Juan José Recalde, Ph.D.**

**Firma del Profesor:** \_\_\_\_\_

**Quito, 17 de diciembre de 2018**

## Derechos de Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante: \_\_\_\_\_

Nombres y apellidos: Ana María Zhindón Salinas

Código: 00113713

Cédula de Identidad: 0105242259

Lugar y fecha: Quito, 17 de diciembre de 2018

## **Agradecimientos**

Agradezco a mi profesor y tutor de tesis Juan José Recalde por la oportunidad de participar en su trabajo de investigación, por su ayuda, dirección y consejo en el desarrollo de este trabajo. De igual manera al profesor Luis Mata de la Universidad de Toledo y Gustavo Tapia por su apoyo. A mis compañeros que me ayudaron y se involucraron en este trabajo Andrea Moreno, Papsi de la Cruz , Esteban Riofrio y Alvaro Leal.

Agradezco a mi familia por su paciencia, apoyo y guía sobre todo a mi Papa y Mama pilares de mi vida; a mi madre espiritual Sylvia Gallegos y, por último, pero no menos importante a Dios y la Virgen María.

## Resumen

El poder analizar la estructura y el comportamiento del hormigón es un asunto primordial en la actualidad, ya que el mismo es uno de los materiales más utilizados para la construcción. Por ende, el mismo se encuentra sometido a una gran variedad de constantes que alteran sus propiedades, como lo es cargas constantes, cargas cíclicas, condiciones ambientales, etc. Tras un evento dañino a un elemento de hormigón, es necesario realizar una evaluación del material por métodos forenses. El parámetro de densidad de fisuras ( $\epsilon$ ), es un parámetro que ha sido aplicado para cuantificar daños en el hormigón sometido a exposición a altas temperaturas, pero se desconoce si puede ser aplicado para cuantificar deterioro por carga. En el presente trabajo experimental se fabricaron tres mezclas de hormigón denominadas M3, M4 y M5 con relaciones agua cemento de 0.35, 0.45 y 0.60 respectivamente, de las cuales se fabricaron probetas cilíndricas. Se sometieron cilindros a 90% u 85% de la resistencia a la compresión y se obtuvo el tiempo promedio que tomó en fallar, tras lo cual se sometieron a cilindros acompañantes a 1/3 de este tiempo para generar microfisuramiento sin generar fallas. Las probetas fueron condicionadas mediante un proceso de secado en ambiente, secado en horno, y estado casi-saturado sin daño y con daño. Se realizaron ensayos de velocidad de pulso ( $v_p$ ), velocidad de onda de corte ( $v_s$ ), módulo de elasticidad dinámico ( $E_d$ ), número de rebote (NR) y módulo de elasticidad estático ( $E_c$ ). Las mediciones  $E_d$  en estado casi-saturado y seco permitieron cuantificar el parámetro de densidad de fisuras en estado sano y en estado dañado, detectando un incremento en  $\epsilon$  tras daño por carga. Por otro lado cuando se usó la velocidad de pulso ( $v_p$ ) y velocidad de corte ( $v_s$ ) para obtener el  $E_d$  y módulo de Poisson, no se obtuvieron datos confiables.

**Palabras Clave:** Hormigón, carga, parámetro de densidad de fisuras, módulo de elasticidad dinámico, velocidad de pulso, velocidad de corte, daño, ensayos no destructivos, módulo de elasticidad estático.

## Abstract

Being able to analyze the structure and behavior of concrete is a fundamental issue at present, since it is one of the most used materials for construction. Therefore, it is subject to a variety of constants that alter its properties, such as constant loads, cyclical loads, environmental conditions, etc. After a damage event to a concrete element, it is necessary to perform an evaluation of the material through forensic methods. The crack density parameter ( $\epsilon$ ), is a parameter that has been applied to quantify damage in concrete after exposure to high temperatures, but it is unknown if it can be applied to quantify damage after overloading. In this experimental work, three concrete mixtures were fabricated labeled M3, M4, and M5, with water-to-cement ratios of 0.35, 0.45 and 0.60 respectively, from which cylindrical probes were fabricated. Cylinders were loaded to 90% or 85% of the compressive strength and the average time was measured until failure, after which companion cylinders were loaded for 1/3 of this time to generate microcracks without reaching failure. Probes were conditioned through processes of air dry, oven dry, and soaked states with and without damage. Pulse velocity ( $v_p$ ), shear wave velocity ( $v_s$ ), dynamic modulus of elasticity ( $E_d$ ), rebound number (RN), and static modulus of elasticity ( $E_c$ ) were measured.  $E_d$  measurements of soaked and dry conditions permitted to quantify the crack density parameter in undamaged and damaged states, detecting an increase in  $\epsilon$  after loading damage. On the other hand, when  $v_p$  and  $v_s$  were used to obtain  $E_d$  and Poisson's ratio, no reliable data were obtained.

**Key Words:** Concrete, loading, crack density parameter, dynamic elastic modulus, pulse velocity, shear wave velocity, damage, non-destructive test, static modulus of elasticity.

## Tabla de Contenidos

1. INTRODUCCIÓN .....	13
1.1. Antecedentes .....	13
1.2. Justificación.....	14
1.3. Objetivos .....	15
1.4. Resultados Esperados.....	15
1.5. Actividades a Realizarse .....	15
1.6. Definición de términos.....	16
2. DESAROLLO DEL TEMA .....	17
2.1. Revisión de Bibliografía.....	17
2.1.1. Microestructura del hormigón.....	17
2.1.2. Microfisuramiento por carga.....	18
2.1.3. Propiedades mecánicas del hormigón.....	19
2.1.3.1. Resistencia a la compresión (fc).....	19
2.1.3.2. Módulo de elasticidad estático.....	20
2.1.3.3. Módulo de elasticidad dinámico.....	22
2.1.3.4. Velocidad de ondas de esfuerzo de pulso (vp).....	23
2.1.3.5. Velocidad de ondas de esfuerzo de corte (vs).....	24
2.1.4. Otras propiedades.....	25
2.1.4.1. Número de Rebote.....	25

2.1.4.2.	Parámetro de densidad de fisuras. ....	25
2.1.5.	Investigaciones previas. ....	29
2.1.5.1.	Carga de esfuerzo. ....	29
2.2.	Plan experimental.....	30
2.2.1.	Matriz de experimentos.....	30
2.2.2.	Metodología .....	31
2.3.	Resultados .....	33
2.3.1.	Mezcla M3. ....	33
2.3.2.	Mezcla M4. ....	34
2.3.3.	Mezcla 5.....	36
2.3.4.	Velocidad de Pulso (vp).....	38
2.3.5.	Velocidad de Corte (vs). ....	40
2.3.6.	Módulo de elasticidad dinámico (Dynamica E).....	42
2.3.7.	Número de rebote.....	44
2.3.8.	Módulo de elasticidad estático.....	44
2.3.9.	Parámetro de densidad de fisuras.....	45
2.4.	Análisis de resultados.....	47
3.	CONCLUSIONES.....	50
3.1.	Conclusiones de resultados .....	50
3.2.	Recomendaciones.....	51

Lista de referencias .....	52
ANEXO A: Dosificación .....	55
ANEXO B: Módulo de elasticidad dinámico y módulo de Poisson obtenidos por $v_p$ y $v_s$ .....	57
ANEXO C: Tablas completas recopiladas en laboratorio ensayos no destructivos .....	58
ANEXO D: Módulo de elasticidad estático .....	80
ANEXO E: Valores del parámetro de densidad de fisuras .....	82

## Lista de Figuras

Figura 1: Ejemplo de microestructura de concreto obtenida por SEM. Fuente: Rosero (2018)...	17
Figura 2: Microfisuras dentro del elemento de concreto. Fuente: Rosero (2018) .....	18
Figura 3: Esfuerzo-deformación del hormigón por edades. Fuente: Farooq (2015).....	20
Figura 4: Compresometro en espécimen de cilindro. Fuente: ASTM C 469-14. ....	21
Figura 5: Esquema de sistema de aparatos para la prueba de resonancia. Fuente: ASTM C 215-14.....	22
Figura 6: Esquema de colocación de espécimen para la prueba. Fuente: ASTM C 215-14.....	23
Figura 7: Imagen de un esclerómetro. Fuente: Sanjuán (s.f.) .....	24
Figura 8: Imagen de un esclerómetro. Fuente: Sanjuán (s.f.) .....	25
Figura 9: Propiedades elásticas de un sólido con fisuras circulares. (a) Efecto de saturación total (b) Efecto de saturación parcial. Fuente: O'Connell y Budianski, (1974).....	26
Figura 10: Relación entre esfuerzo de carga a corto plazo y largo plazo. Fuente: Rusch, (1960)	29
Figura 11: Comparación de la velocidad de pulso de la mezcla M3. (Laboratorios de hormigones USFQ).....	38
Figura 12: Comparación de la velocidad de pulso de la mezcla M4. (Laboratorios de hormigones USFQ).....	39
Figura 13: Comparación de la velocidad de pulso de la mezcla M5. (Laboratorios de hormigones USFQ).....	39
Figura 14: Comparación de la velocidad de corte de la mezcla M3. (Laboratorios de hormigones USFQ).....	40
Figura 15: Comparación de la velocidad de corte de la mezcla M4. (Laboratorios de hormigones USFQ).....	41

Figura 16: Comparación de la velocidad de corte de la mezcla M5. (Laboratorios de hormigones USFQ).....	41
Figura 17: Comparación del módulo de elasticidad dinámico de la mezcla M3. (Laboratorios de hormigones USFQ).....	42
Figura 18: Comparación del módulo de elasticidad dinámico de la mezcla M4. (Laboratorios de hormigones USFQ).....	43
Figura 19: Comparación del módulo de elasticidad dinámico de la mezcla M5. (Laboratorios de hormigones USFQ).....	43
Figura 20: Comparación del número de rebote de las tres mezclas en estado seco en ambiente. (Laboratorios de hormigones USFQ).....	44
Figura 21: Comparación del módulo de elasticidad estático de las tres mezclas. (Laboratorios de hormigones USFQ).....	45
Figura 22: Parámetro de densidad de fisuras de la mezcla M3. (Laboratorios de hormigones USFQ).....	45
Figura 23: Parámetro de densidad de fisuras de la mezcla M4. (Laboratorios de hormigones USFQ).....	46
Figura 24: Parámetro de densidad de fisuras de la mezcla M5. (Laboratorios de hormigones USFQ).....	47

## Lista de Tablas

Tabla 1: Esquema de ensayos y especímenes de cada mezcla antes del deterioro .....	30
Tabla 2: Esquema de ensayos y especímenes de cada mezcla luego del deterioro .....	30
Tabla 3: Resumen de resultados de la mezcla M3 $f_c$ estándar, $f_c$ en obra y tiempo en dañarse ..	33
Tabla 4: Resumen de resultados de la mezcla M3 antes del deterioro .....	33
Tabla 5: Resumen de resultados de la mezcla M3 después del deterioro .....	34
Tabla 6: Resumen de resultados de la mezcla M4 $f_c$ estándar, $f_c$ en obra y tiempo en dañarse ..	34
Tabla 7: Resumen de resultados de la mezcla M4 antes del deterioro .....	35
Tabla 8: Resumen de resultados de la mezcla M4 después del deterioro .....	35
Tabla 9: Resumen de resultados de la mezcla M5 $f_c$ estándar, $f_c$ en obra y tiempo en dañarse ..	36
Tabla 10: Resumen de resultados de la mezcla M5 antes del deterioro .....	37
Tabla 11: Resumen de resultados de la mezcla M5 después del deterioro .....	37

# INTRODUCCIÓN

## 1.1. Antecedentes

El hormigón es un material de construcción universal, solamente basta caminar un momento y podemos identificar muchas obras civiles hechas de concreto; para llegar a lo que tenemos del hormigón en la actualidad, se ha buscado a través de los años: su mejor rendimiento, mejoras de resistencia, de composición química, mejoras de serviciabilidad al pasar los años de construcción, entre otros.

Pero, observamos que dadas las normas de construcción, restricciones de diseño, uso de materiales, mejoras del proceso constructivo del hormigón, etc. las estructuras igual caen, fallan o se vuelven inservibles, si observamos por ejemplo: el terremoto de Valdivia en Chile en 1960 con 1655 y el daño económico fue de 2 billones de dólares (Sue, 2013); el terremoto en Sumatra en 2004 con 230000 muertes y se estimó que para su reconstrucción se necesitarían 4.500 millones de dólares (BBCMundo, 2005); el sismo de Pedernales en 2016 con 660 fallecidos y pérdidas económicas de 3 mil millones de dólares (teleSUR), entre muchos más, lo común de todos estos es que ha dejado una huella de infraestructura colapsada entonces la pregunta es ¿Qué podemos mejorar?

Por lo mencionado anteriormente, se busca estudiar mejor el comportamiento del hormigón luego de los impactos, muchas investigaciones han buscado en la macroestructura cuáles fueron los errores, pero Derucher (1978) menciona que muchos investigadores aseguran que la razón por el cual falla el elemento, esta asociado con las microfisuras internas, en cambio Jiag et all (2011), mencionan que existen unas formas de cambio en la microestructura y desarrollo de las microfisuras que son reveladas cuando ya se propagan a nivel macroscópico. Por esto se ha

emprendido la búsqueda por cuantificar la microestructura del elemento, y asociar sus propiedades mecánicas tanto antes del deterioro y luego del deterioro como es el caso de Recalde (2009) quien buscó establecer una relación entre las propiedades mecánicas del hormigón con los cambios en a microestructura de la misma en base a métodos analíticos para estimar cuantitativamente el parámetro de densidad de fisuras en especímenes de concreto de diferente composición deterioradas con una exposición corta a calor a 300 °C.

Estos estudios actualmente siguen en pie donde se busca encontrar una manera de evaluar y cuantificar las microfisuras dentro del hormigón y así poder responder cuan dañado se encuentra el elemento.

## **1.2. Justificación**

Por todo lo mencionado anteriormente y conociendo que el hormigón es un material heterogéneo con una estructura compuesta por agua, cemento, vacíos y agregado de diferentes tamaños Slate & Hover (1984) mencionan que al analizar la parte microscópica del hormigón la heterogeneidad se pronuncia, la pasta es una mezcla de diferentes tipos de estructuras cristalinas con diferentes grados de hidratación que forman colectivamente un gel amorfo. En esta microestructura hallamos las microfisuras las cuales se ha encontrado que pueden causar varios problemas en el hormigón, sobre todo en algo tan común como es la aplicación de carga al elemento de concreto, lo que sucede es que las microfisuras se expanden o se forman más ramales de una misma grieta llegando a formarse macrofisuras y al haber más fisuras el elemento se vuelve más permeable y puede llegar a fallar.

Debido a esto buscamos encontrar una manera de cuantificar las microfisuras existentes y conocer de alguna manera cuan dañado está el cemento de concreto, por esto Recalde (2009) desarrolló un método para cuantificar el parámetro de densidad de microfisuras en especímenes de hormigón sometidos a impactos de calor, pero lo que buscamos es aplicar esta metodología a especímenes que tienen una aplicación de carga no superior a la fuerza de compresión ( $f_c$ ), para deteriorarlos y encontrar si sus propiedades mecánicas varían de alguna manera que nos permita encontrar el parámetro de densidad de microfisuras de los mismos o llevarnos a nuevas ideas y metodologías para poder alcanzar esta cuantificación.

### **1.3. Objetivos**

Los objetivos del presente trabajo de titulación son:

- Medir el deterioro mecánico por microfisuramiento producido por una sobrecarga para dos mezclas convencionales ( $f_c, E_c$ ).
- Cuantificar los cambios producidos por el deterioro del hormigón, utilizando ensayos no destructivos antes y después de este deterioro ( $v_p, v_s, E_d, \text{Rebound}, \epsilon$ ).

### **1.4. Resultados Esperados**

Los resultados esperados son:

- Identificación de la magnitud de la sobrecarga para generar el deterioro.
- Cuantificación del deterioro en las propiedades mecánicas ( $f_c, E_c, E_d, v_p, v_s, \epsilon$ ).

### **1.5. Actividades a Realizarse**

Las actividades que fueron realizadas para este trabajo de investigación son las siguientes:

- a) Fabricar especímenes de ensayo
- b) Ejecución de los ensayos no destructivos sin deterioro
- c) Ejecución de los ensayos no destructivos posterior al deterioro

- d) Análisis de resultados
- e) Redacción de informe

## **1.6. Definición de términos.**

Algunos significados de interés son:

- vp: velocidad de pulso
- vs: velocidad de corte
- Ed: módulo de elasticidad dinámico
- Es: módulo de elasticidad estático
- Rebound: número de rebote
- f: frecuencia

## DESAROLLO DEL TEMA

### 2.1. Revisión de Bibliografía.

#### 2.1.1. Microestructura del hormigón.

El hormigón es un material de construcción, que en su estructura macro se aprecia la composición de agregados de diferentes tamaños, pasta de cemento, agua y espacios vacíos, reconociendo que es un sistema completamente heterogéneo. Slate & Hover (1984) aseguran que en los niveles microscópicos la heterogeneidad se pronuncia, la pasta es una mezcla de diferentes tipos de estructuras cristalinas, con diferentes grados de hidratación que forman colectivamente un gel amorfo, lo cual ha sido analizado en la actualidad; y Scrivener (SF) enseña que el hormigón en su microestructura es un sistema complejo de fases sólidas, poros, y agua con un alto grado de heterogeneidad, y que esta heterogeneidad puede tener algunos niveles desde lo macro a lo micro; en el nivel más pequeño existe pasta de cemento, cemento sin reaccionar, poros, agua, diferentes fases entre los materiales (el Clinker sobre todo) del sólido al disuelto. Una imagen clara de la heterogeneidad del hormigón se muestra en la Figura 1.

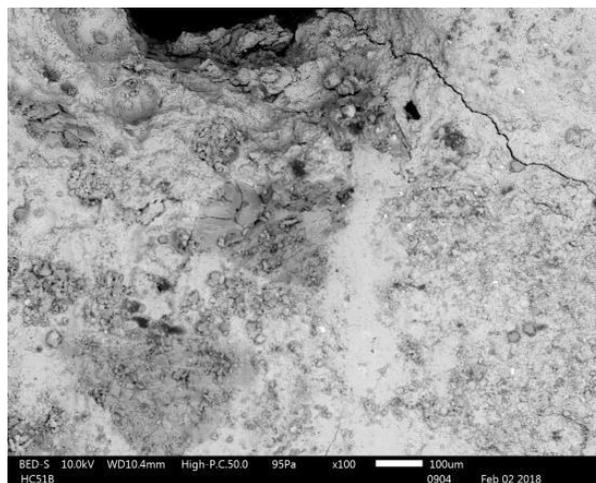
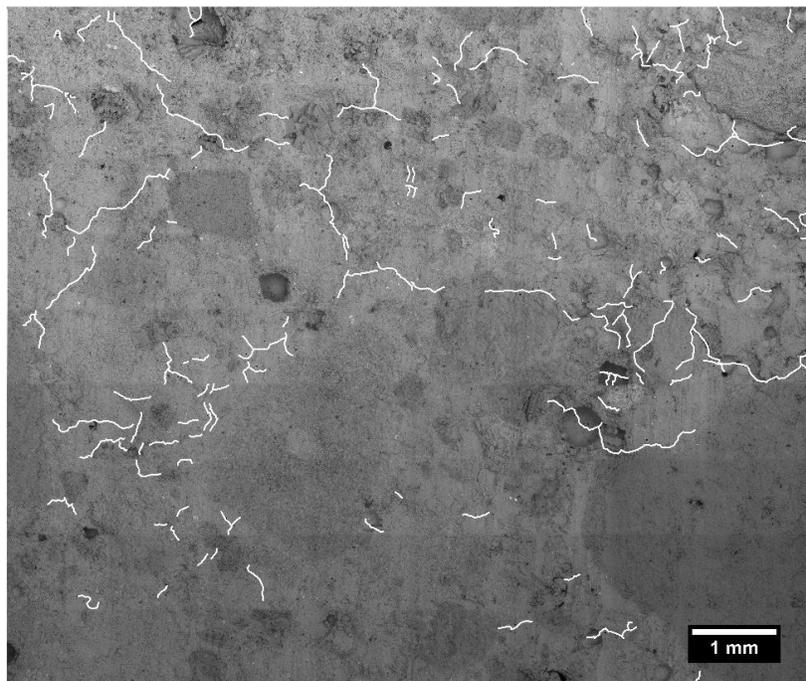


Figura 1: Ejemplo de microestructura de concreto obtenida por SEM. Fuente: Rosero (2018).

### 2.1.2. Microfisuramiento por carga.

Las fisuras son esenciales en la respuesta que tiene el hormigón a la carga de tensión y compresión; varios estudios han demostrado que el comportamiento microscópico del concreto está ligado al esfuerzo de compresión y, además la respuesta del esfuerzo deformación está asociada directamente con las microfisuras, las que provocan la existencia de espacios (microfisuras) entre los agregados y el cemento, permitiendo su propagación a través del mortero. Attigbe y Darwin (1987) afirman que una proporción significativa de la deformación no lineal de la pasta de cemento y el mortero, se debe a la deformación causada por las microfisuras (de diferentes magnitudes).



*Figura 2: Microfisuras dentro del elemento de concreto. Fuente: Rosero (2018)*

Antes de la aplicación de carga en el elemento de concreto, el volumen de la pasta de cemento cambia debido a las fisuras entre el límite del mortero y agregado grueso; con la aplicación de una carga menor al 30% del esfuerzo a la compresión, no se crean nuevas fisuras, pero al superar este valor empiezan a crearse más grietas entre los límites antes mencionados y por ende a juntarse entre ellas; luego de superar el 70% del esfuerzo a la compresión, las fisuras entre estos límites incrementan considerablemente hasta propagarse por todo el mortero y así aceleradamente se forman fisuras paralelas a la dirección de la carga de compresión, hasta que el concreto falla.

### **2.1.3. Propiedades mecánicas del hormigón.**

El hormigón cuenta con varias propiedades mecánicas, las cuales son de suma importancia para su estudio y comprensión de su comportamiento.

#### **2.1.3.1. Resistencia a la compresión ( $f_c$ ).**

Una de las propiedades mecánicas del concreto más importantes, es la resistencia a la compresión, es una característica básica y la más aprovechable del hormigón, esta da a conocer la capacidad que tiene un elemento a soportar diferentes esfuerzos, por tal razón, se cuenta con normas que certifican la seguridad estructural de la construcción de elementos de concreto, una de ellas es el ACI-318 (en la cual está basada mayoritariamente la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC) que establece que la resistencia no debe ser inferior a 17 MPa, y que el mismo debe basarse en ensayos realizados a los 7 y 28 días, luego del curado para determinar el esfuerzo que soporta la mezcla. Estos valores dependen además del curado, tipo de

mezcla (relación agua-cemento), aditivos o puzolanas, entre otros; pero la curva que se obtiene comúnmente en hormigones convencionales es la siguiente:

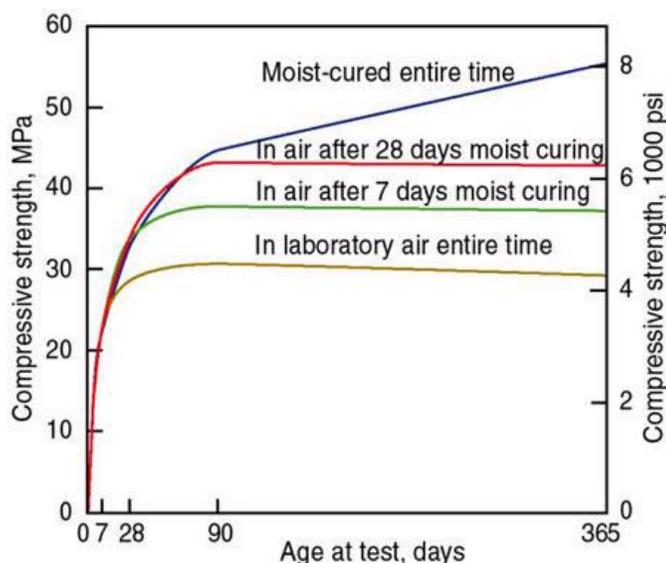
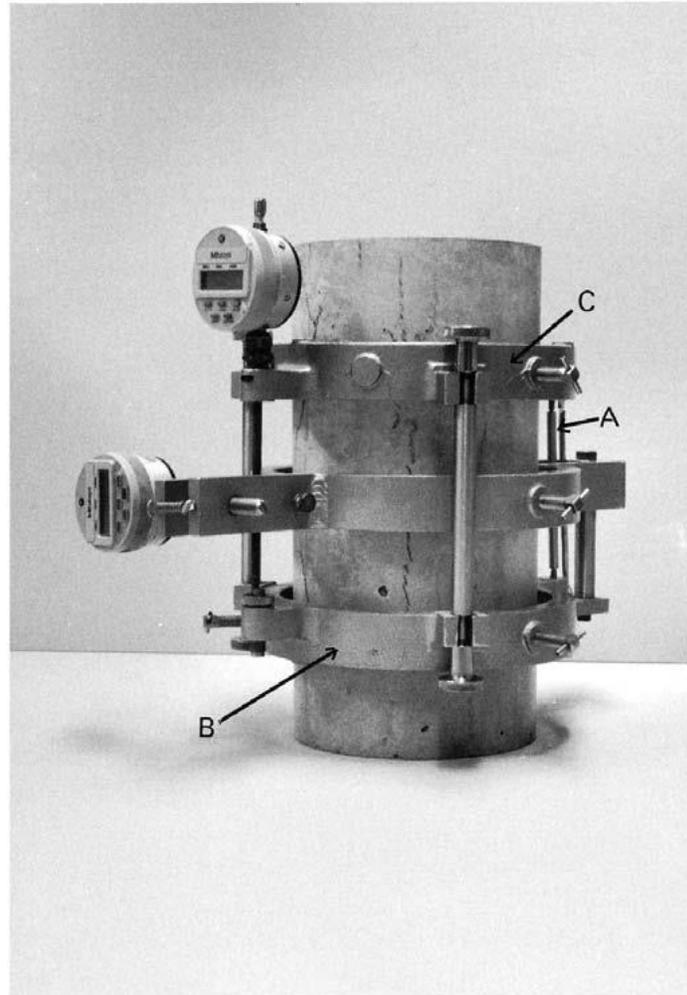


Figura 3: Esfuerzo-deformación del hormigón por edades. Fuente: Farooq (2015)

En esta imagen se muestra el esfuerzo conseguido a los 7 y 28 días de un espécimen de hormigón, comúnmente luego de los 28 días su esfuerzo se incrementa en valores no tan relevantes como entre el período de 7 a 28 días, luego del curado.

### 2.1.3.2. Módulo de elasticidad estático.

La elasticidad es una propiedad mecánica referente a la deformación reversible de los materiales por el sometimiento de varios esfuerzos; por ende en el concreto es la relación entre el esfuerzo al que está sometido y su deformación, representando la rigidez del elemento de concreto ante una carga; para determinar el módulo de elasticidad estático se debe guiar por la norma ASTM C 469, cuya forma de obtención se realiza con la ayuda de un compresómetro y de una máquina de compresión, como se muestra en la figura a continuación.



*Figura 4: Compresometro en espécimen de cilindro. Fuente: ASTM C 469-14.*

Tiene como principio la aplicación de carga en la zona elástica, donde se aplican cargas del 40% de su resistencia a la compresión última, y los resultados se obtienen mediante la siguiente ecuación:

$$E = (S_2 - S_1) / (\epsilon_2 - 0.000050)$$

Siendo:

E= Módulo de elasticidad en MPa

S<sub>2</sub>= Resistencia correspondiente al 40% de la carga última

S<sub>1</sub>= Resistencia correspondiente a la deformación longitudinal

$\epsilon_2$ = Deformación longitudinal producida por  $S_2$ .

### 2.1.3.3. Módulo de elasticidad dinámico.

El módulo de elasticidad dinámico del hormigón es indispensable para elementos que se encuentran expuestos al desgaste y otros tipos de formas de deterioramiento, esta prueba de igual manera que el estático está regido por la norma ASTM C 215, cuya basa son las ondas de ultrasonido (ensayos no destructivos) que se propagan en el interior del elemento y dependen de las diferentes discontinuidades del elemento; para el efecto es necesario contar con un aparato de resonancia que cumpla el siguiente esquema:

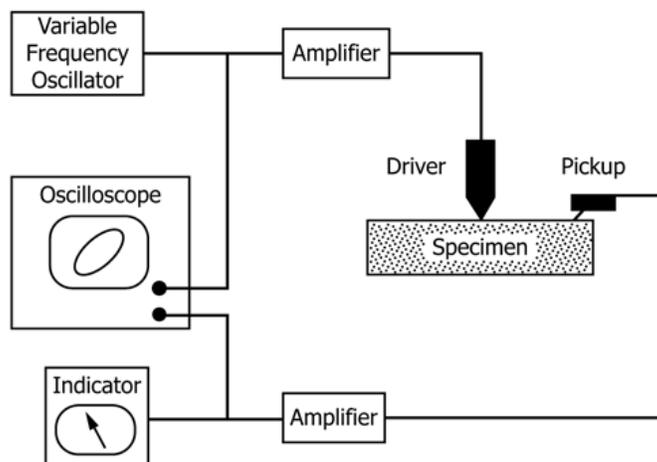


Figura 5: Esquema de sistema de aparatos para la prueba de resonancia. Fuente: ASTM C 215-14.

La prueba consiste en colocar el espécimen como se muestra en la Figura 6 y darle un pequeño impacto en el punto medio para obtener así la frecuencia de la onda transversal; y con este valor aplicar la siguiente formula:

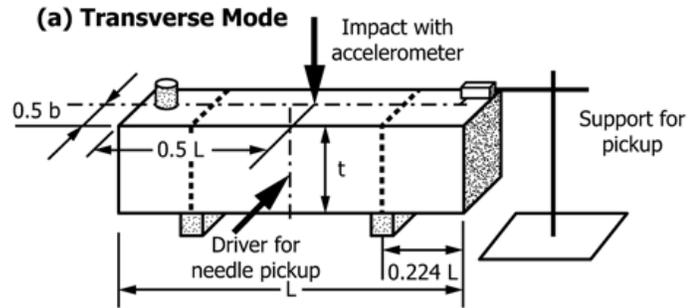


Figura 6: Esquema de colocación de espécimen para la prueba. Fuente: ASTM C 215-14

$$\text{Dynamic } E = CMn^2$$

Siendo:

M= masa del espécimen, kg

n= frecuencia transversal, PA

C=  $1.6067 (L^3T/d^4)$ , m-1

L= longitud del espécimen, m

d= diametro del cilindro, m

T= Fator de corrección dependiente del radio de giro, K

#### 2.1.3.4. Velocidad de ondas de esfuerzo de pulso (vp).

La velocidad de pulso busca determinar la velocidad de propagación de pulsaciones de ondas longitudinales a través del concreto; este parámetro sirve para evaluar la calidad del elemento y la existencia de cambios en sus propiedades, entre los que se destaca la presencia de espacios vacíos y fisuras, permitiendo evaluar de esta forma la posibilidad de reparar las fisuras encontradas, y así estimar su deterioro.

Para obtener el  $v_p$ , se debe guiar en la norma ASTM C 597, para lo cual es necesario contar con un aparato transductor de velocidad de pulso, el cual dará el valor de la velocidad de propagación de onda dentro del elemento.

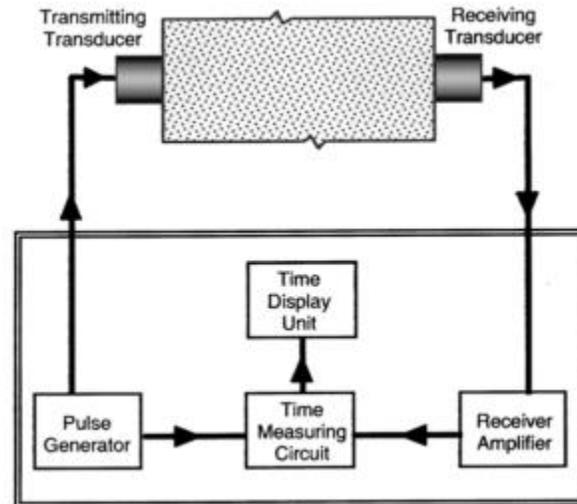


Figura 7: Imagen de un esclerómetro. Fuente: Sanjuán (s.f.)

#### 2.1.3.5. Velocidad de ondas de esfuerzo de corte ( $v_s$ ).

De igual manera que la velocidad de pulso, la velocidad de corte es una propiedad que permite evaluar al elemento del concreto y estimar su grado de deterioro; esto se da a través de pulsaciones de ondas por medio del elemento, los cuales por medio de un generador de pulso y un osciloscopio logran captar y obtener el tiempo en que viaja la onda, y luego con la longitud del espécimen obtener  $v_s$ .

#### **2.1.4. Otras propiedades.**

##### **2.1.4.1. Número de Rebote.**

El número de rebote es un ensayo por el cual se determina la resistencia de un elemento de concreto endurecido a partir del número de rebotes, de un aparato llamado el esclerómetro; el mismo no es conveniente para aceptar o rechazar el elemento; para obtener este ensayo se utiliza un aparato antes mencionado esclerómetro, se sostiene perpendicular a la superficie de prueba y luego se deja que el martillo del mismo se impacte con esta y así obtener el dato de la resistencia.



*Figura 8:* Imagen de un esclerómetro. Fuente: Sanjuán (s.f.)

En la imagen superior, podemos apreciar el martillo que es la punta izquierda del aparato; la misma que debe estar perpendicular a la superficie de impacto. La norma para el correcto uso de este ensayo es la norma ASTM C 805.

##### **2.1.4.2. Parámetro de densidad de fisuras.**

El parámetro de densidad de fisuras, lo investigo Recalde en el 2009, donde encontró que existe una relación entre el cambio de las propiedades mecánicas de un elemento de concreto, con el cambio de la microestructura luego de ser expuesto a altas temperatura 300°C y a saturación; conseguido por medio de ensayos no destructivos basados en el modelo de O'Connell y Budiansky (1974), quienes desarrollaron ecuaciones para predecir el módulo elástico de sólidos (homogéneos e isotrópicos) en un esfuerzo constante, considerando fisuras secas y

saturadas; circulares y elípticas, distribuidas por el sistema aleatoriamente. Este modelo describe los cambios entre el módulo de corte, compresibilidad, Poisson's y Young, usando el parámetro de densidad de fisuras ( $\varepsilon$ ) como se muestra en la siguiente figura:

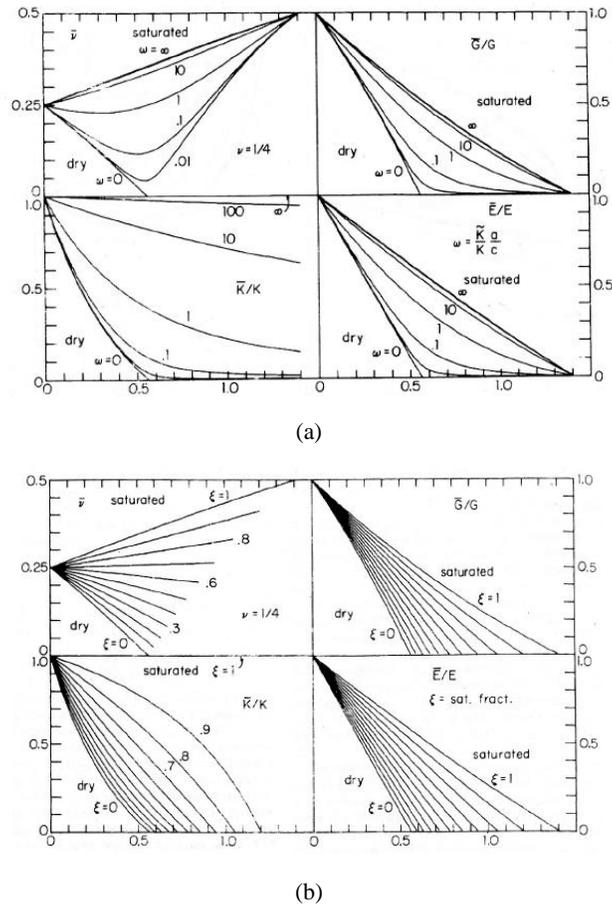


Figura 9: Propiedades elásticas de un sólido con fisuras circulares. (a) Efecto de saturación total (b) Efecto de saturación parcial. Fuente: O'Connell y Budianski, (1974)

Si siguiendo este modelo, las siguientes ecuaciones expresan el parámetro de densidad de fisuras circulares y elípticas respectivamente:

$$\varepsilon = \frac{1}{V} \sum a^3$$

$$\varepsilon = \frac{2N}{\pi V} \sum \frac{A_c^2}{P_c}$$

Donde:

V = volumen del sólido, m<sup>3</sup>

a = radio elíptico mayor, m

N = número de fisuras

Ac = área de fisuras, m<sup>2</sup>

Pc = perímetro de fisuras, m

De igual manera considerando los diferentes módulos del modelo, se utilizan las siguientes ecuaciones para los estados de saturado y seco:

$$\frac{K}{K_0} = 1 - \frac{16(1 - \nu^2)}{9(1 - 2\nu)} D \varepsilon$$

$$\frac{E}{E_0} = 1 - \frac{16}{45} (1 - \nu^2) \left[ 3D + \frac{4}{(2 - \nu)} \right] \varepsilon$$

$$\frac{G}{G_0} = 1 - \frac{32}{45} (1 - \nu) \left[ D + \frac{3}{(2 - \nu)} \right] \varepsilon$$

Con las ecuaciones anteriores se obtiene:

$$\varepsilon = \frac{45(\nu_0 - \nu)}{16(1 - \nu^2)} \frac{(2 - \nu)}{[D(1 + 3\nu_0)(2 - \nu) - 2(1 - 2\nu_0)]} \varepsilon$$

Donde:

K = módulo de compresibilidad efectivo, Pa

$K_0$  = módulo de compresibilidad del sólido no fisurado, Pa

$\nu$  = módulo de Poisson efectivo

$\nu_0$  = módulo de Poisson del sólido no fisurado

$G$  = módulo de cortante efectivo, Pa

$G_0$  = módulo de cortante del sólido no fisurado, Pa

$a$  = radio elíptico mayor, m

$c$  = ancho de fisura, m

$K_A$  = módulo de compresibilidad del fluido, Pa

$D$  = depende del grado de saturación

$\xi_{OB}$  = nivel de saturación

Para conseguir el grado de saturación total o parcial, se debe obtener mediante las siguientes ecuaciones:

$$D_{sf} = 1 - \xi_{OB}$$

$$D_{sf} = \left[ 1 + \frac{4 (1 - \nu^2) K_0}{3\pi (1 - 2\nu) K} \omega_{OB} \right]^{-1}$$

Donde,

$$\omega_{OB} = \frac{a K_A}{c K_0}$$

## 2.1.5. Investigaciones previas.

### 2.1.5.1. Carga de esfuerzo.

Investigaciones realizadas por Price (*s.f.*) han demostrado que luego de sobrepasar el esfuerzo crítico del hormigón, la fractura de este se vuelve dependiente del tiempo, donde la propagación de fisuras puede llevar al sistema a fallar teniendo un esfuerzo  $f'_c$  aplicado por un corto lapso de tiempo. Además, encontró que luego de exponer los especímenes al 90 % del esfuerzo último la falla ocurre luego de 1 hora, sin embargo, cuando la carga es del 75 % de su esfuerzo último, tomo 30 años en fallar; demostrando así que mientras el valor del esfuerzo sometido se acerca a su esfuerzo último, el tiempo de falla decrece.

De la misma manera Rusch comprobó que exponiendo sus especímenes de 56 días a 34 Mpa y al 80% del esfuerzo último, se obtuvo el siguiente gráfico.

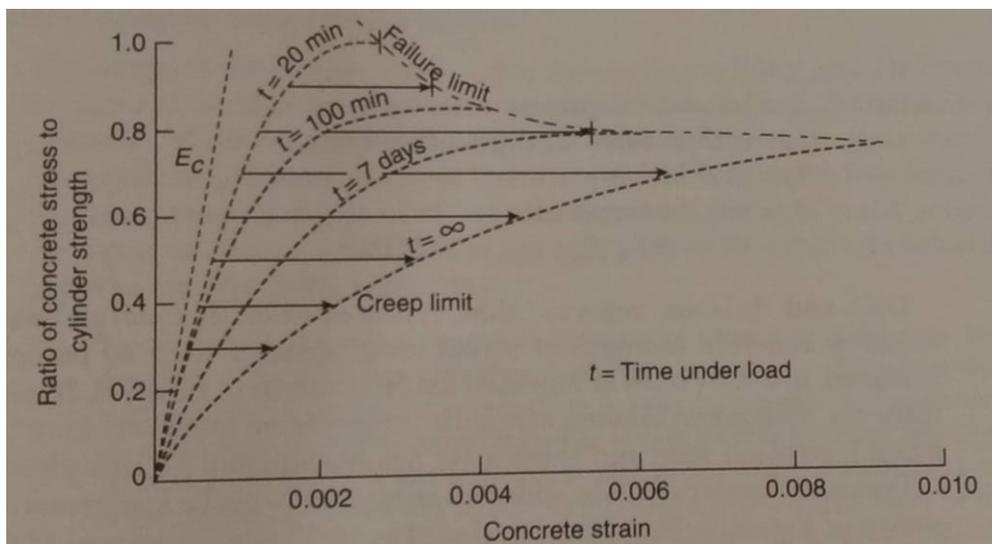


Figura 10: Relación entre esfuerzo de carga a corto plazo y largo plazo. Fuente: Rusch, (1960)

## 2.2. Plan experimental

### 2.2.1. Matriz de experimentos

Para el proyecto de investigación se propuso obtener las propiedades mecánicas de los especímenes de hormigón de cada una de las mezclas, antes y después del deterioro.

- Antes del deterioro

**Tabla 1**

*Esquema de ensayos y especímenes de cada mezcla antes del deterioro*

Propiedades mecánicas	Mezclas		
	M3	M4	M5
Resistencia a la compresión ( $f'c$ )	2 (100x200)	2 (100x200)	2 (100x200)
Velocidad de pulso ( $vp$ ), Velocidad de corte ( $vs$ ), Número de rebote, Módulo de elasticidad dinámico ( <i>Dynamic E</i> )	9 (100x200)	9 (100x200)	9 (100x200)
Módulo de elasticidad estático ( $E$ )	2 (150x300)	2 (150x300)	2 (150x300)

- Después del deterioro

**Tabla 2**

*Esquema de ensayos y especímenes de cada mezcla luego del deterioro*

Propiedades mecánicas	Mezclas		
	M3	M4	M5
Resistencia a la compresión ( $f'c$ )	-	-	-

<b>Velocidad de pulso (<math>v_p</math>), Velocidad de corte (<math>v_s</math>), Número de rebote, Módulo de elasticidad dinámico (<i>Dynamic E</i>)</b>	2 (100x200) deteriorados 2 (100x200) sin deteriorar	2 (100x200) deteriorados 2 (100x200) sin deteriorar	2 (100x200) deteriorados 2 (100x200) sin deteriorar
<b>Módulo de elasticidad estático (<i>E</i>)</b>	2 (150x300) deteriorados	2 (150x300) deteriorados	2 (150x300) deteriorados

### 2.2.2. Metodología

Como se mencionó anteriormente el modelo de O'Connel y Budiansky se basa en dos procesos, uno cuando el espécimen se encuentra seco y otro cuando el mismo está casi saturado; por ende, el proceso para obtener el parámetro de densidad de fisuras es:

1. Crear 11 probetas cilíndricas de 100x200mm y 2 de 150x300mm para las tres mezclas convencionales con tres diferentes relaciones agua cemento, la dosificación de cada mezcla se puede observar en el ANEXO A, el proceso de fabricación sigue la norma ASTM C192-16.
2. Desencofrar probetas a las 24 horas, proceder curado estándar a 2 probetas por 28 días a  $23 \pm 2$  °C en agua saturada en  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ; y curado en obra 11 especímenes a humedad 7 días y seco en ambiente de laboratorio (22 °C & 28% de humedad).
3. Acondicionar los 11 especímenes:
  - 4 días en ambiente de laboratorio 22 °C & 28% de humedad
  - 10 días en secado en horno a 80 °C
  - Casi saturado en tanques de agua 2 días semi-sumergidos, y dos días sumergidos

4. En cada uno de los acondicionamientos se realizar los ensayos no destructivos vp, vs, Ed, Es, NR; los ensayos se encuentran normados bajo la ASTM mencionadas en 2.1 Revisión Bibliográfica.
5. Llevar a falla 3 especímenes de cada mezcla para obtener el fc promedio.
6. Llevar a falla a dos especímenes, sometidos al 90% de fc para obtener el tiempo en que fallan.
7. Deteriorar 4 especímenes restantes dos de 100x200mm y los dos de 150x300mm.
8. Someter los 4 especímenes deteriorados a los diferentes acondicionamientos mencionados en el literal 3.
9. Realizar los ensayos no destructivos en cada acondicionamiento, como se menciona en el literal 4.
10. Obtener el parámetro de densidad de fisuras ( $\epsilon$ ) con los datos obtenidos de los ensayos no destructivos antes y después del deterioro.
11. Guardar dos especímenes sin deteriorar para futuras investigaciones.

## 2.3. Resultados

### 2.3.1. Mezcla M3.

La mezcla M3 fue sometida al 85% del promedio de  $f_c$ , y a 1/3 del tiempo, obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 3**

*Resumen de resultados de la mezcla M3  $f_c$  estándar,  $f_c$  en obra y tiempo en dañarse*

Mezcla M3				
Espécimen ID	Dimensiones	$f_c$ est	$f_c$ obra	$t_{85}$
	in	MPa	MPa	hh:mm:ss
1	4x8	55.82	-	-
2	4x8	48.67	-	-
3	4x8	-	-	-
4	4x8	-	55.682	-
5	4x8	-	54.856	-
6	4x8	-	-	1:00:29
7	4x8	-	-	-
8	4x8	-	-	-
9	4x8	-	-	-
10	4x8	-	57.767	-
11	4x8	-	-	0:30:48
12	6x12	-	-	-
13	6x12	-	-	-

**Tabla 4**

*Resumen de resultados de la mezcla M3 antes del deterioro*

Mezcla M3		ANTES DEL DAÑO												
		Seco en ambiente				Seco en horno				Casi Saturado				
ID	Dimensiones	Vp	Vs	NR	Ed	Vp	Vs	NR	Ed	Vp	Vs	NR	Ed	Ec
	in	m/s	m/s	-	GPa	m/s	m/s	-	GPa	m/s	m/s	-	GPa	GPa
1	4x8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	4x8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	4x8	3478	1191	36.2	25.5	4062	1147	-	18.5	4089	1318	-	25.5	-
4	4x8	3462	1276	34.8	23.5	4123	1159	-	18.0	4104	1354	-	26.0	-
5	4x8	3556	1222	31.8	24.0	4109	1115	-	19.0	4109	1323	-	26.0	-

6	4x8	3535	1218	35.0	23.5	4139	1136	-	20.0	4098	1289	-	25.5	-
7	4x8	3509	1183	31.2	25.0	4110	1144	-	18.0	4028	1407	-	26.0	-
8	4x8	3518	1229	34.8	25.0	4074	1151	-	18.0	4083	1301	-	26.0	-
9	4x8	3539	1270	37.2	24.0	4081	1130	-	20.0	4095	1387	-	26.0	-
10	4x8	3617	1254	35.0	25.0	4089	1119	-	21.5	4081	1319	-	26.0	-
11	4x8	3494	1155	37.0	25.0	4089	1140	-	20.5	4089	1340	-	25.5	-
12	6x12	3715	1111	48.4	25.5	4085	1173	-	17.5	4123	1209	-	26.0	22.2
13	6x12	3678	1138	44.2	25.0	4052	1165	-	17.0	4063	1204	-	26.0	21.6

**Tabla 5**

*Resumen de resultados de la mezcla M3 después del deterioro*

Mezcla M3		DESPUÉS DEL DAÑO												
		Seco en ambiente				Seco en ambiente				Seco en ambiente				
ID	Dimensiones	Vp	Vs	NR	Ed	Vp	Vs	NR	Ed	Vp	Vs	NR	Ed	Ec
	in	m/s	m/s	-	GPa	m/s	m/s	-	GPa	m/s	m/s	-	GPa	GPa
1	4x8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	4x8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	4x8	4133	1269	-	22.5	4173	1945	-	18.5	4229	2335	-	25.5	-
4	4x8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	4x8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	4x8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	4x8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	4x8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	4x8	4148	1189	-	22.5	4142	1885	-	18.5	4244	2234	-	26.0	-
10	4x8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	4x8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	6x12	4015	1403	44.4	19.0	4083	1222	-	16.5	4129	1285	-	21.0	22.6
13	6x12	4103	1735	44.4	21.5	4108	1281	-	15.5	4144	1317	-	21.0	19.8

### 2.3.2. Mezcla M4.

La mezcla M4 fue sometida al 85% del promedio de  $f_c$ , y a 1/3 del tiempo, obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 6**

*Resumen de resultados de la mezcla M4  $f_c$  estándar,  $f_c$  en obra y tiempo en dañarse*

<b>Mezcla M4</b>
------------------

Especimen ID	Dimensiones	fc est	fc obra	t <sub>85</sub>
	in	MPa	MPa	hh:mm:ss
1	4x8	34.59	-	-
2	4x8	35.51	-	-
3	4x8	-	37.689	-
4	4x8	-	-	-
5	4x8	-	38.395	-
6	4x8	-	-	0:01:08
7	4x8	-	36.414	-
8	4x8	-	-	0:02:00
9	4x8	-	-	-
10	4x8	-	-	-
11	4x8	-	-	-
12	6x12	-	-	-
13	6x12	-	-	-

**Tabla 7**

*Resumen de resultados de la mezcla M4 antes del deterioro*

Mezcla M4		ANTES DEL DAÑO												
		Seco en ambiente				Seco en ambiente				Seco en ambiente				
ID	Dimensiones	V <sub>p</sub>	V <sub>s</sub>	NR	Ed	V <sub>p</sub>	V <sub>s</sub>	NR	Ed	V <sub>p</sub>	V <sub>s</sub>	NR	Ed	Ec
	in	m/s	m/s	-	GPa	m/s	m/s	-	GPa	m/s	m/s	-	GPa	GPa
1	4x8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	4x8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	4x8	3666	1128	28.2	17.5	3650	1073	-	15.0	3672	1145	-	19.5	-
4	4x8	3741	1115	28.8	18.5	3771	1118	-	16.0	3736	1139	-	20.0	-
5	4x8	3702	1128	30.8	19.0	3709	1072	-	16.0	3713	1139	-	20.5	-
6	4x8	3676	1213	28.8	18.0	3658	1094	-	15.0	3711	1126	-	19.5	-
7	4x8	3577	1080	30.4	17.5	3711	1136	-	14.0	3560	1140	-	19.5	-
8	4x8	3684	1127	29.4	18.0	3757	1095	-	15.0	3706	1123	-	19.5	-
9	4x8	3684	1088	28.4	17.5	3718	1064	-	14.5	3713	1115	-	19.5	-
10	4x8	3684	1038	28.6	18.5	3711	1102	-	16.0	3679	1130	-	20.0	-
11	4x8	3665	1107	25.8	18.0	3715	1106	-	15.0	3684	1130	-	20.0	-
12	6x12	3749	1152	38.4	19.0	3812	1172	-	15.0	3789	1165	-	20.0	16.8
13	6x12	3725	1097	35.4	18.5	3776	1162	-	15.5	3745	1147	-	19.5	16.0

**Tabla 8**

*Resumen de resultados de la mezcla M4 después del deterioro*

MEZCLA M4		ANTES DEL DAÑO												Ec
		Seco en ambiente				Seco en ambiente				Seco en ambiente				
ID	Dimensiones	Vp	Vs	NR	Ed	Vp	Vs	NR	Ed	Vp	Vs	NR	Ed	Ec
	in	m/s	m/s	-	GPa	m/s	m/s	-	GPa	m/s	m/s	-	GPa	
1	4x8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	4x8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	4x8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	4x8	3639	1286	-	17.5	3913	1344	-	13.5	3915	1623	-	19.0	-
5	4x8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	4x8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	4x8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	4x8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	4x8	3639	1165	-	18.0	3812	1281	-	14.0	3856	1996	-	17.5	-
10	4x8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	4x8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	6x12	3778	1546	38.4	14.5	3823	1227	-	10.5	3823	1202	-	13.5	14.6
13	6x12	3780	1443	36.2	16.5	3765	1293	-	10.5	3803	1257	-	13.0	14.6

### 2.3.3. Mezcla 5.

De la mezcla M5 sobrante del día de fundición se logró obtener dos especímenes extra, por lo que en esta prueba se contó con 14 cilindros ensayados; se consideró tener un cilindro extra ya que el espécimen 6 falló a los 15 segundos de aplicar el 90% de  $f_c$  al un tercio de tiempo de falla; los datos del mismo fueron considerados para obtener la media del  $f_c$ , así la mezcla M5 fue sometida al 90% de  $f_c$  y al 1/3 del tiempo de falla; obteniendo así los siguientes resultados:

**Tabla 9**

*Resumen de resultados de la mezcla M5  $f_c$  estándar,  $f_c$  en obra y tiempo en dañarse*

MEZCLA M5				
Especimen ID	Dimensiones	$f_c$ est	$f_c$ obra	$t_{90}$
	in	MPa	MPa	hh:mm:s
1	4x8	32.55	-	-
2	4x8	33.26	-	-
3	4x8	-	33.91	-
4	4x8	-	34.153	-

5	4x8	-	33.247	-
6	4x8	-	30.405	-
7	4x8	-	-	0:06:15
8	4x8	-	-	0:01:51
9	4x8	-	-	-
10	4x8	-	-	-
11	4x8	-	-	-
12	6x12	-	-	-
13	6x12	-	-	-
14*	4x8	-	-	-

**Tabla 10**

*Resumen de resultados de la mezcla M5 antes del deterioro*

Mezcla M4		ANTES DEL DAÑO												Ec
		Seco en ambiente				Seco en ambiente				Seco en ambiente				
ID	Dimensiones	Vp	Vs	NR	Ed	Vp	Vs	NR	Ed	Vp	Vs	NR	Ed	Ec
	in	m/s	m/s	-	GPa	m/s	m/s	-	GPa	m/s	m/s	-	GPa	
1	4x8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	4x8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	4x8	3478	983	26.8	18.0	3380	1050	33	14.0	3413	1137	26.4	18.0	-
4	4x8	3462	1002	24.8	17.0	3430	1084	34.6	13.0	3485	1085	34.4	17.5	-
5	4x8	3556	1072	21	17.5	3381	1003	31.4	14.0	3433	1068	28.8	18.0	-
6	4x8	3535	1408	23	19.0	3499	1062	34.6	15.5	3501	1100	31.2	19.0	-
7	4x8	3509	1150	25.4	19.5	3448	1073	32	16.0	3505	1092	25.6	18.5	-
8	4x8	3518	1121	27.2	16.5	3431	1066	31.2	14.0	3443	1044	28.8	17.0	-
9	4x8	3539	1103	26.8	17.5	3360	1050	34.4	14.0	3432	1065	29.4	17.0	-
10	4x8	3617	1080	23.6	18.5	3495	1081	37.2	15.0	3542	1067	29.2	17.5	-
11	4x8	3494	1116	23.8	17.0	3419	1060	34.2	13.0	3361	1092	25.4	16.5	-
12	6x12	3715	1059	31.6	20.0	3721	1151	38.4	14.5	3634	1145	35.2	21.5	16.2
13	6x12	3678	1096	30.9	20.0	3721	1150	38	15.0	3636	1131	34	19.0	17.0
14*	4x8	3553	1053	31	16.5	3532	1527	0	16	3702	1142	0	19.0	

**Tabla 11**

*Resumen de resultados de la mezcla M5 después del deterioro*

MEZCLA M4	ANTES DEL DAÑO												Ec
	Seco en ambiente				Seco en ambiente				Seco en ambiente				

ID	Dimensiones	Vp	Vs	NR	Ed	Vp	Vs	NR	Ed	Vp	Vs	NR	Ed	Ec
	in	m/s	m/s	-	GPa	m/s	m/s	-	GPa	m/s	m/s	-	GPa	GPa
1	4x8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	4x8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	4x8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	4x8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	4x8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	4x8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	4x8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	4x8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	4x8	3583	2558	34.2	16.0	3596	1149	-	11.0	3625	1593	-	14.0	-
10	4x8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	4x8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	6x12	3668	1687	35.8	17.5	3737	1264	-	13.0	3711	1342	-	15.5	15.4
13	6x12	3665	1312	36	17.5	3665	1426	-	12.0	3687	1376	-	15.0	16.8
14*	4x8	3745	2617	30.6	15.0	3675	1159	-	13.5	3726	1739	-	14.0	-

### 2.3.4. Velocidad de Pulso (vp).

Se puede visualizar que en todos los casos de las mezclas M3, M4 y M5, los resultados de la velocidad de pulso luego del deterioro aumenten en un menor porcentaje.

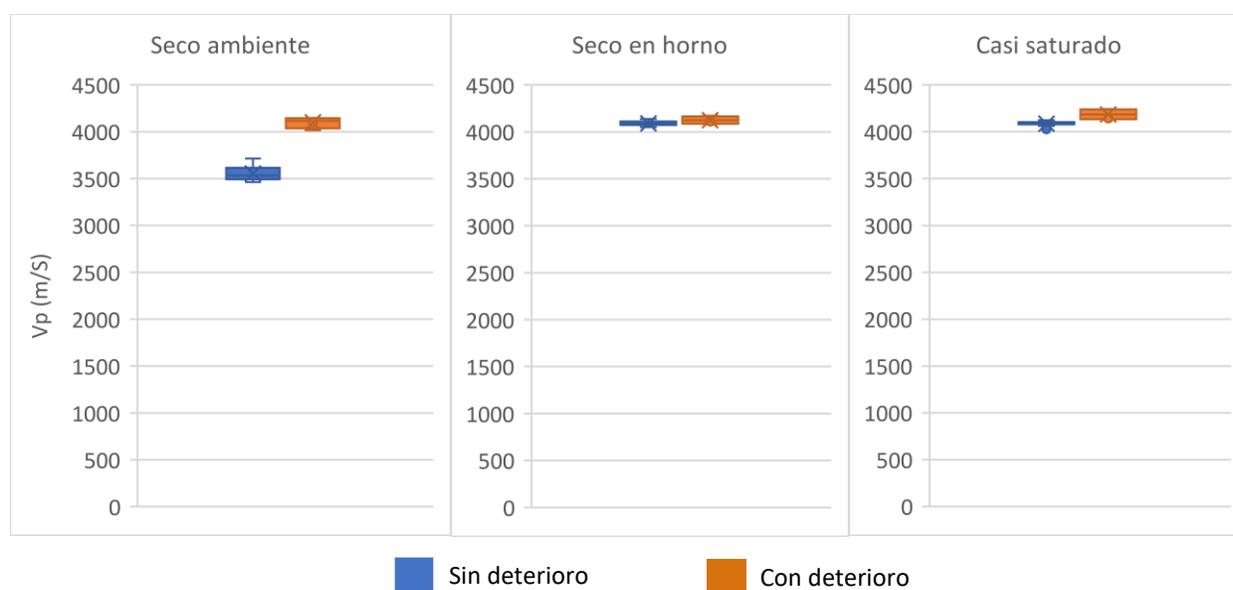


Figura 11: Comparación de la velocidad de pulso de la mezcla M3. (Laboratorios de hormigones USFQ)

La figura 1 muestra que el porcentaje de cambio entre los especímenes sin deterioro y con deterioro, en seco en ambiente es del 15.3%, seco en horno 0.8% y casi saturado 2.4%.

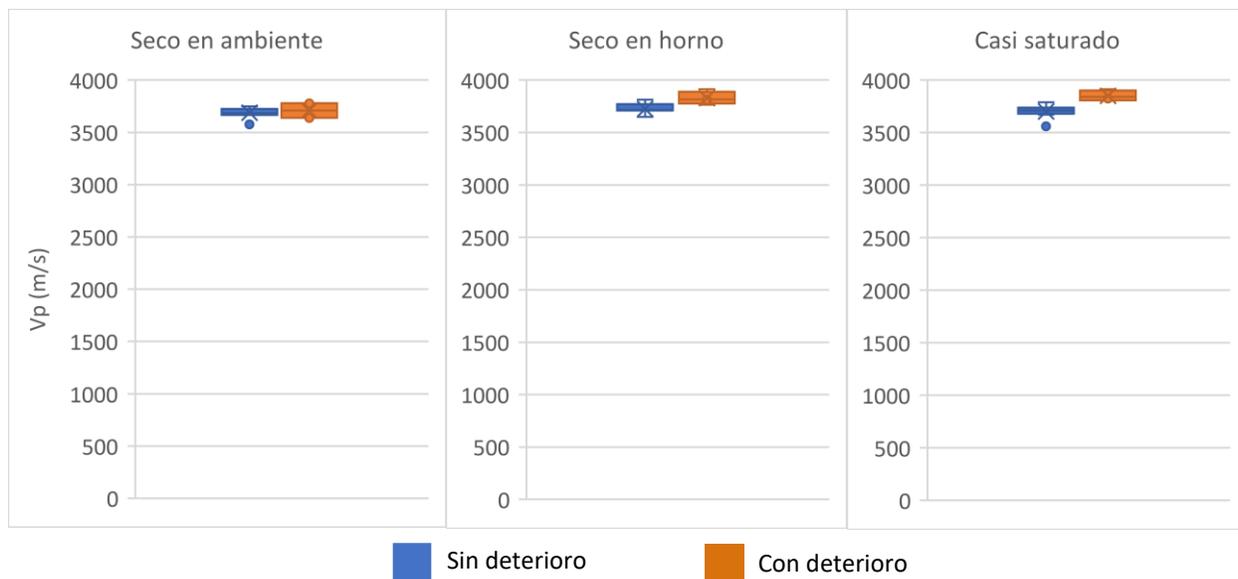


Figura 12: Comparación de la velocidad de pulso de la mezcla M4. (Laboratorios de hormigones USFQ)

La figura 2 muestra que, el porcentaje de cambio entre los especímenes sin deterioro y con deterioro, en seco en ambiente es de 0.6%, seco en horno un 2.7% y casi saturado el 4.0%.

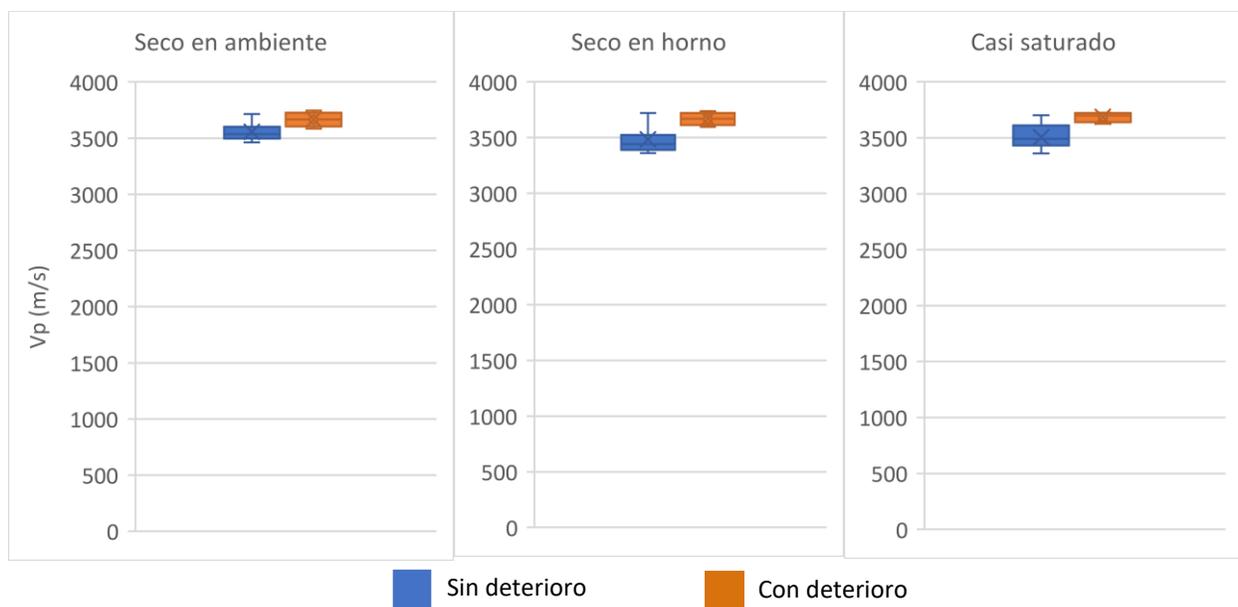


Figura 13: Comparación de la velocidad de pulso de la mezcla M5. (Laboratorios de hormigones USFQ)

Por último, la figura 3 indica que el porcentaje de cambio entre los especímenes sin deterioro y con deterioro, en seco en ambiente es de 3.1%, seco en horno 5.3% y casi saturado 5.1%.

### 2.3.5. Velocidad de Corte (vs).

De la misma manera que en la velocidad de pulso, en la velocidad de corte se presenta el mismo fenómeno, pero el porcentaje de diferencia entre los especímenes sin deterioro y con deterioro es mucho más alto.

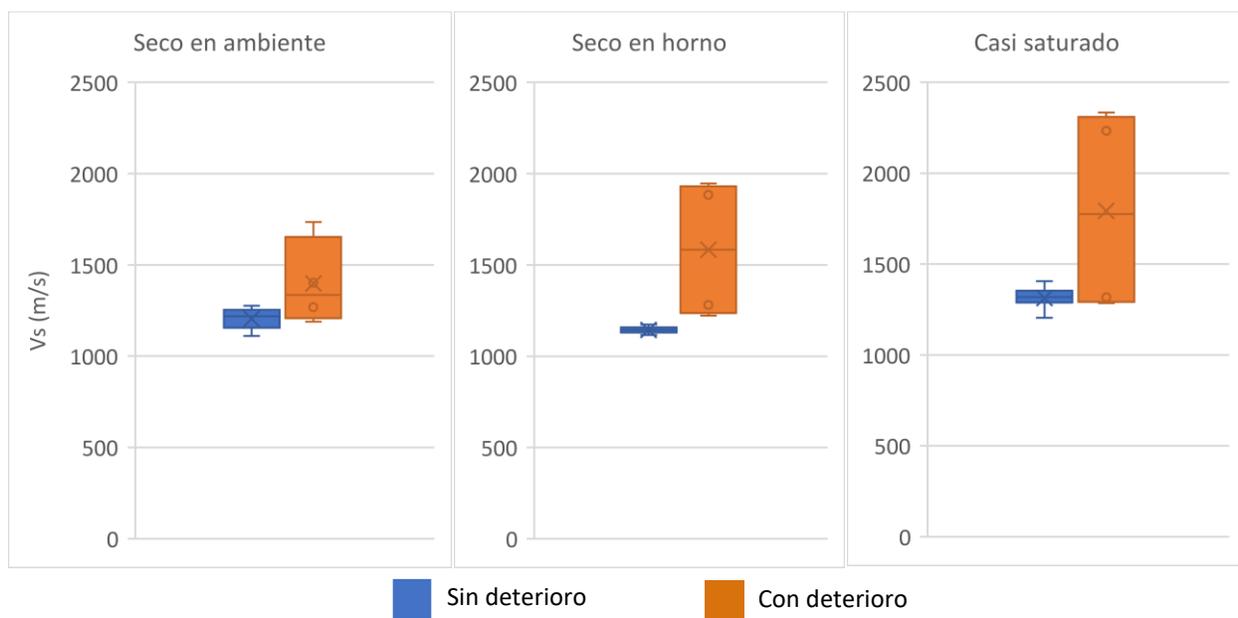


Figura 14: Comparación de la velocidad de corte de la mezcla M3. (Laboratorios de hormigones USFQ)

De la figura 4 se desprende que el porcentaje de cambio entre los especímenes sin deterioro y con deterioro, en seco en ambiente es de 16.2%, seco en horno 38.5% y casi saturado 36.5%.

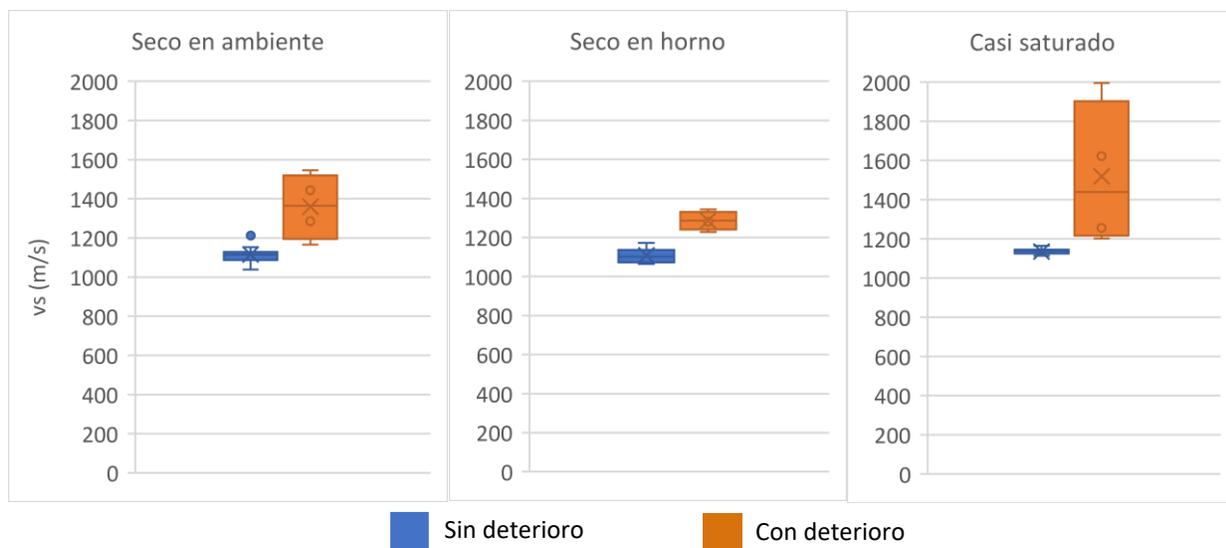


Figura 15: Comparación de la velocidad de corte de la mezcla M4. (Laboratorios de hormigones USFQ)

En esta figura se observa que el porcentaje de cambio entre los especímenes sin deterioro y con deterioro, en seco en ambiente es de 21.9%, seco en horno 16% y casi saturado 33.7%.

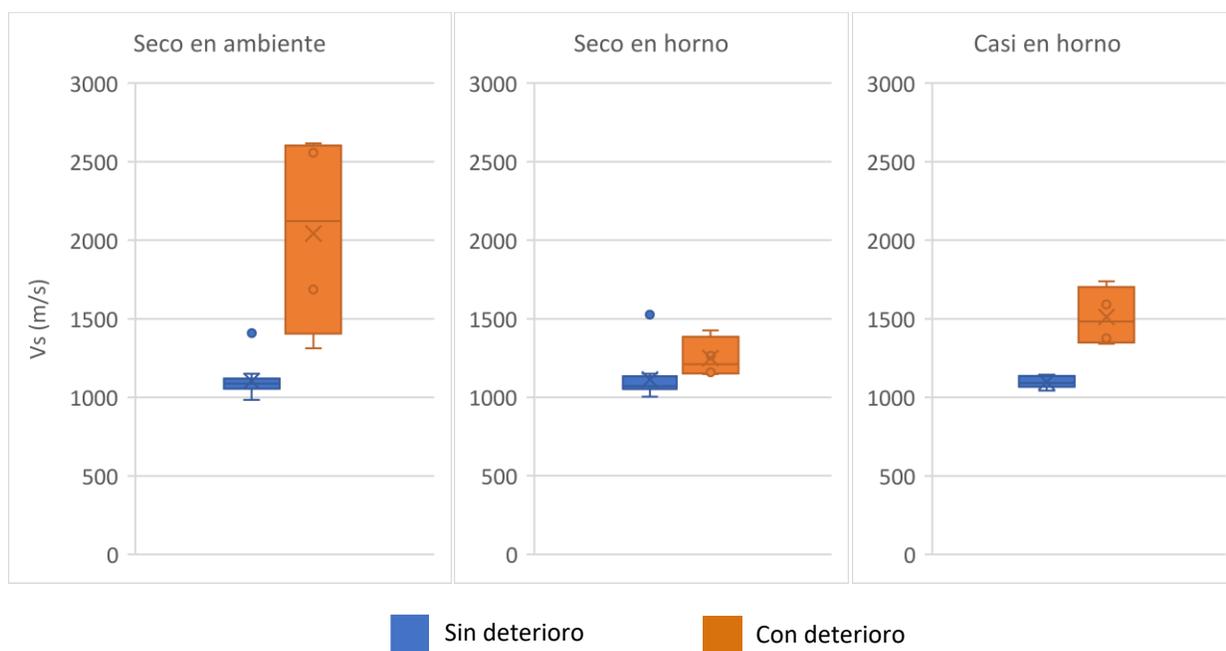


Figura 16: Comparación de la velocidad de corte de la mezcla M5. (Laboratorios de hormigones USFQ)

El porcentaje de cambio entre los especímenes sin deterioro y con deterioro, en seco en ambiente es de 21.9%, seco en horno 16% y casi saturado 33.7%.

### 2.3.6. Módulo de elasticidad dinámico (Dinámica E).

En contrario de la velocidad de pulso y de la velocidad de corte, este parámetro luego del deterioro disminuye en todas las mezclas, valores que fueron esperados que sucedan de esa forma y se plasman en las siguientes figuras.

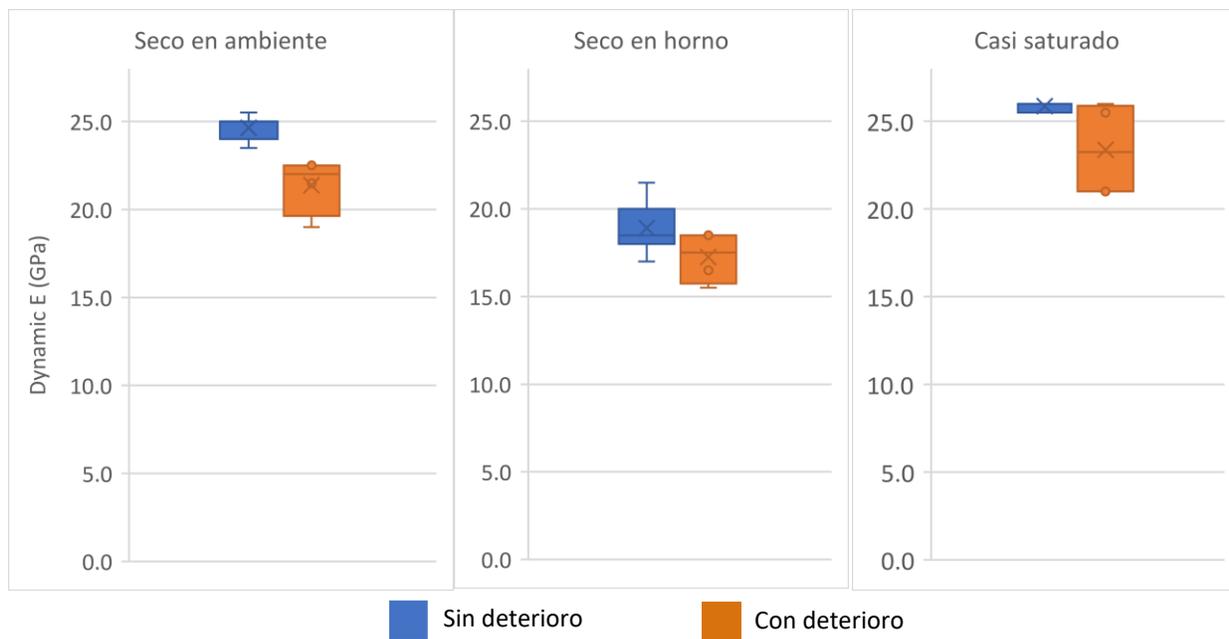


Figura 17: Comparación del módulo de elasticidad dinámico de la mezcla M3. (Laboratorios de hormigones USFQ)

Esta figura muestra que el porcentaje de cambio entre los especímenes sin deterioro y con deterioro, en seco en ambiente es de 13.2%, seco en horno 8.8% y casi saturado 9.6%.

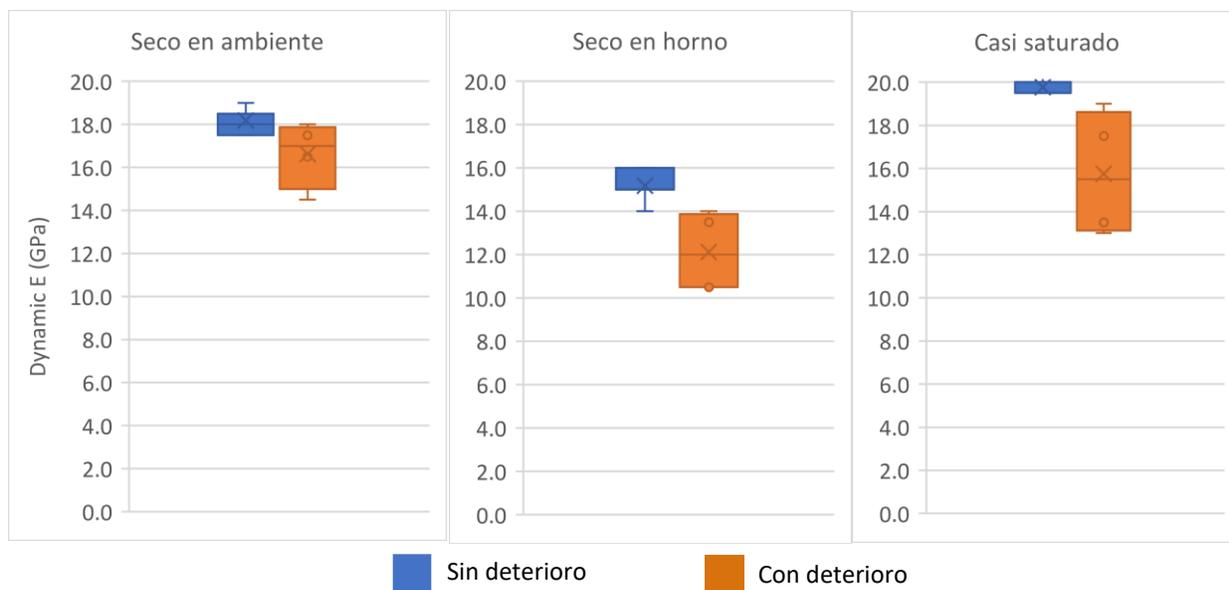


Figura 18: Comparación del módulo de elasticidad dinámico de la mezcla M4. (Laboratorios de hormigones USFQ)

En esta representación se observa que el porcentaje de cambio entre los especímenes sin deterioro y con deterioro, en seco en ambiente es de 8.6%, seco en horno 20.1% y casi saturado 20.3%.

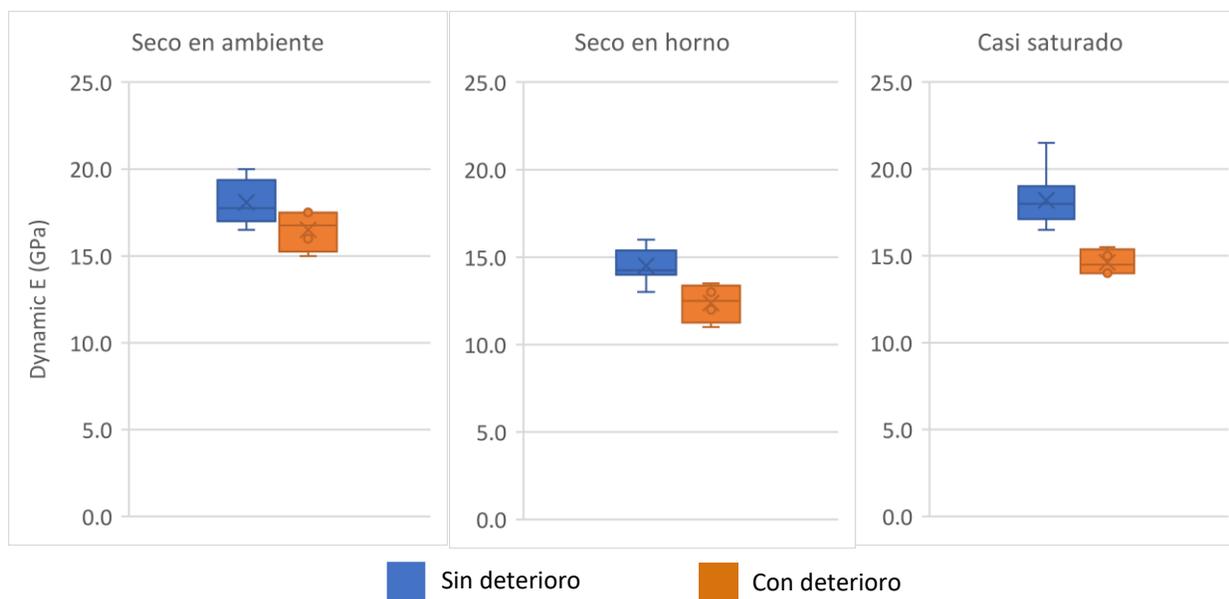


Figura 19: Comparación del módulo de elasticidad dinámico de la mezcla M5. (Laboratorios de hormigones USFQ)

El porcentaje de cambio entre los especímenes sin deterioro y con deterioro, en seco en ambiente es de 8.8%, seco en horno 14.7% y casi saturado 19.7%.

### 2.3.7. Número de rebote

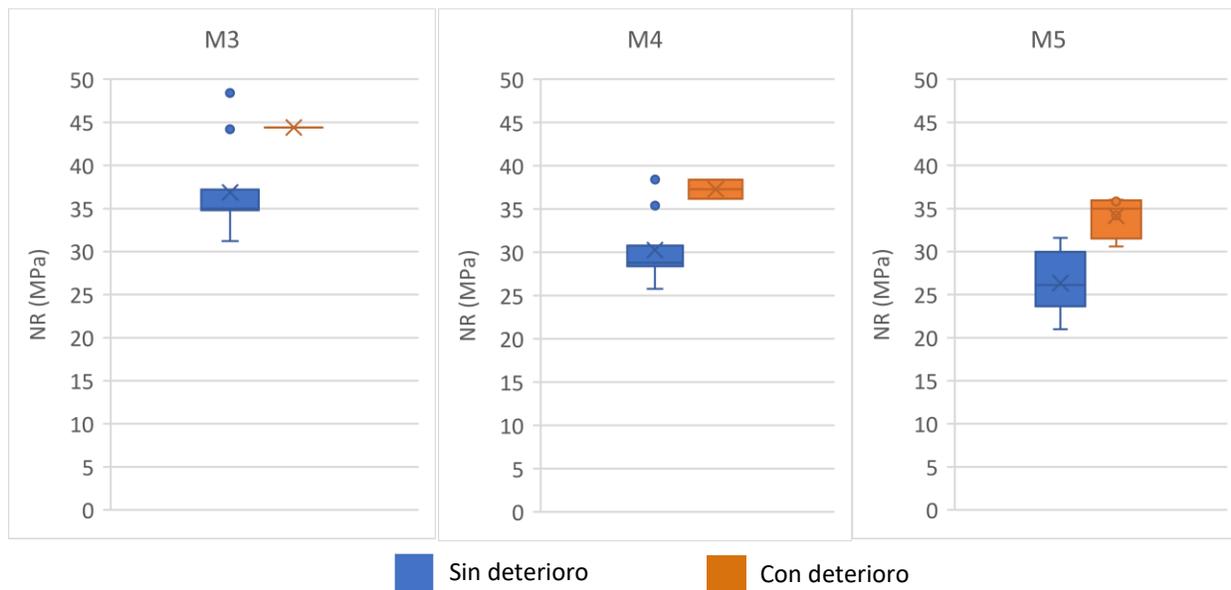


Figura 20: Comparación del número de rebote de las tres mezclas en estado seco en ambiente. (Laboratorios de hormigones USFQ)

La figura detalla que el porcentaje de cambio entre los especímenes sin deterioro y con deterioro, en las mezclas M3, M4 y M5 es del 20.4%, 23.2% y 29.7% respectivamente.

### 2.3.8. Módulo de elasticidad estático.

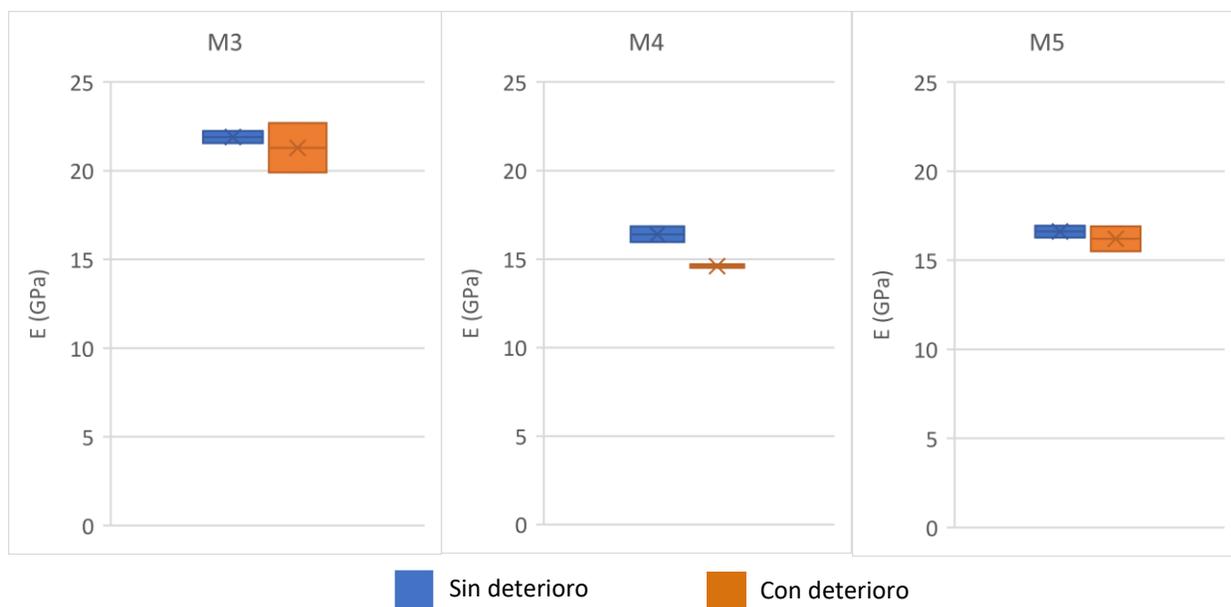


Figura 21: Comparación del módulo de elasticidad estático de las tres mezclas. (Laboratorios de hormigones USFQ)

De las tres mezclas analizadas M3, M4 y M5 se determinó que el porcentaje de cambio entre los especímenes sin deterioro y con deterioro es de 2.7%, 11% y 2.5%.

### 2.3.9. Parámetro de densidad de fisuras.

Con los datos obtenidos de los ensayos no destructivos se logró encontrar el parámetro de densidad de fisuras para los 4 cilindros restantes de cada mezcla.

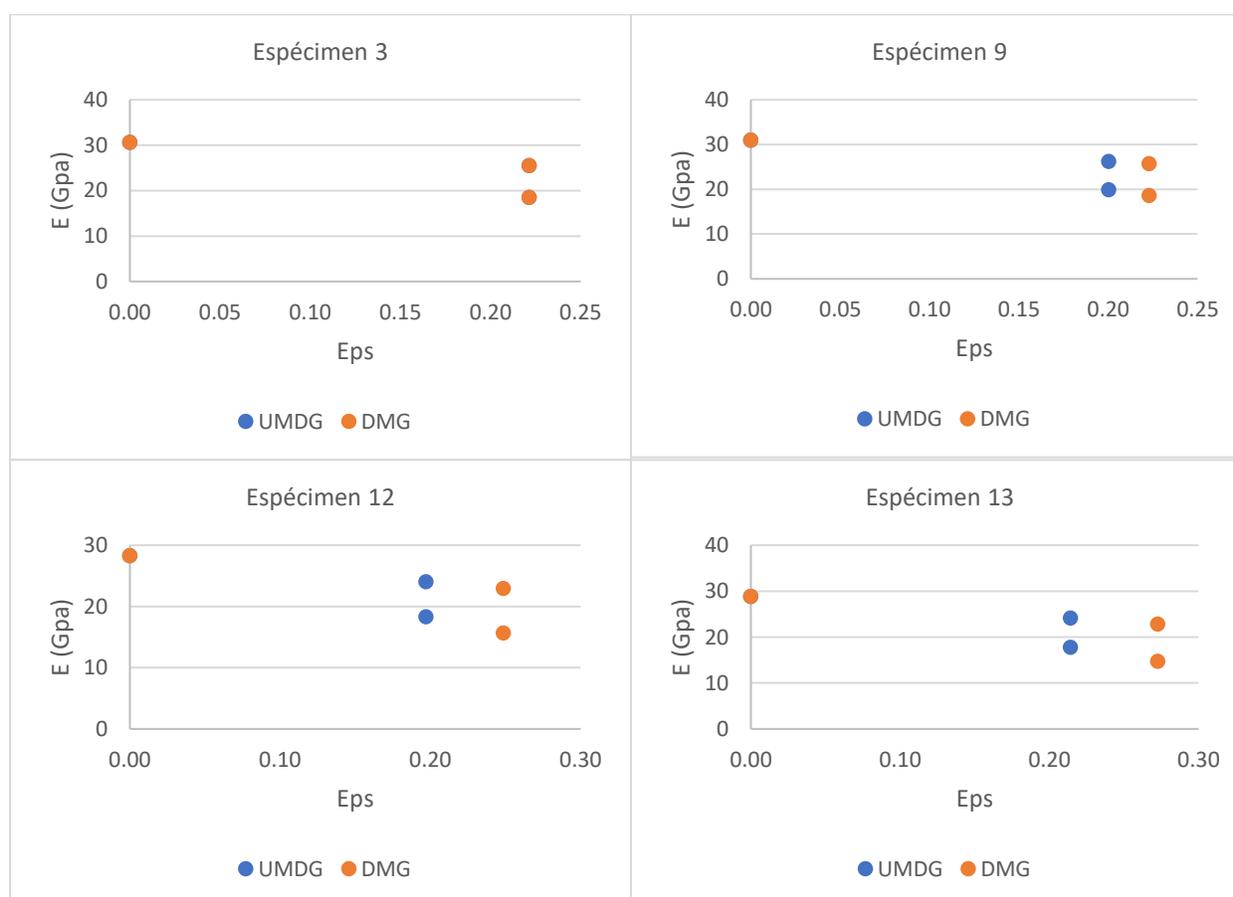


Figura 22: Parámetro de densidad de fisuras de la mezcla M3. (Laboratorios de hormigones USFQ)

En la mezcla M3 todos los especímenes con excepción del 3, antes del deterioro no superan el valor de 0.21; pero luego del deterioro el valor incrementa a 0.22, 0.25 y 0.27 respectivamente.

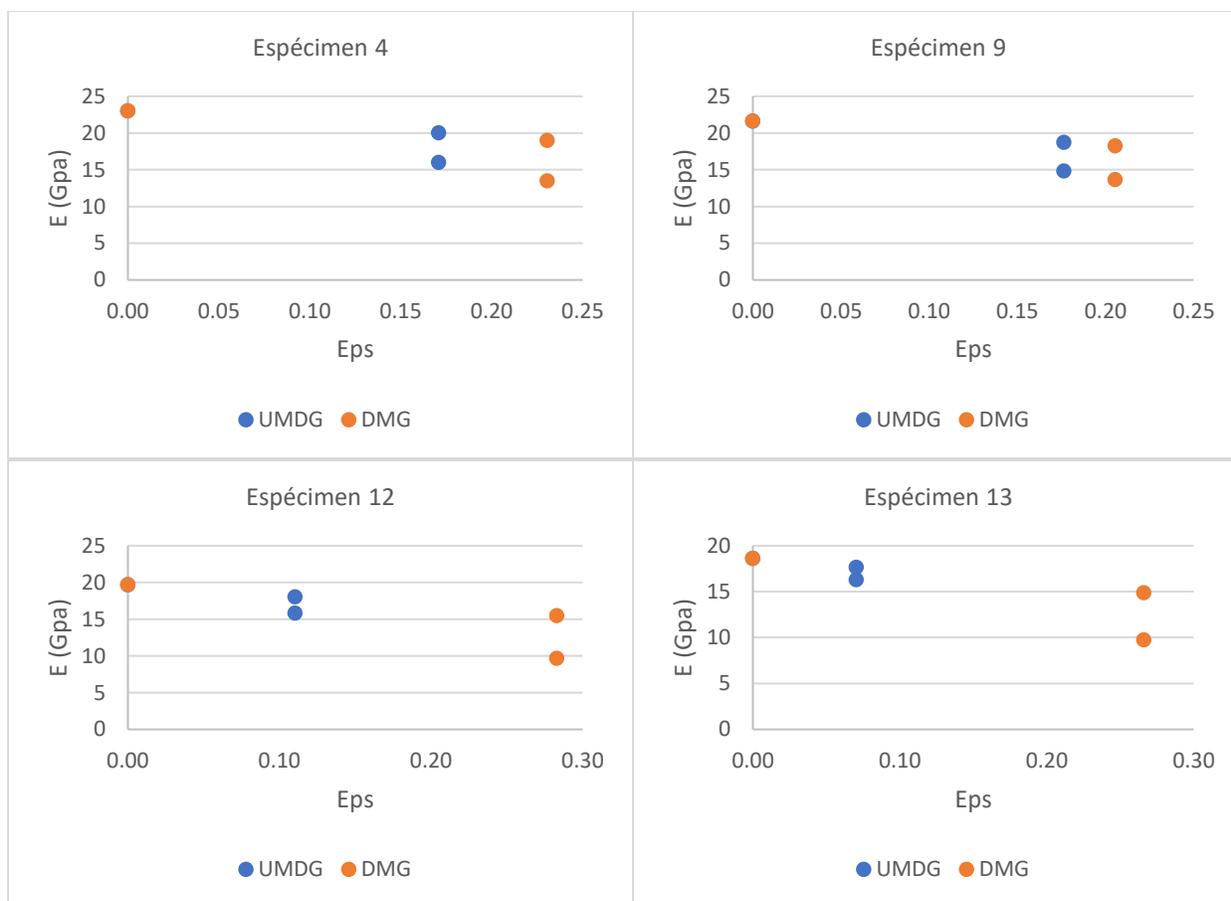


Figura 23: Parámetro de densidad de fisuras de la mezcla M4. (Laboratorios de hormigones USFQ)

En la mezcla M4 se puede notar una diferencia más marcada que la mezcla M3, donde todos los especímenes son menores a 0.19 y luego del deterioro todos son mayores a 0.20.

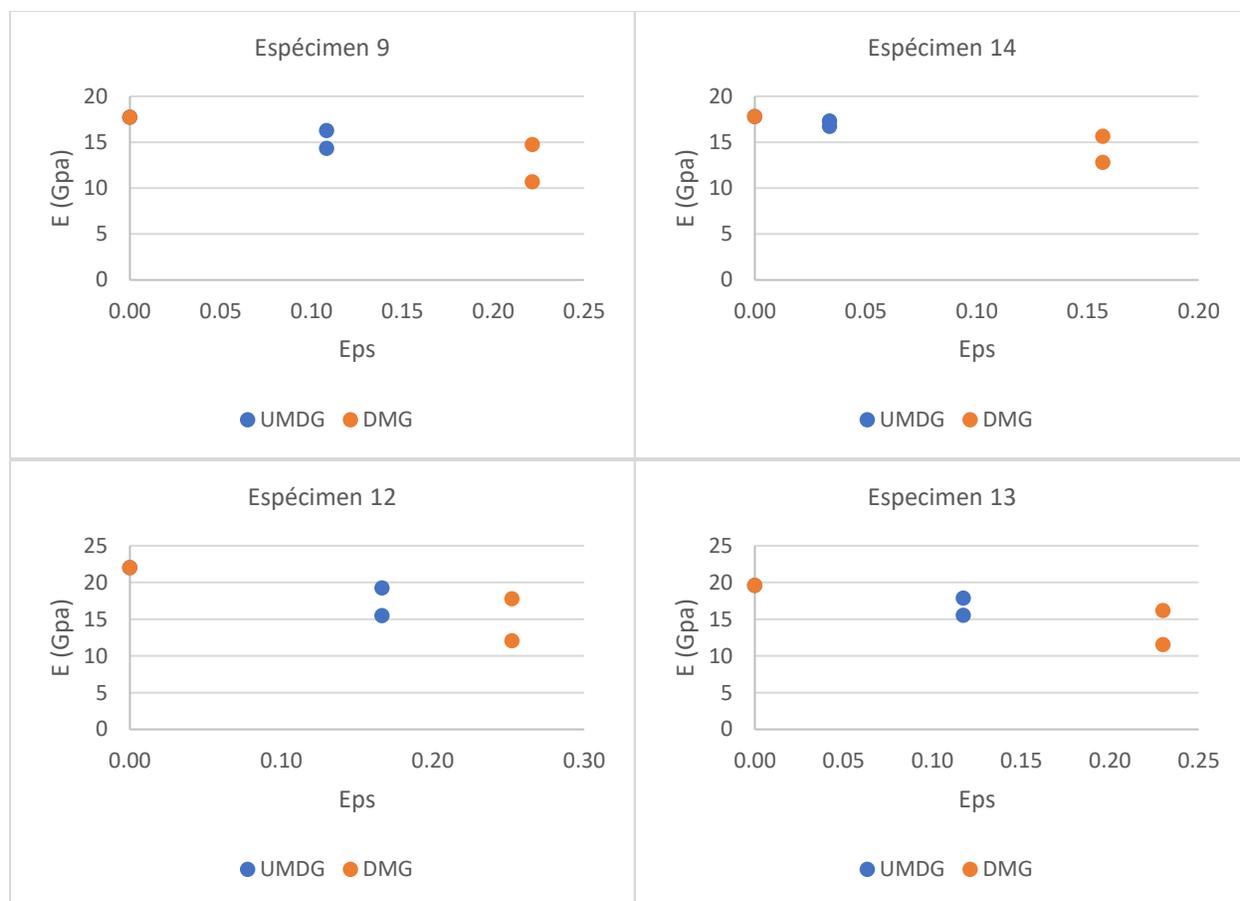


Figura 24: Parámetro de densidad de fisuras de la mezcla M5. (Laboratorios de hormigones USFQ)

En la mezcla M5, de igual manera que las otras dos, comparando con los valores del parámetro antes del deterioro se puede notar un gran aumento del valor del parámetro de densidad de fisuras.

Los valores de  $\epsilon$  de cada espécimen se encuentran en el ANEXO E.

## 2.4. Análisis de resultados.

Los resultados del parámetro de densidad de fisuras ( $\epsilon$ ) obtenidos de la información recopilada, muestran relevancia en su cuantificación. Los gráficos obtenidos nos muestran el cambio que hay antes del deterioro de los especímenes, en los que, la característica principal es que ningún valor supera el 0.20, excluyendo a dos especímenes de la mezcla M3 (especimen 3 y

13, con valores 0.22 y 0.21 respectivamente); y luego del deterioro en las Figuras 12-14 se puede apreciar que casi ninguno de los valores es menor a 0.20 del parámetro de densidad de fisuras, con excepción del espécimen 14 de la Mezcla M5, como muestra la Figura 14 el  $\epsilon$  antes del deterioro es de 0.03, si bien su valor luego del deterioro es 0.18, este tiene una gran diferencia con el valor antes del deterioro.

En lo que respecta al módulo de elasticidad dinámico, presenta una baja en todos los casos luego de haberse deteriorado esto se puede apreciar en las Figuras 22-24, en cada una de las mezclas; no se pudo conseguir un patrón o valor común de aumento entre ellas, ni tampoco entre estados, pero si se pudo apreciar es que, en el estado de secado en horno si tienen los valores más bajos de los tres estados para todas las mezclas.

Se observó que los parámetros de velocidad de pulso y velocidad de corte aumentaban luego de haberse deteriorado en todos los casos de las mezclas; por lo que en el caso de  $v_p$  los valores de este aumento fueron bajos a comparación del  $v_s$ ; lo cual se puede apreciar en las Figuras 11-16, visualizando de una manera clara el valor del cambio y su consistencia en todas las mezclas; considerando que estos datos fueron tomados paralelo a la aplicación de carga.

En cuanto al número de rebote, solamente se logró realizar en el estado de seco en ambiente, obteniendo valores más altos luego del deterioro, en algunos casos los valores que presentaba el esclerómetro sobrepasaron los 60 o se reducían a menores de 20; de la misma manera en el caso del módulo de elasticidad estático no se pudo realizar grandes comparaciones, ya que solamente se tienen dos datos de cada mezcla, uno para antes del deterioro y otro luego del deterioro y además sus valores no presentan cambios antes y después del deterioro, expuestos en el ANEXO D.

Si observamos los datos obtenidos en el ANEXO B, los resultados de  $E_d$  y  $\mu$ , por medio de  $v_p$  y  $v_s$ ; no son confiables por la incertidumbre que presentan; por ende, los mismos que no fueron usados para la obtención de  $\varepsilon$ .

# CONCLUSIONES

## 3.1. Conclusiones de resultados

Como resultados de los trabajos efectuados en esta investigación se llegaron a las siguientes conclusiones:

- Se logró obtener con éxito el parámetro de densidad de fisuras, basado en el modelo de O'Connell y Budiansky para cada una de las mezclas, mostrando que antes del deterioro ninguna de estas sobrepasa el 0.21, y luego del deterioro este valor es superado.
- Se apreciaron cambios del parámetro de densidad de fisuras con carga, siguiendo la metodología expuesta.
- Se observó un incremento de los valores de la velocidad de pulso y la velocidad de corte luego del deterioro.
- No resultó confiable utilizar  $v_p$  y  $v_s$  para obtener el módulo de elasticidad dinámico y el módulo de Poisson.
- Se comprobó que el módulo de elasticidad dinámico disminuyó en todos los especímenes de las 3 mezclas, tal como se esperaba luego del deterioro.
- El número de rebote es un parámetro poco confiable, ya que sus resultados van a depender mayormente si la superficie que golpea el esclerómetro tiene un árido o espacios vacíos. Además, el impacto llegó a dañar la superficie de algunos especímenes.

- En cuanto al módulo de elasticidad estático no se observa mayores cambios antes y después del deterioro, por lo que no es confiable para usarlo en la obtención del parámetro de densidad de fisuras.
- El módulo de elasticidad dinámico es más confiable para determinar cambios en el fisuramiento del hormigón.
- Se observó que colocar el 1/3 del tiempo de falla del promedio de  $f_c$  resulta en que los cilindros no fallen tan apresuradamente.

### 3.2. Recomendaciones

De la investigación realizada se recomienda los siguientes aspectos principales:

- Considerando que para hacer la comparación del parámetro de densidad de fisuras antes y después del deterioro, se ocuparon 11 especímenes y luego 4 especímenes respectivamente, se recomienda aumentar el número de especímenes para tener una mejor comparación entre los resultados obtenidos.
- Para futuras investigaciones se recomienda que se mantenga el 85% del  $f_c$  para deteriorar los especímenes, ya que pueden llegar a fallar colocándolos al 90% de  $f_c$  a  $\frac{1}{2}$  del tiempo de falla.
- Investigaciones futuras deberían enfocarse en el estudio de la anisotropía, en particular con  $v_p$  y  $v_s$ .

## Lista de referencias

- ASTM C39 / C39M-18, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. *ASTM International*, West Conshohocken. PA. 1-8p.
- ASTM C192 / C192M-16a, Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory. *ASTM International*. West Conshohocken. PA. 1-7p.
- ASTM C215-14. (2014). Standard Test Method for Fundamental Transverse, Longitudinal, and Torsional Frequencies of Concrete Specimens. *ASTM International*. West Conshohocken. PA. 1-6p.
- ASTM C469 / C469M-14. (2014). Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression. *ASTM International*. West Conshohocken. PA. 1-4p.
- ASTM C597-09. (2009). Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete. *ASTM International*. West Conshohocken. PA. 1-2p.
- ASTM C1314. (2015). Standard Test Method for Compressive Strength of Masonry Prisms. *ASTM International*, (C), 1–10. <https://doi.org/10.1520/C0039>.
- Bascoul, A., Bijen, J. M., Dreesen, R., Reinhardt, H., Tazawa, E., Torrenti, J., ... Vazquez, E. (1996). State of the art report – Part 2 : Mechanical micro-cracking of concrete, 29(March), 67–78.
- BBCMundo. (2005). Tsunami: ¿qué ha pasado?. *BBCMundo*. Recuperado de: [http://news.bbc.co.uk/hi/spanish/specials/newsid\\_4624000/4624239.stm#top](http://news.bbc.co.uk/hi/spanish/specials/newsid_4624000/4624239.stm#top).

- B.Florian and J.F.Robert. (2001). ACI 224R-01 Control of Cracking in Concrete Structures. *ACI Committee 224R-01*, 1–46.
- Budiansky, B., & O'Connell, R. J. (1976). *Elastic Moduli of a Cracked Solid*. *International Journal of Solids and Structures*, 12(2), 81-97.
- Garcia, V. (2016). *Evaluación no Destructiva del Concreto*. Universidad Tecnologica Particular de Loja, Quito, Pichincha.
- Griffiths, L., Heap, M. J., Baud, P., & Schmittbuhl, J. (2017). Quantification of microcrack characteristics and implications for stiffness and strength of granite. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 100(January), 138–150.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2017.10.013>.
- Huo, J., Jin, B., Yu, Q., He, Y., & Liu, Y. (2016). Effect of microstructure variation on damage evolution of concrete at high temperatures. *ACI Materials Journal*, 113(5), 547–558.  
<https://doi.org/10.14359/51689102>.
- Lee, B. J., Kee, S., Oh, T., & Kim, Y. (2017). Evaluating the Dynamic Elastic Modulus of Concrete Using Shear-Wave Velocity Measurements, 2017.
- Neville, A. M. (1995). *Properties of Concrete* (4 ed.). Pearson Education.
- O'Connell, R. J., & Budiansky, B. (1977). *Viscoelastic Properties of Fluid Saturated Cracked Solids*. *Journal of Geophysical Research*, 82(35), 5719-5735.

Osorio, J. (2011). ¿Qué es el modulo de elasticidad en el concreto?. *360 en concreto*. Recuperado de: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/concreto/elasticidad-del-concreto>.

Recalde, J. J. (2009). *Estimating Crack Growth in Temperature Damaged Concrete*.

Raleigh: North Carolina State University.

Rosero, O. (2017). *Evaluación de la estimación no destructiva del parámetro de densidad de fisuras en el hormigón: análisis de imágenes, Trabajo Experimental* (Tesis de pregrado). Universidad San Francisco de Quito, Quito, Pichinca.

Scrivener, K. (1989). The Microstructure of Concrete. *Materials Science of Concrete III*, 127–161. [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(95\)00036-C](https://doi.org/10.1016/0008-8846(95)00036-C).

Sue, C. (2013). May22, 1960 CE: Valdivia Earthquake Strikes Chile. *National Geographic*. Recuperado de: <https://www.nationalgeographic.org/thisday/may22/valdivia-earthquake-strikes-chile/>.

TeleSur. (2016). Los daños económicos tras el terremoto de Ecuador. *TeleSur*. Recuperado de: <https://www.telesurtv.net/news/Los-danos-economicos-tras-el-terremoto-de-Ecuador--20160502-0025.html>.

# ANEXO A

## Dosificación

<b>MEZCLA M3</b>		
<b>PARA 1 m<sup>3</sup></b>		
<b>W/C</b>	0.35	
	<b>Volumen</b>	<b>Peso [kg]</b>
<b>Arena fina</b>	0.1941	524.00
<b>Arena gruesa</b>	0.0000	0.00
<b>Grava</b>	0.3604	973.14
<b>Cemento</b>	0.2026	638.17
<b>Aditivo</b>	0.0041	4.53
<b>Agua</b>	0.2240	224.02
<b>SUMA</b>	1.0000	2363.85

<b>MEZCLA M4</b>		
<b>PARA 1 m<sup>3</sup></b>		
<b>W/C</b>	0.46	
	<b>Volumen</b>	<b>Peso [kg]</b>
<b>Arena fina</b>	0.1802	486.64
<b>Arena gruesa</b>	0.0000	0.00
<b>Grava</b>	0.3347	903.76
<b>Cemento</b>	0.1882	592.67
<b>Aditivo</b>	0.0000	0.00
<b>Agua</b>	0.2821	282.11
<b>SUMA</b>	1.0000	2265.18

<b>MEZCLA M5</b>		
<b>PARA 1 m<sup>3</sup></b>		
<b>W/C</b>	0.6	
	<b>Volumen</b>	<b>Peso [kg]</b>
<b>Arena fina</b>	0.1749	472.26

<b>Arena gruesa</b>	0.0000	0.00
<b>Grava</b>	0.3248	877.06
<b>Cemento</b>	0.1680	529.15
<b>Aditivo</b>	0.0000	0.00
<b>Agua</b>	0.3175	317.49
<b>SUMA</b>	1.0000	2195.96

## ANEXO B

**Módulo de elasticidad dinámico y módulo de Poisson obtenidos por  $v_p$  y  $v_s$**

$$\frac{v_p}{v_s} = \sqrt{\frac{1 - \mu}{0.5 - \mu}}$$

$$v_p = \sqrt{\frac{E(1 - \mu)}{\rho(1 - 2\mu)(1 + \mu)}}$$

$$v_s = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1 + \mu)}}$$

<b>Rango de valores obtenidos de las 3 mezclas antes del deterioro</b>		
	<b><math>\mu</math></b>	<b>Ed (Gpa)</b>
<b>Seco en ambiente</b>	0.43	9-10
<b>Seco en horno</b>	0.45	7-8
<b>Casi saturado</b>	0.44	10-12

<b>Rango de valores obtenidos de las 3 mezclas después del deterioro</b>		
	<b><math>\mu</math></b>	<b>Ed (Gpa)</b>
<b>Seco en ambiente</b>	0.45	9-13
<b>Seco en horno</b>	0.40	9-20
<b>Casi saturado</b>	0.35	10-31



Espécimen 4													
Seco en ambiente	Masa											3.6815	kg
	Diámetro	10.24	10.22	10.15	10.16							101.925	mm
	Altura											202	mm
	VP	3472	3502	3413								3462.33	m/s
	t (μs)	76	82	82				VS	1341	1243	1243	1275.7	m/s
	f	500	500	500	5000						ED	2.3E+10	pa
	N.R	42	32	36	36	32	32	32	36	34	36	34.8	
Seco en horno	Masa											3.5202	kg
	Diámetro	10.15	10.19	10.15	10.3							101.975	mm
	Altura											202	mm
	VP	4134	4109	4126								4123	m/s
	t (μs)	88	88	88				VS	1159	1159	1159	1158.81	m/s
	f	4504	4504	4504	4504						ED	1.8E+10	pa
	N.R											0	
Casi saturado	Masa											3.7335	kg
	Diámetro	10.23	10.21	10.16	10.16							101.903	mm
	Altura											203	mm
	VP	4093	4109	4109								4103.67	m/s
	t (μs)	74	74	78				VS	1377	1377	1306	1353.52	m/s
	f	520.8	520.8	515.4	5190						ED	2.6E+10	pa
	N.R											0	
Espécimen 5													
Seco en ambiente	Masa											3.679	kg
	Diámetro	10.19	10.23	10.18	10.13							101.825	mm
	Altura											203	mm
	VP	3560	3547	3560								3555.67	m/s
	t (μs)	84	83	83				VS	1212	1227	1227	1221.94	m/s
	f	510.2	500	500	5034						ED	2.4E+10	pa
	N.R	30	32	30	32	30	32	30	38	30	34	31.8	
Seco en horno	Masa											3.4984	kg
	Diámetro	10.15	10.2	10.18	10.22							101.875	mm
	Altura											203	mm
	VP	4109	4109	4109								4109	m/s
	t (μs)	92	91	91				VS	1107	1120	1120	1115.45	m/s
	f	4587	4587	4587	4587						ED	1.9E+10	pa
	N.R											0	
Casi saturado	Masa											3.732	kg
	Diámetro	10.20	10.23	10.18	10.13							101.853	mm
	Altura											203	mm
	VP	4109	4109	4109								4109	m/s
	t (μs)	77	77	77				VS	1323	1323	1323	1322.76	m/s
	f	520.8	520.8	520.8	5208						ED	2.6E+10	pa
	N.R											0	
Espécimen 6													
Seco en ambiente	Masa											3.661	kg
	Diámetro	10.12	10.28	10.15	10.14							101.725	mm
	Altura											202	mm
	VP	3560	3485	3560								3535	m/s
	t (μs)	87	85	79				VS	1169	1197	1288	1217.89	m/s
	f	500	500	500	5000						ED	2.3E+10	pa
	N.R	30	32	32	32	38	34	38	38	36	40	35	
Se	Masa											3.5166	kg

	<b>Diámetro</b>	10.16	10.19	10.22	10.16							101.825	mm
	<b>Altura</b>											202	mm
	<b>VP</b>	4156	4131	4131								4139.33	m/s
	<b>t (μs)</b>	89	90	90				<b>VS</b>	1144	1131	1131	1135.63	m/s
	<b>f</b>	4761	4717	4717	4731.67						<b>ED</b>	2E+10	pa
	<b>N.R</b>											0	
<b>Casi saturado</b>	<b>Masa</b>											3.7115	kg
	<b>Diámetro</b>	10.13	10.27	10.13	10.19							101.788	mm
	<b>Altura</b>											202	mm
	<b>VP</b>	4115	4089	4089								4097.67	m/s
	<b>t (μs)</b>	80	78	79				<b>VS</b>	1272	1305	1288	1288.59	m/s
	<b>f</b>	515.4	520.8	515.4	5172						<b>ED</b>	2.5E+10	pa
<b>N.R</b>											0		
<b>Espécimen 7</b>													
<b>Seco en ambiente</b>	<b>Masa</b>											3.6655	kg
	<b>Diámetro</b>	10.21	10.19	10.13	10.16							101.725	mm
	<b>Altura</b>											202	mm
	<b>VP</b>	3559	3515	3454								3509.33	m/s
	<b>t (μs)</b>	86	88	84				<b>VS</b>	1183	1156	1211	1183.28	m/s
	<b>f</b>	515.4	515.4	515.4	5154						<b>ED</b>	2.5E+10	pa
<b>N.R</b>	30	30	30	30	28	36	36	28	32	32	31.2		
<b>Seco en horno</b>	<b>Masa</b>											3.5066	kg
	<b>Diámetro</b>	10.18	10.24	10.15	10.16							101.825	mm
	<b>Altura</b>											201	mm
	<b>VP</b>	4110	4110	4110								4110	m/s
	<b>t (μs)</b>	89	89	89				<b>VS</b>	1144	1144	1144	1144.1	m/s
	<b>f</b>	4545	4545	4545	4545						<b>ED</b>	1.8E+10	pa
<b>N.R</b>											0		
<b>Casi saturado</b>	<b>Masa</b>											3.718	kg
	<b>Diámetro</b>	10.14	10.17	10.19	10.21							101.75	mm
	<b>Altura</b>											201	mm
	<b>VP</b>	4028	4028	4028								4028	m/s
	<b>t (μs)</b>	72	73	72				<b>VS</b>	1413	1394	1413	1406.74	m/s
	<b>f</b>	526.3	531.9	526.3	5281.67						<b>ED</b>	2.6E+10	pa
<b>N.R</b>											0		
<b>Espécimen 8</b>													
<b>Seco en ambiente</b>	<b>Masa</b>											3.6515	kg
	<b>Diámetro</b>	10.17	10.14	10.21	10.26							101.95	mm
	<b>Altura</b>											202	mm
	<b>VP</b>	3528	3510	3516								3518	m/s
	<b>t (μs)</b>	81	84	84				<b>VS</b>	1259	1214	1214	1228.67	m/s
	<b>f</b>	515.4	520.8	520.8	5190						<b>ED</b>	2.5E+10	pa
<b>N.R</b>	32	34	40	34	40	40	34	30	30	34	34.8		
<b>Seco en horno</b>	<b>Masa</b>											3.489	kg
	<b>Diámetro</b>	10.22	10.16	10.21	10.23							102.05	mm
	<b>Altura</b>											202	mm
	<b>VP</b>	4085	4069	4069								4074.33	m/s
	<b>t (μs)</b>	88	89	89				<b>VS</b>	1160	1147	1147	1150.97	m/s
	<b>f</b>	4504	4504	4504	4504						<b>ED</b>	1.8E+10	pa
<b>N.R</b>											0		
<b>Casi</b>	<b>Masa</b>											3.701	kg
	<b>Diámetro</b>	10.20	10.21	10.19	10.16							101.913	mm
	<b>Altura</b>											201	mm

	<b>VP</b>	4069	4094	4086								4083	m/s
	<b>t (μs)</b>	79	77	79				<b>VS</b>	1290	1324	1290	1301.2	m/s
	<b>f</b>	526.3	526.3	531.9	5281.67						<b>ED</b>	2.6E+10	pa
	<b>N.R</b>											0	
<b>Espécimen 9</b>													
<b>Seco en ambiente</b>	<b>Masa</b>											3.6715	kg
	<b>Diámetro</b>	10.15	10.15	10.2	10.29							101.975	mm
	<b>Altura</b>											202	mm
	<b>VP</b>	3551	3533	3533								3539	m/s
	<b>t (μs)</b>	79	81	81				<b>VS</b>	1291	1259	1259	1269.57	m/s
	<b>f</b>	510.2	510.2	510.2	5102						<b>ED</b>	2.4E+10	pa
	<b>N.R</b>	38	34	38	34	36	40	32	40	38	42	37.2	
<b>Seco en horno</b>	<b>Masa</b>											3.5096	kg
	<b>Diámetro</b>	10.2	10.19	10.13	10.15							101.675	mm
	<b>Altura</b>											202	mm
	<b>VP</b>	4089	4089	4064								4080.67	m/s
	<b>t (μs)</b>	90	90	90				<b>VS</b>	1130	1130	1130	1129.72	m/s
	<b>f</b>	4717	4717	4717	4717						<b>ED</b>	2E+10	pa
	<b>N.R</b>											0	
<b>Casi saturado</b>	<b>Masa</b>											3.719	kg
	<b>Diámetro</b>	10.15	10.16	10.17	10.21							101.703	mm
	<b>Altura</b>											202	mm
	<b>VP</b>	4089	4106	4089								4094.67	m/s
	<b>t (μs)</b>	73	74	73				<b>VS</b>	1393	1374	1393	1386.91	m/s
	<b>f</b>	520.8	520.8	526.3	5226.33						<b>ED</b>	2.6E+10	pa
	<b>N.R</b>											0	
<b>Espécimen 10</b>													
<b>Seco en ambiente</b>	<b>Masa</b>											3.6915	kg
	<b>Diámetro</b>	10.21	10.24	10.18	10.16							101.975	mm
	<b>Altura</b>											203	mm
	<b>VP</b>	3643	3610	3597								3616.67	m/s
	<b>t (μs)</b>	82	82	80				<b>VS</b>	1244	1244	1275	1253.96	m/s
	<b>f</b>	515.4	515.4	515.4	5154						<b>ED</b>	2.5E+10	pa
	<b>N.R</b>	32	30	40	32	38	40	34	40	30	34	35	
<b>Seco en horno</b>	<b>Masa</b>											3.5353	kg
	<b>Diámetro</b>	10.15	10.26	10.14	10.17							101.8	mm
	<b>Altura</b>											202	mm
	<b>VP</b>	4089	4089	4089								4089	m/s
	<b>t (μs)</b>	90	92	91				<b>VS</b>	1131	1107	1119	1118.77	m/s
	<b>f</b>	4902	4902	4902	4902						<b>ED</b>	2.2E+10	pa
	<b>N.R</b>											0	
<b>Casi saturado</b>	<b>Masa</b>											3.741	kg
	<b>Diámetro</b>	10.22	10.24	10.19	10.15							102	mm
	<b>Altura</b>											202	mm
	<b>VP</b>	4089	4089	4064								4080.67	m/s
	<b>t (μs)</b>	77	77	78				<b>VS</b>	1325	1325	1308	1319.01	m/s
	<b>f</b>	526.3	520.8	520.8	5226.33						<b>ED</b>	2.6E+10	pa
	<b>N.R</b>											0	
<b>Espécimen 11</b>													
<b>Seco en</b>	<b>Masa</b>											3.6685	kg
	<b>Diámetro</b>	10.15	10.14	10.2	10.18							101.675	mm
	<b>Altura</b>											203	mm
	<b>VP</b>	3484	3515	3484								3494.33	m/s

	<b>t</b> ( $\mu$ s)	88	88	88				<b>VS</b>	1155	1155	1155	1155.4	m/s
	<b>f</b>	510.2	515.4	510.2	5119.33						<b>ED</b>	2.5E+10	pa
	<b>N.R</b>	40	34	42	34	36	36	34	40	36	38	37	
<b>Seco en horno</b>	<b>Masa</b>											3.5106	kg
	<b>Diámetro</b>	10.17	10.25	10.18	10.14							101.85	mm
	<b>Altura</b>											202	mm
	<b>VP</b>	4089	4089	4089								4089	m/s
	<b>t</b> ( $\mu$ s)	90	89	89				<b>VS</b>	1132	1144	1144	1140.14	m/s
	<b>f</b>	4807	4761	4807	4791.67						<b>ED</b>	2.1E+10	pa
	<b>N.R</b>											0	
<b>Casi saturado</b>	<b>Masa</b>											3.723	kg
	<b>Diámetro</b>	10.16	10.14	10.27	10.16							101.813	mm
	<b>Altura</b>											202	mm
	<b>VP</b>	4089	4089	4089								4089	m/s
	<b>t</b> ( $\mu$ s)	78	76	74				<b>VS</b>	1305	1340	1376	1340.26	m/s
	<b>f</b>	520.8	515.4	515.4	5172						<b>ED</b>	2.5E+10	pa
	<b>N.R</b>											0	
<b>Espécimen 12</b>													
<b>Seco en ambiente</b>	<b>Masa</b>											12.529	kg
	<b>Diámetro</b>	15.29	15.25	15.22	15.23							152.475	mm
	<b>Altura</b>											306	mm
	<b>VP</b>	3710	3710	3724								3714.67	m/s
	<b>t</b> ( $\mu$ s)	135	140	137				<b>VS</b>	1129	1089	1113	1110.5	m/s
	<b>f</b>	340.1	337.8	337.8	3385.67						<b>ED</b>	2.5E+10	pa
	<b>N.R</b>	44	46	44	50	50	48	54	54	44	50	48.4	
<b>Seco en horno</b>	<b>Masa</b>											12.0904	kg
	<b>Diámetro</b>	15.3	15.36	15.26	15.25							152.925	mm
	<b>Altura</b>											305	mm
	<b>VP</b>	4072	4099	4083								4084.67	m/s
	<b>t</b> ( $\mu$ s)	131	130	130				<b>VS</b>	1167	1176	1176	1173.35	m/s
	<b>f</b>	2907	2873	2873	2884.33						<b>ED</b>	1.7E+10	pa
	<b>N.R</b>											0	
<b>Casi saturado</b>	<b>Masa</b>											12.6445	kg
	<b>Diámetro</b>	15.23	15.26	15.39	15.37							153.128	mm
	<b>Altura</b>											305	mm
	<b>VP</b>	4116	4127	4127								4123.33	m/s
	<b>t</b> ( $\mu$ s)	128	128	124				<b>VS</b>	1196	1196	1235	1209.17	m/s
	<b>f</b>	347.2	347.2	342.4	3456						<b>ED</b>	2.6E+10	pa
	<b>N.R</b>											0	
<b>Espécimen 13</b>													
<b>Seco en ambiente</b>	<b>Masa</b>											12.5055	kg
	<b>Diámetro</b>	15.06	15.54	15.3	15.24							152.85	mm
	<b>Altura</b>											305	mm
	<b>VP</b>	3698	3675	3662								3678.33	m/s
	<b>t</b> ( $\mu$ s)	135	135	133				<b>VS</b>	1132	1132	1149	1137.9	m/s
	<b>f</b>	337.8	337.8	342.4	3393.33						<b>ED</b>	2.5E+10	pa
	<b>N.R</b>	52	40	48	44	40	44	46	42	42	44	44.2	
<b>Seco en horno</b>	<b>Masa</b>											12.0592	kg
	<b>Diámetro</b>	15.33	15.36	15.26	15.25							153	mm
	<b>Altura</b>											305	mm
	<b>VP</b>	4021	4059	4075								4051.67	m/s
	<b>t</b> ( $\mu$ s)	132	132	130				<b>VS</b>	1159	1159	1177	1165.03	m/s
	<b>f</b>	2873	2873	2873	2873						<b>ED</b>	1.7E+10	pa

	<b>N.R</b>												0	
<b>Casi saturado</b>	<b>Masa</b>											12.6285	kg	
	<b>Diámetro</b>	15.47	15.14	15.3	15.25								152.888	mm
	<b>Altura</b>											304	mm	
	<b>VP</b>	4005	4097	4086									4062.67	m/s
	<b>t (μs)</b>	129	125	127				<b>VS</b>	1185	1223	1204		1204.04	m/s
	<b>f</b>	347.2	347.2	347.2	3472							<b>ED</b>	2.6E+10	pa
	<b>N.R</b>												0	

**MEZCLA M3 DESPUÉS DEL DAÑO**

<b>MEZCLA M3 DESPUÉS DEL DAÑO</b>														
<b>Espécimen 3</b>														
<b>Seco en ambiente</b>	<b>Masa</b>											3.663	kg	
	<b>Diámetro</b>	10.16	10.28	10.14	10.19								101.925	mm
	<b>Altura</b>											201	mm	
	<b>VP</b>	4127	4136	4136									4133	m/s
	<b>t (μs)</b>	81	80	80				<b>VS</b>	1258	1274	1274		1268.82	m/s
	<b>f</b>	495	495	495	4950							<b>ED</b>	2.2E+10	Pa
	<b>N.R</b>												0	
<b>Seco en horno</b>	<b>Masa</b>											3.515	kg	
	<b>Diámetro</b>	10.16	10.28	10.11	10.17								101.8	mm
	<b>Altura</b>											201	mm	
	<b>VP</b>	4179	4179	4161									4173	m/s
	<b>t (μs)</b>	52	52	53				<b>VS</b>	1958	1958	1921		1945.38	m/s
	<b>f</b>	458.7	458.7	458.7	4587							<b>ED</b>	1.9E+10	Pa
	<b>N.R</b>												0	
<b>Casi saturado</b>	<b>Masa</b>											3.717	kg	
	<b>Diámetro</b>	10.28	10.17	10.15	10.18								101.95	mm
	<b>Altura</b>											201	mm	
	<b>VP</b>	4223	4214	4249									4228.67	m/s
	<b>t (μs)</b>	43	44	44				<b>VS</b>	2371	2317	2317		2335.01	m/s
	<b>f</b>	5263	5263	5263	5263							<b>ED</b>	2.6E+10	Pa
	<b>N.R</b>												0	
<b>Espécimen 9</b>														
<b>Seco en ambiente</b>	<b>Masa</b>											3.673	kg	
	<b>Diámetro</b>	10.15	10.14	10.15	10.28								101.8	mm
	<b>Altura</b>											202	mm	
	<b>VP</b>	4156	4139	4148									4147.67	m/s
	<b>t (μs)</b>	87	83	87				<b>VS</b>	1170	1227	1170		1188.91	m/s
	<b>f</b>	495	490.2	490.2	4918							<b>ED</b>	2.3E+10	Pa
	<b>N.R</b>												0	
<b>Seco en horno</b>	<b>Masa</b>											3.524	kg	
	<b>Diámetro</b>	10.15	10.14	10.15	10.27								101.775	mm
	<b>Altura</b>											201	mm	
	<b>VP</b>	4094	4161	4170									4141.67	m/s
	<b>t (μs)</b>	54	54	54				<b>VS</b>	1885	1885	1885		1884.72	m/s
	<b>f</b>	458.7	458.7	458.7	4587							<b>ED</b>	1.9E+10	Pa
	<b>N.R</b>												0	
<b>Cas</b>	<b>Masa</b>											3.7245	kg	



MEZCLA M4			
Esfuerzo a la compresión curado estándar			
ID		Fc [MPa]	Vida(días)
Espécimen	1	34.587	28
Espécimen	2	35.506	28
Esfuerzo a la compresión curado en obra			
ID		Fc [MPa]	Vida(días)
Espécimen	7	36.414	55
Espécimen	5	38.395	55
Espécimen	3	37.689	55
Tiempo de falla al 85%			
ID		hh:mm:ss	
Espécimen	4	0:02:00	
Espécimen	9	0:01:08	

MEZCLA M4 ANTES DEL DAÑO													
Espécimen 3													
Seco en ambiente	Masa											3.4995	kg
	Diámetro	10.17	10.17	10.16	10.25							101.875	mm
	Altura											200	mm
	VP	3676	3646	3676								3666	m/s
	t (µs)	92	91	88				VS	1107	1120	1158	1128.17	
	f	450.4	446.4	446.4	4477.33						ED	1.7E+10	Pa
	N.R	34	32	28	26	26	26	30	26	26	28	28.2	
Seco en horno	Masa											3.359	kg
	Diámetro											101.88	mm
	Altura											200	mm
	VP	3663	3676	3610								3649.67	m/s
	t (µs)	93	96	96				VS	1095	1061	1061	1072.63	
	f	4237	4237	4237	4237						ED	1.5E+10	Pa
	N.R											0	
Casi saturado	Masa											3.5935	kg
	Diámetro	10.16	10.17	10.24	10.19							101.88	mm
	Altura											201	mm
	VP	3661	3661	3695								3672.33	m/s
	t (µs)	90	87	90				VS	1132	1171	1132	1145.01	
	f	462.9	462.9	467.2	4643.33						ED	1.9E+10	Pa
	N.R											0	
Espécimen 4													
Seco en ambiente	Masa											3.526	kg
	Diámetro	10.19	10.21	10.17	10.15							101.8	mm
	Altura											201	mm
	VP	3729	3764	3729								3740.67	m/s

	<b>t (μs)</b>	92	91	91				<b>VS</b>	1107	1119	1119	1114.63		
	<b>f</b>	462.9	454.5	454.5	4573						<b>ED</b>	1.9E+10	Pa	
	<b>N.R</b>	28	28	28	26	24	26	30	34	32	32	28.8		
<b>Seco en horno</b>	<b>Masa</b>												3.3932	kg
	<b>Diámetro</b>												101.766	mm
	<b>Altura</b>												201	mm
	<b>VP</b>	3748	3783	3783									3771.33	m/s
	<b>t (μs)</b>	92	91	90				<b>VS</b>	1106	1118	1131	1118.4		
	<b>f</b>	4310	4310	4310	4310							<b>ED</b>	1.6E+10	Pa
	<b>N.R</b>												0	
<b>Casi saturado</b>	<b>Masa</b>												3.6215	kg
	<b>Diámetro</b>	10.18	10.21	10.17	10.13								101.733	mm
	<b>Altura</b>												202	mm
	<b>VP</b>	3713	3748	3748									3736.33	m/s
	<b>t (μs)</b>	89	89	90				<b>VS</b>	1143	1143	1130	1138.83		
	<b>f</b>	462.9	462.9	467.2	4643.33								2E+10	Pa
	<b>N.R</b>											<b>ED</b>	0	
<b>Espécimen 5</b>														
<b>Seco en ambiente</b>	<b>Masa</b>												3.554	kg
	<b>Diámetro</b>	10.2	10.18	10.19	10.17								101.85	mm
	<b>Altura</b>												200	mm
	<b>VP</b>	3679	3679	3748									3702	m/s
	<b>t (μs)</b>	90	90	91				<b>VS</b>	1132	1132	1119	1127.52		
	<b>f</b>	462.9	462.9	462.9	4629							<b>ED</b>	1.9E+10	Pa
	<b>N.R</b>	34	28	32	34	34	32	26	34	26	28		30.8	
<b>Seco en horno</b>	<b>Masa</b>												3.4106	kg
	<b>Diámetro</b>												101.79	mm
	<b>Altura</b>												201	mm
	<b>VP</b>	3700	3713	3713									3708.67	m/s
	<b>t (μs)</b>	92	95	98				<b>VS</b>	1106	1071	1039	1072.2		
	<b>f</b>	4310	4310	4310	4310							<b>ED</b>	1.6E+10	Pa
	<b>N.R</b>												0	
<b>Casi saturado</b>	<b>Masa</b>												3.635	kg
	<b>Diámetro</b>	10.21	10.17	10.13	10.18								101.733	mm
	<b>Altura</b>												202	mm
	<b>VP</b>	3713	3713	3713									3713	m/s
	<b>t (μs)</b>	90	90	88				<b>VS</b>	1130	1130	1156	1138.92		
	<b>f</b>	467.2	467.2	467.2	4672							<b>ED</b>	2E+10	Pa
	<b>N.R</b>												0	
<b>Espécimen 6</b>														
<b>Seco en ambiente</b>	<b>Masa</b>												3.506	kg
	<b>Diámetro</b>	10.17	10.15	10.22	10.18								101.8	mm
	<b>Altura</b>												200	mm
	<b>VP</b>	3676	3676	3676									3676	m/s
	<b>t (μs)</b>	83	87	82				<b>VS</b>	1227	1170	1241	1212.69		
	<b>f</b>	454.5	454.4	454.5	4544.67							<b>ED</b>	1.8E+10	Pa
	<b>N.R</b>	26	28	30	36	28	28	26	34	26	26		28.8	
<b>Seco en horno</b>	<b>Masa</b>												3.3636	kg
	<b>Diámetro</b>												101.78	mm
	<b>Altura</b>												200	mm
	<b>VP</b>	3676	3656	3643									3658.33	m/s
	<b>t (μs)</b>	93	93	93				<b>VS</b>	1094	1094	1094	1094.35		
<b>f</b>	4237	4237	4237	4237							<b>ED</b>	1.5E+10	Pa	

	N.R											0	
Casi saturado	Masa											3.586	kg
	Diámetro	10.16	10.14	10.17	10.23							101.75	mm
	Altura											200	mm
	VP	3711	3711	3711								3711	m/s
	t (µs)	90	90	91				VS	1131	1131	1118	1126.41	
	f	467.2	467.2	467.2	4672						ED	1.9E+10	Pa
	N.R											0	
<b>Espécimen 7</b>													
Seco en ambiente	Masa											3.5065	kg
	Diámetro	10.22	10.24	10.16	10.7							103.3	mm
	Altura											200	mm
	VP	3643	3411	3676								3576.67	m/s
	t (µs)	98	95	94				VS	1054	1087	1099	1080.13	
	f	462.9	462.9	462.9	4629						ED	1.8E+10	Pa
	N.R	24	32	32	30	28	34	32	34	32	26	30.4	
Seco en horno	Masa											3.3728	kg
	Diámetro											102.58	mm
	Altura											200	mm
	VP	3711	3711	3711								3711	m/s
	t (µs)	89	90	92				VS	1153	1140	1115	1135.73	
	f	4166	4166	4166	4166						ED	1.4E+10	Pa
	N.R											0	
Casi saturado	Masa											3.5935	kg
	Diámetro	10.23	10.19	10.15	10.17							101.85	mm
	Altura											201	mm
	VP	3708	3729	3729								3560	m/s
	t (µs)	90	90	88				VS	1132	1132	1157	1140.24	
	f	465.2	469.2	462.9	4657.67						ED	2E+10	Pa
	N.R											0	
<b>Espécimen 8</b>													
Seco en ambiente	Masa											3.5065	kg
	Diámetro	10.16	10.14	10.22	10.2							101.8	mm
	Altura											201	mm
	VP	3661	3695	3695								3683.67	m/s
	t (µs)	90	90	91				VS	1131	1131	1119	1126.97	
	f	454.5	454.5	454.5	4545						ED	1.8E+10	Pa
	N.R	32	30	28	26	30	28	24	32	28	36	29.4	
Seco en horno	Masa											3.3652	kg
	Diámetro											101.80	mm
	Altura											201	mm
	VP	3764	3743	3764								3757	m/s
	t (µs)	93	94	92				VS	1095	1083	1107	1094.71	
	f	4237	4237	4237	4237						ED	1.5E+10	Pa
	N.R											0	
Casi saturado	Masa											3.591	kg
	Diámetro	10.16	10.14	10.20	10.22							101.8	mm
	Altura											201	mm
	VP	3729	3661	3729								3706.33	m/s
	t (µs)	90	91	91				VS	1131	1119	1119	1122.82	
	f	467.2	467.2	467.2	4672						ED	2E+10	Pa
	N.R											0	
<b>Espécimen 9</b>													

Seco en ambiente	Masa											3.5205	kg
	Diámetro	10.16	10.25	10.14	10.18							101.825	mm
	Altura											201	mm
	VP	3661	3695	3695								3683.67	m/s
	t (µs)	94	90	97				VS	1083	1131	1050	1088.13	
	f	446.4	446.4	446.4	4464						ED	1.8E+10	Pa
	N.R	28	24	24	28	26	34	28	30	28	34	28.4	
Seco en horno	Masa											3.3788	kg
	Diámetro											101.80	mm
	Altura											201	mm
	VP	3715	3724	3715								3718	m/s
	t (µs)	97	96	94				VS	1050	1060	1083	1064.33	
	f	4166	4166	4166	4166						ED	1.5E+10	Pa
	N.R											0	
Casi saturado	Masa											3.608	kg
	Diámetro	10.17	10.24	10.12	10.19							101.783	mm
	Altura											201	mm
	VP	3713	3713	3713								3713	m/s
	t (µs)	92	92	90				VS	1106	1106	1131	1114.53	
	f	458.7	462.9	462.9	4615						ED	1.9E+10	Pa
	N.R											0	
<b>Espécimen 10</b>													
Seco en ambiente	Masa											3.513	kg
	Diámetro	10.16	10.22	10.14	10.18							101.75	mm
	Altura											201	mm
	VP	3661	3695	3695								3683.67	m/s
	t (µs)	99	97	98				VS	1028	1049	1038	1038.34	
	f	462.9	462.9	454.5	4601						ED	1.9E+10	Pa
	N.R	26	26	32	34	28	28	26	28	28	30	28.6	
Seco en horno	Masa											3.3828	kg
	Diámetro											101.72	mm
	Altura											201	mm
	VP	3724	3695	3715								3711.33	m/s
	t (µs)	93	92	92				VS	1094	1106	1106	1101.69	
	f	4310	4310	4310	4310						ED	1.6E+10	Pa
	N.R											0	
Casi saturado	Masa											3.604	kg
	Diámetro	10.219	10.132	10.18	10.15							101.69	mm
	Altura											202	mm
	VP	3679	3679	3679								3679	m/s
	t (µs)	92	89	89				VS	1105	1143	1143	1130.16	
	f	462.9	462.9	462.9	4629						ED	2E+10	Pa
	N.R											0	
<b>Espécimen 11</b>													
Seco en ambiente	Masa											3.4885	kg
	Diámetro	10.15	10.15	10.2	10.22							101.8	mm
	Altura											200	mm
	VP	3643	3676	3676								3665	m/s
	t (µs)	94	91	91				VS	1083	1119	1119	1106.78	
	f	454.5	454.5	454.5	4545						ED	1.8E+10	Pa
	N.R	28	20	30	30	26	30	24	24	24	22	25.8	
Seco en	Masa											3.3586	kg
	Diámetro											101.77	mm

	<b>Altura</b>											200	mm
	<b>VP</b>	3724	3711	3711								3715.33	m/s
	<b>t (μs)</b>	92	92	92				<b>VS</b>	1106	1106	1106	1106.2	
	<b>f</b>	4237	4237	4237	4237						<b>ED</b>	1.5E+10	Pa
	<b>N.R</b>											0	
<b>Casi saturado</b>	<b>Masa</b>											3.572	kg
	<b>Diámetro</b>	10.15	10.14	10.20	10.21							101.74	mm
	<b>Altura</b>											201	mm
	<b>VP</b>	3681	3641	3729								3683.67	m/s
	<b>t (μs)</b>	90	90	90				<b>VS</b>	1130	1130	1130	1130.44	
	<b>f</b>	476.1	471.7	471.7	4731.67						<b>ED</b>	2E+10	Pa
	<b>N.R</b>											0	
<b>Espécimen 12</b>													
<b>Seco en ambiente</b>	<b>Masa</b>											11.903	kg
	<b>Diámetro</b>	15.35	15.4	15.26	15.26							153.175	mm
	<b>Altura</b>											302	mm
	<b>VP</b>	3780	3756	3710								3748.67	m/s
	<b>t (μs)</b>	130	134	135				<b>VS</b>	1178	1143	1135	1152	
	<b>f</b>	308.6	308.6	308.6	3086						<b>ED</b>	1.9E+10	Pa
	<b>N.R</b>	36	34	34	40	40	42	48	38	36	36	38.4	
<b>Seco en horno</b>	<b>Masa</b>											11.5842	kg
	<b>Diámetro</b>											153.11	mm
	<b>Altura</b>											302	mm
	<b>VP</b>	3797	3820	3820								3812.33	m/s
	<b>t (μs)</b>	132	130	130				<b>VS</b>	1160	1178	1178	1171.84	
	<b>f</b>	2809	2777	2717	2767.67						<b>ED</b>	1.5E+10	Pa
	<b>N.R</b>											0	
<b>Casi saturado</b>	<b>Masa</b>											12.1225	kg
	<b>Diámetro</b>	15.36	15.33	15.27	15.26							153.05	mm
	<b>Altura</b>											303	mm
	<b>VP</b>	3783	3792	3792								3789	m/s
	<b>t (μs)</b>	130	132	132				<b>VS</b>	1177	1159	1159	1165.42	
	<b>f</b>	312.5	312.5	312.5	3125						<b>ED</b>	2E+10	Pa
	<b>N.R</b>											0	
<b>Espécimen 13</b>													
<b>Seco en ambiente</b>	<b>Masa</b>											11.911	kg
	<b>Diámetro</b>	15.3	15.33	15.25	15.26							152.85	mm
	<b>Altura</b>											302	mm
	<b>VP</b>	3733	3710	3733								3725.33	m/s
	<b>t (μs)</b>	136	143	139				<b>VS</b>	1124	1069	1100	1097.47	
	<b>f</b>	304.8	304.8	304.8	3048						<b>ED</b>	1.9E+10	Pa
	<b>N.R</b>	40	34	30	30	38	36	42	36	32	36	35.4	
<b>Seco en horno</b>	<b>Masa</b>											11.5951	kg
	<b>Diámetro</b>											152.90	mm
	<b>Altura</b>											302	mm
	<b>VP</b>	3770	3779	3780								3776.33	m/s
	<b>t (μs)</b>	132	134	129				<b>VS</b>	1158	1141	1185	1161.54	
	<b>f</b>	2777	2840	2840	2819						<b>ED</b>	1.5E+10	Pa
	<b>N.R</b>											0	
<b>Casi saturado</b>	<b>Masa</b>											12.1215	kg
	<b>Diámetro</b>	15.30	15.40	15.22	15.27							152.948	mm
	<b>Altura</b>											303	mm
	<b>VP</b>	3745	3745	3745								3745	m/s

	<b>t (μs)</b>	132	134	134				<b>VS</b>	1159	1141	1141	1147.16	
	<b>f</b>	308.6	308.6	308.6	3086						<b>ED</b>	2E+10	Pa
	<b>N.R</b>											0	
<b>MEZCLA M4 DESPUÉS DEL DAÑO</b>													
<b>Espécimen 4</b>													
<b>Seco en ambiente</b>	<b>Masa</b>											3.5515	kg
	<b>Diámetro</b>	10.20	10.20	10.13	10.12							101.613	mm
	<b>Altura</b>											200	mm
	<b>VP</b>	3630	3643	3643								3638.67	m/s
	<b>t (μs)</b>	80	78	79				<b>VS</b>	1270	1303	1286	1286.37	m/s
	<b>f</b>	442.4	442.4	442.4	4424						<b>ED</b>	1.7E+10	pa
	<b>N.R</b>											0	
<b>Seco en horno</b>	<b>Masa</b>											3.326	kg
	<b>Diámetro</b>	10.18	10.19	10.14	10.13							101.6	mm
	<b>Altura</b>											201	mm
	<b>VP</b>	3918	3903	3918								3913	m/s
	<b>t (μs)</b>	73	79	75				<b>VS</b>	1392	1286	1355	1344.17	m/s
	<b>f</b>	403.2	403.2	403.2	4032						<b>ED</b>	1.4E+10	pa
	<b>N.R</b>											0	
<b>Casi saturado</b>	<b>Masa</b>											3.629	kg
	<b>Diámetro</b>	10.18	10.2	10.16	10.14							101.7	mm
	<b>Altura</b>											202	mm
	<b>VP</b>	3915	3907	3922								3914.67	m/s
	<b>t (μs)</b>	64	62	62				<b>VS</b>	1589	1640	1640	1623.24	m/s
	<b>f</b>	454.5	454.5	454.5	4545						<b>ED</b>	1.9E+10	pa
	<b>N.R</b>											0	
<b>Espécimen 9</b>													
<b>Seco en ambiente</b>	<b>Masa</b>											3.537	kg
	<b>Diámetro</b>	10.2	10.25	10.14	10.11							101.75	mm
	<b>Altura</b>											202	mm
	<b>VP</b>	3630	3643	3643								3638.67	m/s
	<b>t (μs)</b>	86	88	88				<b>VS</b>	1183	1156	1156	1165.21	m/s
	<b>f</b>	477.3	431	431	4464.33						<b>ED</b>	1.8E+10	pa
	<b>N.R</b>											0	
<b>Seco en horno</b>	<b>Masa</b>											3.297	kg
	<b>Diámetro</b>	10.15	10.24	10.13	10.11							101.575	mm
	<b>Altura</b>											202	mm
	<b>VP</b>	3819	3819	3797								3811.67	m/s
	<b>t (μs)</b>	78	80	80				<b>VS</b>	1302	1270	1270	1280.54	m/s
	<b>f</b>	403.2	403.2	403.2	4032						<b>ED</b>	1.4E+10	pa
	<b>N.R</b>											0	
<b>Casi saturado</b>	<b>Masa</b>											3.616	kg
	<b>Diámetro</b>	10.17	10.23	10.17	10.13							101.75	mm
	<b>Altura</b>											201	mm
	<b>VP</b>	3858	3851	3858								3855.67	m/s
	<b>t (μs)</b>	50	52	51				<b>VS</b>	2035	1957	1995	1995.61	m/s
	<b>f</b>	438.6	442.4	442.4	4411.33						<b>ED</b>	1.8E+10	pa
	<b>N.R</b>											0	
<b>Espécimen 12</b>													
<b>Seco</b>	<b>Masa</b>											11.8075	kg
	<b>Diámetro</b>	15.33	15.35	15.26	15.26							153	mm

	<b>Altura</b>											301	mm
	<b>VP</b>	3777	3767	3791								3778.33	m/s
	<b>t (μs)</b>	102	98	97				<b>VS</b>	1500	1561	1577	1546.18	m/s
	<b>f</b>	2747	2747	2747	2747						<b>ED</b>	1.5E+10	pa
	<b>N.R</b>	40	42	42	36	40	34	36	38	42	34	38.4	
<b>Seco en horno</b>	<b>Masa</b>											11.35	kg
	<b>Diámetro</b>	15.32	15.35	15.24	15.27							152.95	mm
	<b>Altura</b>											302	mm
	<b>VP</b>	3828	3828	3813								3823	m/s
	<b>t (μs)</b>	128	122	124				<b>VS</b>	1195	1254	1233	1227.36	m/s
	<b>f</b>	2336	2314	2358	2336						<b>ED</b>	1E+10	pa
	<b>N.R</b>											0	
<b>Casi saturado</b>	<b>Masa</b>											12.109	kg
	<b>Diámetro</b>	15.37	15.28	15.25	15.34							153.1	mm
	<b>Altura</b>											302	mm
	<b>VP</b>	3823	3823	3823								3823	m/s
	<b>t (μs)</b>	126	128	128				<b>VS</b>	1215	1196	1196	1202.42	m/s
	<b>f</b>	2551	2577	2577	2568.33						<b>ED</b>	1.3E+10	pa
	<b>N.R</b>											0	
<b>Espécimen 13</b>													
<b>Seco en ambiente</b>	<b>Masa</b>											11.814	kg
	<b>Diámetro</b>	15.28	15.23	15.4	15.28							152.975	mm
	<b>Altura</b>											302	mm
	<b>VP</b>	3780	3780	3780								3780	m/s
	<b>t (μs)</b>	106	106	106				<b>VS</b>	1443	1443	1443	1443.16	m/s
	<b>f</b>	2873	2873	2873	2873						<b>ED</b>	1.6E+10	pa
	<b>N.R</b>	32	32	36	40	38	34	36	38	36	40	36.2	
<b>Seco en horno</b>	<b>Masa</b>											11.3615	kg
	<b>Diámetro</b>	15.29	15.37	15.24	15.26							152.9	mm
	<b>Altura</b>											303	mm
	<b>VP</b>	3795	3755	3745								3765	m/s
	<b>t (μs)</b>	120	120	115				<b>VS</b>	1274	1274	1330	1292.63	m/s
	<b>f</b>	2314	2336	2314	2321.33						<b>ED</b>	1E+10	pa
	<b>N.R</b>											0	
<b>Casi saturado</b>	<b>Masa</b>											12.1105	kg
	<b>Diámetro</b>	15.38	15.29	15.25	15.26							152.95	mm
	<b>Altura</b>											303	mm
	<b>VP</b>	3811	3788	3811								3803.33	m/s
	<b>t (μs)</b>	123	120	122				<b>VS</b>	1243	1275	1254	1257.26	m/s
	<b>f</b>	2525	2525	2525	2525						<b>ED</b>	1.3E+10	pa
	<b>N.R</b>											0	

<b>MEZCLA M5</b>			
<b>Esfuerzo a la compresión curado estándar</b>			
<b>ID</b>		<b>Fc [MPa]</b>	<b>Vida(días)</b>
Espécimen	1	32.551	28
Espécimen	2	33.26	28
<b>Esfuerzo a la compresión curado en obra</b>			
<b>ID</b>		<b>Fc [MPa]</b>	<b>Vida(días)</b>

Espécimen	3	33.91	54
Espécimen	4	34.153	54
Espécimen	5	33.247	54
Espécimen	6	30.405	54
<b>Tiempo de falla al 90%</b>			
<b>ID</b>	<b>(hh:mm:ss)</b>		
Espécimen	7	0:06:15	
Espécimen	8	0:01:51	

MEZCLA M5 ANTES DEL DETERIORO														
Espécimen 3														
<b>Seco en ambiente</b>	<b>Masa</b>											3.487	kg	
	<b>Diámetro</b>	10.14	10.15	10.18	10.17							101.6	mm	
	<b>Altura</b>											201	mm	
	<b>VP</b>	3472	3490	3472								3478	m/s	
	<b>t (µs)</b>	103	102	105				<b>VS</b>	986	996	968	983.368	m/s	
	<b>f</b>	450.4	450.4	450.4	450.4							<b>ED</b>	1.8E+10	pa
	<b>N.R</b>	26	32	26	30	24	26	28	22	28	26	26.8		
<b>Seco en horno</b>	<b>Masa</b>											3.225	kg	
	<b>Diámetro</b>	10.15	10.15	10.24	10.18							101.8	mm	
	<b>Altura</b>											201	mm	
	<b>VP</b>	3384	3384	3372								3380	m/s	
	<b>t (µs)</b>	93	100	98				<b>VS</b>	1095	1018	1039	1050.47	m/s	
	<b>f</b>	408.9	409.8	416.6	4117.67							<b>ED</b>	1.4E+10	pa
	<b>N.R</b>	40	34	34	36	30	30	30	32	32	32	33		
<b>Casi Saturado</b>	<b>Masa</b>											3.5635	kg	
	<b>Diámetro</b>	10.15	10.18	10.23	10.22							101.95	mm	
	<b>Altura</b>											201	mm	
	<b>VP</b>	3413	3413	3413								3413	m/s	
	<b>t (µs)</b>	89	90	90				<b>VS</b>	1146	1133	1133	1137.02	m/s	
	<b>f</b>	446.4	446.4	446.4	446.4							<b>ED</b>	1.8E+10	pa
	<b>N.R</b>	20	22	22	28	24	30	30	30	30	28	26.4		
Espécimen 4														
<b>Seco en ambiente</b>	<b>Masa</b>											3.4905	kg	
	<b>Diámetro</b>	10.12	10.16	10.16	10.16							101.5	mm	
	<b>Altura</b>											201	mm	
	<b>VP</b>	3472	3502	3413								3462.33	m/s	
	<b>t (µs)</b>	103	103	98				<b>VS</b>	985	985	1036	1002.2	m/s	
	<b>f</b>	438.6	438.6	438.6	438.6							<b>ED</b>	1.7E+10	pa
	<b>N.R</b>	24	28	26	26	26	22	22	26	26	22	24.8		
<b>Seco en horno</b>	<b>Masa</b>											3.244	kg	
	<b>Diámetro</b>	10.21	10.15	10.21	10.16							101.825	mm	
	<b>Altura</b>											202	mm	
	<b>VP</b>	3430	3459	3401								3430	m/s	
	<b>t (µs)</b>	95	91	96				<b>VS</b>	1072	1119	1061	1083.83	m/s	
	<b>f</b>	396.8	396.8	396.8	396.8							<b>ED</b>	1.3E+10	pa
	<b>N.R</b>	42	38	32	32	38	30	38	34	32	30	34.6		
<b>Cas</b>	<b>Masa</b>											3.588	kg	

	<b>Diámetro</b>	10.21	10.14	10.28	10.15							101.95	mm
	<b>Altura</b>											202	mm
	<b>VP</b>	3489	3489	3477								3485	m/s
	<b>t (μs)</b>	93	93	96				<b>VS</b>	1096	1096	1062	1084.82	m/s
	<b>f</b>	446.4	438.6	438.6	4412						<b>ED</b>	1.8E+10	pa
	<b>N.R</b>	36	34	40	40	40	30	30	30	32	32	34.4	
<b>Espécimen 5</b>													
<b>Seco en ambiente</b>	<b>Masa</b>											3.3355	kg
	<b>Diámetro</b>	10.1	10.1	10.11	10.1							101.025	mm
	<b>Altura</b>											199	mm
	<b>VP</b>	3560	3547	3560								3555.67	m/s
	<b>t (μs)</b>	96	91	96				<b>VS</b>	1052	1110	1052	1071.62	m/s
	<b>f</b>	454.5	454.5	454.5	4545						<b>ED</b>	1.7E+10	pa
	<b>N.R</b>	22	22	22	22	22	20	22	22	18	18	21	
<b>Seco en horno</b>	<b>Masa</b>											3.097	kg
	<b>Diámetro</b>	10.06	10.05	10.1	10.04							100.625	mm
	<b>Altura</b>											199	mm
	<b>VP</b>	3425	3379	3339								3381	m/s
	<b>t (μs)</b>	101	101	99				<b>VS</b>	996	996	1016	1003	m/s
	<b>f</b>	423.7	423.7	423.7	4237						<b>ED</b>	1.4E+10	pa
	<b>N.R</b>	32	34	28	28	38	36	28	28	32	30	31.4	
<b>Casi Saturado</b>	<b>Masa</b>											3.4355	kg
	<b>Diámetro</b>	10.05	10.07	10.1	10.05							100.675	mm
	<b>Altura</b>											199	mm
	<b>VP</b>	3455	3419	3425								3433	m/s
	<b>t (μs)</b>	96	95	92				<b>VS</b>	1049	1060	1094	1067.58	m/s
	<b>f</b>	446.4	454.5	454.5	4518						<b>ED</b>	1.8E+10	pa
	<b>N.R</b>	32	34	32	26	34	26	26	26	26	26	28.8	
<b>Espécimen 6</b>													
<b>Seco en ambiente</b>	<b>Masa</b>											3.486	kg
	<b>Diámetro</b>	10.18	10.15	10.26	10.21							102	mm
	<b>Altura</b>											199	mm
	<b>VP</b>	3560	3485	3560								3535	m/s
	<b>t (μs)</b>	67	75	76				<b>VS</b>	1522	1360	1342	1408.16	m/s
	<b>f</b>	476.1	476.1	476.1	4761						<b>ED</b>	1.9E+10	pa
	<b>N.R</b>	26	28	26	20	20	20	22	26	24	18	23	
<b>Seco en horno</b>	<b>Masa</b>											3.273	kg
	<b>Diámetro</b>	10.17	10.18	10.22	10.2							101.925	mm
	<b>Altura</b>											200	mm
	<b>VP</b>	3484	3515	3497								3498.67	m/s
	<b>t (μs)</b>	99	95	94				<b>VS</b>	1030	1073	1084	1062.25	m/s
	<b>f</b>	446.4	438.6	438.6	4412						<b>ED</b>	1.6E+10	pa
	<b>N.R</b>	38	36	40	36	42	30	30	32	32	30	34.6	
<b>Casi Saturado</b>	<b>Masa</b>											3.581	kg
	<b>Diámetro</b>	10.17	10.17	10.22	10.22							101.95	mm
	<b>Altura</b>											200	mm
	<b>VP</b>	3503	3484	3515								3500.67	m/s
	<b>t (μs)</b>	93	93	92				<b>VS</b>	1096	1096	1108	1100.21	m/s
	<b>f</b>	471.7	462.9	462.9	4658.33						<b>ED</b>	1.9E+10	pa
	<b>N.R</b>	32	38	30	34	32	30	30	26	30	30	31.2	
<b>Espécimen 7</b>													
<b>Seco en</b>	<b>Masa</b>											3.493	kg
	<b>Diámetro</b>	10.14	10.13	10.15	10.29							101.775	mm

	<b>Altura</b>											200	mm	
	<b>VP</b>	3559	3515	3454								3509.33	m/s	
	<b>t (μs)</b>	90	92	84			<b>VS</b>	1131	1106	1212	1149.56	m/s		
	<b>f</b>	471.7	471.7	471.7	4717						<b>ED</b>	1.9E+10	pa	
	<b>N.R</b>	24	24	20	22	26	28	30	26	24	30	25.4		
<b>Seco en horno</b>	<b>Masa</b>											3.284	kg	
	<b>Diámetro</b>	10.19	10.25	10.16	10.15							101.875	mm	
	<b>Altura</b>											200	mm	
	<b>VP</b>	3425	3454	3466								3448.33	m/s	
	<b>t (μs)</b>	91	98	96			<b>VS</b>	1120	1040	1061	1073.41	m/s		
	<b>f</b>	446.4	446.4	446.4	4464						<b>ED</b>	1.6E+10	pa	
<b>Casi Saturado</b>	<b>Masa</b>											3.5955	kg	
	<b>Diámetro</b>	10.18	10.24	10.14	10.19							101.875	mm	
	<b>Altura</b>											200	mm	
	<b>VP</b>	3484	3515	3515								3504.67	m/s	
	<b>t (μs)</b>	92	94	94			<b>VS</b>	1107	1084	1084	1091.63	m/s		
	<b>f</b>	454.5	454.5	454.5	4545						<b>ED</b>	1.8E+10	pa	
<b>Espécimen 8</b>	<b>Masa</b>											3.449	kg	
	<b>Diámetro</b>	10.16	10.16	10.2	10.25							101.925	mm	
	<b>Altura</b>											198.5	mm	
	<b>VP</b>	3528	3510	3516								3518	m/s	
	<b>t (μs)</b>	87	92	94			<b>VS</b>	1172	1108	1084	1121.25	m/s		
	<b>f</b>	446.4	446.4	446.4	4464						<b>ED</b>	1.7E+10	pa	
<b>Seco en ambiente</b>	<b>N.R</b>	24	26	26	26	22	30	28	30	30	30	27.2		
	<b>Masa</b>											3.21	kg	
	<b>Diámetro</b>	10.21	10.22	10.16	10.17							101.9	mm	
	<b>Altura</b>											199	mm	
	<b>VP</b>	3437	3437	3419								3431	m/s	
	<b>t (μs)</b>	98	98	91			<b>VS</b>	1040	1040	1120	1066.46	m/s		
<b>Seco en horno</b>	<b>f</b>	423.7	423.7	423.7	4237						<b>ED</b>	1.4E+10	pa	
	<b>N.R</b>	26	32	30	32	28	34	34	32	30	34	31.2		
	<b>Masa</b>											3.5405	kg	
	<b>Diámetro</b>	10.22	10.22	10.21	10.13							101.95	mm	
	<b>Altura</b>											199	mm	
	<b>VP</b>	3437	3437	3455								3443	m/s	
<b>Casi Saturado</b>	<b>t (μs)</b>	98	98	97			<b>VS</b>	1040	1040	1051	1043.88	m/s		
	<b>f</b>	446.4	446.4	446.4	4464						<b>ED</b>	1.7E+10	pa	
	<b>N.R</b>	32	24	26	28	26	32	32	32	24	32	28.8		
	<b>Espécimen 9</b>													
	<b>Seco en ambiente</b>	<b>Masa</b>											3.465	kg
		<b>Diámetro</b>	10.15	10.17	10.28	10.14							101.85	mm
<b>Altura</b>												201	mm	
<b>VP</b>		3551	3533	3533								3539	m/s	
<b>t (μs)</b>		94	90	93			<b>VS</b>	1084	1132	1095	1103.45	m/s		
<b>f</b>		446.4	446.4	446.4	4464						<b>ED</b>	1.7E+10	pa	
<b>Seco en horno</b>	<b>N.R</b>	24	24	26	32	30	22	30	22	26	32	26.8		
	<b>Masa</b>											3.2195	kg	
	<b>Diámetro</b>	10.22	10.17	10.24	10.25							102.2	mm	
	<b>Altura</b>											201	mm	
<b>VP</b>	3384	3339	3356								3359.67	m/s		

	<b>t (μs)</b>	99	96	97				<b>VS</b>	1032	1065	1054	1050.17	m/s
	<b>f</b>	416.6	416.6	416.6	4166						<b>ED</b>	1.4E+10	pa
	<b>N.R</b>	36	34	40	40	40	30	30	30	32	32	34.4	
<b>Casi Saturado</b>	<b>Masa</b>											3.564	kg
	<b>Diámetro</b>	10.21	10.17	10.25	10.27							102.25	mm
	<b>Altura</b>											201	mm
	<b>VP</b>	3442	3413	3442								3432.33	m/s
	<b>t (μs)</b>	96	96	96				<b>VS</b>	1065	1065	1065	1065.1	m/s
	<b>f</b>	438.6	438.6	438.6	4386						<b>ED</b>	1.7E+10	pa
	<b>N.R</b>	32	30	34	36	28	26	26	28	26	28	28	29.4
<b>Espécimen 10</b>													
<b>Seco en ambiente</b>	<b>Masa</b>											3.474	kg
	<b>Diámetro</b>	10.18	10.14	10.16	10.16							101.6	mm
	<b>Altura</b>											200	mm
	<b>VP</b>	3643	3610	3597								3616.67	m/s
	<b>t (μs)</b>	92	90	101				<b>VS</b>	1104	1129	1006	1079.73	m/s
	<b>f</b>	462.9	462.9	462.9	4629						<b>ED</b>	1.9E+10	pa
	<b>N.R</b>	26	26	24	20	22	26	24	22	20	26	26	23.6
<b>Seco en horno</b>	<b>Masa</b>											3.2635	kg
	<b>Diámetro</b>	10.16	10.29	10.17	10.15							101.925	mm
	<b>Altura</b>											199	mm
	<b>VP</b>	3479	3497	3510								3495.33	m/s
	<b>t (μs)</b>	95	94	94				<b>VS</b>	1073	1084	1084	1080.5	m/s
	<b>f</b>	438.6	438.6	438.6	4386						<b>ED</b>	1.5E+10	pa
	<b>N.R</b>	36	40	34	34	34	40	40	36	42	36	36	37.2
<b>Casi Saturado</b>	<b>Masa</b>											3.5645	kg
	<b>Diámetro</b>	10.17	10.31	10.15	10.19							102.05	mm
	<b>Altura</b>											200	mm
	<b>VP</b>	3546	3565	3515								3542	m/s
	<b>t (μs)</b>	95	96	96				<b>VS</b>	1074	1063	1063	1066.75	m/s
	<b>f</b>	454.5	446.4	446.4	4491						<b>ED</b>	1.8E+10	pa
	<b>N.R</b>	30	28	24	32	32	34	26	30	28	28	28	29.2
<b>Espécimen 11</b>													
<b>Seco en ambiente</b>	<b>Masa</b>											3.445	kg
	<b>Diámetro</b>	10.19	10.17	10.18	10.19							101.825	mm
	<b>Altura</b>											200	mm
	<b>VP</b>	3484	3513	3484								3493.67	m/s
	<b>t (μs)</b>	87	95	92				<b>VS</b>	1170	1072	1107	1116.35	m/s
	<b>f</b>	446.4	446.4	446.4	4464						<b>ED</b>	1.7E+10	pa
	<b>N.R</b>	24	22	20	18	20	26	26	26	28	28	28	23.8
<b>Seco en horno</b>	<b>Masa</b>											3.2055	kg
	<b>Diámetro</b>	10.25	10.17	10.27	10.15							102.1	mm
	<b>Altura</b>											200	mm
	<b>VP</b>	3367	3550	3339								3418.67	m/s
	<b>t (μs)</b>	95	97	97				<b>VS</b>	1075	1053	1053	1059.96	m/s
	<b>f</b>	409.8	409.8	409.8	4098						<b>ED</b>	1.3E+10	pa
	<b>N.R</b>	36	28	38	30	38	32	40	30	36	34	34	34.2
<b>Casi Saturado</b>	<b>Masa</b>											3.5465	kg
	<b>Diámetro</b>	10.16	10.28	10.15	10.16							101.875	mm
	<b>Altura</b>											200	mm
	<b>VP</b>	3367	3367	3350								3361.33	m/s
	<b>t (μs)</b>	91	93	96				<b>VS</b>	1120	1095	1061	1092.04	m/s
	<b>f</b>	438.6	438.6	431	4360.67						<b>ED</b>	1.7E+10	pa

	N.R	22	22	22	22	24	32	26	28	28	28	25.4	
<b>Espécimen 12</b>													
Seco en ambiente	Masa											12.0295	kg
	Diámetro	15.34	15.36	15.27	15.28							153.125	mm
	Altura											302	mm
	VP	3710	3710	3724								3714.67	m/s
	t (μs)	144	146	144				VS	1063	1049	1063	1058.51	m/s
	f	316.4	316.4	316.4	3164						ED	2E+10	pa
	N.R	32	30	28	30	34	36	32	30	32	32	31.6	
Seco en horno	Masa											11.4265	kg
	Diámetro	15.3	15.26	15.24	15.25							152.625	mm
	Altura											301	mm
	VP	3721	3721	3721								3721	m/s
	t (μs)	135	133	130				VS	1131	1148	1174	1150.72	m/s
	f	277.7	277.7	277.7	2777						ED	1.5E+10	pa
	N.R	40	38	34	36	32	44	44	44	36	36	38.4	
Casi Saturado	Masa											12.2125	kg
	Diámetro	15.36	15.32	15.24	15.27							152.975	mm
	Altura											302	mm
	VP	3634	3634	3634								3634	m/s
	t (μs)	131	136	134				VS	1168	1125	1142	1144.72	m/s
	f	316.4	320.5	333.3	3234						ED	2.1E+10	pa
	N.R	36	30	36	30	36	40	34	36	34	40	35.2	
<b>Espécimen 13</b>													
Seco en ambiente	Masa											12.027	kg
	Diámetro	15.36	15.35	15.27	15.25							153.075	mm
	Altura											302	mm
	VP	3698	3675	3662								3678.33	m/s
	t (μs)	140	136	143				VS	1093	1126	1070	1096.47	m/s
	f	316.4	316.4	316.4	3164						ED	2E+10	pa
	N.R	35	32	32	34	32	28	28	32	28	28	30.9	
Seco en horno	Masa											11.4215	kg
	Diámetro	15.35	15.33	15.25	15.27							153	mm
	Altura											301	mm
	VP	3721	3711	3730								3720.67	m/s
	t (μs)	134	132	133				VS	1142	1159	1150	1150.42	m/s
	f	280.9	284	284.9	2832.67						ED	1.5E+10	pa
	N.R	36	38	40	34	36	38	42	36	42	38	38	
Casi Saturado	Masa											12.201	kg
	Diámetro	15.34	15.37	15.26	15.25							153.05	mm
	Altura											302	mm
	VP	3643	3621	3643								3635.67	m/s
	t (μs)	135	135	136				VS	1134	1134	1125	1130.93	m/s
	f	304.8	304.8	304.8	3048						ED	1.9E+10	pa
	N.R	34	30	36	32	30	32	34	42	38	32	34	
<b>Espécimen 14</b>													
Seco en ambiente	Masa											3.4555	kg
	Diámetro	10.21	10.24	10.1	10.15							101.75	mm
	Altura											200	mm
	VP	3503	3578	3578								3553	m/s
	t (μs)	96	96	98				VS	1060	1060	1038	1052.69	m/s
	f	4347	4347	4386	4360						ED	1.6E+10	pa
	N.R	34	32	40	30	32	28	28	28	30	28	31	

<b>Seco en horno</b>	<b>Masa</b>											3.2825	kg
	<b>Diámetro</b>	10.15	10.11	10.22	10.2							101.7	mm
	<b>Altura</b>											200	mm
	<b>VP</b>	3521	3534	3540								3531.67	m/s
	<b>t (μs)</b>	69	64	67				<b>VS</b>	1474	1589	1518	1526.96	m/s
	<b>f</b>	4464	4424	4424	4437.33						<b>ED</b>	1.6E+10	pa
	<b>N.R</b>											0	
<b>Casi Saturado</b>	<b>Masa</b>											3.6175	kg
	<b>Diámetro</b>	10.2	10.14	10.22	10.24							102	mm
	<b>Altura</b>											200	mm
	<b>VP</b>	3781	3752	3572								3701.67	m/s
	<b>t (μs)</b>	89	90	89				<b>VS</b>	1146	1133	1146	1141.82	m/s
	<b>f</b>	4629	4629	4628	4628.67						<b>ED</b>	1.9E+10	pa
	<b>N.R</b>											0	

**MEZCLA M5 DESPUÉS DEL DETERIORO**

<b>Espécimen 9</b>													
<b>Seco en ambiente</b>	<b>Masa</b>											3.449	kg
	<b>Diámetro</b>	10.23	10.15	10.25	10.23							102.15	mm
	<b>Altura</b>											201	mm
	<b>VP</b>	3583	3615	3551								3583	m/s
	<b>t (μs)</b>	40	38	42				<b>VS</b>	2554	2688	2432	2558.02	m/s
	<b>f</b>	4318	4318	4318	4318						<b>ED</b>	1.6E+10	pa
	<b>N.R</b>	30	38	40	30	38	40	32	32	30	32	34.2	
<b>Seco en horno</b>	<b>Masa</b>											3.2675	kg
	<b>Diámetro</b>	10.21	10.23	10.27	10.17							102.2	mm
	<b>Altura</b>											200	mm
	<b>VP</b>	3596	3596	3596								3596	m/s
	<b>t (μs)</b>	87	91	89				<b>VS</b>	1175	1123	1148	1148.7	m/s
	<b>f</b>	3731	3731	3731	3731						<b>ED</b>	1.1E+10	pa
	<b>N.R</b>											0	
<b>Casi Saturado</b>	<b>Masa</b>											3.57	kg
	<b>Diámetro</b>	10.15	10.17	10.25	10.20							101.925	mm
	<b>Altura</b>											200	mm
	<b>VP</b>	3636	3636	3604								3625.33	m/s
	<b>t (μs)</b>	64	64	64				<b>VS</b>	1593	1593	1593	1592.58	m/s
	<b>f</b>	3968	3968	3968	3968						<b>ED</b>	1.4E+10	pa
	<b>N.R</b>											0	
<b>Espécimen 14*</b>													
<b>Seco en ambiente</b>	<b>Masa</b>											3.4845	kg
	<b>Diámetro</b>	10.2	10.14	10.23	10.24							102.025	mm
	<b>Altura</b>											200	mm
	<b>VP</b>	3745	3745	3745								3745	m/s
	<b>t (μs)</b>	40	39	38				<b>VS</b>	2551	2616	2685	2617.17	m/s
	<b>f</b>	4166	4237	4237	4213.33						<b>ED</b>	1.5E+10	pa
	<b>N.R</b>	34	36	28	30	34	28	28	28	30	30	30.6	
<b>Seco en</b>	<b>Masa</b>											3.3295	kg
	<b>Diámetro</b>	10.2	10.15	10.24	10.21							102	mm

	<b>Altura</b>											201	mm
	<b>VP</b>	3675	3675	3675								3675	m/s
	<b>t (μs)</b>	87	87	90				<b>VS</b>	1172	1172	1133	1159.39	m/s
	<b>f</b>	4032	4065	4065	4054						<b>ED</b>	1.4E+10	pa
	<b>N.R</b>											0	
<b>Casi Saturado</b>	<b>Masa</b>											3.614	kg
	<b>Diámetro</b>	10.14	10.19	10.23	10.24							102	mm
	<b>Altura</b>											200	mm
	<b>VP</b>	3731	3717	3731								3726.33	m/s
	<b>t (μs)</b>	60	58	58				<b>VS</b>	1700	1759	1759	1739.08	m/s
	<b>f</b>	3968	3968	3968	3968						<b>ED</b>	1.4E+10	pa
	<b>N.R</b>											0	
<b>Especimen 12</b>													
<b>Seco en ambiente</b>	<b>Masa</b>											11.866	kg
	<b>Diámetro</b>	15.32	15.35	15.26	15.25							152.95	mm
	<b>Altura</b>											301	mm
	<b>VP</b>	3662	3675	3666								3667.67	m/s
	<b>t (μs)</b>	92	90	90				<b>VS</b>	1663	1699	1699	1687.13	m/s
	<b>f</b>	2941	2976	2972	2963						<b>ED</b>	1.7E+10	pa
	<b>N.R</b>	36	34	34	38	34	38	34	38	36	36	35.8	
<b>Seco en horno</b>	<b>Masa</b>											11.416	kg
	<b>Diámetro</b>	15.31	15.35	15.25	15.26							152.925	mm
	<b>Altura</b>											301	mm
	<b>VP</b>	3734	3744	3734								3737.33	m/s
	<b>t (μs)</b>	120	124	119				<b>VS</b>	1274	1233	1285	1264.24	m/s
	<b>f</b>	2631	2631	2604	2622						<b>ED</b>	1.3E+10	pa
	<b>N.R</b>											0	
<b>Casi Saturado</b>	<b>Masa</b>											12.212	kg
	<b>Diámetro</b>	15.24	15.26	15.35	15.32							152.925	mm
	<b>Altura</b>											301	mm
	<b>VP</b>	3716	3716	3702								3711.33	m/s
	<b>t (μs)</b>	112	116	114				<b>VS</b>	1365	1318	1341	1341.72	m/s
	<b>f</b>	2747	2747	2747	2747						<b>ED</b>	1.5E+10	pa
	<b>N.R</b>											0	
<b>Especimen 13</b>													
<b>Seco en ambiente</b>	<b>Masa</b>											11.8515	kg
	<b>Diámetro</b>	15.34	15.34	15.25	15.28							153.025	mm
	<b>Altura</b>											300	mm
	<b>VP</b>	3672	3641	3682								3665	m/s
	<b>t (μs)</b>	115	120	115				<b>VS</b>	1331	1275	1331	1312.17	m/s
	<b>f</b>	3012	3012	3012	3012						<b>ED</b>	1.8E+10	pa
	<b>N.R</b>	34	34	40	40	36	38	36	32	36	34	36	
<b>Seco en horno</b>	<b>Masa</b>											11.402	kg
	<b>Diámetro</b>	15.37	15.33	15.25	15.25							153	mm
	<b>Altura</b>											301	mm
	<b>VP</b>	3675	3666	3653								3664.67	m/s
	<b>t (μs)</b>	104	110	108				<b>VS</b>	1471	1391	1417	1426.24	m/s
	<b>f</b>	2525	2551	2525	2533.67						<b>ED</b>	1.2E+10	pa
	<b>N.R</b>											0	
<b>Casi Saturado</b>	<b>Masa</b>											12.199	kg
	<b>Diámetro</b>	15.37	15.34	15.28	15.26							153.125	mm
	<b>Altura</b>											301	mm
	<b>VP</b>	3693	3680	3689								3687.33	m/s



## ANEXO D

### Módulo de elasticidad estático

<b>ANTES DEL DAÑO</b>							
<b>Mezcla M3 E12</b>	<b>Lectura 2</b>		<b>Lectura 3</b>		<b>Promedio</b>		<b>Resultado</b>
	Strain [ $\mu\epsilon$ ]	Stress [MPa]	Strain [ $\mu\epsilon$ ]	Stress [MPa]	Strain [ $\mu\epsilon$ ]	Stress [MPa]	
P1	40	1.23	45	1.26	43	1.24	22.24
P2	993	22.44	999	22.44	996	22.44	<b>22.2</b>
<b>Mezcla M3 E12</b>	<b>Lectura 2</b>		<b>Lectura 3</b>		<b>Promedio</b>		<b>Resultado</b>
	Strain [ $\mu\epsilon$ ]	Stress [MPa]	Strain [ $\mu\epsilon$ ]	Stress [MPa]	Strain [ $\mu\epsilon$ ]	Stress [MPa]	
P1	60	1.46	63	1.44	62	1.45	21.56
P2	1034	22.44	1037	22.44	1035	22.44	<b>21.6</b>
<b>Promedio [GPa]</b>							<b>21.9</b>
<b>LUEGO DEL DAÑO</b>							
<b>Mezcla M3 E13</b>	<b>Lectura 2</b>		<b>Lectura 3</b>		<b>Promedio</b>		<b>Resultado</b>
	Strain [ $\mu\epsilon$ ]	Stress [MPa]	Strain [ $\mu\epsilon$ ]	Stress [MPa]	Strain [ $\mu\epsilon$ ]	Stress [MPa]	
P1	7	0.39	8	0.40	7	0.39	22.69
P2	980	22.40	976	22.41	978	22.40	<b>22.6</b>
<b>Mezcla M3 E13</b>	<b>Lectura 2</b>		<b>Lectura 3</b>		<b>Promedio</b>		<b>Resultado</b>
	Strain [ $\mu\epsilon$ ]	Stress [MPa]	Strain [ $\mu\epsilon$ ]	Stress [MPa]	Strain [ $\mu\epsilon$ ]	Stress [MPa]	
P1	3	0.41	6	0.40	4	0.40	19.85
P2	1107	22.41	1119	22.40	1113	22.40	<b>19.8</b>
<b>Promedio [GPa]</b>							<b>21.2</b>

<b>ANTES DEL DAÑO</b>							
<b>Mezcla M4 E12</b>	<b>Lectura 2</b>		<b>Lectura 3</b>		<b>Promedio</b>		<b>Resultado</b>
	Strain [ $\mu\epsilon$ ]	Stress [MPa]	Strain [ $\mu\epsilon$ ]	Stress [MPa]	Strain [ $\mu\epsilon$ ]	Stress [MPa]	
P1	85	1.34	81	1.18	83	1.26	16.84
P2	891	15.00	907	15.00	899	15.00	<b>16.8</b>
<b>Mezcla M4 E12</b>	<b>Lectura 2</b>		<b>Lectura 3</b>		<b>Promedio</b>		<b>Resultado</b>
	Strain [ $\mu\epsilon$ ]	Stress [MPa]	Strain [ $\mu\epsilon$ ]	Stress [MPa]	Strain [ $\mu\epsilon$ ]	Stress [MPa]	
P1	85	1.10	94	1.28	90	1.19	15.96
P2	949	14.99	959	15.00	954	14.99	<b>16.0</b>
<b>Promedio [GPa]</b>							<b>16.4</b>

LUEGO DEL DAÑO							
Mezcla M4 E13	Lectura 2		Lectura 3		Promedio		Resultado
	Strain [ $\mu\epsilon$ ]	Stress [MPa]	Strain [ $\mu\epsilon$ ]	Stress [MPa]	Strain [ $\mu\epsilon$ ]	Stress [MPa]	Ec [GPa]
P1	17	0.38	16	0.39	16	0.39	14.53
P2	1022	15.00	1022	15.00	1022	15.00	<b>14.6</b>
Mezcla M4 E13	Lectura 2		Lectura 3		Promedio		Resultado
	Strain [ $\mu\epsilon$ ]	Stress [MPa]	Strain [ $\mu\epsilon$ ]	Stress [MPa]	Strain [ $\mu\epsilon$ ]	Stress [MPa]	Ec [GPa]
P1	15	0.41	16	0.41	15	0.41	14.69
P2	1009	14.99	1007	14.99	1008	14.99	<b>14.6</b>
<b>Promedio [GPa]</b>							<b>14.6</b>

ANTES DEL DAÑO							
Mezcla M5 E12	Lectura 2		Lectura 3		Promedio		Resultado
	Strain [ $\mu\epsilon$ ]	Stress [MPa]	Strain [ $\mu\epsilon$ ]	Stress [MPa]	Strain [ $\mu\epsilon$ ]	Stress [MPa]	Ec [GPa]
P1	97	1.30	110	1.45	104	1.38	16.28
P2	824	13.17	832	13.16	828	13.16	<b>16.2</b>
Mezcla M5 E12	Lectura 2		Lectura 3		Promedio		Resultado
	Strain [ $\mu\epsilon$ ]	Stress [MPa]	Strain [ $\mu\epsilon$ ]	Stress [MPa]	Strain [ $\mu\epsilon$ ]	Stress [MPa]	Ec [GPa]
P1	83	1.33	87	1.39	85	1.36	16.94
P2	777	13.12	783	13.16	780	13.14	<b>17.0</b>
<b>Promedio [GPa]</b>							<b>16.6</b>

LUEGO DEL DAÑO							
Mezcla M5 E13	Lectura 2		Lectura 3		Promedio		Resultado
	Strain [ $\mu\epsilon$ ]	Stress [MPa]	Strain [ $\mu\epsilon$ ]	Stress [MPa]	Strain [ $\mu\epsilon$ ]	Stress [MPa]	Ec [GPa]
P1	18	0.42	20	0.41	19	0.41	15.46
P2	841	13.17	845	13.16	843	13.16	<b>15.4</b>
Mezcla M5 E13	Lectura 2		Lectura 3		Promedio		Resultado
	Strain [ $\mu\epsilon$ ]	Stress [MPa]	Strain [ $\mu\epsilon$ ]	Stress [MPa]	Strain [ $\mu\epsilon$ ]	Stress [MPa]	Ec [GPa]
P1	0	0.42	9	0.42	4	0.42	16.86
P2	756	13.15	764	13.17	760	13.16	<b>16.8</b>
<b>Promedio [GPa]</b>							<b>16.1</b>

## ANEXO E

### Valores del parámetro de densidad de fisuras

MEZCLA M3							
Espécimen 3				Espécimen 9			
Sin deterioro		Con deterioro		Sin deterioro		Con deterioro	
$\epsilon$	Ed model						
0.22	25.50	0.22	25.50	0.20	26.27	0.22	25.73
0.22	18.50	0.22	18.50	0.20	19.89	0.22	18.61

MEZCLA M3							
Espécimen 12				Espécimen 13			
Sin deterioro		Con deterioro		Sin deterioro		Con deterioro	
$\epsilon$	Ed model						
0.20	24.05	0.25	22.95	0.21	24.14	0.27	22.86
0.20	18.32	0.25	15.68	0.21	17.78	0.27	14.72

MEZCLA M4							
Espécimen 4				Espécimen 9			
Sin deterioro		Con deterioro		Sin deterioro		Con deterioro	
$\epsilon$	Ed model						
0.17	20.02	0.23	18.98	0.18	18.74	0.21	18.26
0.17	15.99	0.23	13.51	0.18	14.82	0.21	13.68

MEZCLA M4							
Especimen 12				Especimen 13			
Sin deterioro		Con deterioro		Sin deterioro		Con deterioro	
$\epsilon$	Ed model						
0.11	18.04	0.28	15.45	0.07	17.63	0.27	14.85
0.11	15.83	0.28	9.68	0.07	16.30	0.27	9.72

MEZCLA M5							
Especimen 3				Especimen14			
Sin deterioro		Con deterioro		Sin deterioro		Con deterioro	
$\epsilon$	Ed model						
0.11	16.26	0.22	14.73	0.03	17.32	0.16	15.66
0.11	14.31	0.22	10.69	0.03	16.72	0.16	12.80

MEZCLA M5							
Especimen 12				Especimen 13			
Sin deterioro		Con deterioro		Sin deterioro		Con deterioro	
$\epsilon$	Ed model						
0.17	19.21	0.25	17.78	0.12	17.83	0.23	16.16
0.17	15.46	0.25	12.05	0.12	15.49	0.23	11.51