

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 (ϵ), 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 ϵ 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 (ϵ), 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 ϵ 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 al (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.

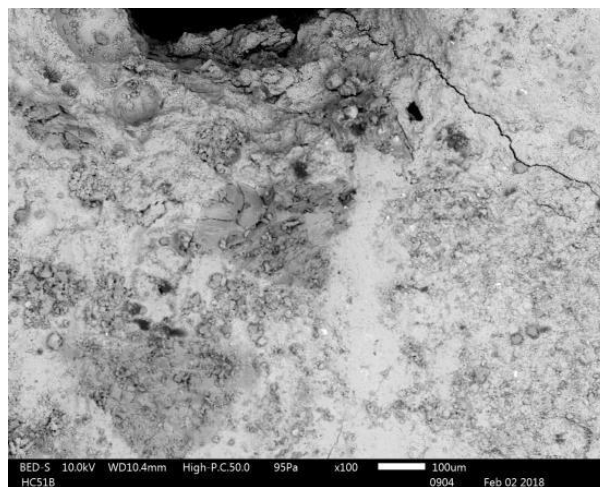


Figura 1: Ejemplo de microestructura de concreto obtenida por SEM. Fuente: Rosero (2018).

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. Attiogbe 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).

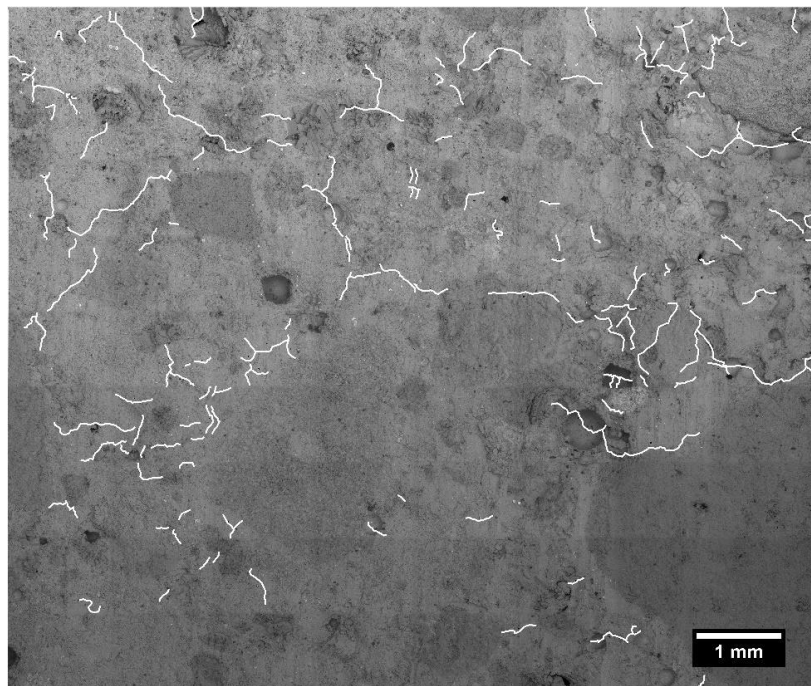


Figura 2: Microfisuras dentro del elemento de concreto. Fuente: Rosero (2018)

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:

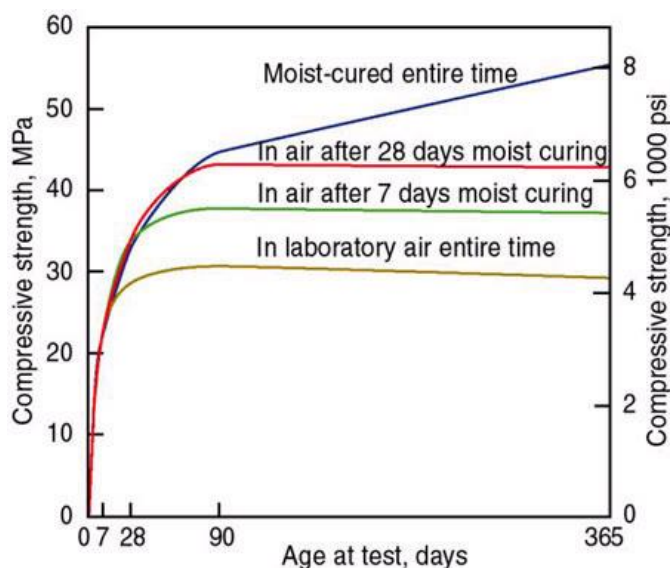


Figura 3: Esfuerzo-deformación del hormigón por edades. Fuente: Farooq (2015)

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.

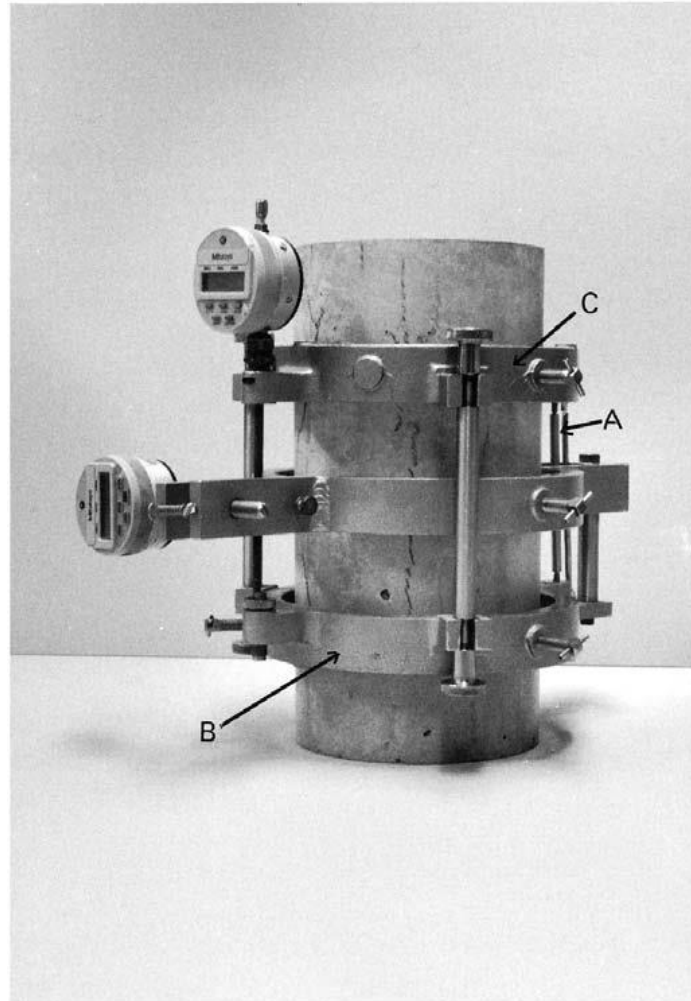


Figura 4: Compresometro en espécimen de cilindro. Fuente: ASTM C 469-14.

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

S₂= Resistencia correspondiente al 40% de la carga última

S₁= Resistencia correspondiente a la deformación longitudinal

ϵ_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:

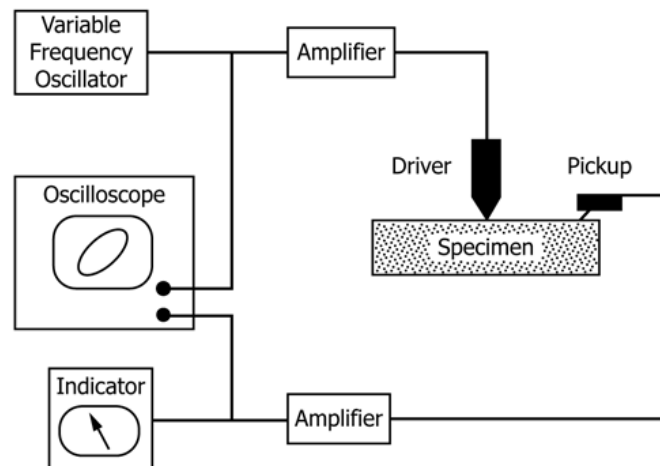


Figura 5: Esquema de sistema de aparatos para la prueba de resonancia. Fuente: ASTM C 215-14.

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:

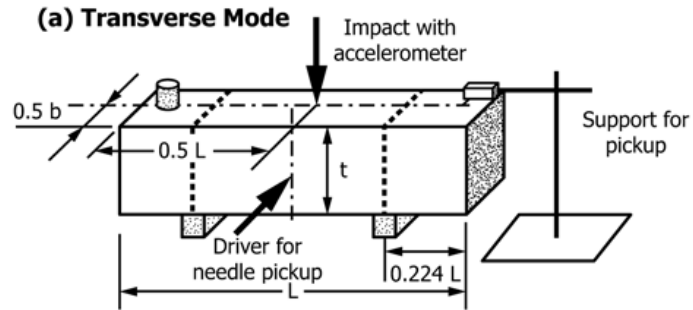


Figura 6: Esquema de colocación de espécimen para la prueba. Fuente: ASTM C 215-14

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

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.

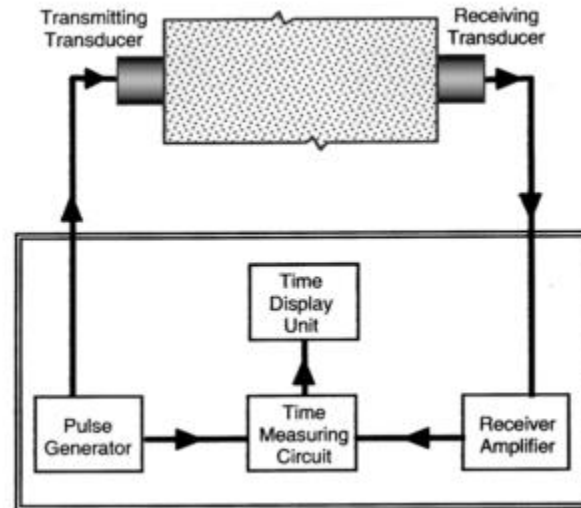


Figura 7: Imagen de un esclerómetro. Fuente: Sanjuán (s.f.)

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 (ε) como se muestra en la siguiente figura:

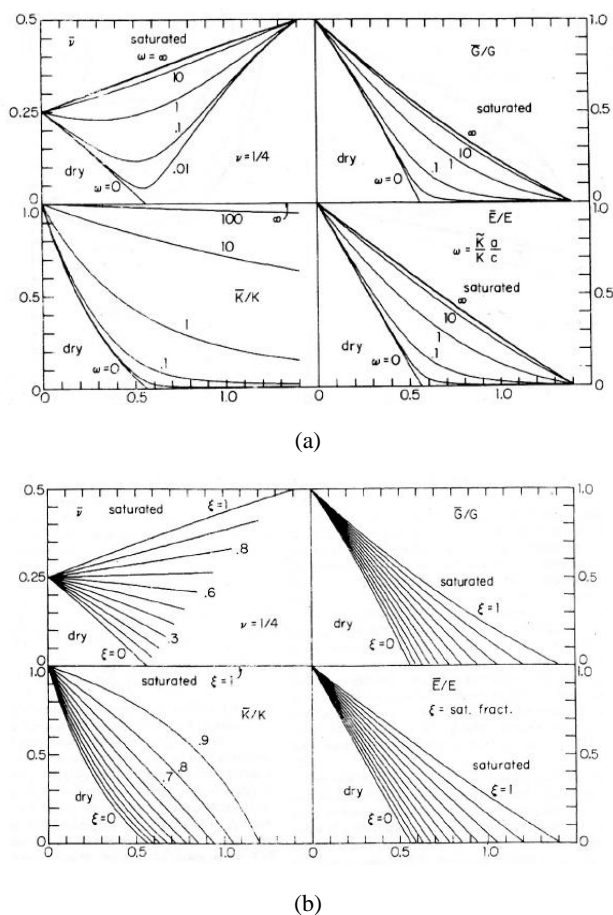


Figura 9: Propiedades elásticas de un sólido con fisuras circulares. (a) Efecto de saturación total (b) Efecto de saturación parcial. Fuente: O'Connell y Budianski, (1974)

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, m³

a = radio elíptico mayor, m

N = número de fisuras

Ac = área de fisuras, m²

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

ν = módulo de Poisson efectivo

ν_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

ξ_{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.

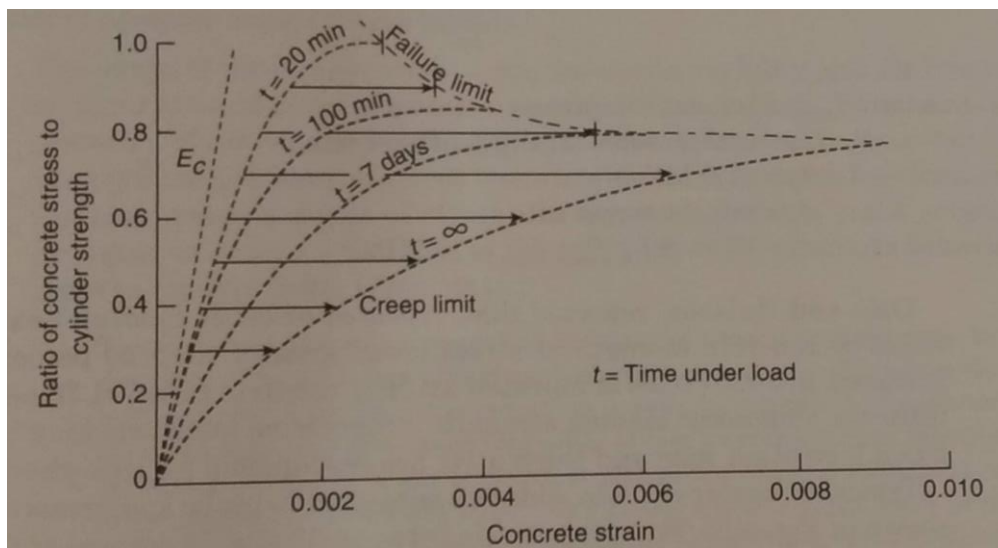


Figura 10: Relación entre esfuerzo de carga a corto plazo y largo plazo. Fuente: Rusch, (1960)

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 ($f'c$) | - | - | - |

| | | | |
|--|--|--|--|
| Velocidad de pulso (v_p), Velocidad de corte (v_s), Número de rebote, Módulo de elasticidad dinámico (<i>Dynamic E</i>) | 2 (100x200) deteriorados 2 (100x200) sin deteriorar | 2 (100x200) deteriorados 2 (100x200) sin deteriorar | 2 (100x200) deteriorados 2 (100x200) sin deteriorar |
| Módulo de elasticidad estático (E) | 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 ± 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 (ϵ) 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 | | | | |
|--------------|-------------|-----------|------------|----------|
| Especimen 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

| |
|------------------|
| Mezcla M4 |
|------------------|

| Especimen ID | Dimensiones | fc est | fc obra | t ₈₅ |
|--------------|-------------|--------|---------|-----------------|
| | 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 _p | V _s | NR | Ed | V _p | V _s | NR | Ed | V _p | V _s | 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 | | | | |
|--------------|-------------|-----------|------------|----------|
| Especímen 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.

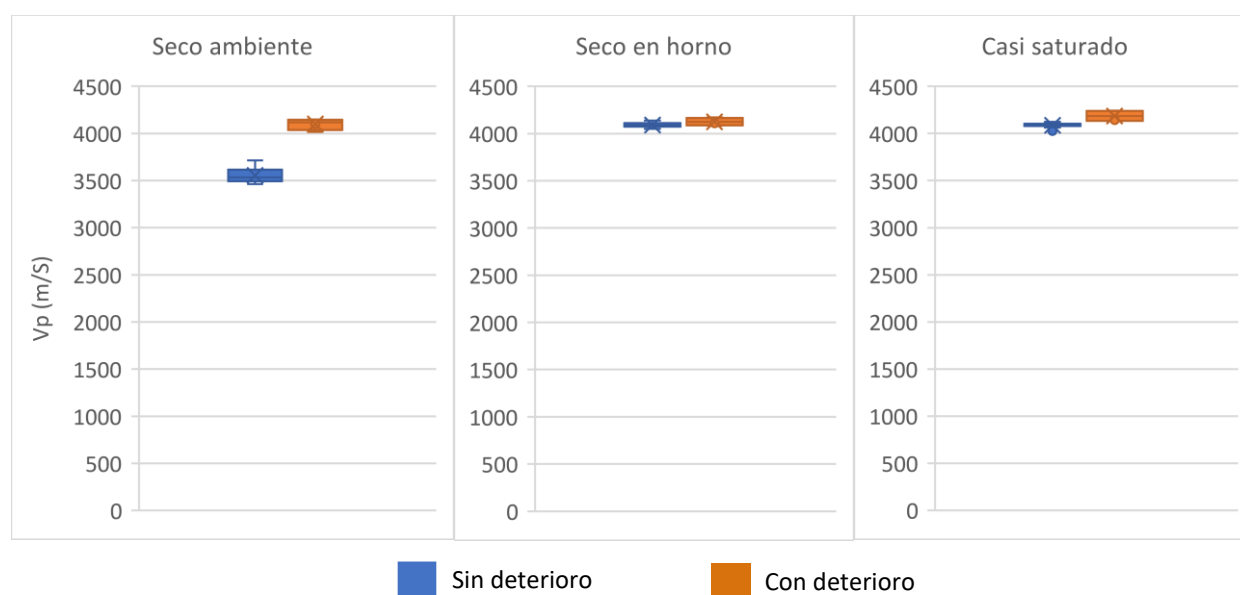


Figura 11: Comparación de la velocidad de pulso de la mezcla M3. (Laboratorios de hormigones USFQ)

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%.

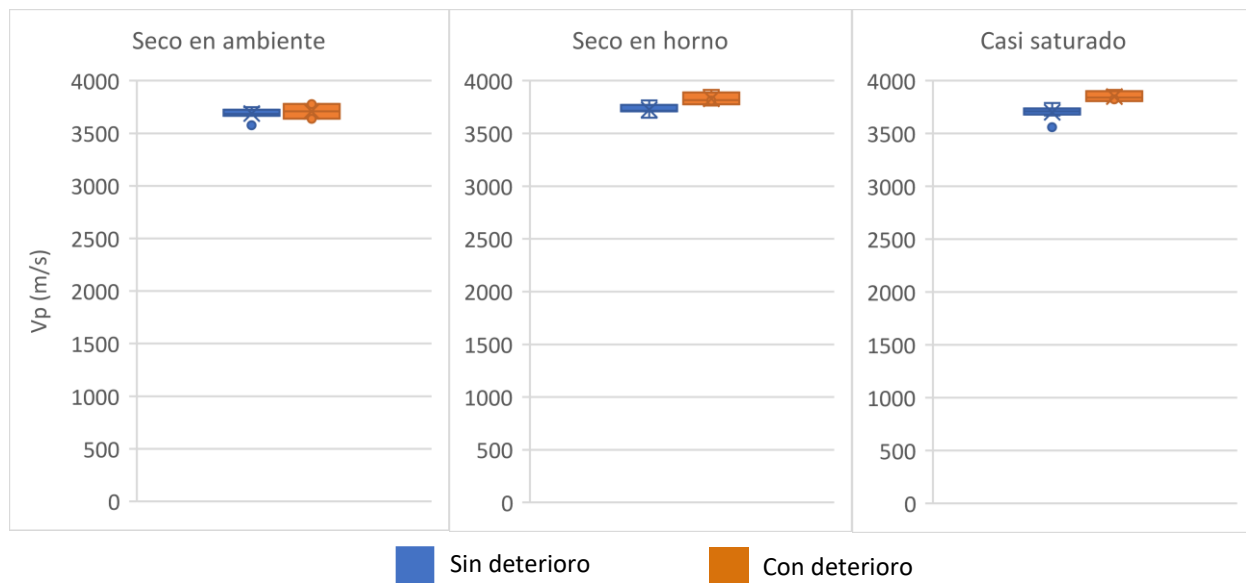


Figura 12: Comparación de la velocidad de pulso de la mezcla M4. (Laboratorios de hormigones USFQ)

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%.

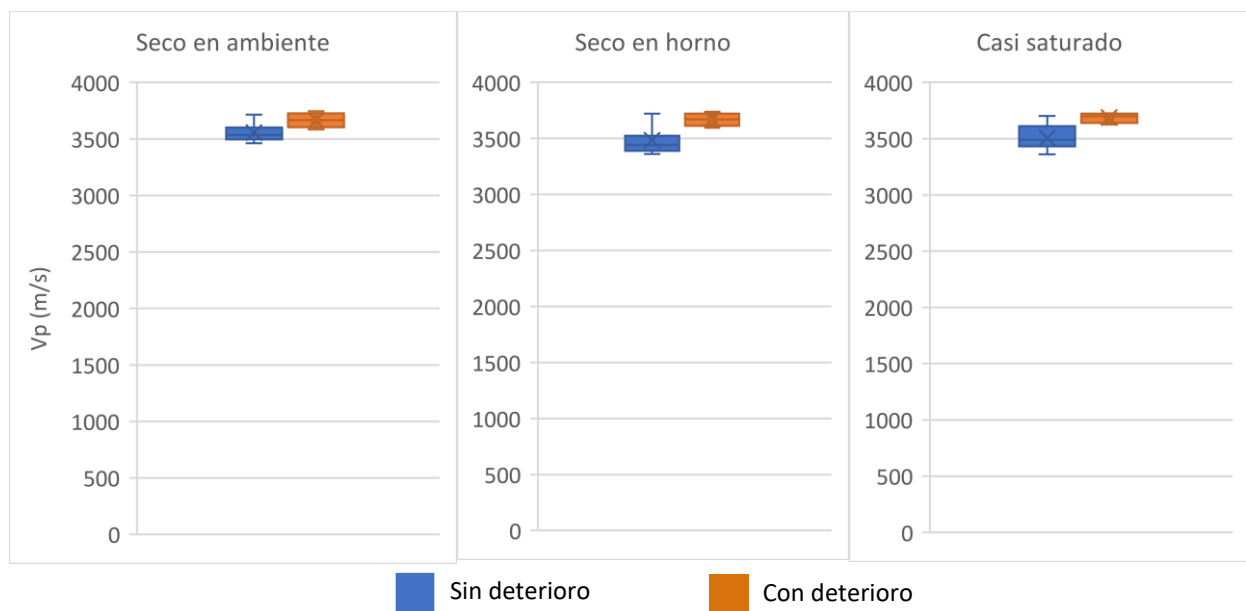


Figura 13: Comparación de la velocidad de pulso de la mezcla M5. (Laboratorios de hormigones USFQ)

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.

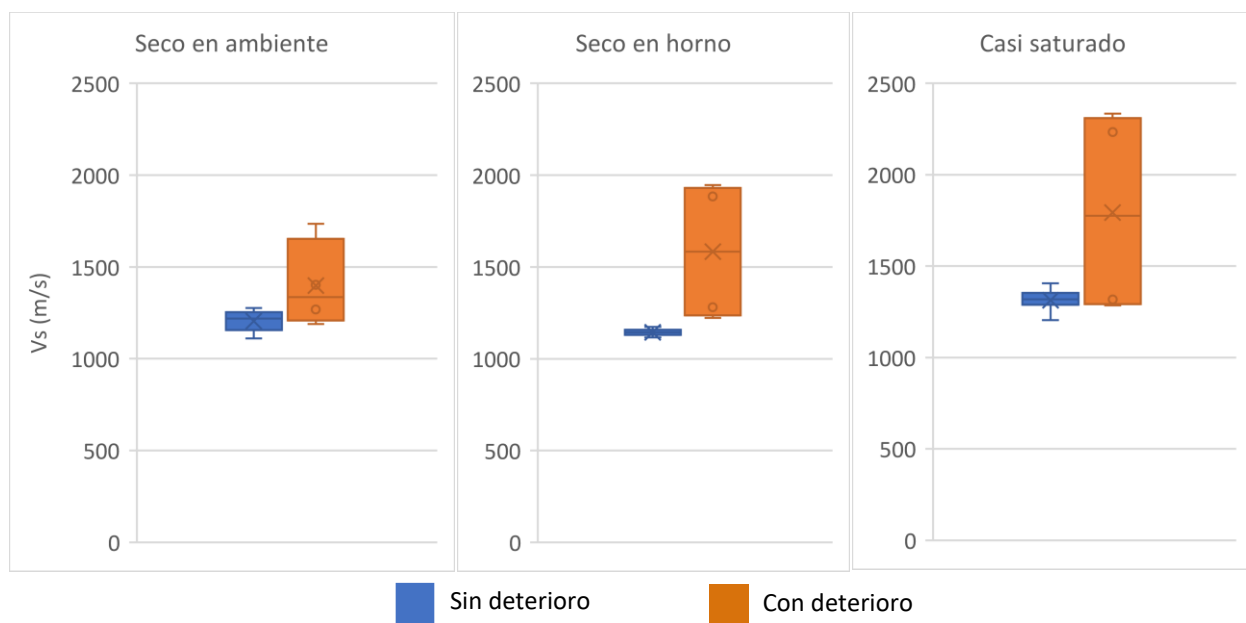


Figura 14: Comparación de la velocidad de corte de la mezcla M3. (Laboratorios de hormigones USFQ)

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%.

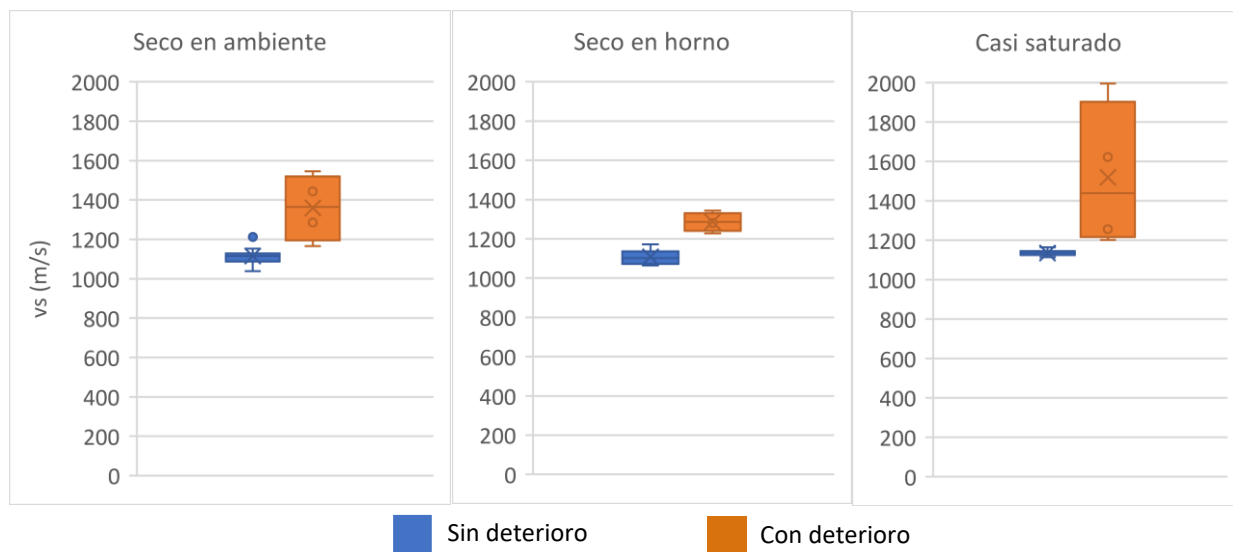


Figura 15: Comparación de la velocidad de corte de la mezcla M4. (Laboratorios de hormigones USFQ)

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%.

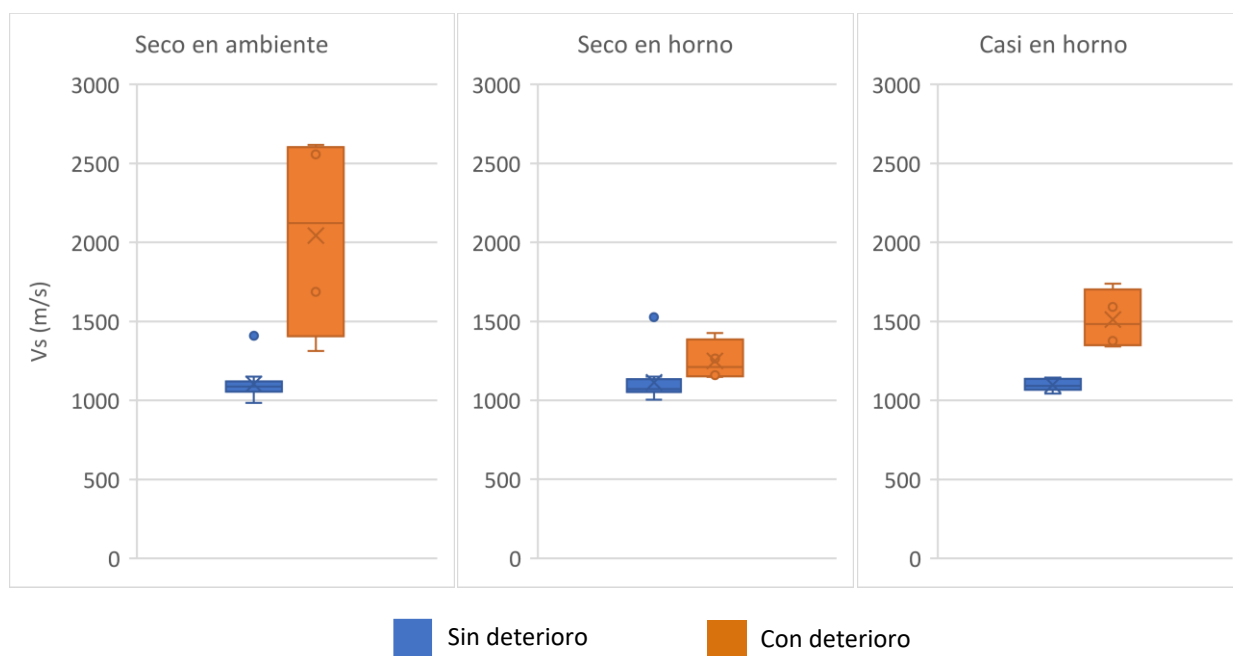


Figura 16: Comparación de la velocidad de corte de la mezcla M5. (Laboratorios de hormigones USFQ)

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.

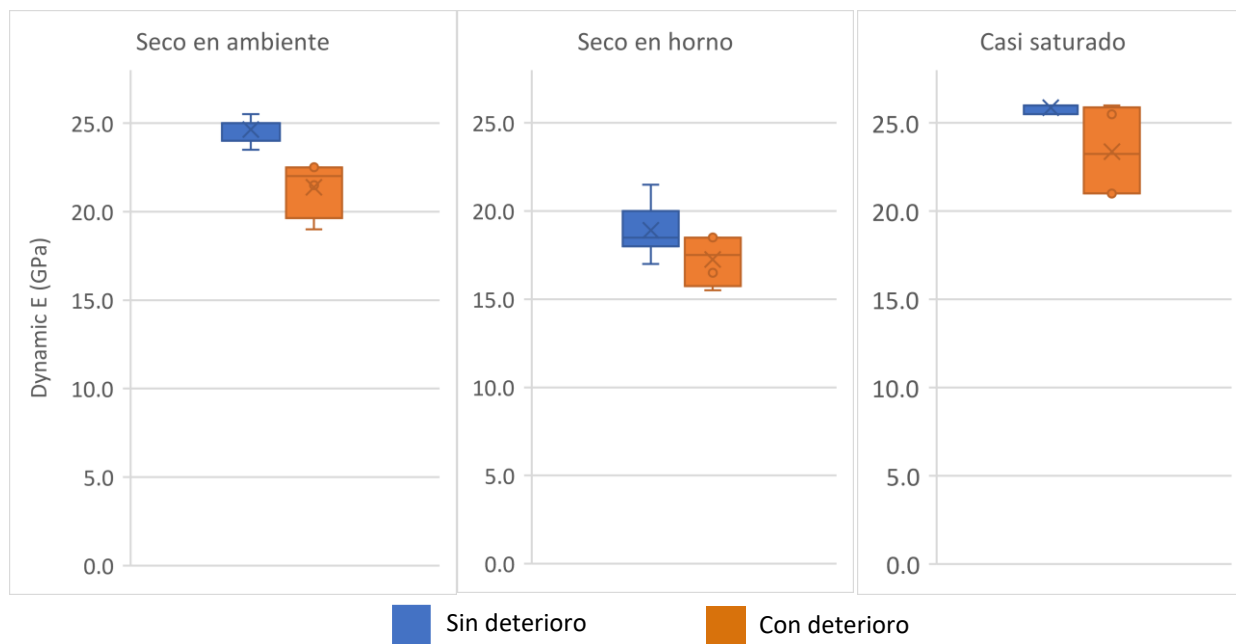


Figura 17: Comparación del módulo de elasticidad dinámico de la mezcla M3. (Laboratorios de hormigones USFQ)

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%.

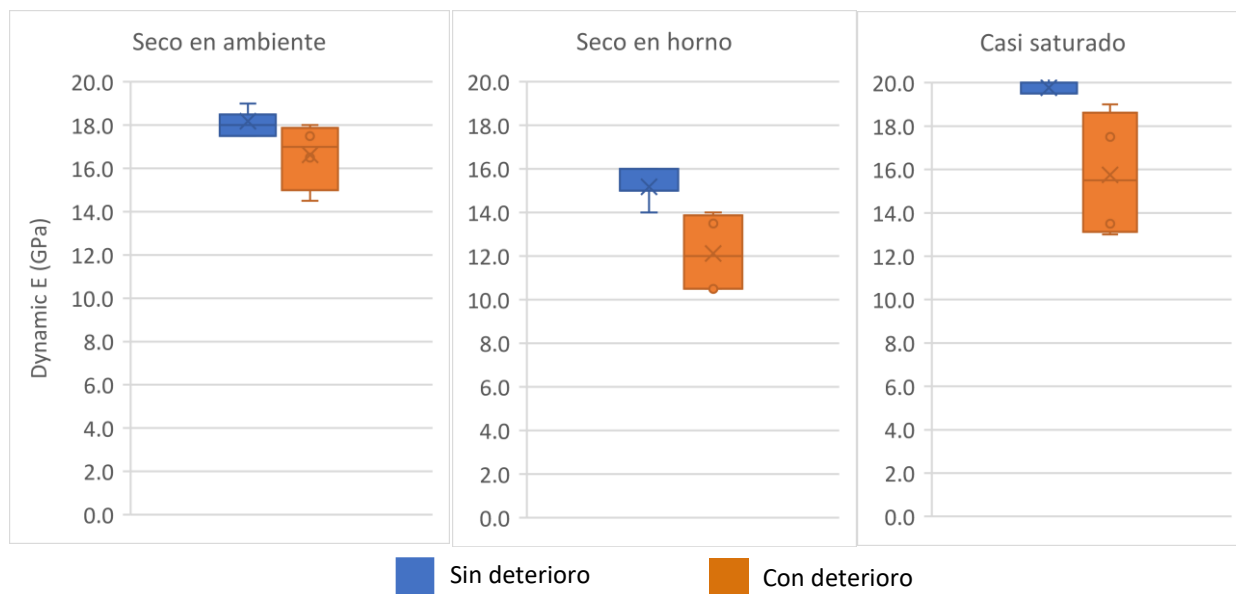


Figura 18: Comparación del módulo de elasticidad dinámico de la mezcla M4. (Laboratorios de hormigones USFQ)

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%.

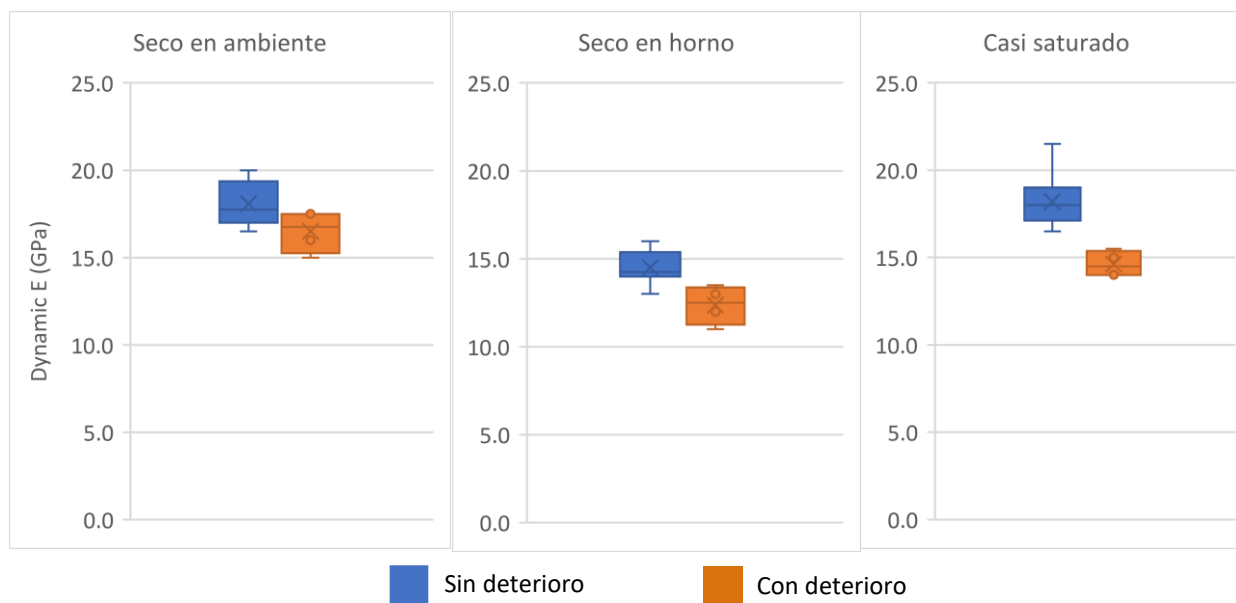


Figura 19: Comparación del módulo de elasticidad dinámico de la mezcla M5. (Laboratorios de hormigones USFQ)

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

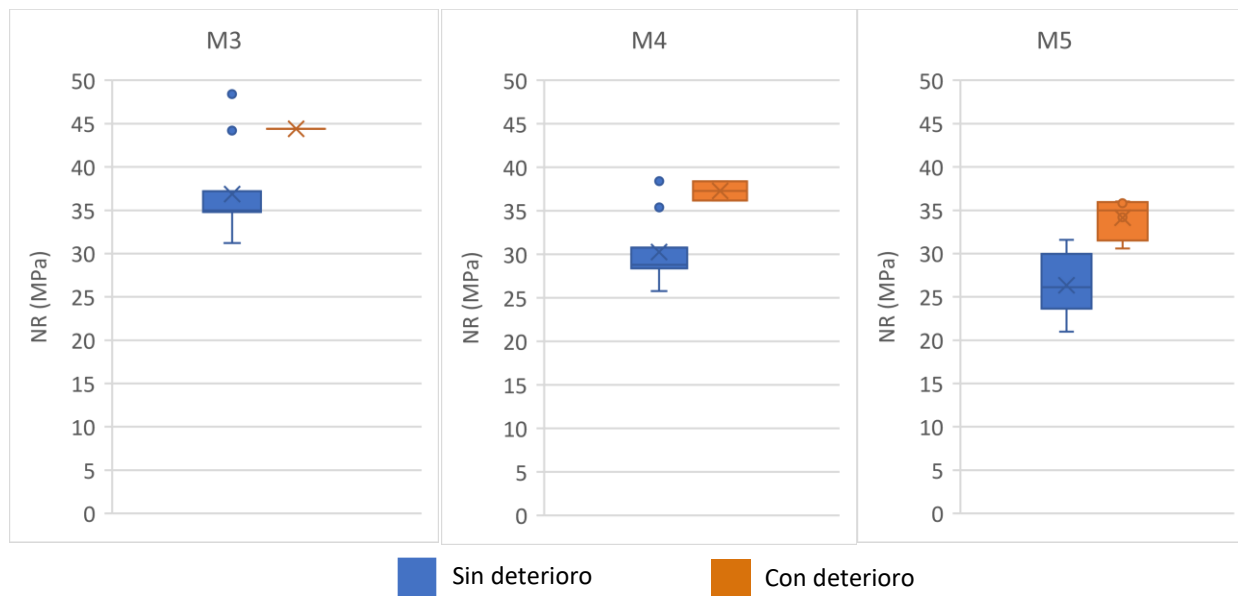


Figura 20: Comparación del número de rebote de las tres mezclas en estado seco en ambiente. (Laboratorios de hormigones USFQ)

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.

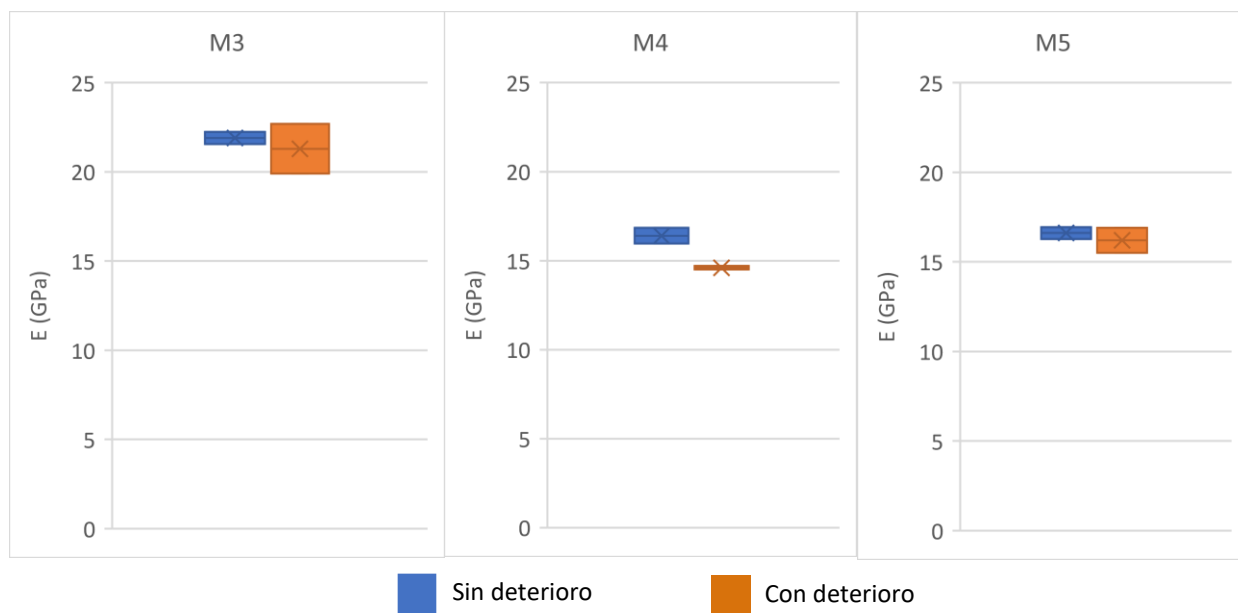


Figura 21: Comparación del módulo de elasticidad estático de las tres mezclas. (Laboratorios de hormigones USFQ)

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.

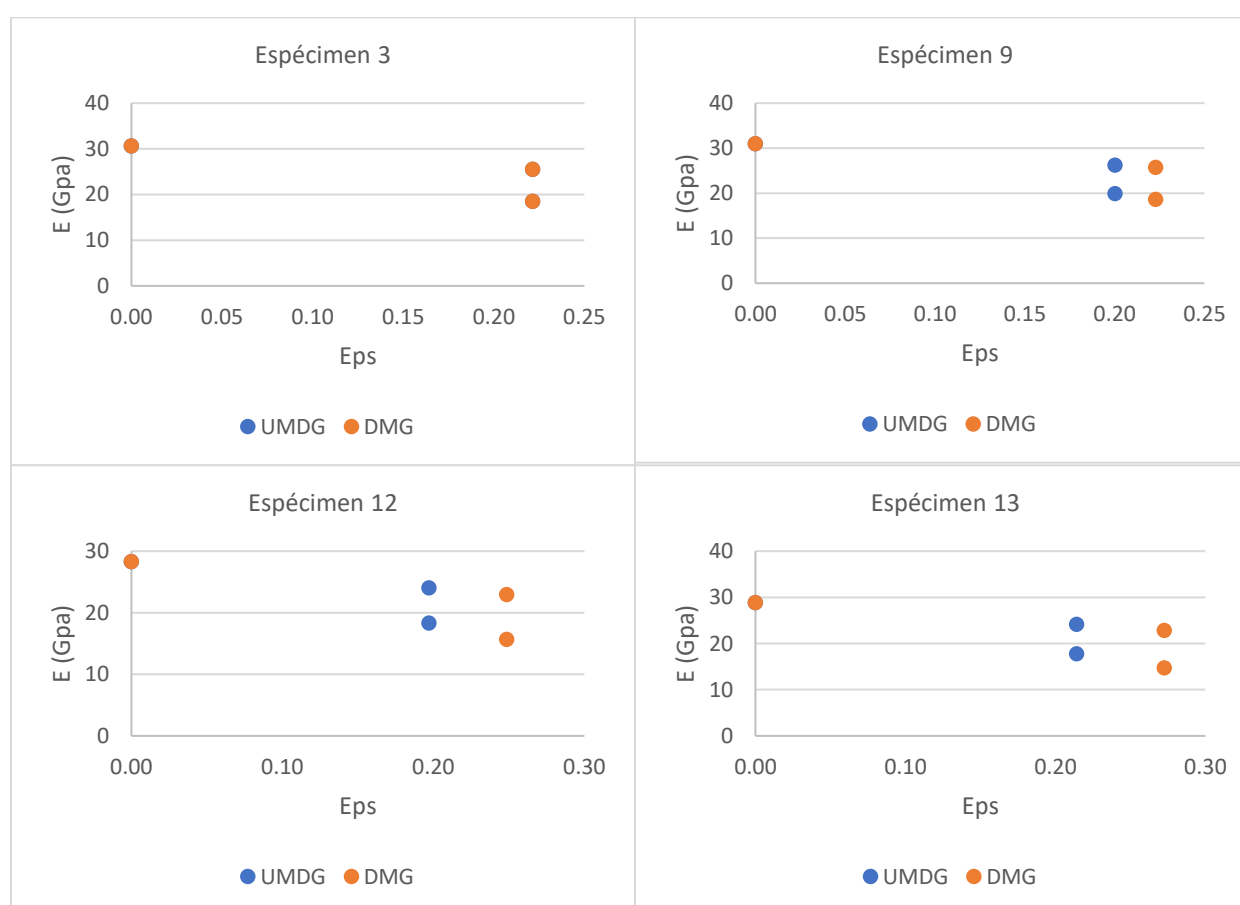


Figura 22: Parámetro de densidad de fisuras de la mezcla M3. (Laboratorios de hormigones USFQ)

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.

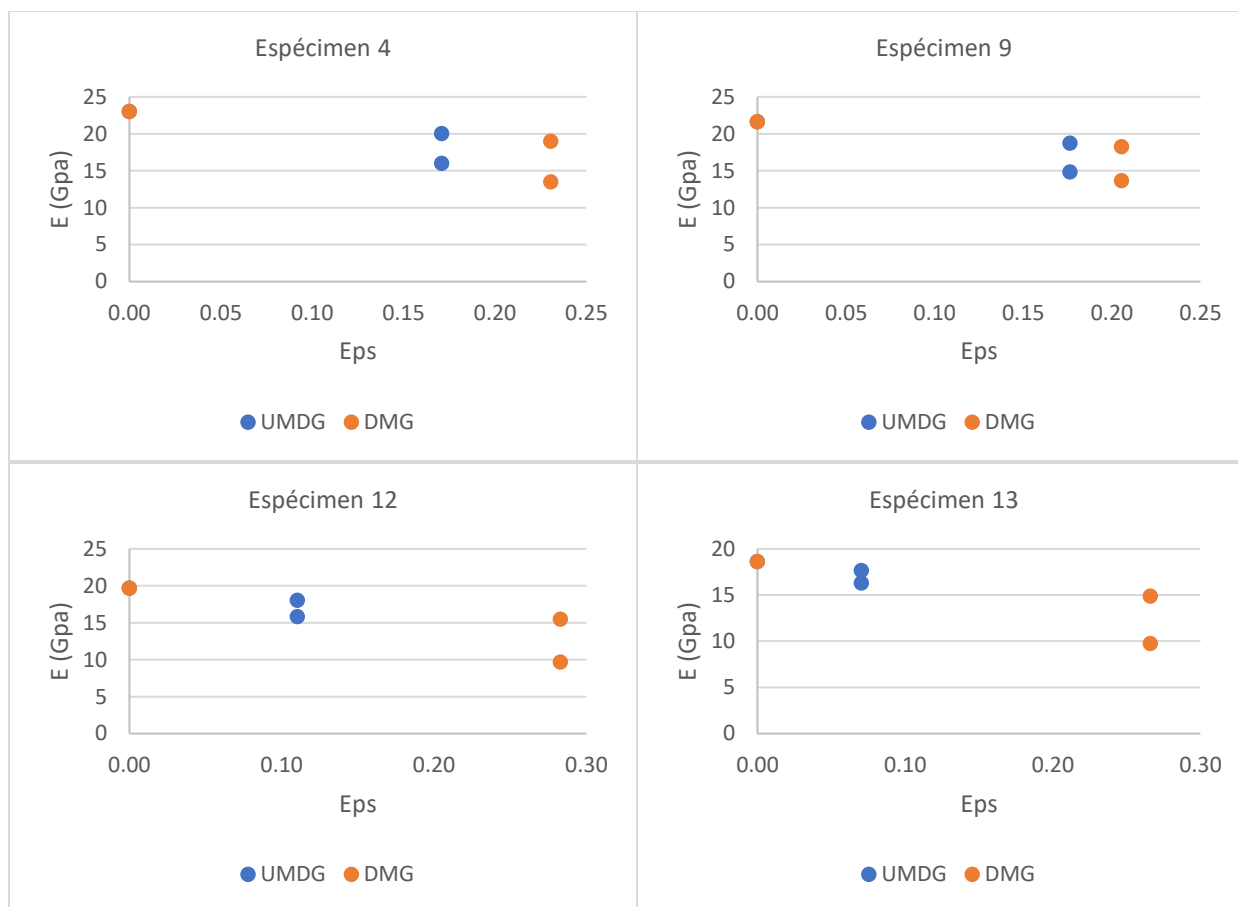


Figura 23: Parámetro de densidad de fisuras de la mezcla M4. (Laboratorios de hormigones USFQ)

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.

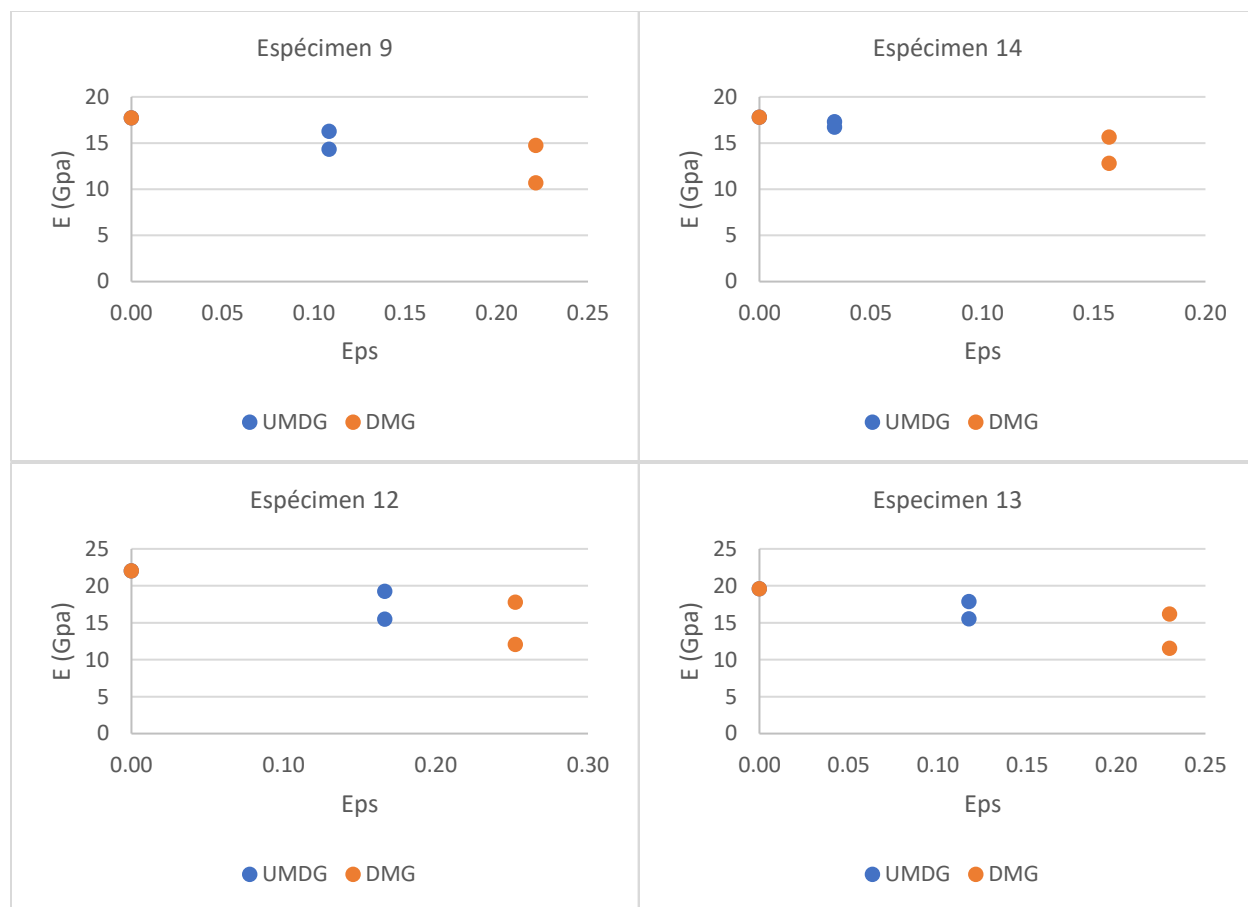


Figura 24: Parámetro de densidad de fisuras de la mezcla M5. (Laboratorios de hormigones USFQ)

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 ϵ de cada espécimen se encuentran en el ANEXO E.

2.4. Análisis de resultados.

Los resultados del parámetro de densidad de fisuras (ϵ) 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 ϵ 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 μ , 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 ε .

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.

- 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

| MEZCLA M3 | | |
|-----------------------------|----------------|------------------|
| PARA 1 m³ | | |
| W/C | 0.35 | |
| | Volumen | Peso [kg] |
| Arena fina | 0.1941 | 524.00 |
| Arena gruesa | 0.0000 | 0.00 |
| Grava | 0.3604 | 973.14 |
| Cemento | 0.2026 | 638.17 |
| Aditivo | 0.0041 | 4.53 |
| Agua | 0.2240 | 224.02 |
| SUMA | 1.0000 | 2363.85 |

| MEZCLA M4 | | |
|-----------------------------|----------------|------------------|
| PARA 1 m³ | | |
| W/C | 0.46 | |
| | Volumen | Peso [kg] |
| Arena fina | 0.1802 | 486.64 |
| Arena gruesa | 0.0000 | 0.00 |
| Grava | 0.3347 | 903.76 |
| Cemento | 0.1882 | 592.67 |
| Aditivo | 0.0000 | 0.00 |
| Agua | 0.2821 | 282.11 |
| SUMA | 1.0000 | 2265.18 |

| MEZCLA M5 | | |
|-----------------------------|----------------|------------------|
| PARA 1 m³ | | |
| W/C | 0.6 | |
| | Volumen | Peso [kg] |
| Arena fina | 0.1749 | 472.26 |

| | | |
|---------------------|--------|---------|
| Arena gruesa | 0.0000 | 0.00 |
| Grava | 0.3248 | 877.06 |
| Cemento | 0.1680 | 529.15 |
| Aditivo | 0.0000 | 0.00 |
| Agua | 0.3175 | 317.49 |
| SUMA | 1.0000 | 2195.96 |

ANEXO B

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

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

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

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

| Rango de valores obtenidos de las 3 mezclas antes del deterioro | | |
|--|-------------------------|-----------------|
| | μ | Ed (Gpa) |
| Seco en ambiente | 0.43 | 9-10 |
| Seco en horno | 0.45 | 7-8 |
| Casi saturado | 0.44 | 10-12 |

| Rango de valores obtenidos de las 3 mezclas después del deterioro | | |
|--|-------------------------|-----------------|
| | μ | Ed (Gpa) |
| Seco en ambiente | 0.45 | 9-13 |
| Seco en horno | 0.40 | 9-20 |
| Casi saturado | 0.35 | 10-31 |

| Especimen 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 | |
| Especimen 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 | |
| Especimen 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 |

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

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

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

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

MEZCLA M3 DESPUÉS DEL DAÑO

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

| | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|-----------------|-------|-------|-------|---------|----|----|-----------|------|------|-----------|---------|-----|
| | t (μs) | 92 | 91 | 91 | | | | VS | 1107 | 1119 | 1119 | 1114.63 | |
| | f | 462.9 | 454.5 | 454.5 | 4573 | | | | | | ED | 1.9E+10 | Pa |
| | N.R | 28 | 28 | 28 | 26 | 24 | 26 | 30 | 34 | 32 | 32 | 28.8 | |
| Seco en horno | Masa | | | | | | | | | | | 3.3932 | kg |
| | Diámetro | | | | | | | | | | | 101.766 | mm |
| | Altura | | | | | | | | | | | 201 | mm |
| | VP | 3748 | 3783 | 3783 | | | | | | | | 3771.33 | m/s |
| | t (μs) | 92 | 91 | 90 | | | | VS | 1106 | 1118 | 1131 | 1118.4 | |
| | f | 4310 | 4310 | 4310 | 4310 | | | | | | ED | 1.6E+10 | Pa |
| | N.R | | | | | | | | | | | 0 | |
| Casi saturado | Masa | | | | | | | | | | | 3.6215 | kg |
| | Diámetro | 10.18 | 10.21 | 10.17 | 10.13 | | | | | | | 101.733 | mm |
| | Altura | | | | | | | | | | | 202 | mm |
| | VP | 3713 | 3748 | 3748 | | | | | | | | 3736.33 | m/s |
| | t (μs) | 89 | 89 | 90 | | | | VS | 1143 | 1143 | 1130 | 1138.83 | |
| | f | 462.9 | 462.9 | 467.2 | 4643.33 | | | | | | | 2E+10 | Pa |
| | N.R | | | | | | | | | | ED | 0 | |
| Espécimen 5 | | | | | | | | | | | | | |
| Seco en ambiente | Masa | | | | | | | | | | | 3.554 | kg |
| | Diámetro | 10.2 | 10.18 | 10.19 | 10.17 | | | | | | | 101.85 | mm |
| | Altura | | | | | | | | | | | 200 | mm |
| | VP | 3679 | 3679 | 3748 | | | | | | | | 3702 | m/s |
| | t (μs) | 90 | 90 | 91 | | | | VS | 1132 | 1132 | 1119 | 1127.52 | |
| | f | 462.9 | 462.9 | 462.9 | 4629 | | | | | | ED | 1.9E+10 | Pa |
| | N.R | 34 | 28 | 32 | 34 | 34 | 32 | 26 | 34 | 26 | 28 | 30.8 | |
| Seco en horno | Masa | | | | | | | | | | | 3.4106 | kg |
| | Diámetro | | | | | | | | | | | 101.79 | mm |
| | Altura | | | | | | | | | | | 201 | mm |
| | VP | 3700 | 3713 | 3713 | | | | | | | | 3708.67 | m/s |
| | t (μs) | 92 | 95 | 98 | | | | VS | 1106 | 1071 | 1039 | 1072.2 | |
| | f | 4310 | 4310 | 4310 | 4310 | | | | | | ED | 1.6E+10 | Pa |
| | N.R | | | | | | | | | | | 0 | |
| Casi saturado | Masa | | | | | | | | | | | 3.635 | kg |
| | Diámetro | 10.21 | 10.17 | 10.13 | 10.18 | | | | | | | 101.733 | mm |
| | Altura | | | | | | | | | | | 202 | mm |
| | VP | 3713 | 3713 | 3713 | | | | | | | | 3713 | m/s |
| | t (μs) | 90 | 90 | 88 | | | | VS | 1130 | 1130 | 1156 | 1138.92 | |
| | f | 467.2 | 467.2 | 467.2 | 4672 | | | | | | ED | 2E+10 | Pa |
| | N.R | | | | | | | | | | | 0 | |
| Espécimen 6 | | | | | | | | | | | | | |
| Seco en ambiente | Masa | | | | | | | | | | | 3.506 | kg |
| | Diámetro | 10.17 | 10.15 | 10.22 | 10.18 | | | | | | | 101.8 | mm |
| | Altura | | | | | | | | | | | 200 | mm |
| | VP | 3676 | 3676 | 3676 | | | | | | | | 3676 | m/s |
| | t (μs) | 83 | 87 | 82 | | | | VS | 1227 | 1170 | 1241 | 1212.69 | |
| | f | 454.5 | 454.4 | 454.5 | 4544.67 | | | | | | ED | 1.8E+10 | Pa |
| | N.R | 26 | 28 | 30 | 36 | 28 | 28 | 26 | 34 | 26 | 26 | 28.8 | |
| Seco en horno | Masa | | | | | | | | | | | 3.3636 | kg |
| | Diámetro | | | | | | | | | | | 101.78 | mm |
| | Altura | | | | | | | | | | | 200 | mm |
| | VP | 3676 | 3656 | 3643 | | | | | | | | 3658.33 | m/s |
| | t (μs) | 93 | 93 | 93 | | | | VS | 1094 | 1094 | 1094 | 1094.35 | |
| | f | 4237 | 4237 | 4237 | 4237 | | | | | | ED | 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 | |
| Espécimen 7 | | | | | | | | | | | | | |
| 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 | |
| Espécimen 8 | | | | | | | | | | | | | |
| 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 | |
| Espécimen 9 | | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|----------|--------|--------|-------|-------|----|----|----|------|------|------|---------|-----|
| 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 | |
| Espécimen 10 | | | | | | | | | | | | | |
| 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 | |
| Espécimen 11 | | | | | | | | | | | | | |
| 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 |

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

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

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

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

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

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

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

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

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

| | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|----------|-------|-------|-------|---------|----|----|----|------|------|------|---------|-----|
| | N.R | 22 | 22 | 22 | 22 | 24 | 32 | 26 | 28 | 28 | 28 | 25.4 | |
| Espécimen 12 | | | | | | | | | | | | | |
| 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 | 316.4 | | | | | | 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 | 277.7 | | | | | | 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 | 323.4 | | | | | | ED | 2.1E+10 | pa |
| | N.R | 36 | 30 | 36 | 30 | 36 | 40 | 34 | 36 | 34 | 40 | 35.2 | |
| Espécimen 13 | | | | | | | | | | | | | |
| 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 | 316.4 | | | | | | 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 | 304.8 | | | | | | ED | 1.9E+10 | pa |
| | N.R | 34 | 30 | 36 | 32 | 30 | 32 | 34 | 42 | 38 | 32 | 34 | |
| Espécimen 14 | | | | | | | | | | | | | |
| 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 | |

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

MEZCLA M5 DESPUÉS DEL DETERIORO

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

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

ANEXO D

Módulo de elasticidad estático

| ANTES DEL DAÑO | | | | | | | |
|--------------------------|-----------------------------|--------------|-----------------------------|--------------|-----------------------------|--------------|------------------|
| Mezcla M3 E12 | Lectura 2 | | Lectura 3 | | Promedio | | Resultado |
| | 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 | 22.2 |
| Mezcla M3 E12 | Lectura 2 | | Lectura 3 | | Promedio | | Resultado |
| | 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 | 21.6 |
| Promedio [GPa] | | | | | | | 21.9 |
| LUEGO DEL DAÑO | | | | | | | |
| Mezcla M3 E13 | Lectura 2 | | Lectura 3 | | Promedio | | Resultado |
| | 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 | 22.6 |
| Mezcla M3 E13 | Lectura 2 | | Lectura 3 | | Promedio | | Resultado |
| | 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 | 19.8 |
| Promedio [GPa] | | | | | | | 21.2 |

| ANTES DEL DAÑO | | | | | | | |
|--------------------------|-----------------------------|--------------|-----------------------------|--------------|-----------------------------|--------------|------------------|
| Mezcla M4 E12 | Lectura 2 | | Lectura 3 | | Promedio | | Resultado |
| | 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 | 16.8 |
| Mezcla M4 E12 | Lectura 2 | | Lectura 3 | | Promedio | | Resultado |
| | 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 | 16.0 |
| Promedio [GPa] | | | | | | | 16.4 |

| 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 | 14.6 |
| 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 | 14.6 |
| Promedio [GPa] | | | | | | | 14.6 |

| 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 | 16.2 |
| 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 | 17.0 |
| Promedio [GPa] | | | | | | | 16.6 |

| 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 | 15.4 |
| 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 | 16.8 |
| Promedio [GPa] | | | | | | | 16.1 |

ANEXO E

Valores del parámetro de densidad de fisuras

| MEZCLA M3 | | | | | | | |
|---------------|----------|---------------|----------|---------------|----------|---------------|----------|
| Especimen 3 | | | | Especimen 9 | | | |
| Sin deterioro | | Con deterioro | | Sin deterioro | | Con deterioro | |
| ϵ | Ed model | ϵ | Ed model | ϵ | Ed model | ϵ | 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 | | | | | | | |
|---------------|----------|---------------|----------|---------------|----------|---------------|----------|
| Especimen 12 | | | | Especimen 13 | | | |
| Sin deterioro | | Con deterioro | | Sin deterioro | | Con deterioro | |
| ϵ | Ed model | ϵ | Ed model | ϵ | Ed model | ϵ | 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 | | | | | | | |
|---------------|----------|---------------|----------|---------------|----------|---------------|----------|
| Especimen 4 | | | | Especimen 9 | | | |
| Sin deterioro | | Con deterioro | | Sin deterioro | | Con deterioro | |
| ϵ | Ed model | ϵ | Ed model | ϵ | Ed model | ϵ | 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 | |
| ϵ | Ed model | ϵ | Ed model | ϵ | Ed model | ϵ | 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 | |
| ϵ | Ed model | ϵ | Ed model | ϵ | Ed model | ϵ | 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 | |
| ϵ | Ed model | ϵ | Ed model | ϵ | Ed model | ϵ | 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 |