

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

**Estudio de la interacción del agua libre en las propiedades dinámicas del  
hormigón**

**Proyecto de investigación**

**Esteban Andrés Riofrío Naranjo**

**Ingeniería Civil**

Trabajo de titulación como requisito

para la obtención del título de

**Ingeniero Civil.**

Quito, 9 de julio de 2019

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**  
**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

**HOJA DE CALIFICACIÓN**  
**DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Estudio de la interacción del agua libre en las propiedades dinámicas del  
hormigón**

**Esteban Andrés Riofrío Naranjo**

**Calificación:**

\_\_\_\_\_

**Nombre del profesor, Título académico:**

**Juan José Recalde, Ph.D.**

**Firma del profesor:**

\_\_\_\_\_

Quito, 9 de julio de 2019

## 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 visual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

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

Nombres y apellidos: Esteban Andrés Riofrío Naranjo

Código: 00112700

Cédula de Identidad: 1721710166

Lugar y fecha: Quito, 9 de julio de 2019

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mis papás por todo el esfuerzo y apoyo que me dieron para culminar esta etapa fundamental de mi vida.

## RESUMEN

El hormigón es uno de los materiales más utilizados en la industria de la construcción debido a sus propiedades como la trabajabilidad, resistencia a la compresión y fácil accesibilidad de los materiales constituyentes. Sin embargo, ante factores externos o eventos dañinos como cargas cíclicas, sobrecargas y condiciones ambientales extremas, se pueden generar microfisuras en el hormigón que pueden provocar un deterioro del material al disminuir sus propiedades mecánicas y dinámicas. Las microfisuras en el hormigón no son evidentes a simple vista, sin embargo, es posible cuantificar el daño mediante el parámetro de densidad de fisuras ( $\epsilon$ ) en laboratorio tras un método no destructivo. La orientación macro de este trabajo de titulación es aportar con información para determinar la posibilidad de medir el deterioro de estructuras de hormigón en campo mediante ondas de esfuerzo, para lo cual se estudió el efecto de la interacción del agua con las propiedades del hormigón. Probetas cilíndricas de tres mezclas diferentes M3, M4 y M5 con relación agua cemento de 0.35, 0.45 y 0.60 respectivamente, fueron fabricadas para ensayar velocidad de pulso ( $V_p$ ), velocidad de corte ( $V_s$ ) y módulo de elasticidad dinámico ( $E_d$ ) en diferentes estados de contenido de agua antes y después del daño por carga. Los resultados muestran un ligero aumento en  $V_p$  y  $V_s$  a medida que incrementa el contenido de agua libre, y un aumento pronunciado al medir  $E_d$  mediante la norma ASTM C215. El módulo de elasticidad dinámico ( $E_d$ ) estimado a partir de mediciones de  $V_p$  y  $V_s$  en estado sin daño fue mayor que medido mediante la norma ASTM C215, mientras que, tras daño por carga, los valores de  $V_s$  no fueron confiables, y por lo tanto tampoco fue la estimación de  $E_d$  a partir de  $V_p$  y  $V_s$ . Se aplicó el modelo de O'Connell y Budiansky (1976) para diferentes grados de saturación, y se observó que para las mezclas M3 y M4 el modelo fue cercano a las mediciones de  $E_d$ , sin embargo, para la mezcla M5 hubo variaciones significativas a grados de saturación intermedios.

**Palabras Clave:** Hormigón, microfisuras, parámetro de densidad de fisuras, humedad, ondas de esfuerzo, módulo de elasticidad dinámico, modelo de O'Connell & Budiansky.

## ABSTRACT

Concrete is one of the most used materials in the construction industry due to its properties such as workability, resistance to compression and easy accessibility of the constituent materials. However, in the face of external factors or damaging events such as cyclical loads, overloads and extreme environmental conditions, microcracks in the concrete can be generated which can cause deterioration of the material by reducing its mechanical and dynamic properties. The microcracks in the concrete are not evident, however, it is possible to quantify the damage by means of the fissure density parameter ( $\epsilon$ ) in the laboratory after a non-destructive method. The macro orientation of this titration work is to provide information to determine the possibility of measuring the deterioration of concrete structures in the field by means of stress waves, for which the effect of water interaction with concrete properties was studied. Cylindrical test pieces of three different mixtures M3, M4 and M5 with water cement ratio of 0.35, 0.45 and 0.60 respectively, were manufactured to test pulse speed ( $V_p$ ), cutting speed ( $V_s$ ) and dynamic modulus of elasticity ( $E_d$ ) in different water content states before and after damage by load. The results show a slight increase in  $V_p$  and  $V_s$  as the free water content increases, and a pronounced increase in  $E_d$  measurement by ASTM C215. The dynamic modulus of elasticity ( $E_d$ ) estimated from measurements of  $V_p$  and  $V_s$  in the undamaged state was greater than measured by the ASTM C215 standard, while, after damage by load, the values of  $V_s$  were not reliable, and so neither was the estimate of  $E_d$  from  $V_p$  and  $V_s$ . The model of O'Connell and Budiansky (1976) was applied for different degrees of saturation, and it was observed that for the M3 and M4 mixtures the model was close to the measurements of  $E_d$ , however, for the M5 mixture there were significant variations at intermediate saturation degrees.

**Key words:** Concrete, microcrack, crack density parameter, water, stress waves, dynamic modulus, O'Connell & Budiansky model.

## TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN.....	16
1.1 Antecedentes.....	16
1.2 Justificación.....	17
1.3 Objetivos.....	18
1.4 Resultados Esperados.....	19
1.5 Actividades a Realizar.....	19
1.6 Definiciones.....	20
DESARROLLO DEL TEMA.....	21
2.1 Marco Teórico.....	21
2.1.1 Microfisuramiento del Hormigón Debido a Cargas:.....	21
2.1.2 Velocidad de Pulso (Vp).....	23
2.1.3 Velocidad de Corte (Vs).....	24
2.1.4 Contenido de Humedad (C.H.).....	25
2.1.5. Módulo de Elasticidad Dinámico (Ed).....	26
2.1.6 Parámetro de Densidad de Fisuras.....	28
2.1.7 Estudios Preliminares.....	32
2.2 Matriz Experimental.....	33
2.3. Metodología.....	37
2.3.1 Fabricación de Especímenes y Curado.....	37
2.3.2 Fisuramiento por Carga.....	37
2.3.3 Procedimiento para Variar el Contenido de Humedad de Cilindros Antes y Después del Deterioro por Carga.....	39
2.3.4 Velocidad de Pulso.....	40
2.3.5 Velocidad de Corte.....	43
2.3.6 Módulo de Elasticidad de Young Dinámico.....	45
2.3.7 Parámetro de Densidad de Fisuras.....	47
2.4 Resultados.....	49
2.4.1 Resultados en Estado Sano.....	49
2.4.2 Resultados en Estado Dañado Tras Fisuramiento por Carga.....	53

2.5 Análisis de Resultados.....	58
2.5.1 Relación de Velocidades de Ondas de Esfuerzo versus Contenido de Humedad.....	58
2.5.2 Relación de Módulo de Elasticidad Dinámico ASTM C215 versus Contenido de Humedad.....	67
2.5.3. Determinación del Módulo de Elasticidad Dinámico ( $E_d^*$ ) en Base a $V_p$ y $V_s$ . ....	74
2.5.4 Aplicabilidad del Modelo de O'Connell & Budiansky a Diferentes Contenidos de Humedad...	85
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	111
3.1 Conclusiones. ....	111
3.2 Recomendaciones. ....	113
REFERENCIAS.....	115
ANEXO A.....	117
ANEXO B.....	124
ANEXO C.....	131
ANEXO D.....	137



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla N. 1.</b> Matriz Experimental, Dosificación de las Mezclas. ....	33
<b>Tabla N. 2.</b> Matriz Experimental, Mezcla 3, Sin Deterioro. ....	34
<b>Tabla N. 3.</b> Matriz Experimental, Mezcla 4, Sin Deterioro. ....	34
<b>Tabla N. 4.</b> Matriz Experimental, Mezcla 5 Sin Deterioro. ....	35
<b>Tabla N. 5.</b> Matriz Experimental, Mezcla 3, Deteriorado. ....	35
<b>Tabla N. 6.</b> Matriz Experimental, Mezcla 4, Deteriorado. ....	36
<b>Tabla N. 7.</b> Matriz Experimental, Mezcla 5, Deteriorado. ....	36
<b>Tabla N. 8.</b> Ensayos de Carga a Compresión Mezcla M5. (Zhindón, 2018). ....	38
<b>Tabla N. 9.</b> Ensayos de Carga a Compresión Mezcla M4. (Zhindón, 2018). ....	38
<b>Tabla N. 10.</b> Ensayos de Carga a Compresión Mezcla M3. (Zhindón, 2018). ....	39
<b>Tabla N. 11.</b> Mezcla 5, Velocidad de Pulso, Velocidad de Corte y Módulo de Elasticidad Dinámico (ASTM C215), Antes del Daño, Cilindro 10 y 11. ....	49
<b>Tabla N. 12.</b> Mezcla 5 Velocidad de Pulso, Velocidad Corte y Módulo de Elasticidad Dinámico (ASTM C215), Antes del Daño, Cilindro 12 y 13. ....	50
<b>Tabla N. 13.</b> Mezcla 4, Velocidad de Pulso, Velocidad de Corte y Módulo de Elasticidad Dinámico (ASTM C215), Antes del Daño, Cilindro 10 y 11. ....	51
<b>Tabla N. 14.</b> Mezcla 4, Velocidad de Pulso, Velocidad de Corte y Módulo de Elasticidad Dinámico (ASTM C215), Antes del Daño, Cilindro 12 y 13. ....	51
<b>Tabla N. 15.</b> Mezcla 3, Velocidad de Pulso, Velocidad Corte y Módulo de Elasticidad Dinámico (ASTM C215), Antes del Daño, Cilindro 10 y 11. ....	52
<b>Tabla N. 16.</b> Mezcla 3, Velocidad de Pulso, Velocidad de Corte y Módulo de Elasticidad Dinámico (ASTM C215), Antes del Daño, Cilindro 12 y 13. ....	53

<b>Tabla N. 17.</b> Mezcla 5, Velocidad de Pulso, Velocidad de Corte y Módulo de Elasticidad Dinámico (ASTM C215), Después del Daño, Cilindro 9 y 12*.....	54
<b>Tabla N. 18.</b> Mezcla 5, Velocidad de Pulso y Velocidad de Corte, Módulo de Elasticidad Dinámico (ASTM C215), Después del Daño, Cilindro 12 y 13.....	55
<b>Tabla N. 19.</b> Mezcla 4, Velocidad de Pulso, Velocidad de Corte y Módulo de Elasticidad Dinámico (ASTM C215), Después del Daño, Cilindro 4 y 9.....	55
<b>Tabla N. 20.</b> Mezcla 4, Velocidad de Pulso y Velocidad de Corte, Módulo de Elasticidad Dinámico (ASTM C215), Después del Daño, Cilindro 12 y 13.....	56
<b>Tabla N. 21.</b> Mezcla 3, Velocidad de Pulso, Velocidad de Corte y Módulo de Elasticidad Dinámico (ASTM C215), Después del Daño, Cilindro 9 y 3.....	57
<b>Tabla N. 22.</b> Mezcla 3, Velocidad de Pulso, Velocidad de Corte y Módulo de Elasticidad Dinámico, Después del Daño, Cilindro 12 y 13 .....	58
<b>Tabla N. 23.</b> Mezcla 5, $E_d^*$ en Base a $V_p$ y $V_s$ Antes del Daño.....	74
<b>Tabla N. 24.</b> Mezcla 4, $E_d^*$ en Base a $V_p$ y $V_s$ Antes del Daño.....	76
<b>Tabla N. 25.</b> Mezcla 3, $E_d^*$ en Base a $V_p$ y $V_s$ Antes del Daño.....	77
<b>Tabla N. 26.</b> $E_d$ ASTM C215 y $E_d$ Modelo, Mezcla M5, Cilindro 10, Antes del Daño.....	85
<b>Tabla N. 27.</b> $E_d$ ASTM C215 y $E_d$ Modelo, Mezcla M5, Cilindro 11, Antes del Daño.....	86
<b>Tabla N. 28.</b> $E_d$ ASTM C215 y $E_d$ Modelo, Mezcla M5, Cilindro 9, Después del Daño.....	88
<b>Tabla N. 29.</b> $E_d$ ASTM C215 y $E_d$ Modelo, Mezcla M5, Cilindro 12*, Después del Daño.....	89
<b>Tabla N. 30.</b> $E_d$ ASTM C215 y $E_d$ Modelo, Mezcla M5, Cilindro 12, Antes del Daño.....	90
<b>Tabla N. 31.</b> $E_d$ ASTM C215 y $E_d$ Modelo, Mezcla M5, Cilindro 12, Después del Daño.....	90
<b>Tabla N. 32.</b> $E_d$ ASTM C215 y $E_d$ Modelo, Mezcla M5, Cilindro 13, Antes del Daño.....	91
<b>Tabla N. 33.</b> $E_d$ ASTM C215 y $E_d$ Modelo, Mezcla M5, Cilindro 13, Después del Daño.....	92

<b>Tabla N. 34.</b> Ed ASTM C215 y Ed Modelo, Mezcla M4, Cilindro 10, Antes del Daño. ....	93
<b>Tabla N. 35.</b> Ed ASTM C215 y Ed Modelo, Mezcla M4, Cilindro 11, Antes del Daño. ....	94
<b>Tabla N. 36.</b> Ed ASTM C215 y Ed Modelo, Mezcla M4, Cilindro 4, Después del Daño. ....	95
<b>Tabla N. 37.</b> Ed ASTM C215 y Ed Modelo, Mezcla M4, Cilindro 9, Después del Daño. ....	97
<b>Tabla N. 38.</b> Ed ASTM C215 y Ed Modelo, Mezcla M4, Cilindro 12, Antes del Daño. ....	98
<b>Tabla N. 39.</b> Ed ASTM C215 y Ed Modelo, Mezcla M4, Cilindro 12, Después del Daño. ....	98
<b>Tabla N. 40.</b> Ed ASTM C215 y Ed Modelo, Mezcla M4, Cilindro 13, Antes del Daño. ....	99
<b>Tabla N. 41.</b> Ed ASTM C215 y Ed Modelo, Mezcla M4, Cilindro 13, Después del Daño. ....	100
<b>Tabla N. 42.</b> Ed ASTM C215 y Ed Modelo, Mezcla M3, Cilindro 10, Antes del Daño. ....	101
<b>Tabla N. 43.</b> Ed ASTM C215 y Ed Modelo, Mezcla M3, Cilindro 11, Antes del Daño. ....	102
<b>Tabla N. 44.</b> Ed ASTM C215 y Ed Modelo, Mezcla M3, Cilindro 9, Después del Daño. ....	103
<b>Tabla N. 45.</b> Ed ASTM C215 y Ed Modelo, Mezcla M3, Cilindro 3, Después del Daño. ....	104
<b>Tabla N. 46.</b> Ed ASTM C215 y Ed Modelo, Mezcla M3, Cilindro 12, Antes del Daño. ....	106
<b>Tabla N. 47.</b> Ed ASTM C215 y Ed Modelo, Mezcla M3, Cilindro 12, Después del Daño. ....	106
<b>Tabla N. 48.</b> Ed ASTM C215 y Ed Modelo, Mezcla M3, Cilindro 13, Antes del Daño. ....	107
<b>Tabla N. 49.</b> Ed ASTM C215 y Ed Modelo, Mezcla M3, Cilindro 13, Después del Daño. ....	108

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Microestructura del Hormigón Obtenida por SEM. Fuente: Rosero (2018).....	21
<b>Figura 2:</b> Microfisuras del Hormigón Obtenida por SEM. Fuente: Rosero (2018).....	22
<b>Figura 3:</b> Relación entre la Longitud Observada de las Grietas en un Área de 100 mm <sup>2</sup> y Resistencia en Compresión. Fuente: (Neville, 2011).....	23
<b>Figura 4:</b> Forma de Onda de Pulso Longitudinal. Fuente: (Carnot, 2018).....	24
<b>Figura 5:</b> Propiedades dinámicas de un sólido. a) Saturación Completa, b) Saturación Parcial. Fuente: O'Connell & Budiansky (1974).....	29
<b>Figura 6:</b> Módulo de Elasticidad Dinámico vs. Diferentes Estados de Saturación. Fuente: Recalde (2009).....	32
<b>Figura 7:</b> Esquema de Equipo de Velocidad de Pulso. Fuente: (Sanjuán, s.f.) .....	41
<b>Figura 8:</b> Material de Calibración y Agente de Acoplamiento.....	42
<b>Figura 9:</b> Configuración Usada para Medir Velocidad de Pulso.....	42
<b>Figura 10:</b> Resultado de Velocidad de Pulso.....	42
<b>Figura 11:</b> Conexión de Equipos para Medir Velocidad de Corte. ....	44
<b>Figura 12:</b> Velocidad de Corte Medido en Cilindros. ....	44
<b>Figura 13:</b> Medición de Tiempo a través de Graficar las Ondas en el Osciloscopio. ....	45
<b>Figura 14:</b> Esquema de Aparato para la Resonancia de Impacto. Fuente: (ASTM C215, 2008).45	45
<b>Figura 15:</b> Ubicación de Espécimen para Modo Transversal. Fuente: (ASTM C215, 2008). ....	46
<b>Figura 16:</b> Procedimiento para Determinar la Frecuencia de Onda Transversal.....	47
<b>Figura 17:</b> Gráfica de V <sub>p</sub> , V <sub>s</sub> vs. C.H., Cilindro 10 y 11, M5, A.D.....	59
<b>Figura 18:</b> Gráfica de V <sub>p</sub> , V <sub>s</sub> vs. C.H., Cilindro 12 y 13, M5. A.D.....	60

<b>Figura 19:</b> Gráfica de $V_p$ , $V_s$ vs. C.H., Cilindro 10 y 11, M4. A.D.....	61
<b>Figura 20:</b> Gráfica de $V_p$ , $V_s$ vs. C.H., Cilindro 12 y 13, M4. A.D.....	61
<b>Figura 21:</b> Gráfica de $V_p$ , $V_s$ vs. C.H., Cilindro 10 y 11, M3. A.D.....	62
<b>Figura 22:</b> Gráfica de $V_p$ , $V_s$ vs. C.H., Cilindro 12 y 13, M3. A.D.....	63
<b>Figura 23:</b> Gráfica de $V_p$ , $V_s$ vs. C.H., Cilindro 9 y 12*, M5. D.D.....	64
<b>Figura 24:</b> Gráfica de $V_p$ , $V_s$ vs. C.H., Cilindro 12 y 13, M5. D.D.....	64
<b>Figura 25:</b> Gráfica de $V_p$ , $V_s$ vs. C.H., Cilindro 4 y 9, M4. D.D.....	65
<b>Figura 26:</b> Gráfica de $V_p$ , $V_s$ vs. C.H., Cilindro 12 y 13, M4. D.D.....	65
<b>Figura 27:</b> Gráfica de $V_p$ , $V_s$ vs. C.H., Cilindro 9 y 3, M3. D.D.....	66
<b>Figura 28:</b> Gráfica de $V_p$ , $V_s$ vs. C.H., Cilindro 12 y 13, M3. D.D.....	66
<b>Figura 29:</b> Gráfica de $E_d$ (ASTM C215) vs. C.H., Cilindro 10 y 11, M5. A.D. ....	67
<b>Figura 30:</b> Gráfica de $E_d$ (ASTM C215) vs. C.H., Cilindro 12 y 13, M5. A.D. ....	68
<b>Figura 31:</b> Gráfica de $E_d$ (ASTM C215) vs. C.H., Cilindro 10 y 11, M4. A.D. ....	69
<b>Figura 32:</b> Gráfica de $E_d$ (ASTM C215) vs. C.H., Cilindro 12 y 13, M4. A.D. ....	69
<b>Figura 33:</b> Gráfica de $E_d$ (ASTM C215) vs. C.H., Cilindro 10 y 11, M3. A.D. ....	69
<b>Figura 34:</b> Gráfica de $E_d$ (ASTM C215) vs. C.H., Cilindro 12 y 13, M3. A.D. ....	70
<b>Figura 35:</b> Gráfica de $E_d$ (ASTM C215) vs. C.H., Cilindro 9 y 12*, M5. D.D. ....	71
<b>Figura 36:</b> Gráfica de $E_d$ (ASTM C215) vs. C.H., Cilindro 12 y 13, M5. D.D. ....	71
<b>Figura 37:</b> Gráfica de $E_d$ (ASTM C215) vs. C.H., Cilindro 4 y 9, M4. D.D.	
<b>Figura 38:</b> Gráfica de $E_d$ (ASTM C215) vs. C.H., Cilindro 12 y 13, M4. D.D. ....	72
<b>Figura 39:</b> Gráfica de $E_d$ (ASTM C215) vs. C.H., Cilindro 9 y 3, M3. D.D. ....	73
<b>Figura 40:</b> Gráfica de $E_d$ (ASTM C215) vs. C.H., Cilindro 12 y 13, M3. D.D. ....	74
<b>Figura 41:</b> Gráfica de $E_d^*$ vs. C.H., Cilindro 10 y 11, M5. A.D.....	75

<b>Figura 42:</b> Gráfica de Ed* vs. C.H., Cilindro 12 y 13, M5. A.D.....	76
<b>Figura 43:</b> Gráfica de Ed* vs. C.H., Cilindro 10 y 11, M4. A.D.....	77
<b>Figura 44:</b> Gráfica de Ed* vs. C.H., Cilindro 12 y 13, M4. A.D.....	77
<b>Figura 45:</b> Gráfica de Ed* vs. C.H., Cilindro 10 y 11, M3. A.D.....	79
<b>Figura 46:</b> Gráfica de Ed* vs. C.H., Cilindro 12 y 13, M3. A.D.....	79
<b>Figura 47:</b> Gráfica de Ed* vs. C.H., Cilindro 9 y 12*, M5. D.D.....	80
<b>Figura 48:</b> Gráfica de Ed* vs. C.H., Cilindro 12 y 13, M5. D.D.....	80
<b>Figura 49:</b> Gráfica de Ed* vs. C.H., Cilindro 4 y 9, M4. D.D.....	81
<b>Figura 50:</b> Gráfica de Ed* vs. C.H., Cilindro 12 y 13, M4. D.D.....	81
<b>Figura 51:</b> Gráfica de Ed* vs. C.H., Cilindro 9 y 3, M3. D.D.....	82
<b>Figura 52:</b> Gráfica de Ed* vs. C.H., Cilindro 12 y 13, M3. D.D.....	82
<b>Figura 53:</b> Gráfica de Ed* vs. Ed ASTM C215, M5. A.D. ....	83
<b>Figura 54:</b> Gráfica de Ed* vs. Ed ASTM C215, M4. A.D. ....	83
<b>Figura 55:</b> Gráfica de Ed* vs. Ed ASTM C215, M3. A.D. ....	84
<b>Figura 56:</b> Gráfica de Ed* vs. Ed ASTM C215, M5, M4 y M3. A.D. ....	84
<b>Figura 57:</b> Parámetro de Densidad de Fisuras Mezcla M5, Cilindro 10, Antes del Daño. ....	86
<b>Figura 58:</b> Parámetro de Densidad de Fisuras Mezcla M5, Cilindro 11, Antes del Daño. ....	87
<b>Figura 59:</b> Parámetro de Densidad de Fisuras Mezcla M5, Cilindro 9, Después del Daño. ....	88
<b>Figura 60:</b> Parámetro de Densidad de Fisuras Mezcla M5, Cilindro 12*, Después del Daño. ...	89
<b>Figura 61:</b> Parámetro de Densidad de Fisuras Mezcla M5, Cilindro 12, Antes y Después del Daño.....	91
<b>Figura 62:</b> Parámetro de Densidad de Fisuras Mezcla M5, Cilindro 13, Antes y Después del Daño.....	93

<b>Figura 63:</b> Parámetro de Densidad de Fisuras Mezcla M4, Cilindro 10, Antes del Daño. ....	94
<b>Figura 64:</b> Parámetro de Densidad de Fisuras Mezcla M4, Cilindro 11, Antes del Daño. ....	95
<b>Figura 65:</b> Parámetro de Densidad de Fisuras Mezcla M4, Cilindro 4, Después del Daño. ....	96
<b>Figura 66:</b> Parámetro de Densidad de Fisuras Mezcla M4, Cilindro 9, Después del Daño. ....	97
<b>Figura 67:</b> Parámetro de Densidad de Fisuras Mezcla M4, Cilindro 12, Antes y Después del Daño. ....	99
<b>Figura 68:</b> Parámetro de Densidad de Fisuras Mezcla M4, Cilindro 13, Antes y Después del Daño. ....	101
<b>Figura 69:</b> Parámetro de Densidad de Fisuras Mezcla M3, Cilindro 10, Antes del Daño. ....	102
<b>Figura 70:</b> Parámetro de Densidad de Fisuras Mezcla M3, Cilindro 11, Antes del Daño. ....	103
<b>Figura 71:</b> Parámetro de Densidad de Fisuras Mezcla M3, Cilindro 9, Después del Daño. ....	104
<b>Figura 72:</b> Parámetro de Densidad de Fisuras Mezcla M3, Cilindro 3, Después del Daño. ....	105
<b>Figura 73:</b> Parámetro de Densidad de Fisuras Mezcla M3, Cilindro 12, Antes y Después del Daño. ....	107
<b>Figura 74:</b> Parámetro de Densidad de Fisuras Mezcla M3, Cilindro 13, Antes y Después del Daño. ....	109

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

Actualmente, el hormigón es uno de los materiales más utilizados para la industria de la construcción por sus propiedades mecánicas, fácil accesibilidad a los materiales constituyentes, y eficaz comportamiento estructural. Para propósitos de diseño de estructuras en la meso y macro escala, el hormigón es considerado como un material elástico e isotrópico en compresión, sin embargo, al ser un material heterogéneo compuesto de árido grueso, árido fino, gel de cemento hidratado, y aire (atrapado e incluido), es importante entender los fundamentos de su comportamiento desde su microestructura. La microestructura del hormigón se puede describir en cuatro aspectos: la composición de la pasta de cemento hidratado, la estructura de poros y capilares, la presencia de aire atrapado e incluido, la zona de transición o interfaz, y las propiedades de los áridos.

El desempeño del hormigón en cuanto a su resistencia a la compresión depende significativamente del estado de su microestructura, donde la relación agua cemento no es el único factor influyente. El grado de hidratación del cemento, las propiedades químicas y físicas, la temperatura a la cual la hidratación toma lugar, el contenido de aire, la formación de fisuras por sangrado y la zona de transición entre árido y pasta son factores que afectan a la capacidad del material. Existen grietas finas en la zona de transición entre el árido grueso y la pasta de cemento, incluso antes de que se aplique la carga y que a medida que se incrementa la carga, las microfisuras permanecen estables hasta aproximadamente el 30% de la carga final, posteriormente aumentan en largo y ancho (Neville, 2011).



A pesar de que el hormigón es un material eficiente cuando se encuentra sometido a factores externos como cargas cíclicas, temperaturas medianas, y sobre cargas, se pueden producir microfisuras que deterioran el estado y consecuentemente la capacidad del material. El Ecuador se encuentra en una zona altamente sísmica, donde las estructuras están expuestas a cargas cíclicas y cargas laterales muy grandes que pueden ocasionar el deterioro, y en el peor de los casos, el colapso de las mismas. Para la evaluación del hormigón de estructuras deterioradas, el ingeniero forense debe realizar ensayos no destructivos, ensayos semi destructivos, o una combinación de ambos, para establecer la condición del material, y decidir si realizar o no un ensayo de carga. Varios de los métodos no-destructivos utilizan los principios de transmisión de ondas de esfuerzo en un medio elástico para determinar el módulo de elasticidad y poder empíricamente estimar la resistencia a la compresión del material deteriorado.

Recalde (2009), observó que el módulo de elasticidad dinámico de discos de hormigón mediante métodos de resonancia, varía de estado casi-saturado a estado seco, siendo mayor cuando el hormigón contenía agua libre. Esto indica que el agua libre interactúa en el material poroelástico cambiando sus propiedades, y que estas variaciones pueden ocasionar interpretaciones erróneas si no se controla el agua libre en las muestras. Actualmente, los métodos de evaluación que utilizan ondas de esfuerzo como velocidad de pulso, impacto-eco, y pulso-eco, no toman en consideración el acondicionamiento del contenido de humedad de las muestras.

## **1.2 Justificación.**

Ecuador es un país que se encuentra constantemente bajo peligro sísmico debido a su localización sobre el cinturón de fuego. Ante un evento que produzca daño a la estructura, es importante evaluar el estado del material con el fin de determinar si la estructura puede permanecer

en servicio, debe ser reforzada, o derrocada. Los ingenieros forenses que son los encargados de evaluar las estructuras pueden utilizar métodos destructivos como no destructivos. La velocidad de pulso, impacto eco, penetrómetro, esclerómetro, entre otros, son métodos no destructivos para evaluar la resistencia a la compresión del hormigón. Recalde (2009) observó que había diferencia en el módulo de elasticidad dinámico de los discos cuando se encontraban secos en comparación a cuando estaban mojados, producto de la interacción del agua libre en el comportamiento dinámico de discos de hormigón en ensayos de resonancia. Este comportamiento permitió aplicar la teoría del comportamiento de un medio elástico con fisuras planas circulares o elípticas con saturación de un líquido desarrollado por O'Connell y Budiansky (1976), y determinar el parámetro de densidad de fisuras del material. Actualmente los ensayos que utilizan métodos de resonancia o de transmisión de ondas de esfuerzo, no especifican un control del contenido de humedad. El método de análisis desarrollado por Recalde (2009) determina el parámetro de densidad de fisuras midiendo el módulo de elasticidad dinámico en condición seca y mojada, sin embargo, no existen aplicaciones del modelo de O'Connell y Budiansky a estados de saturación parcial. En la presente investigación se estudia la manera en la que se comporta el módulo de elasticidad dinámico, la velocidad de pulso y otras propiedades de propagación de ondas que están relacionadas al módulo de elasticidad dinámico con diferentes grados de saturación antes y después del deterioro por carga. Éste estudio es parte de un programa de investigación de la USFQ que se encuentra desarrollando una metodología para evaluar el parámetro de densidad de fisuras en campo, para lo cual es importante entender el efecto de diferentes grados de contenido de humedad en las propiedades dinámicas del hormigón.

### **1.3 Objetivos.**

Los objetivos del presente trabajo de titulación son:

1. Estudiar las propiedades elásticas del hormigón con variación en el contenido de humedad.
2. Determinar variaciones en el módulo de elasticidad dinámico del hormigón a diferentes grados de saturación.
3. Estudiar si el modelo de O'Connell & Budiansky se puede aplicar en el hormigón para diferentes grados de saturación.

#### **1.4 Resultados Esperados.**

Los resultados esperados de este trabajo son:

1. Resultados de los ensayos de velocidad de pulso ( $V_p$ ), velocidad de corte ( $V_s$ ) y módulo de elasticidad dinámico ( $E_d$ ) para diferentes grados de saturación en estado sin daño.
2. Resultados de los ensayos de  $V_p$ ,  $V_s$  y  $E_d$  para diferentes grados de saturación en estado dañado.
3. Aplicación del modelo de O'Connell & Budiansky con diferentes grados de saturación y determinar su aplicabilidad.
4. Determinar si el  $E_d$  estimado a partir de mediciones de  $V_p$  y  $V_s$  puede ser utilizado para determinar el parámetro de densidad de fisuras.

#### **1.5 Actividades a Realizar**

Las actividades a realizarse son las siguientes:

1. Realizar ensayos de velocidad de pulso ( $V_p$ ), velocidad de corte ( $V_s$ ) y módulo de elasticidad dinámico ( $E_d$ ) de estado "Seco en Aire" a "Seco en Horno".
2. Realizar ensayos de  $V_p$ ,  $V_s$  y  $E_d$  de estado "Casi Saturado" a estado "Seco en Aire".

3. Realizar ensayos de  $V_p$ ,  $V_s$  y  $E_d$  en los diferentes estados para cilindros fisurados por carga.

4. Análisis de resultados.

## 1.6 Definiciones.

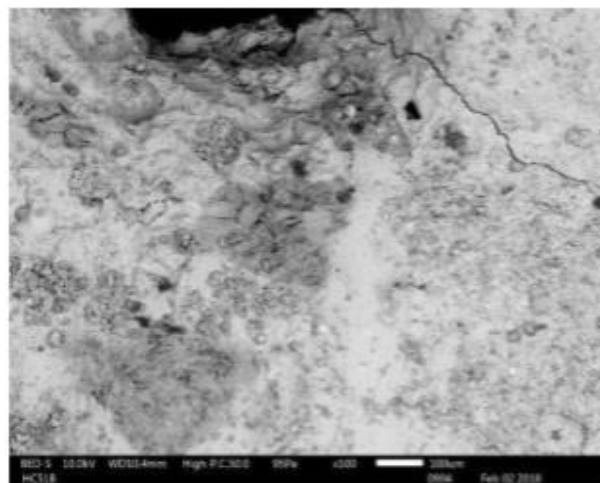
- Velocidad de Pulso ( $V_p$ ): Está basado en las ondas de sonido que se propagan longitudinal y compresivamente en medios sólidos.
- Velocidad de Corte ( $V_s$ ): Se comportan de forma parecida a las ondas de pulso, sin embargo, su propagación es de manera transversal.
- Módulo de Elasticidad Dinámico ( $E_d$ ): Es una propiedad de los materiales viscoelásticos determinado por medio de vibraciones en el concreto.
- Contenido de Humedad (C.H.): Cantidad de agua libre en el material
- Módulo Dinámico de Poisson ( $\eta$ ): Es el módulo basado en tensiones pequeñas elásticas en respuesta a vibraciones, para materiales no porosos el módulo de Poisson estático es muy cercano al dinámico.
- Parámetro de densidad de fisuras ( $\epsilon$ ): Parámetro adimensional que relaciona la cantidad y geometría de fisuras planas circulares o elípticas por unidad de volumen utilizado en el modelo de O'Connell y Budiansky (1976) para materiales elásticos fisurados.
- Grado de saturación de fisuras ( $\xi$ ): Proporción de fisuras circulares o elípticas saturadas de líquido utilizado en el modelo de O'Connell y Budiansky (1976) para materiales elásticos fisurados.

## DESARROLLO DEL TEMA

### 2.1 Marco Teórico.

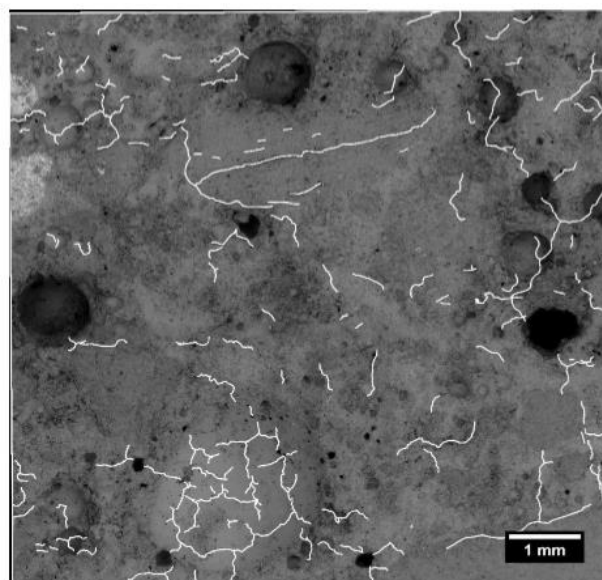
#### 2.1.1 Microfisuramiento del Hormigón Debido a Cargas:

El hormigón es un material heterogéneo tanto a nivel mezo como micro. La resistencia del material está estrechamente relacionada con la microestructura del hormigón, Slate and Hover (1984) mencionan que la heterogeneidad a niveles microscópicos aumenta y es que no solo las propiedades mecánicas entre el agregado grueso y la pasta de cemento son diferentes, sino que los elementos por separado son heterogéneos en su esencia. A pesar de que una relación agua cemento más baja minimiza los vacíos ya que provoca que las partículas estén más juntas, no es el único factor influyente en la resistencia a compresión del hormigón, el grado de saturación, las propiedades físicas y químicas e incluso la temperatura a la cual la hidratación toma lugar, son algunos de los varios factores que repercuten en la resistencia del hormigón. En la Figura 1, se observa la microestructura del elemento determinada por SEM.



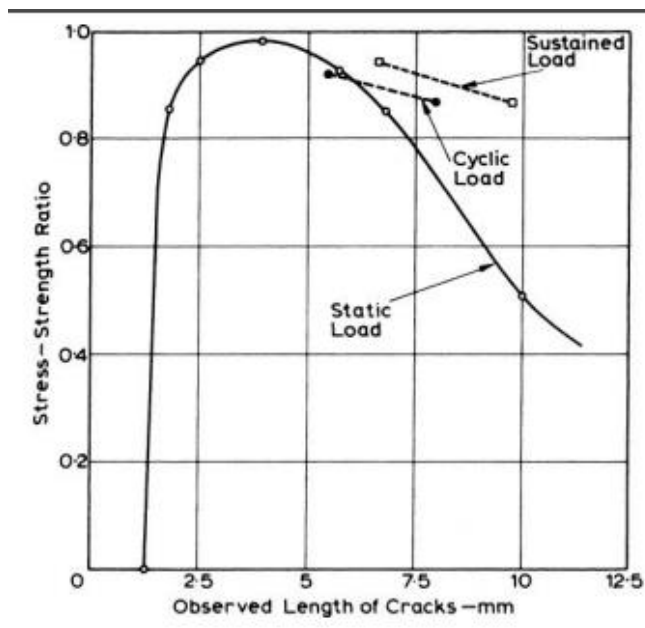
**Figura 1:** Microestructura del Hormigón Obtenida por SEM. Fuente: Rosero (2018).

La falla del hormigón es producto de las fisuras en el material, incluso en el concreto de relación agua cemento de 0.25 se han observado fisuras antes de la aplicación de carga. Como se mencionó anteriormente, las microfisuras generadas en el hormigón permanecen estables hasta el 30%, sin embargo, al aumentar la carga entre 70% y 90% de la resistencia máxima comienza a formarse grietas continuas, las propagaciones de las grietas se dan lugar en la discontinuidad volumétrica del elemento y se orientan aproximadamente en el sentido paralelo a la dirección de la carga. La Figura 2 muestra la distribución de las microfisuras en el hormigón con una aproximación de 1 (mm).



**Figura 2:** *Microfisuras del Hormigón Obtenida por SEM. Fuente: Rosero (2018).*

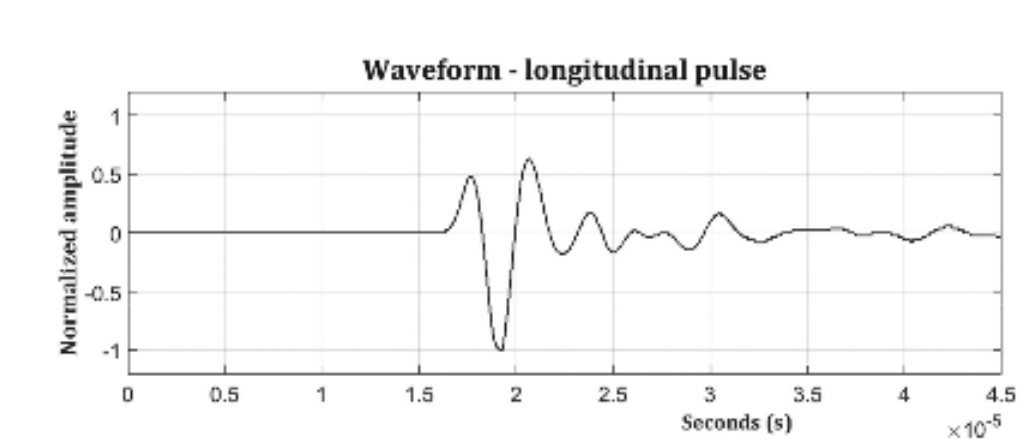
En la Figura 3 se observa que no existe una gran variación en la longitud de las fisuras del hormigón hasta el 80% de la resistencia máxima, sin embargo, a medida que se aumenta la carga, no solo las grietas del mortero aumentan en dimensión, sino las grietas de la interfaz también.



**Figura 3:** Relación entre la Longitud Observada de las Grietas en un Área de 100 mm<sup>2</sup> y Resistencia en Compresión. Fuente: (Neville, 2011).

### 2.1.2 Velocidad de Pulso (Vp).

Las ondas de pulso son aquellas que a tensión y compresión se propagan longitudinalmente en un medio sólido. Los pulsos son generados por un transductor electro acústico que, al atravesar el hormigón, son recibidos en forma de energía eléctrica por un segundo transductor que se encuentra localizado a una cierta distancia desde el transmisor, se miden haciendo contacto con la superficie del hormigón. La velocidad de pulso, es la velocidad con la que se propagan estas ondas en el medio, es un ensayo no destructivo utilizado para determinar la presencia de vacíos, grietas, deterioro y cambios en las propiedades del hormigón. Los resultados obtenidos, son afectados por el grado de saturación del material. “La velocidad de pulso en concreto saturado puede ser hasta un 5% más alta que un concreto seco” (ASTMC 597-09, 2009).



**Figura 4:** Forma de Onda de Pulso Longitudinal. Fuente: (Carnot, 2018).

La capacidad de precisión del equipo y la del operador para fijar la distancia entre el transmisor y el receptor, son factores que incluyen en la exactitud de la medida. Es necesario el uso de un agente de acoplamiento, un material viscoso como por ejemplo aceite o vaselina para que exista una eficiente transferencia de energía y reducir o eliminar el aire entre las superficies de contacto, es decir entre los transductores y el concreto.

El ensayo es aplicable tanto en campo como en laboratorio, sin importar la forma del elemento, sin embargo, en caso de que se realice el ensayo en campo, es necesario tomar en cuenta que dentro del hormigón existe acero de refuerzo que alterarán los resultados. ASTM C 597-09, recomienda que el ensayo en campo se realice lejos de las inmediaciones del acero paralelo a la dirección en la que se propagará la onda. En caso de que el ensayo se realice a un hormigón deteriorado, la variación de los resultados aumenta.

### **2.1.3 Velocidad de Corte ( $V_s$ ).**

La velocidad de corte es un factor que ayuda a proporcionar información para determinar el deterioro tras un evento externo que provoque daño al material. A diferencia de la velocidad de



pulso, la velocidad de corte se propaga de manera perpendicular a la dirección en la que se propaga la onda. La norma ASTM E1316, “Standard Terminology for Nondestructive Examinations”, menciona que la velocidad de corte se basa en el principio de fenómenos de ondas elásticas transitorias, las cuales son generadas por la intrusión de energía de manera súbita proveniente de fuentes ubicadas en diferentes materiales. Existen varios factores de los que depende la velocidad de corte como, por ejemplo: el impulso, tiempo y la distancia.

Tanto el tiempo como la distancia son parámetros que pueden ser medidos en laboratorio, el tiempo que se demora en viajar la onda de una cara a otra del material se determina por medio de un generador de pulso y un osciloscopio.

#### **2.1.4 Contenido de Humedad (C.H.).**

El hormigón es un material poroso, la norma ASTM C1585-13 expone un método para medir la capacidad que tiene el material para absorber agua, en el cual se mide el aumento en la masa de una muestra como resultado de la absorción de agua en función del tiempo. Se deja la superficie de una cara expuesta del material y el espécimen es acondicionado en un ambiente con humedad relativa. Al sumergir la cara expuesta en agua, el ingreso del agua en el hormigón está dominado por la succión capilar durante el contacto inicial con el agua. Hay varios factores que influyen a la absorción de agua: La proporción de la mezcla, presencia de aditivos, composición y características físicas, contenido de aire, presencia de microfisuras, método de colocación y tratamientos superficiales entre otros.

Existe una interacción entre el agua y las propiedades del hormigón, en estado casi saturado todos los poros, capilares y fisuras se encuentran con agua, mientras que al secarse el agua se convierte en un gas cuya compresibilidad es diferente. La presencia de agua puede incluso generar

fisuras en el material, al encontrarse el hormigón completamente saturado, es decir en vacío, el punto de ebullición baja por lo que el agua se transforma en vapor el cual genera una presión interna provocando fisuras.

### **2.1.5. Módulo de Elasticidad Dinámico (Ed).**

El módulo de elasticidad dinámico es uno de los parámetros más importantes para determinar el deterioro del hormigón. En el presente trabajo de investigación se presentarán dos métodos para determinar el módulo de elasticidad dinámico.

La norma ASTM C215, determina este parámetro y el módulo dinámico de Poisson mediante mediciones de frecuencias transversales, longitudinales o torsionales en especímenes prismáticos o cilíndricos de hormigón. Las frecuencias pueden ser determinadas mediante el método de resistencia forzada o el de resonancia de impacto.

El método de resonancia de impacto consiste en golpear la muestra con una esfera para medir la respuesta del material mediante un acelerómetro y con ayuda de métodos de procesamiento de señales digitales. Permite determinar cambios en el módulo de elasticidad dinámico en el material que se encuentra deteriorado. “Las condiciones de fabricación, el contenido de humedad y otras características de la muestra influyen significativamente en los resultados obtenidos” (ASTM C215, 2014). Además, no se recomienda comparar los resultados entre varios especímenes de formas o tamaños diferentes, aun cuando sean de la misma mezcla, porque las frecuencias resultantes pueden ser ampliamente diferentes.

El módulo de elasticidad dinámico basado en la norma ASTM C215, se determina por medio de la siguiente expresión:

$$E_d = CMn^2$$

Donde:

M: Masa de la muestra (kg).

n: Frecuencia transversal (Hz).

C:  $1.6067 \left(\frac{L^3 T}{D^4}\right) (m^{-1})$  para cilindros.

L: Largo del espécimen (m).

D: Diámetro del cilindro (m).

T: Factor de corrección.

El factor de corrección T depende del módulo de Poisson dinámico, el cual se determina mediante la velocidad de pulso y la velocidad de corte a través de la ecuación presentada a continuación:

$$\eta = \frac{0.5 (Vp^2 - 2Vs^2)}{(Vp^2 - Vs^2)}$$

Paralelamente, el módulo de elasticidad dinámico se puede hallar mediante la siguiente ecuación que depende únicamente de la densidad del hormigón, velocidad de pulso y de corte:

$$Ed = \rho \times \left[ \frac{Vs^2 \times (3Vp^2 - 4Vs^2)}{Vp^2 - Vs^2} \right]$$

Vp: Velocidad de pulso (m/s).

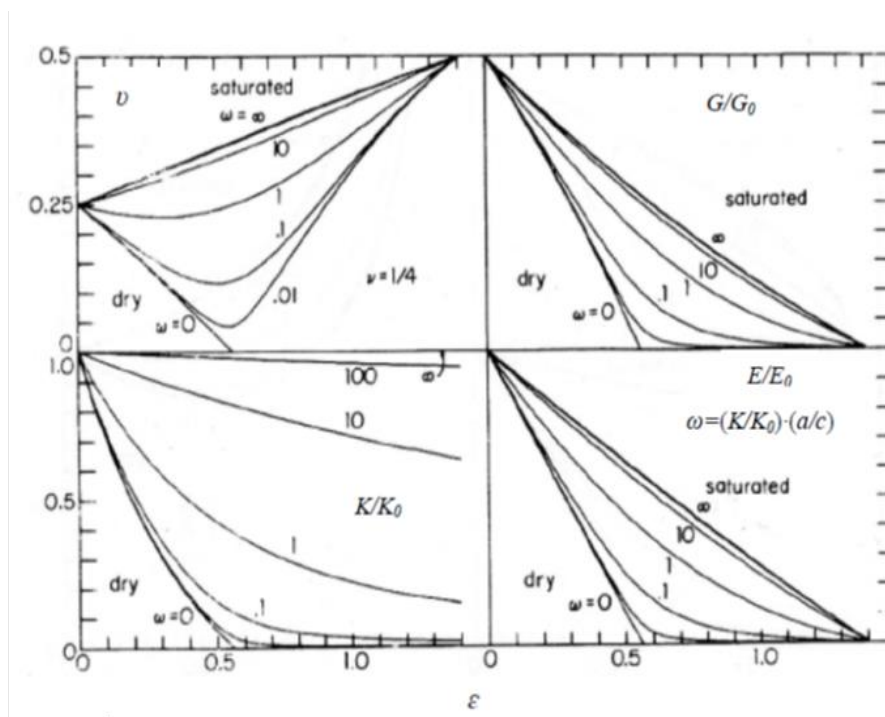
Vs: Velocidad de corte (m/s).

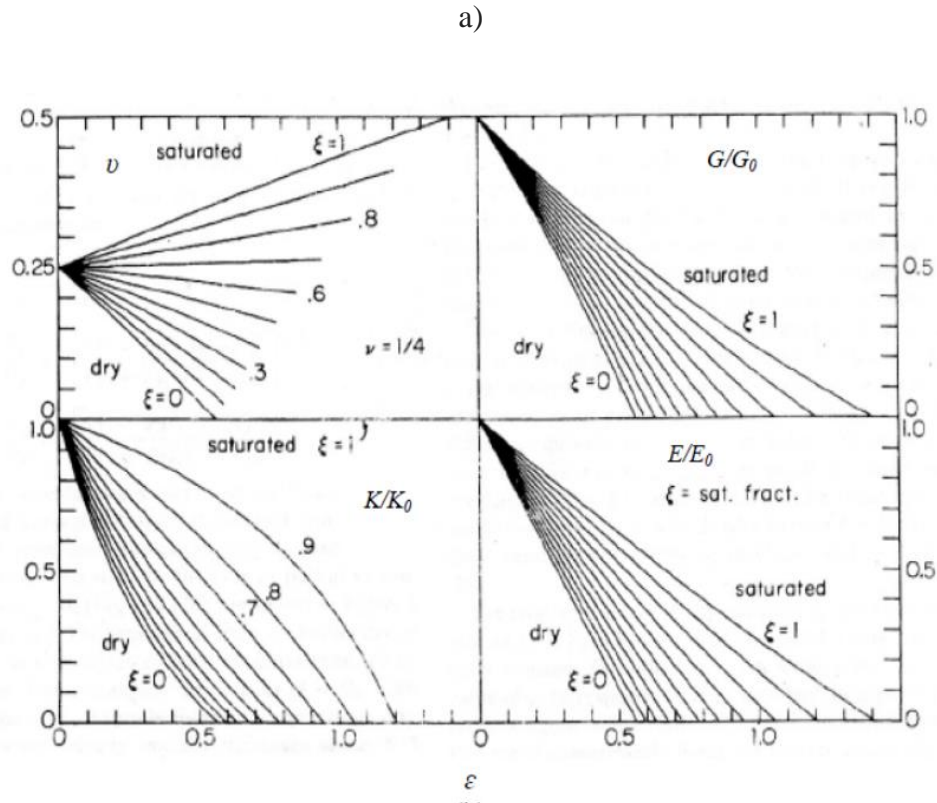
$\rho$ : Densidad del hormigón (kg/m<sup>3</sup>).

### 2.1.6 Parámetro de Densidad de Fisuras.

Los módulos elásticos efectivos de un sólido saturado de fluido que contiene grietas delgadas, dependen del grado de interconexión de las grietas, O'Connell & Budiansky (1977) afirma que se pueden identificar tres regímenes saturados: 1) seco drenado, donde el fluido en las grietas puede fluir fuera de las regiones de compresión, 2) zona donde el fluido puede recorrer de una grieta a otra y 3) aislado saturado, donde no hay comunicación de fluido entre las grietas.

O'Connell & Budiansky, planteó un modelo matemático para determinar el parámetro de densidad de fisuras de un material homogéneo, con fisuras planas circulares o elipsoidales distribuidas aleatoriamente con diferente grado de saturación. El modelo toma en cuenta variaciones en el módulo de Young, el módulo de corte, compresibilidad y la relación de Poisson. En la Figura 5 se observa el modelo que refleja el comportamiento de las propiedades dinámicas de un sólido a diferentes estados de saturación.





**Figura 5:** Propiedades elásticas de un sólido. a) saturación con fluido suave, b) saturación parcial con líquido incompresible. Fuente: O'Connell & Budiansky (1974).

El parámetro de densidad de fisuras se basa en las siguientes ecuaciones donde el modelo asume que las fisuras son circulares o elípticas:

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

Donde:

$\epsilon_c$ : Fisuras circulares.

V: Volumen del sólido ( $m^3$ ).

a: Radio mayor (m).

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

Donde:

$\epsilon_e$ : Fisuras elípticas.

N: Cantidad de fisuras.

$A_c$  = Área de Fisuras, ( $m^2$ )

$P_c$  = Perímetro de las fisuras (m).

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

Donde:

K: Módulo de compresibilidad efectiva, (Pa).

$K_0$ : Módulo de compresibilidad del material no fisurado, (Pa).

$\nu$ : Módulo de Poisson.

D: Factor depende de la saturación del material.

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

Donde:

$E$ : Módulo de elasticidad dinámico, Pa

$E_0$ : Módulo de elasticidad dinámico del sólido no fisurado, Pa.

$G$ = módulo de corte, Pa

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

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

Donde:

$G$ : Módulo de corte.

$G_0$ : Módulo de corte del sólido no fisurado.

Mediante las ecuaciones mostradas anteriormente, se determina la siguiente expresión:

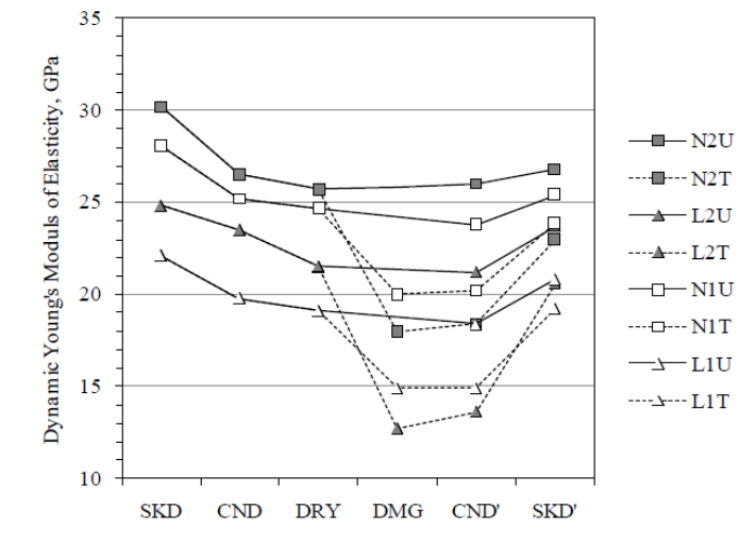
$$\varepsilon = \frac{45(\nu_0 - \nu)}{16(1 - \nu^2)} \frac{(2 - \nu)}{[D(1 + 3\nu_0)(2 - \nu) - 2(1 - 2\nu_0)]}$$

Donde:

$\nu_0$ : Módulo de Poisson del material no fisurado.

Recalde (2009), investigó el parámetro de densidad de fisuras del hormigón con el fin de determinar el deterioro mediante un método no destructivo. Observó que existe una variación en cuanto al módulo de elasticidad dinámico del elemento cuando las fisuras están llenas de agua a si están totalmente secas. En la Figura 6 se observa el comportamiento del módulo de elasticidad dinámico con respecto a la variación en el contenido de humedad. Además, se

evidencia que el módulo disminuye al sufrir deterioro y aumenta a medida que el agua gana terreno entre las fisuras.



**Figura 6:** Módulo de Elasticidad Dinámico vs. Diferentes Estados de Saturación. Fuente: Recalde (2009).

### 2.1.7 Estudios Preliminares.

Moreno (2018), realizó un trabajo de investigación referido a la estimación del parámetro de densidad de fisuras en el hormigón mediante ondas de esfuerzo, donde empleó una metodología para evaluar antes y después del daño, losas de diferente relación agua cemento. Las losetas son de 40x40x20cm, a las cuales se sometieron a diferentes ensayos como velocidad de pulso, velocidad de corte y número de rebote antes y después de exponerlas a un evento dañino como altas temperaturas (450°C). Una vez analizado los resultados preliminares tras el deterioro, se observó que la metodología para determinar la velocidad de corte utilizando transductores no arrojaba valores confiables.



A la par Zhindón (2018), buscó cuantificar el deterioro de hormigones convencionales por carga, donde evaluó el material por métodos forenses. Realizó una metodología experimental que consistía en realizar ensayos de velocidad de pulso, velocidad de corte, número de rebote y obtención del módulo elástico de especímenes con diferente relación agua cemento. Las mediciones del módulo de elasticidad dinámico para estados casi-saturado y seco permitieron cuantificar el parámetro de densidad de fisuras antes y después del daño, donde se observó un aumento de fisuras tras la aplicación de la carga. Sin embargo, al utilizar la velocidad de pulso y de corte para obtener el módulo dinámico y Poisson después del daño, no se obtuvieron valores confiables.

## 2.2 Matriz Experimental.

Tres mezclas fueron utilizadas para la presente investigación (M3, M4 y M5) de diferente relación agua cemento. En la Tabla N.1, se expone la dosificación de las mezclas realizadas por el equipo de apoyo del Laboratorio de Hormigones de la Universidad San Francisco de Quito, donde consta el volumen y el peso de cada material para 1m<sup>3</sup> de hormigón.

**Tabla N. 1.** *Matriz Experimental, Dosificación de las Mezclas.*

	M3 Para 1 m3		M4 Para 1 m3		M5 para 1 m3	
	Volumen	Peso (kg)	Volumen	Peso (kg)	Volumen	Peso (kg)
Arena Fina	0.1941	524.00	0.1802	486.64	0.1749	472.26
Arena Gruesa	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00
Grava	0.3604	973.14	0.3347	903.76	0.3248	877.06
Cemento	0.2026	638.17	0.1882	592.67	0.1680	529.15
Aditivo	0.0041	4.53	0.0000	0.00	0.0000	0.00
Agua	0.2240	224.02	0.2821	282.11	0.3175	317.49
SUMA	1.0000	2363.85	1.0000	2265.18	1.0000	2195.96
W/C	0.35		0.46		0.6	
fc est. (MPa)	52		35		33	

En la Tabla N.2-4, se muestra la matriz experimental para las tres mezclas previo al deterioro, donde consta tanto la numeración y la dimensión de cada cilindro, como los ensayos diarios realizados con diferente contenido de humedad.

**Tabla N. 2.** *Matriz Experimental, Mezcla 3, Sin Deterioro.*

<b>M3</b>					
Cantidad Total de Cilindros:		4			
Numeración:		10	11	12	13
Dimensión:		100x200 (mm)	100x200 (mm)	150x300 (mm)	150x300 (mm)
Mediciones Diarias con Diferente Contenido de Humedad	Velocidad de Pulso:	Si	Si	Si	Si
	Velocidad de Corte:	Si	Si	Si	Si
	Módulo Dinámico (ASTM C215)	Si	Si	Si	Si
	Módulo Dinámico con Vp, Vs.	Si	Si	Si	Si

**Tabla N. 3.** *Matriz Experimental, Mezcla 4, Sin Deterioro.*

<b>M4</b>					
Cantidad Total de Cilindros:		4			
Numeración		10	11	12	13
Dimensión:		100x200 (mm)	100x200 (mm)	150x300 (mm)	150x300 (mm)
Mediciones Diarias con Diferente Contenido de Humedad	Velocidad de Pulso:	Si	Si	Si	Si
	Velocidad de Corte:	Si	Si	Si	Si
	Módulo Dinámico (ASTM C215)	Si	Si	Si	Si
	Módulo Dinámico con Vp, Vs.	Si	Si	Si	Si

**Tabla N. 4.** *Matriz Experimental, Mezcla 5 Sin Deterioro.*

M5					
Cantidad Total de Cilindros:		4			
Numeración		10	11	12	13
Dimensión:		100x200 (mm)	100x200 (mm)	150x300 (mm)	150x300 (mm)
Mediciones Diarias con Diferente Contenido de Humedad	Velocidad de Pulso:	Si	Si	Si	Si
	Velocidad de Corte:	Si	Si	Si	Si
	Módulo Dinámico (ASTM C215)	Si	Si	Si	Si
	Módulo Dinámico con Vp, Vs.	Si	Si	Si	Si

Posteriormente, se escogieron 4 cilindros de la mezcla 3 y 4 previamente deteriorados al 1/3 de tiempo de falla de otros cilindros de las mismas mezclas, ensayadas a 85% del  $f_c$  promedio, con el fin de realizar los mismos ensayos aplicados que antes del deterioro. Con respecto a la mezcla 5 se escogieron igualmente 4 especímenes, sin embargo, el deterioro fue provocado a 1/3 del tiempo de falla de otros cilindros correspondientes a la misma mezcla, pero a 90% del  $f_c$  promedio. En las Tablas N.5-7, se observa la matriz experimental para las tres mezclas una vez expuesto los especímenes a deterioro.

**Tabla N. 5.** *Matriz Experimental, Mezcla 3, Deteriorado.*

M3					
Cantidad Total de Cilindros:		4			
Numeración		9	13	12	13
Dimensión:		100x200 (mm)	100x200 (mm)	150x300 (mm)	150x300 (mm)
Mediciones Diarias con Diferente Contenido de Humedad	Velocidad de Pulso:	Si	Si	Si	Si
	Velocidad de Corte:	Si	Si	Si	Si

	Módulo Dinámico (ASTM C215)	Si	Si	Si	Si
	Módulo Dinámico con Vp, Vs.	Si	Si	Si	Si

**Tabla N. 6.** *Matriz Experimental, Mezcla 4, Deteriorado.*

M4					
Cantidad Total de Cilindros:		4			
Numeración		4	9	12	13
Dimensión:		100x200 (mm)	100x200 (mm)	150x300 (mm)	150x300 (mm)
Mediciones Diarias con Diferente Contenido de Humedad	Velocidad de Pulso:	Si	Si	Si	Si
	Velocidad de Corte:	Si	Si	Si	Si
	Módulo Dinámico (ASTM C215)	Si	Si	Si	Si
	Módulo Dinámico con Vp, Vs.	Si	Si	Si	Si

**Tabla N. 7.** *Matriz Experimental, Mezcla 5, Deteriorado.*

M5					
Cantidad Total de Cilindros:		4			
Numeración		9	12*	12	13
Dimensión:		100x200 (mm)	100x200 (mm)	150x300 (mm)	150x300 (mm)
Mediciones Diarias con Diferente Contenido de Humedad	Velocidad de Pulso:	Si	Si	Si	Si
	Velocidad de Corte:	Si	Si	Si	Si
	Módulo Dinámico (ASTM C215)	Si	Si	Si	Si
	Módulo Dinámico con Vp, Vs.	Si	Si	Si	Si

## **2.3. Metodología.**

### **2.3.1 Fabricación de Especímenes y Curado.**

El equipo de apoyo del laboratorio de hormigones de la Universidad San Francisco de Quito fabricó tres mezclas M3, M4 y M5 de 0.35, 0.45 y 0.60 relación agua cemento respectivamente, con el fin de obtener 13 cilindros por cada mezcla, los cuales fueron desencofrados un día después de haber sido fundidos. Dos probetas fueron sometidas a curado estándar en 28 días a 23°C, mientras que los 11 especímenes restantes fueron curados en obra. A estos 11 cilindros se les realizó un acondicionamiento que contemplaba, 4 días en curado ambiente de laboratorio (22°C), 10 días en secado al horno a 80°C, colocar los cilindros en tanques de agua para lograr un estado casi saturado, dos días sumergidos con una cara al aire y dos días completamente sumergidos. Se midió, velocidad de pulso (ASTMC 597), velocidad de corte, módulo de elasticidad dinámico (ASTM C 215), módulo de elasticidad (ASTMC 469) y número de rebote (ASTMC 805) (Zhindón, 2018).

### **2.3.2 Fisuramiento por Carga.**

2 cilindros por cada mezcla sometidos a curado estándar fueron ensayados hasta fallar para determinar la resistencia a la compresión del hormigón promedio. Se escogió 3 o 4 cilindros curados en obra para ensayarlos hasta fallar y se determinó el  $f_c$  promedio, posteriormente se sometió a dos especímenes curados en obra al 90% de su resistencia a la compresión, con el fin de determinar el tiempo en el que falló. Para finalizar, 4 especímenes de cada mezcla (2 de 100x200 mm y 2 de 150x300mm) fueron ensayados a 1/3 del tiempo que se demoraron en fallar a 85% y 90% del  $f_c$  promedio, con el objetivo de generar fisuras sin que falle el material. En las Tablas

N.8-10 se exponen los resultados de los ensayos a compresión en curado estándar y en obra para las mezclas M5, M4 y M3, adicionalmente se expone el tiempo que se demoró en fallar los cilindros en curado en obra al 85 y 90% de la resistencia a la compresión promedio. Se determinó el parámetro de densidad de fisuras antes y después del daño.

**Tabla N. 8.** *Ensayos de Carga a Compresión Mezcla M5. (Zhindón, 2018).*

Mezcla M5				
Especimen ID	Dimensiones	fc est	fc obra	tss
	in	MPa	MPa	hh:mm:ss
1	4x8	32.6		
2	4x8	33.1		
3	4x8		33.9	
4	4x8		34.2	
5	4x8		32.3	
6	4x8		30.4	0:01:08
7	4x8			
8	4x8			0:02:00
9	4x8			
10	4x8			
11	4x8			
12	6x12			
13	6x12			
<b>Promedio</b>		32.9	32.7	

**Tabla N. 9.** *Ensayos de Carga a Compresión Mezcla M4. (Zhindón, 2018).*

Mezcla M4				
Especimen ID	Dimensiones	fc est	fc obra	tss
	in	MPa	MPa	hh:mm:ss
1	4x8	34.6		
2	4x8	35.5		
3	4x8		37.7	
4	4x8			
5	4x8		38.4	
6	4x8			0:01:08
7	4x8		36.4	

8	4x8			0:02:00
9	4x8			
10	4x8			
11	4x8			
12	6x12			
13	6x12			
<b>Promedio</b>		35.1	37.5	

**Tabla N. 10.** *Ensayos de Carga a Compresión Mezcla M3. (Zhindón, 2018).*

Mezcla M3				
Especimen ID	Dimensiones	fc est	fc obra	tss
	in	MPa	MPa	hh:mm:ss
1	4x8	55.8		
2	4x8	48.7		
3	4x8			
4	4x8		55.7	
5	4x8		54.9	
6	4x8			1:00:29
7	4x8			
8	4x8			
9	4x8			
10	4x8		57.8	
11	4x8			0:30:48
12	6x12			
13	6x12			
<b>Promedio</b>		52.3	56.1	

### 2.3.3 Procedimiento para Variar el Contenido de Humedad de Cilindros Antes y Después del Deterioro por Carga.

De las tres mezclas mencionadas anteriormente se escogieron 4 cilindros antes y 4 después del daño (2 de 100x200 mm y 2 de 150x300 mm). Los especímenes transcurrieron dos estados: semisaturado a seco al aire y seco al aire a seco en horno.

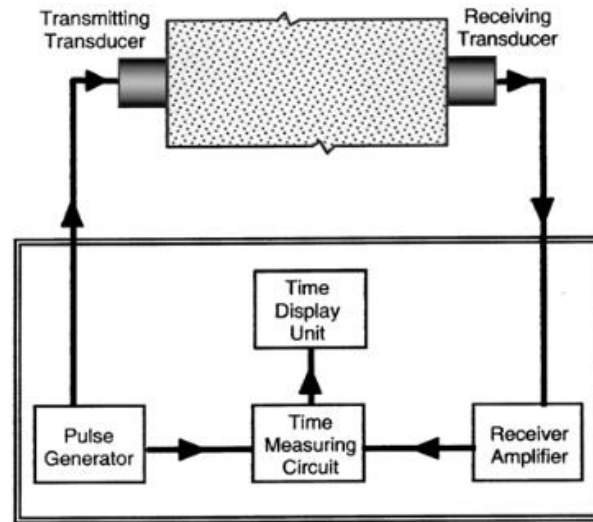
En el estado semisaturado a seco al aire, los cilindros fueron colocados en una piscina de curado durante 7 días de los cuales el primero se dejó con una cara expuesta al ambiente. Posteriormente, se extrajeron los especímenes y se los dejó secar al ambiente de laboratorio durante 10 días. En el segundo estado (seco al aire a seco al horno), se introdujeron los especímenes en un horno a 80°C durante el mismo tiempo.

Se realizaron ensayos de velocidad de pulso, velocidad de corte y se determinó el módulo de elasticidad dinámico diariamente en base a su variación en el contenido de humedad. Los ensayos se ejecutaron desde que se extraen los cilindros de la piscina de curado hasta el décimo día de secado al horno. Antes y después de cada medición se pesan los cilindros para determinar el contenido de humedad.

#### **2.3.4 Velocidad de Pulso.**

La velocidad de pulso, se midió mediante un par de transductores (transmisor y receptor), un generador de impulsos dentro del cual consta un amplificador de señales y un circuito para medir tiempo. Los transductores se conectan mediante cables al equipo y tienen como función el transformar los pulsos de voltaje emitidos por el generador, a una velocidad de 3 pulsos por segundo, en ondas que tendrán una frecuencia entre 20 a 100 kHz. En la Figura 7, se expone una ilustración que muestra el esquema del funcionamiento del equipo utilizado para medir la velocidad de pulso en el laboratorio.





**Figura 7:** Esquema de Equipo de Velocidad de Pulso. Fuente: (Sanjuán, s.f.).

Una vez calibrado el generador de pulsos, se introduce la distancia longitudinal paralela a la ubicación de los transductores y se coloca el agente de acoplamiento para disminuir el aire entre el transmisor y el espécimen garantizando un buen contacto. Se emite la señal y en la pantalla del generador se observa directamente la velocidad con la que viaja la onda de una cara a otra. En el laboratorio se tomaron tres velocidades diarias por obtener una medida diaria promedio y la norma empleada fue ASTM C597-09. En la Figura 8-10, se aprecia el uso del equipo medidor de pulso en el laboratorio con el agente de acoplamiento, la conexión de los cables, la ubicación del cilindro colocado sobre el aislante y el resultado obtenido.



*Figura 8: Material de Calibración y Agente de Acoplamiento.*



*Figura 9: Configuración Usada para Medir Velocidad de Pulso.*



*Figura 10: Resultado de Velocidad de Pulso.*

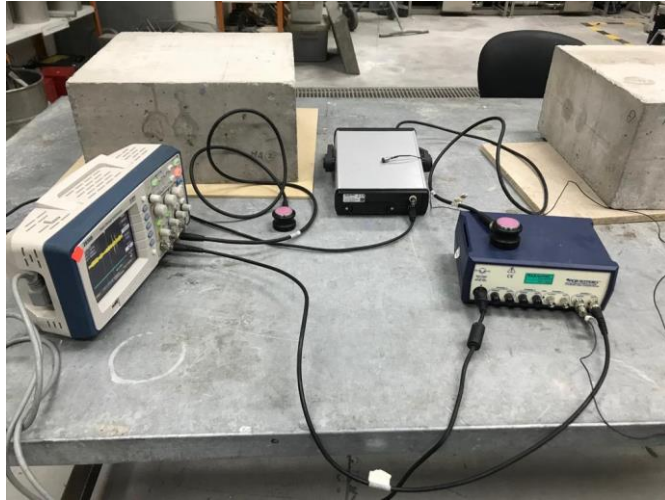
### 2.3.5 Velocidad de Corte.

Para medir la velocidad de corte se basa en la norma ASTM C215-08. Se utilizó un circuito de conducción 31 el cual es conformado por un oscilador de frecuencia variable y es combinado con un amplificador con el objetivo de producir un voltaje de salida induciendo vibraciones. Para transmitir y recibir las ondas de corte, se utilizan dos transductores cuya frecuencia de resonancia se encuentra en el rango de 54kHz.

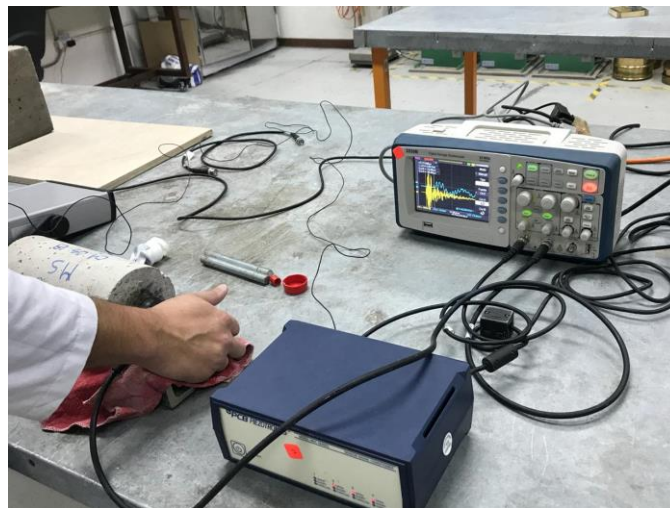
Al igual que la velocidad de pulso, se ubica el cilindro sobre un aislante y se coloca el transductor emisor de pulso y el receptor en las caras del cilindro. Un acelerómetro que proviene de un amplificador de señal es colocado sobre el transductor emisor de pulso, por otro lado, el transductor receptor es conectado a un osciloscopio que tiene como función el graficar dos ondas como se muestra en la Figura 11. Mediante las ondas graficadas, se obtiene el tiempo que se demora en recorrer la onda de un extremo a otro al ubicar el primer cursor vertical en el pico de la primera gráfica y el segundo cursor en el pico de la segunda gráfica como se muestra en la Figura 13.

Paralelamente se realiza mediciones diarias de la altura de los cilindros para determinar la distancia que recorrerá la onda. Con el tiempo en segundos y la distancia medida en metros se calcula la velocidad de corte a través de la siguiente expresión:

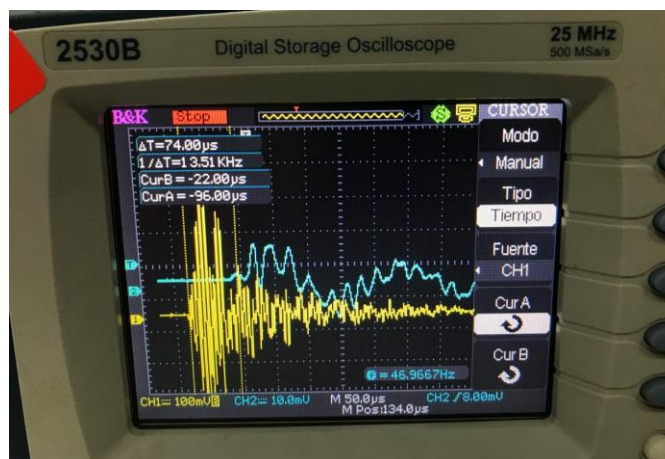
$$V_c = \frac{D}{T}$$



*Figura 11: Conexión de Equipos para Medir Velocidad de Corte.*



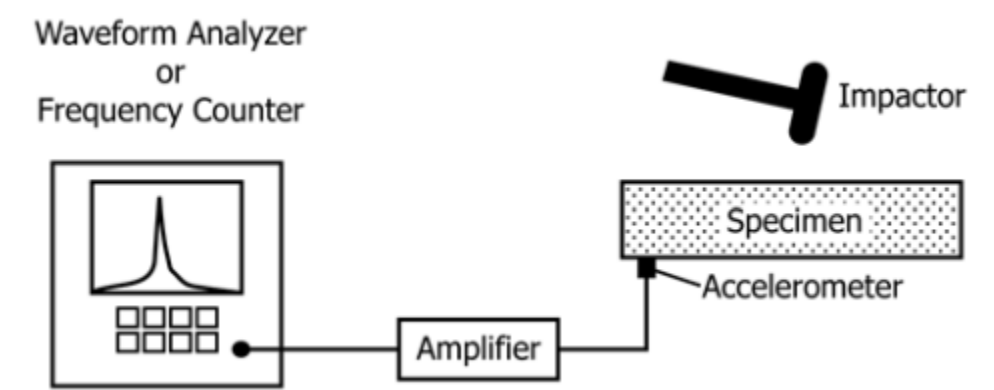
*Figura 12: Velocidad de Corte Medido en Cilindros.*



*Figura 13: Medición de Tiempo a través de Graficar las Ondas en el Osciloscopio.*

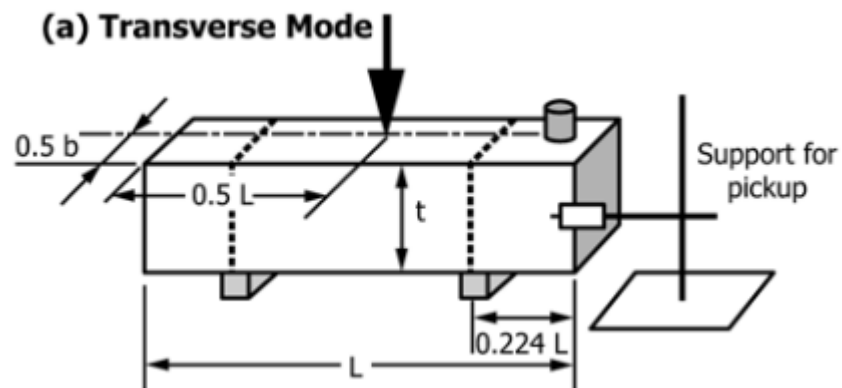
### 2.3.6 Módulo de Elasticidad de Young Dinámico.

El módulo dinámico se determina mediante la norma ASTM C215 para lo cual es necesario determinar la frecuencia de onda transversal. La frecuencia se mide colocando el acelerómetro en la superficie y se impacta el espécimen con una bola en el centro. El acelerómetro se conecta a un amplificador que a su vez se conecta con un osciloscopio para graficar la onda producto del impacto como se muestra en la Figura 14.



*Figura 14: Esquema de Aparato para la Resonancia de Impacto. Fuente: (ASTM C215, 2008).*

El cilindro se recuesta sobre dos apoyos como se muestra en la Figura 15, con el objetivo de que al ser impactado pueda vibrar libremente. Tres mediciones diarias son realizadas en las cuales, si cualquier valor dista más de un 10 %, el ensayo no es válido. Cuando se utiliza un contador de frecuencia, se deben descartar los primeros 10 ciclos de vibración transversal aproximadamente, la frecuencia medida se determina ubicando un cursor vertical después de los primeros 10 ciclos y el segundo cursor después de otros 10 ciclos de vibración como se muestra en la Figura 16.



**Figura 15:** Ubicación de Espécimen para Modo Transversal. Fuente: (ASTM C215, 2008).



*Figura 16: Procedimiento para Determinar la Frecuencia de Onda Transversal.*

### **2.3.7 Parámetro de Densidad de Fisuras.**

Se determinó el parámetro de densidad de fisuras para los cilindros de 100x200mm y de 150x300mm para las tres mezclas. Debido a que los cilindros de 100x200mm no eran los mismos antes que después del daño, no fue factible cotejar los resultados por lo que se determinó un parámetro antes y después del deterioro por carga por separado. Por otro lado, los cilindros de 150x300mm si eran los mismos, a estos cilindros fue posible relacionar los resultados en un solo modelo. El modelo empleado para determinar el parámetro de densidad de fisuras en ambos casos es numérico, cuyo error se determina de la diferencia al cuadrado de los módulos dinámicos medidos a través de la norma ACTM C215 y los obtenidos del modelo.

#### **2.3.7.1 Dos Datos Mojado y Seco, Cilindros 100x200mm:**

Para determinar el parámetro de densidad de fisuras de los cilindros diferentes antes que después del daño, se escogió el módulo de elasticidad dinámico medido por la norma ACTM C215 con el contenido de humedad más alto y más bajo como límites a los cuales se asignó el valor de  $\xi$  igual a uno y cero correspondientemente.

Se calcula la densidad de fisura ( $\varepsilon$ ) y el módulo de Poisson ( $\nu$ ) para los dos límites de saturación a través de la siguiente ecuación, utilizando el modelo numérico cuya condición es que determine una misma densidad de fisura para ambos grados de saturación y el módulo de Poisson se encuentre en el rango de 0 y 0.5.

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

Una vez obtenido el resultado del modelo se calcula el módulo dinámico del modelo (E) por medio de la siguiente expresión:

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

Posteriormente se determina los valores intermedios para xi entre uno y cero dependiendo de su contenido de humedad, se aproxima numéricamente mediante un Goal Seek a la fisura calculada para determinar el módulo de Poisson para cada caso y se calcula el módulo dinámico del modelo manteniendo la misma densidad de fisura. Para la representación gráfica se escogen los módulos dinámicos que se encuentren aproximadamente más cercanos a 0.1 de xi y se grafica el módulo dinámico medido y el del modelo versus la densidad de fisura.

#### ***2.3.7.2 Cuatro Datos Mojado y Seco, Antes y Después del Daño, Cilindros 150x300mm:***

A diferencia de los cilindros de 100x200mm, fue factible cotejar los resultados antes y después del daño en un solo modelo, para el cual cabe recalcar que existen cuatro límites, dos valores de xi correspondientes al mayor grado de saturación antes y después del daño y dos valores de xi para el menor grado de saturación antes y después del daño. Se escoge el valor de xi igual a 1 al módulo dinámico de mayor grado de saturación entre antes y después del daño y se asigna el valor de cero para el grado de saturación entre los dos restantes. Una vez asignado los límites de xi, se determinó el valor correspondiente de xi a los módulos dinámicos restantes cuyo valor se encontrarán entre uno y cero.

Estos cuatro límites son incluidos en el modelo con el objetivo de obtener dos densidades de fisura diferentes previo y posterior al daño y cuatro módulos de Poisson, posteriormente se calcula el módulo dinámico del modelo para cada caso.



Para determinar los valores intermedios se aproxima numéricamente mediante un Goal Seek a la fisura antes y después del daño dependiendo el caso y se determina el módulo de Poisson dependiendo de su grado de saturación.

De igual forma se escogen los módulos dinámicos que se encuentren aproximadamente más cercanos a 0.1 de  $\nu$  y se grafica el módulo dinámico medido y el del modelo versus la densidad de fisura.

## 2.4 Resultados.

### 2.4.1 Resultados en Estado Sano.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos producto de las mediciones realizadas en el laboratorio para las tres mezclas en estado antes del deterioro por carga para diferentes grados de saturación.

#### 2.4.1.1 Resultados en Estado Sano Mezcla 5.

Se realizaron ensayos para determinar la velocidad de pulso, velocidad de corte y módulo de elasticidad dinámico utilizando la norma ASTM para los cilindros de la mezcla M5. Los resultados se muestran en las Tablas N. 11 y 12, donde se expone la masa del cilindro y el contenido de humedad en cada día.

**Tabla N. 11.** Mezcla 5, Velocidad de Pulso, Velocidad de Corte y Módulo de Elasticidad Dinámico (ASTM C215), Antes del Daño, Cilindro 10 y 11.

Estado	Día	Cilindro 10					Cilindro 11				
		Masa (g)	C.H. (%)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Ed (GPa)	Masa (g)	C.H. (%)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Ed (GPa)
Semisaturado a Seco al Aire	1	3568.0	9.23%	3650	2459	20.4	3549.1	10.53%	3523	2492	18.9
	2	3503.0	7.24%	3632	2449	19.6	3480.7	8.40%	3502	2492	18.7

	3	3487.8	6.77%	3228	2247	20.2	3462.0	7.82%	3442	2267	18.1
	4	3473.6	6.34%	3636	2317	19.4	3443.0	7.23%	3516	2284	18.1
	5	3469.3	6.21%	3610	2217	19.9	3438.2	7.08%	3502	2244	18.5
	6	3462.9	6.01%	3523	2185	18.4	3431.9	6.88%	3533	2313	18.4
	7	3458.4	5.87%	3711	2161	18.7	3426.2	6.70%	3564	2236	19.2
	8	3454.0	5.74%	3544	2193	17.6	3421.8	6.56%	3633	2220	17.5
	9	3452.0	5.68%	3599	2275	18.8	3419.8	6.50%	3554	2244	18.8
<b>Seco al Aire a Seco en Horno</b>	2	3344.7	2.39%	3666	2222	15.7	3298.3	2.72%	3516	2250	14.1
	3	3330.5	1.96%	3699	2230	15.3	3282.8	2.24%	3554	2267	12.8
	4	3319.3	1.62%	3695	2214	16.0	3270.2	1.84%	3540	2258	14.1
	6	3298.9	0.99%	3688	2198	16.2	3247.1	1.12%	3498	2253	12.8
	7	3289.7	0.71%	3650	2222	16.0	3236.0	0.78%	3413	2304	13.6
	8	3279.9	0.41%	3599	2381	15.5	3225.5	0.45%	3347	2322	13.7
	9	3275.7	0.28%	3715	2158	16.3	3220.7	0.30%	3514	2204	12.7
	10	3266.5	0.00%	3565	2166	16.1	3211.0	0.00%	3452	2204	13.4

**Tabla N. 12.** Mezcla 5 Velocidad de Pulso, Velocidad Corte y Módulo de Elasticidad Dinámico (ASTM C215), Antes del Daño, Cilindro 12 y 13.

Estado	Día	Cilindro 12					Cilindro 13				
		Masa (g)	C.H. (%)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Ed (GPa)	Masa (g)	C.H. (%)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Ed (GPa)
<b>Semisaturado a Seco al Aire</b>	1	12215.8	7.16%	3702	2226	21.6	12209.2	7.17%	3690	2171	22.0
	2	12072.2	5.90%	3665	2162	20.9	12056.2	5.83%	3653	2176	21.6
	3	12023.5	5.47%	3658	2237	20.0	12010.6	5.43%	3631	2224	20.8
	4	11983.1	5.12%	3661	2271	21.3	11970.8	5.08%	3637	2252	21.8
	5	11969.7	5.00%	3672	2271	19.9	11957.2	4.96%	3654	2263	20.7
	6	11954.7	4.87%	3698	2305	20.8	11944.3	4.84%	3709	2275	20.9
	7	11942.1	4.76%	3689	2353	20.0	11932.2	4.74%	3715	2292	20.7
	8	11925.5	4.61%	3646	2299	21.2	11920.1	4.63%	3677	2275	20.8
	9	11924.6	4.60%	3672	2299	20.5	11908.4	4.53%	3628	2304	21.3
<b>Seco al Aire a Seco en Horno</b>	2	11645.5	2.16%	3695	2305	15.7	11639.4	2.17%	3669	2286	15.9
	3	11602.6	1.78%	3705	2329	15.1	11593.2	1.76%	3675	2280	15.8
	4	11573.3	1.52%	3745	2294	15.2	11562.4	1.49%	3716	2292	15.4
	6	11505.8	0.93%	3702	2327	14.2	11500.5	0.95%	3690	2280	15.5
	7	11475.4	0.66%	3733	2298	13.9	11467.5	0.66%	3687	2315	13.8
	8	11441.6	0.37%	3709	2258	13.3	11435.7	0.38%	3741	2298	14.0
	9	11429.5	0.26%	3877	2309	13.8	11424.0	0.28%	3825	2315	13.7
	10	11399.8	0.00%	3831	2263	14.4	11392.5	0.00%	3844	2269	15.0

### 2.4.1.2 Resultados en Estado Sano Mezcla 4.

Para la mezcla M4 se realizaron ensayos para determinar velocidad de pulso, velocidad de corte y módulo de elasticidad dinámico por medio de la norma ASTM. En las Tablas N.13 y N.14 se muestran los resultados obtenidos, además se muestra el peso y el contenido de humedad en el cual se encontraban los cilindros el día que se hicieron los ensayos.

**Tabla N. 13.** Mezcla 4, Velocidad de Pulso, Velocidad de Corte y Módulo de Elasticidad Dinámico (ASTM C215), Antes del Daño, Cilindro 10 y 11.

Estado	Día	Cilindro 10					Cilindro 11				
		Masa (g)	C.H. (%)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Ed (GPa)	Masa (g)	C.H. (%)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Ed (GPa)
Semisaturado a Seco al Aire	2	3554.0	8.21%	3617	2293	19.4	3522.3	7.99%	3621	2264	19.5
	3	3539.7	7.77%	3617	2209	18.8	3509.1	7.59%	3621	2182	19.2
	4	3529.2	7.45%	3583	2217	19.2	3500.3	7.32%	3625	2264	19.4
	5	3515.8	7.04%	3609	2209	19.0	3487.3	6.92%	3695	2214	19.4
	7	3510.6	6.88%	3635	2214	18.9	3482.3	6.77%	3676	2190	19.4
	8	3504.9	6.71%	3628	2174	18.7	3477.0	6.60%	3654	2182	19.0
	9	3495.5	6.42%	3783	2362	18.1	3468.3	6.34%	3793	2222	19.1
	10	3493.0	6.35%	3627	2217	18.6	3462.1	6.15%	3793	2222	19.1
Seco al Aire a Seco en Horno	1	3379.7	2.90%	3715	2177	17.0	3355.7	2.89%	3711	2174	16.1
	2	3354.2	2.12%	3722	2267	16.5	3334.7	2.24%	3715	2222	16.2
	3	3343.4	1.79%	3695	2116	16.5	3324.0	1.91%	3688	2138	15.7
	4	3325.8	1.26%	3673	2087	16.2	3303.1	1.27%	3692	2094	16.1
	5	3305.8	0.65%	3622	2010	16.1	3284.3	0.70%	3661	2058	16.6
	6	3297.2	0.39%	3646	1990	16.4	3273.9	0.38%	3706	2007	16.1
	7	3296.8	0.37%	3634	2010	16.1	3272.7	0.34%	3683	2048	15.7
	8	3290.3	0.18%	3575	2020	16.1	3268.5	0.21%	3676	2098	15.0
	9	3284.5	0.00%	3521	1993	16.5	3261.6	0.00%	3582	1948	15.4

**Tabla N. 14.** Mezcla 4, Velocidad de Pulso, Velocidad de Corte y Módulo de Elasticidad Dinámico (ASTM C215), Antes del Daño, Cilindro 12 y 13.

Estado	Día	Cilindro 12	Cilindro 13
--------	-----	-------------	-------------

		Masa (g)	C.H. (%)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Ed (GPa)	Masa (g)	C.H. (%)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Ed (GPa)
<b>Semisaturado a Seco al Aire</b>	2	12007.7	6.47%	3718	2323	19.8	12010.5	6.34%	3681	2294	19.3
	3	11971.0	6.14%	3718	2317	19.8	11975.5	6.03%	3681	2323	20.6
	4	11949.1	5.95%	3730	2294	20.2	11952.7	5.83%	3687	2329	19.9
	5	11913.5	5.63%	3733	2317	19.6	11917.5	5.52%	3713	2305	20.3
	7	11898.6	5.50%	3735	2339	19.6	11903.9	5.40%	3690	2347	19.3
	8	11883.9	5.37%	3744	2219	19.0	11890.3	5.28%	3707	2335	19.1
	9	11860.8	5.16%	3849	2280	19.8	11868.3	5.08%	3829	2254	20.2
	10	11852.2	5.09%	3849	2305	19.3	11852.2	4.94%	3829	2299	19.7
<b>Seco al Aire a Seco en Horno</b>	1	11580.6	2.68%	3820	2311	15.9	11591.7	2.63%	3779	2294	16.5
	2	11520.5	2.15%	3785	2384	15.8	11531.5	2.10%	3728	2366	15.2
	3	11485.7	1.84%	3780	2178	14.7	11498.8	1.81%	3740	2286	14.3
	4	11423.3	1.29%	3788	2243	13.9	11436.8	1.26%	3741	2269	12.8
	5	11361.0	0.73%	3756	2294	13.8	11373.8	0.70%	3725	2252	13.5
	6	11330.8	0.47%	3764	2083	13.7	11343.9	0.44%	3741	2088	13.4
	7	11326.1	0.42%	3760	2294	13.8	11338.3	0.39%	3733	2259	13.6
	8	11307.0	0.25%	3719	2454	11.6	11322.5	0.25%	3713	2276	12.0
	9	11278.3	0.00%	3767	2197	12.8	11294.3	0.00%	3719	2127	13.1

### 2.4.1.3 Resultados en Estado Sano Mezcla 3.

En las Tablas N. 15 y 16 se expone los resultados determinados de la velocidad de pulso, velocidad de corte y el módulo de elasticidad dinámico para los cilindros de la mezcla M3 por medio de la norma ASTM con forme varía el contenido de humedad.

**Tabla N. 15.** Mezcla 3, Velocidad de Pulso, Velocidad Corte y Módulo de Elasticidad Dinámico (ASTM C215), Antes del Daño, Cilindro 10 y 11.

Estado	Día	Cilindro 10					Cilindro 11				
		Masa (g)	C.H. (%)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Ed (GPa)	Masa (g)	C.H. (%)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Ed (GPa)
<b>Semisaturado a Seco al Aire</b>	1	3720.8	5.32%	4164	2393	28.7	3704.3	5.54%	4182	2353	28.5
	2	3700.0	4.74%	4161	2209	27.0	3683.0	4.93%	4188	2198	26.7
	3	3688.0	4.40%	4130	2267	27.1	3672.5	4.63%	4182	2275	26.9
	6	3674.0	4.00%	4167	2217	25.6	3656.5	4.18%	4188	2242	26.6

	7	3673.2	3.98%	4188	2233	26.0	3655.9	4.16%	4138	2206	24.5
	8	3671.0	3.92%	4167	2233	25.0	3654.0	4.11%	4182	2193	25.8
	9	3667.5	3.82%	4205	2222	25.8	3650.8	4.01%	4216	2214	26.1
<b>Seco al Aire a Seco al Horno</b>	1	3565.8	0.94%	4062	2331	24.5	3542.8	0.94%	4062	2304	24.1
	2	3557.2	0.69%	4067	2253	24.9	3534.5	0.70%	4062	2270	22.9
	3	3552.6	0.56%	4089	2236	24.0	3529.1	0.55%	4075	2242	23.5
	4	3549.8	0.49%	4021	2322	22.8	3526.2	0.46%	4023	2267	22.4
	5	3544.7	0.34%	4045	2340	23.3	3521.3	0.32%	4081	2304	23.2
	6	3541.8	0.26%	4075	2295	21.2	3519.4	0.27%	4089	2287	23.4
	7	3537.2	0.13%	4131	2278	23.9	3514.5	0.13%	4125	2293	22.1
	8	3532.7	0.00%	4089	2220	23.0	3509.9	0.00%	4089	2261	22.6

**Tabla N. 16.** Mezcla 3, Velocidad de Pulso, Velocidad de Corte y Módulo de Elasticidad Dinámico (ASTM C215), Antes del Daño, Cilindro 12 y 13.

Estado	Día	Cilindro 12					Cilindro 13				
		Masa (g)	C.H. (%)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Ed (GPa)	Masa (g)	C.H. (%)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Ed (GPa)
<b>Semisaturado a Seco al Aire</b>	1	12647.0	4.61%	4187	2341	28.5	12631.5	4.76%	4199	2329	28.2
	2	12605.0	4.26%	4187	2341	28.4	12588.8	4.40%	4199	2329	28.1
	3	12577.3	4.03%	4178	2288	26.6	12562.5	4.18%	4138	2305	26.1
	6	12542.3	3.74%	4166	2305	26.7	12523.8	3.86%	4187	2288	25.7
	7	12541.3	3.73%	4166	2263	26.1	12523.6	3.86%	4182	2246	25.6
	8	12535.5	3.69%	4149	2276	26.1	12517.2	3.81%	4164	2311	25.7
	9	12526.5	3.61%	4207	2271	26.6	12509.3	3.74%	4193	2271	26.8
<b>Seco al Aire a Seco al Horno</b>	1	12203.5	0.94%	4045	2322	22.2	12176.3	0.98%	4059	2309	21.3
	2	12175.8	0.71%	3954	2328	21.1	12147.3	0.74%	3789	2309	20.7
	3	12159.9	0.58%	4036	2402	20.4	12130.5	0.60%	4032	2297	19.7
	4	12149.3	0.49%	4036	2226	20.1	12119.5	0.51%	4050	2344	20.3
	5	12128.8	0.32%	4036	2338	18.8	12101.2	0.36%	4035	2286	16.8
	6	12121.6	0.26%	4081	2303	20.1	12093.6	0.30%	4068	2291	18.5
	7	12105.3	0.13%	4118	2322	19.9	12078.2	0.17%	4110	2327	18.1
	8	12089.8	0.00%	4085	2340	19.1	12058.0	0.00%	4052	2315	18.7

#### 2.4.2 Resultados en Estado Dañado Tras Fisuramiento por Carga.

Tras exponer los cilindros a 1/3 del tiempo de falla a 80 y 90% de la resistencia a la compresión del hormigón, se exponen los resultados diarios medidos en el laboratorio de las tres mezclas mencionadas a medida que disminuye el contenido de humedad en el transcurso de los estados de semisaturado a seco al horno.

#### 2.4.2.1 Resultados en Estado Dañado Mezcla M5.

Una vez expuesto los especímenes a deterioro se realizaron ensayos de velocidad de pulso y corte para la mezcla M5. Además, se obtuvo el módulo de elasticidad dinámico basado en la norma ASTM C215. Los resultados diarios obtenidos se exponen en las Tablas N. 17 y 18 para diferente contenido de humedad.

**Tabla N. 17.** Mezcla 5, Velocidad de Pulso, Velocidad de Corte y Módulo de Elasticidad Dinámico (ASTM C215), Después del Daño, Cilindro 9 y 12\*.

Estado	Día	Cilindro 9					Cilindro 12*				
		Masa (g)	C.H. (%)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Ed (GPa)	Masa (g)	C.H. (%)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Ed (GPa)
Semisaturado a Seco al Aire	1	3607.3	8.50%	3802	3125	16.5	3654.0	8.14%	3671	3388	18.0
	2	3571.8	7.43%	3759	3352	16.2	3619.3	7.11%	3972	3526	17.5
	3	3531.8	6.23%	3740	3093	15.8	3570.0	5.66%	3929	3614	17.9
	4	3520.5	5.89%	3719	2885	16.0	3555.8	5.23%	3909	2956	17.6
	5	3509.3	5.55%	4316	2970	16.1	3543.8	4.88%	3906	2818	17.0
	6	3492.8	5.05%	3719	2899	16.2	3532.0	4.53%	3876	2830	16.9
	8	3491.8	5.02%	3729	3000	16.0	3526.3	4.36%	3861	2941	16.6
	9	3488.8	4.93%	3709	2381	16.3	3523.8	4.29%	3871	2128	17.8
	10	3485.3	4.83%	3695	2679	15.9	3520.8	4.20%	3847	2317	17.8
	Seco al Aire a Seco al Horno	1	3372.8	1.45%	3711	2970	17.3	3420.8	1.24%	3817	2927
2		3356.4	0.95%	3666	3243	13.4	3406.7	0.82%	3829	3313	14.9
3		3349.0	0.73%	3695	3093	13.3	3399.9	0.62%	3822	3297	14.8
4		3345.9	0.64%	3683	3000	13.8	3392.5	0.40%	3821	3261	15.1
5		3339.5	0.45%	3676	2492	14.5	3388.3	0.28%	3817	2577	16.6
6		3332.2	0.23%	3639	2766	13.3	3385.5	0.20%	3771	3371	15.4
7		3327.5	0.08%	3617	2804	13.2	3381.3	0.07%	3781	3409	14.7
8		3324.7	0.00%	3589	2830	13.1	3378.9	0.00%	3769	3448	15.4

**Tabla N. 18.** Mezcla 5, Velocidad de Pulso y Velocidad de Corte, Módulo de Elasticidad Dinámico (ASTM C215), Después del Daño, Cilindro 12 y 13.

Estado	Día	Cilindro 12					Cilindro 13				
		Masa (g)	C.H. (%)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Ed (GPa)	Masa (g)	C.H. (%)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Ed (GPa)
Semisaturdo a Seco al Aire	1	12247.0	6.21%	3791	3103	17.0	12231.0	6.22%	3763	3261	17.5
	2	12106.8	5.00%	3755	3000	17.1	12084.0	4.94%	3753	2885	17.5
	3	12012.5	4.18%	3736	3114	17.7	11985.5	4.09%	3719	3237	17.6
	4	11962.8	3.75%	3708	3041	16.6	11941.0	3.70%	3669	3147	17.2
	6	11927.8	3.44%	3054	2267	17.1	11907.0	3.40%	3714	2250	17.6
	7	11920.3	3.38%	3394	2362	17.5	11901.3	3.35%	3696	2384	18.0
	8	11912.8	3.31%	3734	2466	17.8	11895.5	3.30%	3678	2535	17.5
	9	11906.3	3.26%	3690	2250	17.6	11887.5	3.23%	3739	2250	17.8
	Seco al Aire a Seco en Horno	1	11785.0	2.20%	3671	2419	17.1	11759.5	2.12%	3614	2419
2		11689.3	1.37%	3650	2233	14.7	11666.0	1.31%	3622	2158	14.4
3		11643.8	0.98%	3678	2086	14.2	11622.8	0.94%	3653	2086	13.7
4		11598.3	0.59%	3707	1957	13.7	11579.5	0.56%	3684	2018	13.0
5		11566.3	0.31%	3720	1552	12.6	11547.5	0.28%	3663	1907	12.0
6		11545.8	0.13%	3738	2356	12.8	11527.5	0.11%	3694	2296	12.0
7		11530.8	0.00%	3730	2400	12.8	11515.0	0.00%	3690	2308	11.9

#### 2.4.2.2 Mezcla M4 Después del Daño.

Tras exponer los cilindros al deterioro correspondiente a la mezcla M4, se midió la velocidad de pulso y se determinó la velocidad de corte y el módulo de elasticidad dinámico con el procedimiento planteado por la norma ASTM C215. Los resultados diarios se exponen en las Tablas N. 19 y 20.

**Tabla N. 19.** Mezcla 4, Velocidad de Pulso, Velocidad de Corte y Módulo de Elasticidad Dinámico (ASTM C215), Después del Daño, Cilindro 4 y 9.

Estado	Día	Cilindro 4	Cilindro 9
--------	-----	------------	------------

		Masa (g)	C.H. (%)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Ed (Gpa)	Masa (g)	C.H. (%)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Ed (Gpa)
<b>Semisaturado a Seco al Aire</b>	1	3639.8	5.42%	4007	3633	19.8	3628.3	5.75%	3969	3769	18.6
	2	3621.3	4.89%	3999	3466	20.1	3608.8	5.18%	3928	3633	18.1
	3	3601.0	4.30%	3967	3350	18.8	3591.5	4.67%	3936	3207	18.1
	4	3592.0	4.04%	3984	3311	20.6	3583.0	4.43%	3889	3093	16.6
	5	3583.0	3.78%	3939	3174	19.3	3574.0	4.16%	3880	3190	17.3
	6	3575.5	3.56%	3920	3156	18.8	3565.2	3.91%	3885	3077	16.9
	8	3570.8	3.43%	3966	2942	18.8	3560.8	3.78%	3883	2927	16.2
	9	3568.8	3.37%	3967	2233	18.3	3559.0	3.73%	3834	2138	16.2
	10	3567.0	3.32%	3970	2645	18.0	3557.0	3.67%	3931	2668	16.7
	<b>Seco a Seco en Horno</b>	1	3502.0	1.43%	3873	3699	19.9	3486.8	1.62%	3831	3045
2		3489.1	1.06%	3834	3242	15.6	3470.9	1.16%	3650	3446	16.7
3		3479.5	0.78%	3898	3769	15.3	3461.4	0.88%	3841	3350	15.2
4		3470.6	0.52%	3886	3885	16.5	3453.3	0.65%	3836	3226	14.3
5		3465.8	0.38%	3866	3506	16.9	3445.8	0.43%	3831	2985	15.2
6		3461.1	0.25%	3838	4268	11.1	3441.6	0.31%	3826	3750	13.8
7		3458.5	0.17%	3854	3935	17.5	3435.3	0.12%	3824	3313	13.9
8		3452.5	0.00%	3873	3426	17.0	3431.1	0.00%	3800	3174	15.2

**Tabla N. 20.** Mezcla 4, Velocidad de Pulso y Velocidad de Corte, Módulo de Elasticidad Dinámico (ASTM C215), Después del Daño, Cilindro 12 y 13.

Estado	Día	Cilindro 12					Cilindro 13				
		Masa (g)	C.H. (%)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Ed (GPa)	Masa (g)	C.H. (%)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Ed (GPa)
<b>Semisaturado a Seco al Aire</b>	1	12129.0	6.07%	3836	2941	16.5	12129.3	6.02%	3836	2941	16.9
	2	12016.5	5.09%	3814	2922	16.0	12007.8	4.96%	3796	2830	15.5
	3	11942.0	4.43%	3796	3158	14.8	11943.0	4.39%	3756	3249	16.4
	4	11917.3	4.22%	3761	3072	15.8	11918.0	4.18%	3727	2922	16.2
	6	11895.5	4.03%	3742	2344	15.8	11896.3	3.99%	3752	2256	16.2
	7	11890.0	3.98%	3771	2236	16.0	11890.6	3.94%	3769	2387	16.1
	8	11884.5	3.93%	3799	2138	16.2	11885.0	3.89%	3786	2535	18.5
	9	11879.3	3.89%	3799	2290	15.4	11880.0	3.84%	3759	2394	15.7
<b>Seco a Seco al Horno</b>	1	11753.0	2.78%	3705	2521	13.7	11753.0	2.73%	3705	2521	13.7
	2	11648.5	1.87%	3751	2273	12.6	11646.0	1.80%	3707	2190	13.1
	3	11598.4	1.43%	3747	2088	11.6	11600.0	1.40%	3721	2145	11.9
	4	11548.3	0.99%	3742	1931	10.7	11554.0	0.99%	3734	2103	10.7
	5	11514.8	0.70%	3896	1915	10.7	11520.0	0.70%	3747	2143	10.7



	6	11470.0	0.31%	3780	2278	10.5	11475.3	0.31%	3763	2250	9.9
	7	11435.0	0.00%	3740	2308	10.5	11440.3	0.00%	3740	2256	9.8

### 2.4.2.3 Mezcla M3 Después del Daño.

Los resultados obtenidos tras las mediciones diarias de velocidad de pulso, velocidad de corte y módulo de elasticidad dinámico para la mezcla M3 se muestra en la Tabla N.21 y 22, conforme varía el contenido de humedad, utilizando la norma ASTM C215.

**Tabla N. 21.** Mezcla 3, Velocidad de Pulso, Velocidad de Corte y Módulo de Elasticidad Dinámico (ASTM C215), Después del Daño, Cilindro 9 y 3.

Estado	Día	Cilindro 9					Cilindro 3				
		Masa (g)	C.H. (%)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Ed (GPa)	Masa (g)	C.H. (%)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Ed (GPa)
Semisaturado a Seco al Aire	1	3724.8	3.12%	4385	4095	29.3	3717.3	3.15%	4382	4434	27.6
	2	3704.8	2.57%	4369	4848	27.7	3702.0	2.73%	4351	4467	26.9
	3	3697.8	2.38%	4366	3741	24.5	3689.3	2.37%	4351	3466	25.2
	4	3694.3	2.28%	4338	4130	24.4	3685.9	2.28%	4301	3259	24.1
	5	3688.5	2.12%	4313	3745	24.2	3680.3	2.12%	3741	3141	24.8
	6	3685.2	2.03%	4334	3313	24.4	3677.3	2.04%	4310	3350	24.6
	8	3682.8	1.96%	4357	2913	24.9	3675.5	1.99%	4292	3277	23.5
	9	3682.3	1.95%	4301	2295	23.6	3674.3	1.96%	4286	2492	25.1
	10	3681.5	1.93%	4392	2942	22.7	3672.5	1.91%	4351	2645	24.8
	Seco a Seco al Aire a Seco al Horno	1	3646.3	0.95%	4211	4122	26.3	3637.5	0.94%	4210	4338
2		3636.4	0.68%	3809	3503	23.8	3627.1	0.65%	4102	3124	23.4
3		3630.7	0.52%	4211	4040	22.1	3621.5	0.49%	4162	3699	22.2
4		3626.5	0.40%	4226	4188	21.2	3617.7	0.39%	4162	3865	22.6
5		3625.4	0.37%	4253	4246	22.3	3612.5	0.24%	4162	4020	23.1
6		3618.5	0.18%	4188	4307	22.1	3611.0	0.20%	4139	4711	22.1
7		3615.8	0.11%	4203	4591	21.9	3606.6	0.08%	4167	4638	22.5
8		3611.9	0.00%	4203	4662	20.4	3603.7	0.00%	4182	4748	23.1

**Tabla N. 22.** Mezcla 3, Velocidad de Pulso, Velocidad de Corte y Módulo de Elasticidad Dinámico, Después del Daño, Cilindro 12 y 13

Estado	Día	Cilindro 12					Cilindro 13				
		Masa (g)	C.H. (%)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Ed (GPa)	Masa (g)	C.H. (%)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Ed (GPa)
Semisaturado a Seco al Aire	1	12615.5	3.02%	4188	3982	24.3	12599.0	2.99%	4200	3892	23.9
	2	12545.0	2.44%	4161	3082	22.0	12527.0	2.40%	4163	2913	21.6
	3	12529.0	2.31%	4184	3030	21.8	12508.0	2.24%	4180	3092	20.9
	4	12521.0	2.25%	4299	3114	22.7	12500.3	2.18%	4153	3237	21.2
	6	12512.5	2.18%	4145	2419	22.1	12493.5	2.13%	4153	2376	22.1
	7	12510.0	2.16%	4152	2387	22.0	12491.3	2.11%	4164	2392	21.6
	8	12507.5	2.14%	4159	2356	21.9	12488.3	2.08%	4174	2408	21.1
	9	12506.3	2.13%	4180	2400	21.4	12485.3	2.06%	4165	2345	21.6
	Seco al Aire a Seco al Horno	1	12418.8	1.41%	4097	2500	19.6	12393.3	1.31%	4117	2421
2		12353.8	0.88%	4083	2479	17.9	12329.0	0.78%	4125	2447	17.0
3		12323.5	0.63%	4090	2305	19.6	12298.5	0.53%	4117	2255	18.1
4		12293.5	0.39%	4097	2153	15.9	12269.8	0.30%	4110	2090	15.5
5		12272.8	0.22%	4104	2153	15.9	12249.0	0.13%	4112	2280	17.1
6		12244.5	0.09%	4112	2150	15.5	12244.5	0.09%	4108	2275	16.3
7		12235.5	0.00%	4102	2150	15.2	12233.5	0.00%	4100	2270	15.8

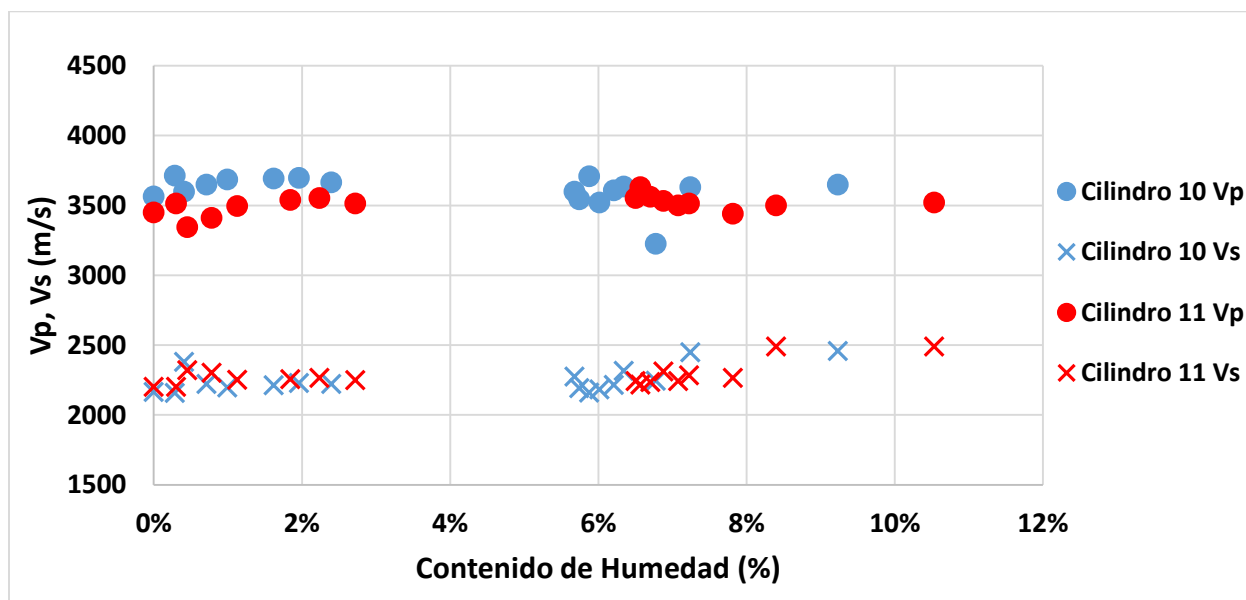
## 2.5 Análisis de Resultados.

### 2.5.1 Relación de Velocidades de Ondas de Esfuerzo versus Contenido de Humedad.

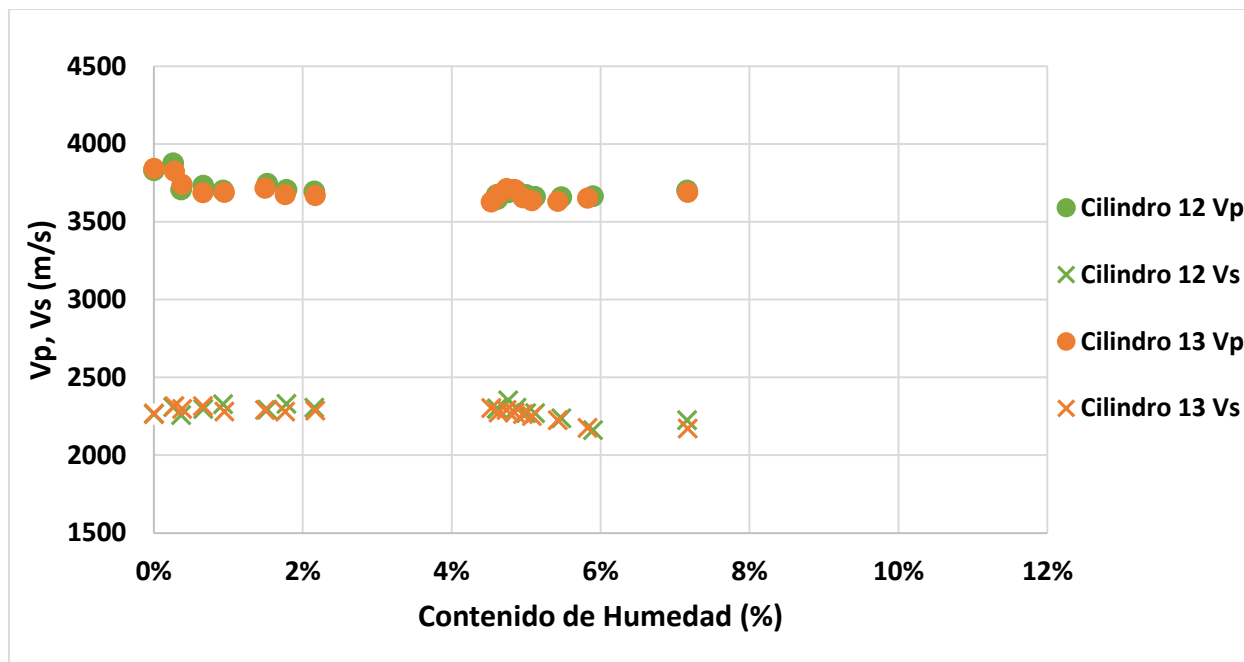
Tras realizar las mediciones diarias de velocidad de pulso y corte para las mezclas M5, M4 y M3, se representa gráficamente el comportamiento de las ondas de esfuerzo en relación a la variación en el contenido de humedad antes y después del deterioro por carga, como se muestra en la Figura 15-26.

#### 2.5.1.1. $V_p$ , $V_s$ versus C.H. en Estado Sano.

En la Figura 17 y 18 correspondiente al comportamiento de la velocidad de pulso y corte con respecto al contenido de humedad de la mezcla M5 para los cilindros de 100x200mm y de 150x300mm respectivamente antes del daño, se observa que la velocidad de pulso se encuentra por encima de la velocidad de corte en todo momento. La velocidad de pulso está en el rango de 3500 y 4000 metros por segundo, mientras que la velocidad de corte está entre 2000 y 2500 metros por segundo en ambos casos. Con respecto al contenido de humedad para la mezcla M5 el cual es un hormigón convencional, se observa que es mayor en los cilindros de 100x200mm alcanzando una humedad entre 9.2% y 10.5% mientras que en los especímenes de 150x300mm alcanzaron un 7.2%. Por otro lado, es evidente que existe una discontinuidad en las curvas tanto para la mezcla M5 como para la mezcla M4 y M3, producto de que por tema de disponibilidad de cilindros se realizó primero el procedimiento de secado al aire a seco al horno y posteriormente se saturó para determinar la otra parte de la curva.

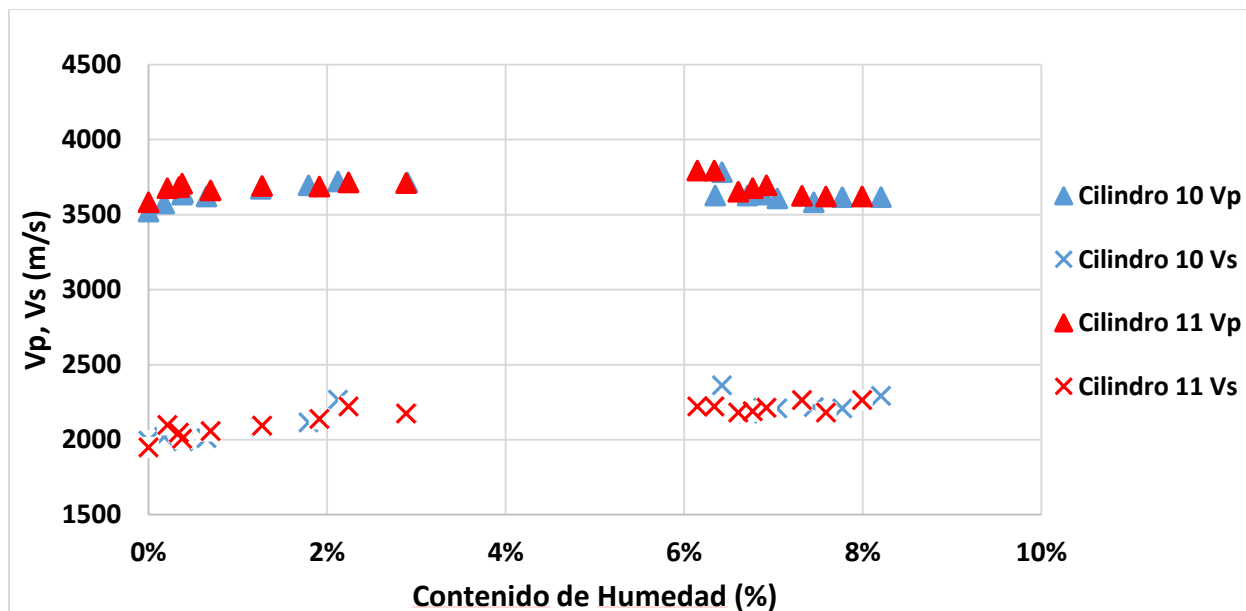


*Figura 17: Gráfica de Vp, Vs vs. C.H., Cilindro 10 y 11, M5, A.D.*

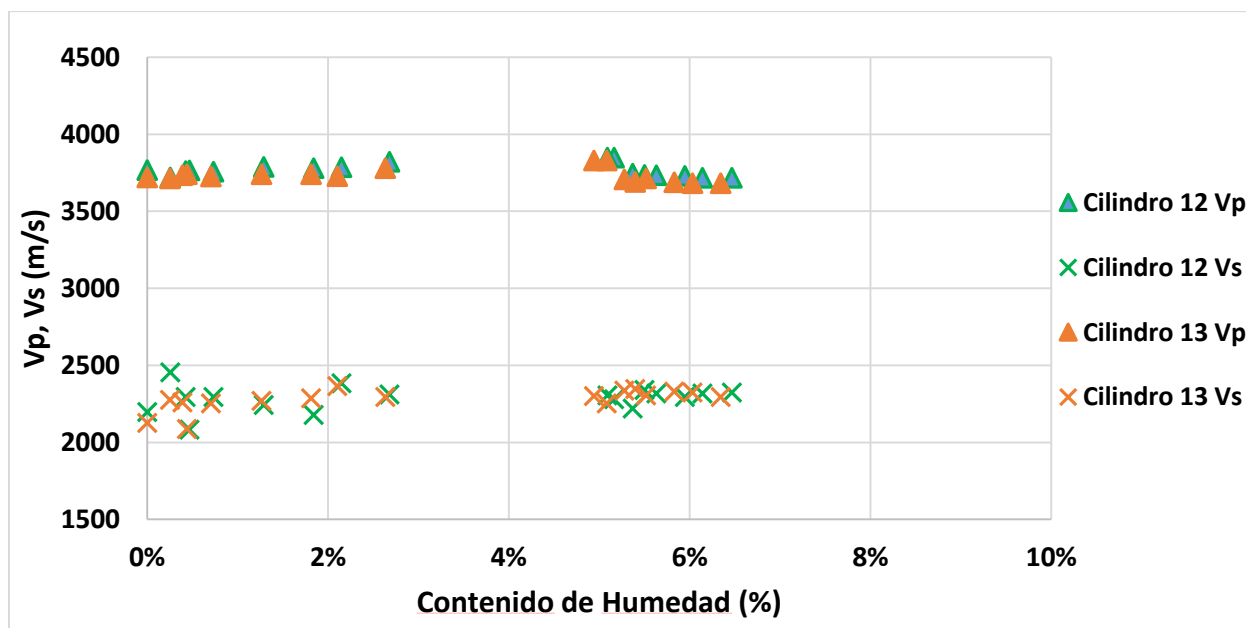


*Figura 18: Gráfica de Vp, Vs vs. C.H., Cilindro 12 y 13, M5. A.D.*

La Figura 19 y 20 presenta el comportamiento de las ondas de esfuerzo a medida que varía el contenido de humedad para la mezcla M4, donde se evidencia que al igual que la mezcla M5, el rango de la velocidad de pulso se encuentra entre 3500 y 4000 metros por segundo. Con respecto a la velocidad de corte, se observa que está por debajo de la velocidad de pulso y en el mismo rango que la mezcla M5, es decir entre 2000 y 2500 metros por segundo. El contenido de humedad para los cilindros de 100x200mm fue de 8%, cuyo porcentaje es menor al porcentaje alcanzado de los cilindros de la mezcla M5. De la misma forma, los cilindros de 150x300mm llegaron a un contenido de humedad de 6.4% menor al 7.2% alcanzado en la mezcla M5.



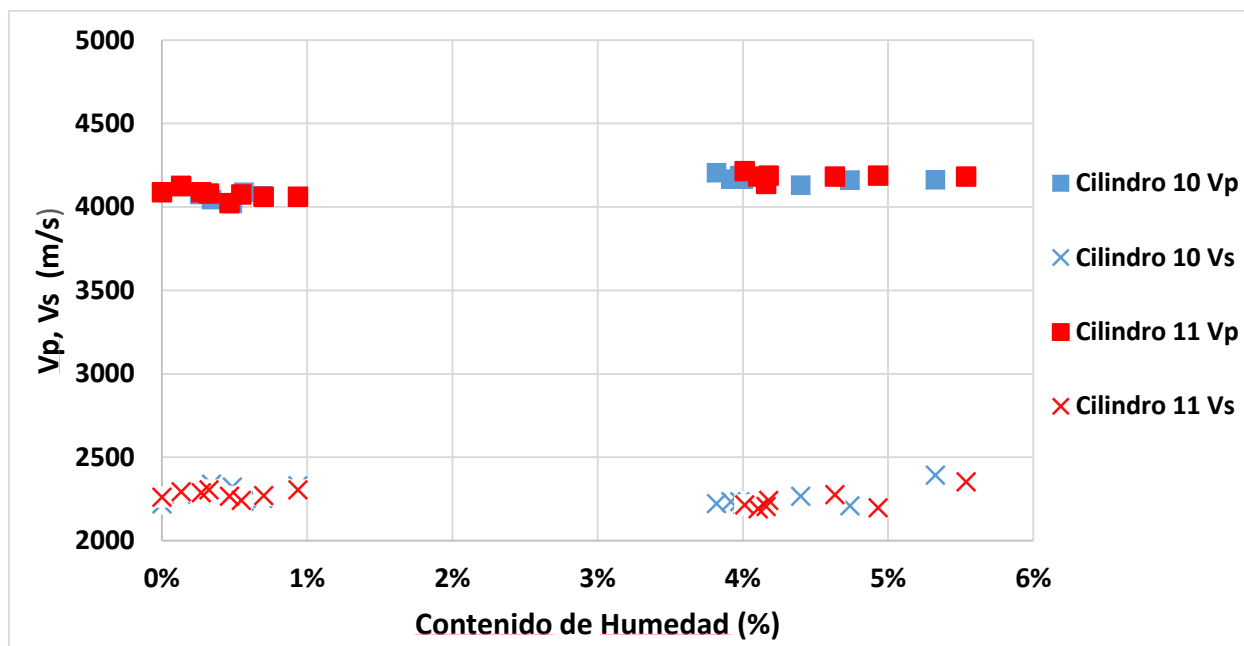
*Figura 19: Gráfica de  $V_p$ ,  $V_s$  vs. C.H., Cilindro 10 y 11, M4. A.D.*



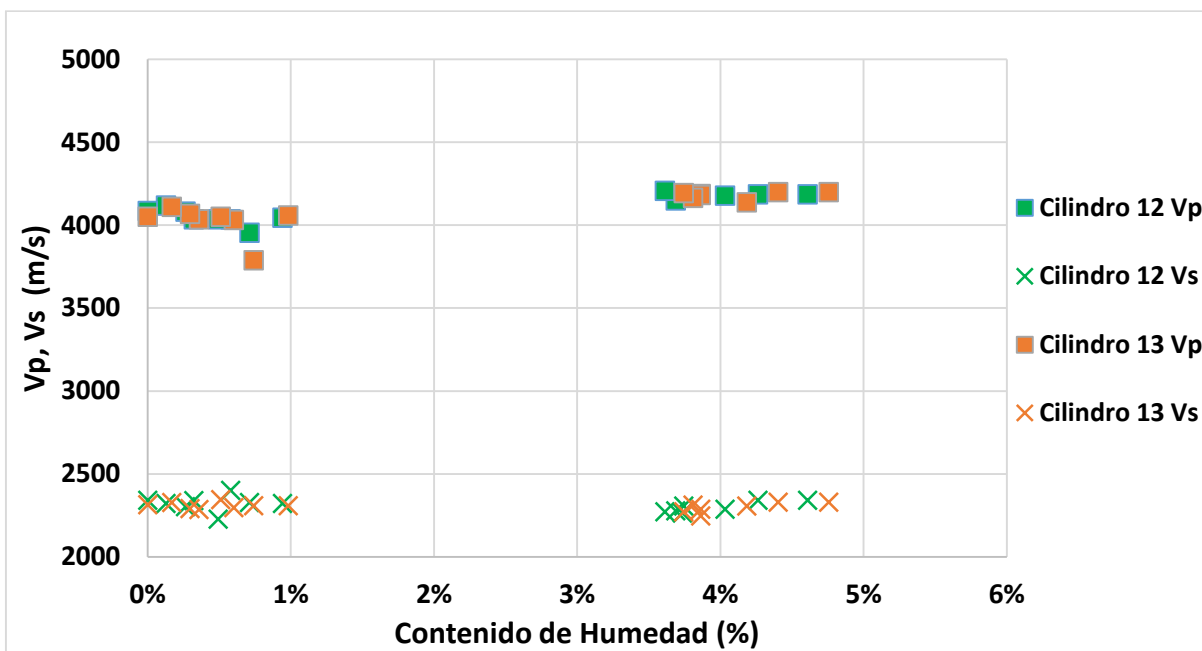
*Figura 20: Gráfica de  $V_p$ ,  $V_s$  vs. C.H., Cilindro 12 y 13, M4. A.D.*

En la mezcla M3 de relación agua cemento perteneciente a un hormigón de alta resistencia, se observa que la velocidad de corte se mantiene por debajo de la velocidad de pulso, cuyo rango

se asemeja a la mezcla M4 y M5 entre 2000 y 2500 metros por segundo. Por otro lado, se evidencia un aumento en la velocidad de pulso en comparación a la mezcla M5 y M4 alcanzando una velocidad entre 4000 y 4500 metros por segundo en ambos casos. La mezcla M3 tuvo como máximo contenido de humedad un porcentaje de 5.5% para los especímenes de 100x200mm, mientras que para los cilindros de mayor dimensión el porcentaje máximo fue de 4.8% como se muestra en la Figura 21 y 22.



*Figura 21: Gráfica de Vp, Vs vs. C.H., Cilindro 10 y 11, M3. A.D.*



*Figura 22: Gráfica de Vp, Vs vs. C.H., Cilindro 12 y 13, M3. A.D.*

### **2.5.1.2. Vp, Vs versus C.H. en Estado Dañado.**

Una vez deteriorado por carga los especímenes de las tres mezclas, se analizan los resultados obtenidos de las ondas de esfuerzo a medida que varía el contenido de humedad. En la Figura 23-26, se observa que la velocidad de pulso de la mezcla M5 y M4 se mantienen en el mismo rango en comparación a los resultados obtenidos antes del daño para ambas mezclas. Con respecto a la velocidad de corte, los resultados expuestos denotan que existe una gran dispersión para los 8 cilindros e incluso llegan a igualar o superar la velocidad de pulso por lo que no es confiable. En cuanto al contenido de humedad, los cilindros de 100x200mm alcanzaron un contenido de humedad de 8.3% en promedio, mientras que para los cilindros de 150x300mm llegaron a 6.2% para la mezcla M5. En cuanto a la mezcla M4, el contenido de humedad fue de 5.6% y de 6% para los cilindros pequeños y grandes respectivamente.

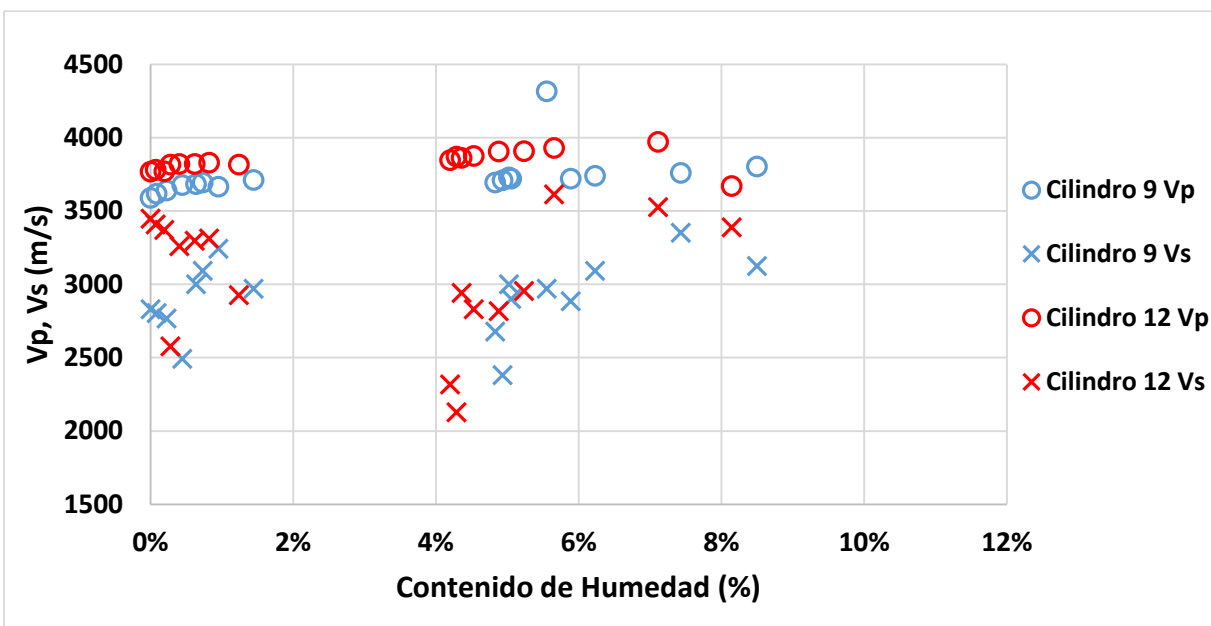


Figura 23: Gráfica de Vp, Vs vs. C.H., Cilindro 9 y 12\*, M5. D.D.

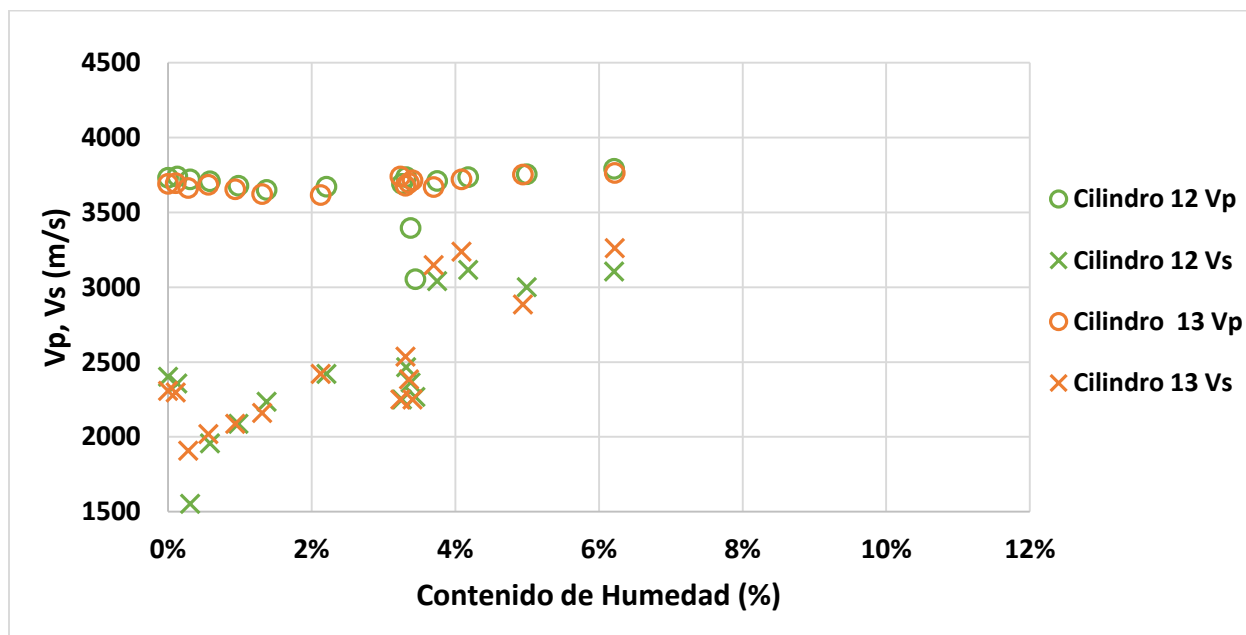
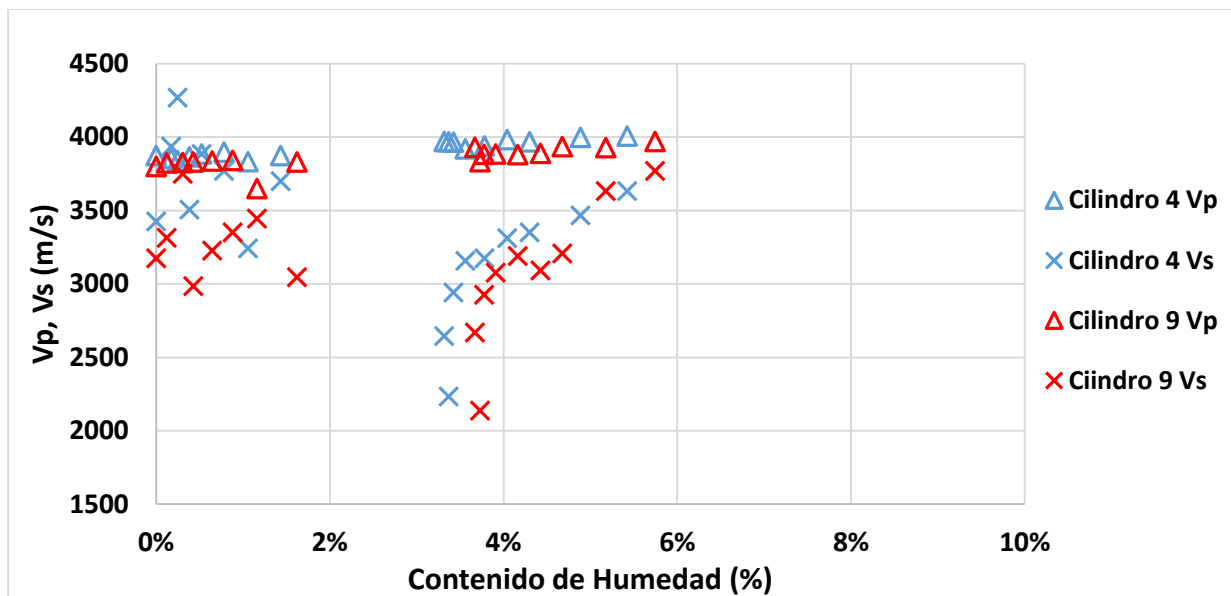
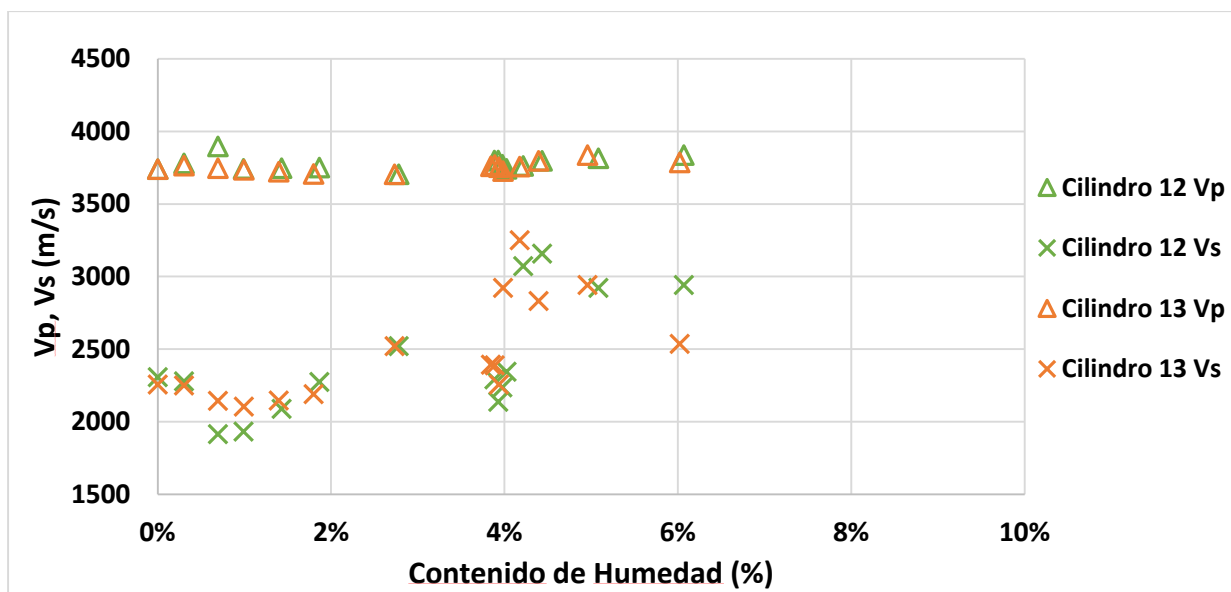


Figura 24: Gráfica de Vp, Vs vs. C.H., Cilindro 12 y 13, M5. D.D.





*Figura 25: Gráfica de  $V_p, V_s$  vs. C.H., Cilindro 4 y 9, M4. D.D.*



*Figura 26: Gráfica de  $V_p, V_s$  vs. C.H., Cilindro 12 y 13, M4. D.D.*

En la Figura 27 y 28 se expone el comportamiento de la velocidad de pulso y corte para la mezcla M3 de alta resistencia después del daño, se aprecia que la velocidad de pulso se mantiene entre 4000 y 4500 metros por segundo para los 4 cilindros en relación a la misma mezcla antes del

daño. Sin embargo, al igual que las mezclas M5 y M4 después del daño, el comportamiento de la velocidad de corte no es confiable debido a su variabilidad. 3.2% y 3.1% fue el porcentaje de contenido de humedad para los cilindros pequeños y grandes respectivamente.

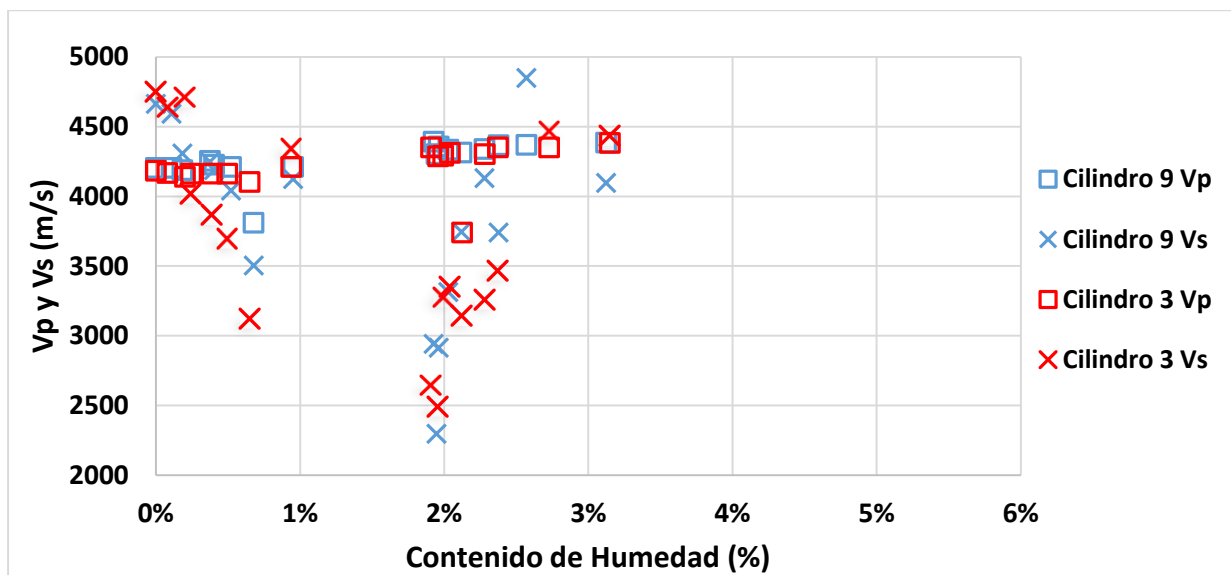


Figura 27: Gráfica de  $V_p$ ,  $V_s$  vs. C.H., Cilindro 9 y 3, M3. D.D.

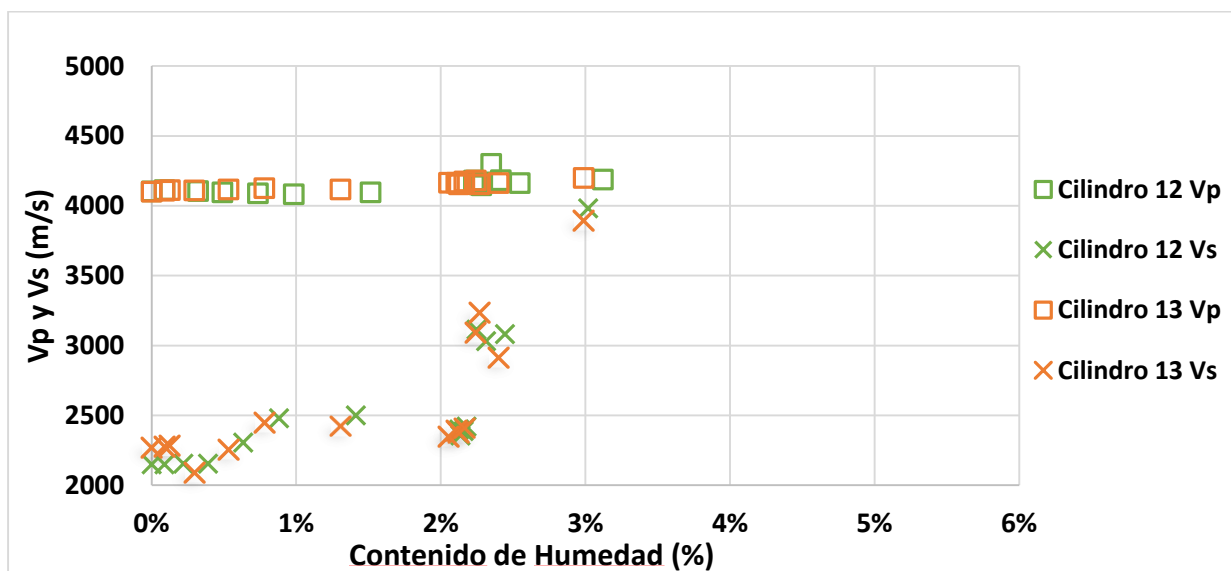


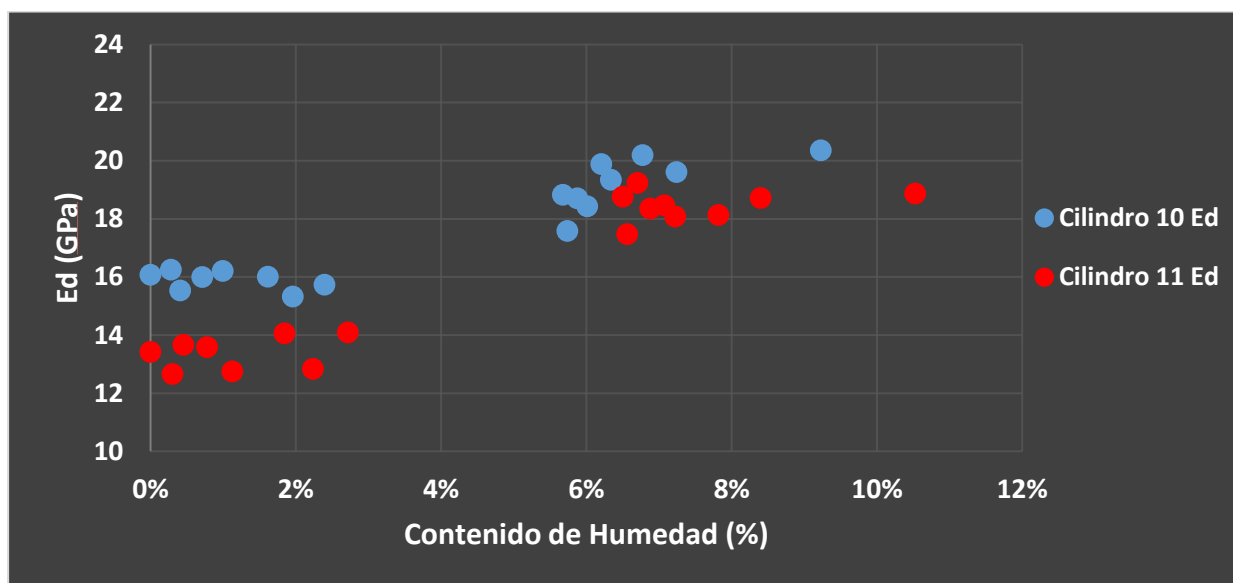
Figura 28: Gráfica de  $V_p$ ,  $V_s$  vs. C.H., Cilindro 12 y 13, M3. D.D.

## 2.5.2 Relación de Módulo de Elasticidad Dinámico ASTM C215 versus Contenido de Humedad.

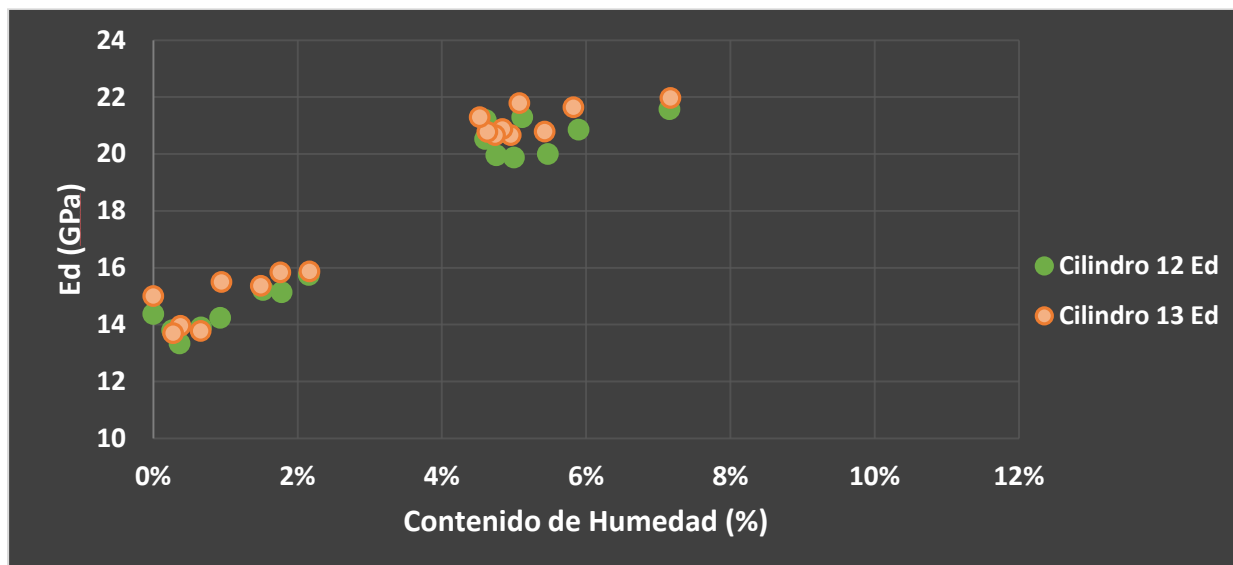
En base a la norma ASTM C215 se determinó el módulo de elasticidad dinámico antes y después del deterioro por carga para M5, M4 y M3, además se examinó el comportamiento en relación a los diferentes grados de saturación. Los cilindros de dimensiones 100x200mm no son los mismos antes que después del daño, sin embargo, los cilindros de 150x300mm si lo son.

### 2.5.2.1. Módulo de Elasticidad Dinámico (ASTM C215) versus C.H. en Estado Sano.

La Figura 29-32 denota que la tendencia del módulo de elasticidad dinámico crece a medida que aumenta el contenido de humedad en las tres mezclas antes del daño. La Figura 27 y 28 correspondiente a la mezcla M5 para los cilindros de 100x200mm, expone que el módulo dinámico aumenta de 14.8 GPa a 19.7 GPa, mientras que para los cilindros de 150x300mm asciende de 14.7 GPa a 21.8 GPa.

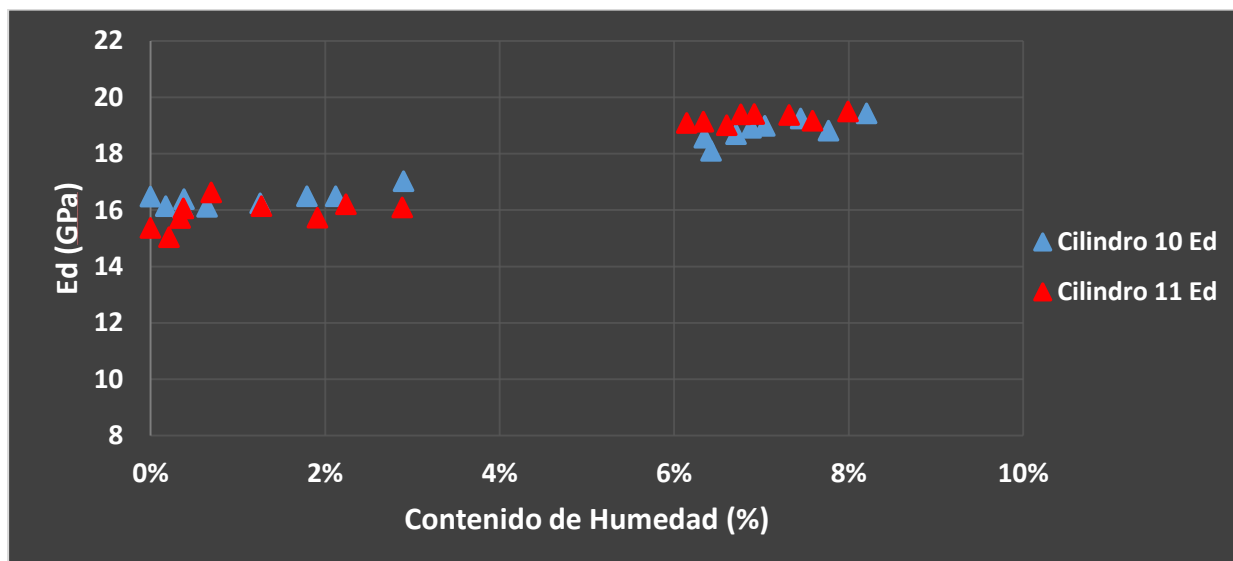


**Figura 29:** Gráfica de Ed (ASTM C215) vs. C.H., Cilindro 10 y 11, M5. A.D.

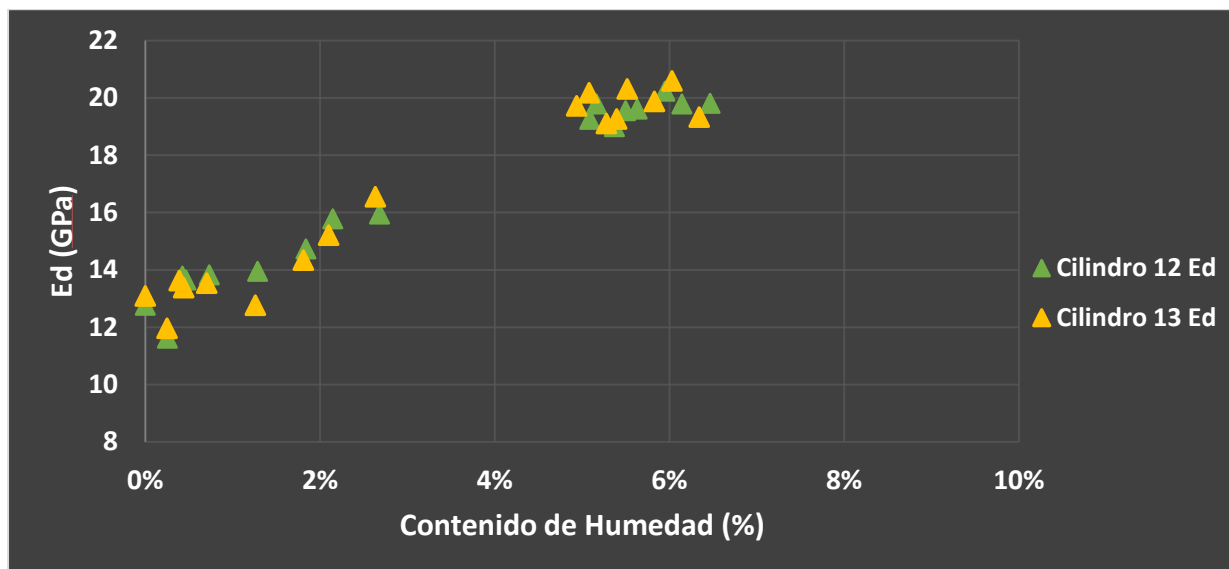


**Figura 30:** Gráfica de Ed (ASTM C215) vs. C.H., Cilindro 12 y 13, M5. A.D.

La mezcla M4 con relación agua cemento para un hormigón comercial, muestra que el módulo de elasticidad dinámico incrementa de 15.6 GPa a 19.5 GPa a un contenido de humedad máximo de 8.1% para los cilindros de menor dimensión (Figura 31). De la misma manera, para los cilindros grandes, existe un aumento del módulo dinámico de 13.1 GPa a 19.6 GPa en promedio, con un contenido de humedad máximo de 6.4% como se evidencia en la Figura 32.

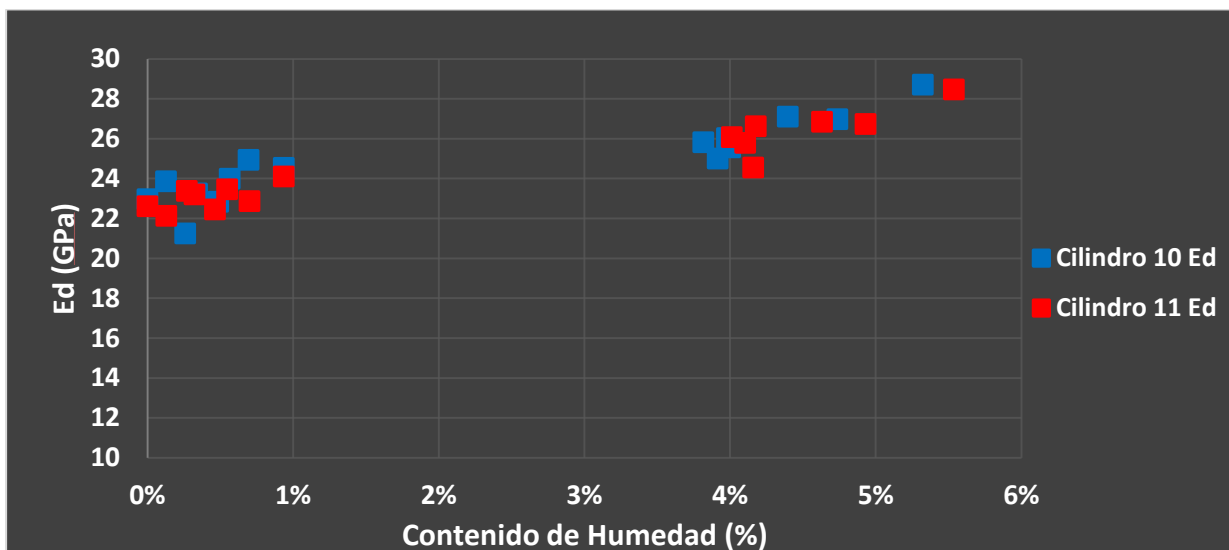


**Figura 31:** Gráfica de  $E_d$  (ASTM C215) vs. C.H., Cilindro 10 y 11, M4. A.D.

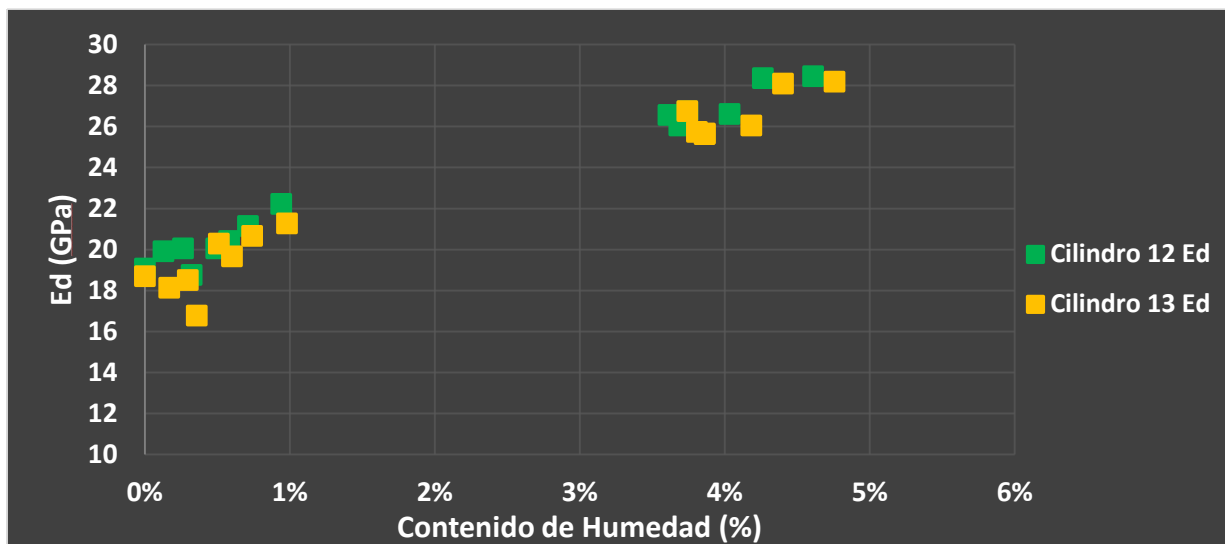


**Figura 32:** Gráfica de  $E_d$  (ASTM C215) vs. C.H., Cilindro 12 y 13, M4. A.D.

En la Figura 33 y 34 se divisa que el módulo dinámico determinado por la norma ASTM C215 crece de 22.8 GPa a 28.6 GPa y de 18.9 a 28.4 GPa para los cilindros pequeños y grandes respectivamente para la mezcla M3 de alta resistencia.



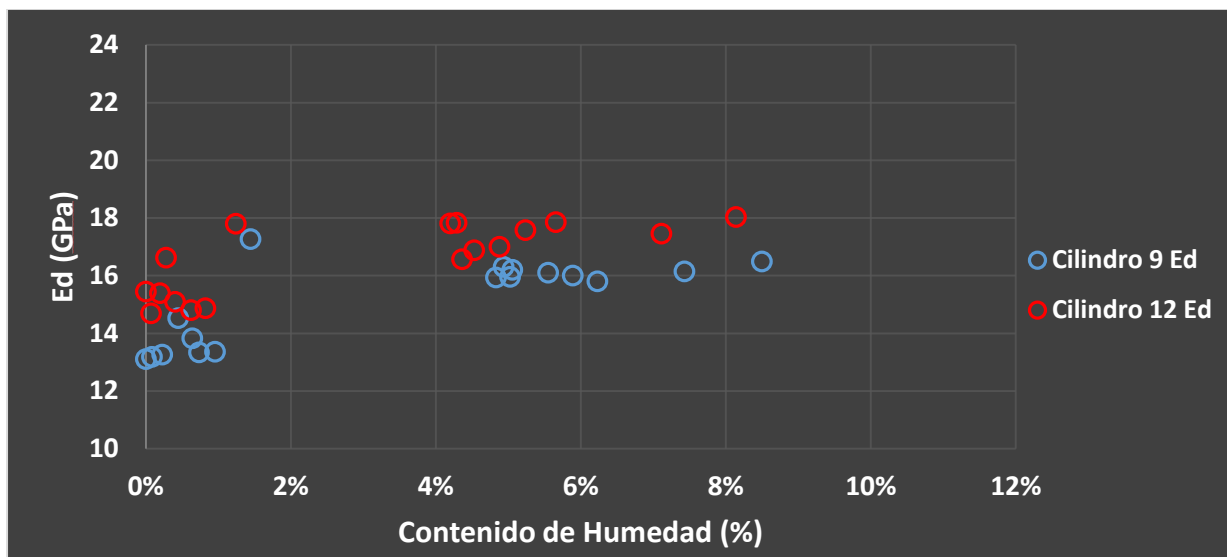
**Figura 33:** Gráfica de  $E_d$  (ASTM C215) vs. C.H., Cilindro 10 y 11, M3. A.D.



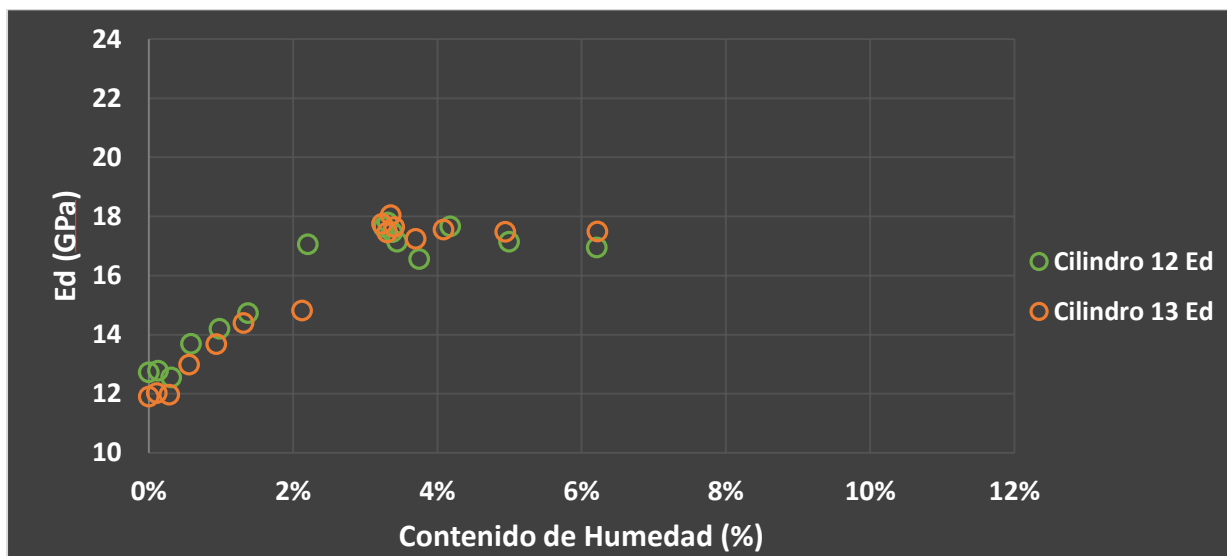
**Figura 34:** Gráfica de Ed (ASTM C215) vs. C.H., Cilindro 12 y 13, M3. A.D.

### 2.5.2.1. Módulo de Elasticidad Dinámico (ASTM C215) versus C.H. en Estado Dañado.

Después de exponer los especímenes al deterioro, se observa que el módulo dinámico aumenta de igual manera a medida que incrementa el contenido de humedad, como se evidencia en la Figura 35-40. Para los cilindros 9 y 12\*, se muestra que el módulo crece de 14.0 GPa a 17.0 GPa en promedio, como se expone en la Figura 35. Comparando el módulo dinámico antes y después del daño (Figura 36) para los cilindros grandes de la mezcla M5, se determina que existe una disminución de 14.7 GPa a 12.3 GPa cuando el porcentaje de contenido de humedad es de 0.0%, a medida incrementa al contenido de humedad el módulo dinámico aumenta, sin embargo, existe una disminución de 21.8 GPa (antes del daño) a 17.3 GPa (después del daño).



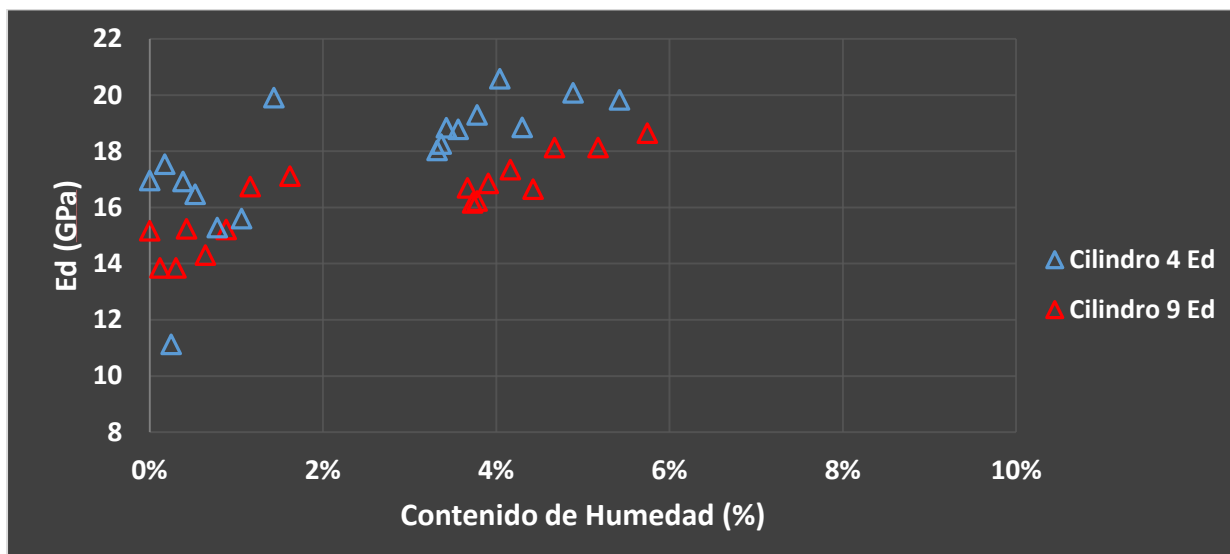
**Figura 35:** Gráfica de  $E_d$  (ASTM C215) vs. C.H., Cilindro 9 y 12\*, M5. D.D.



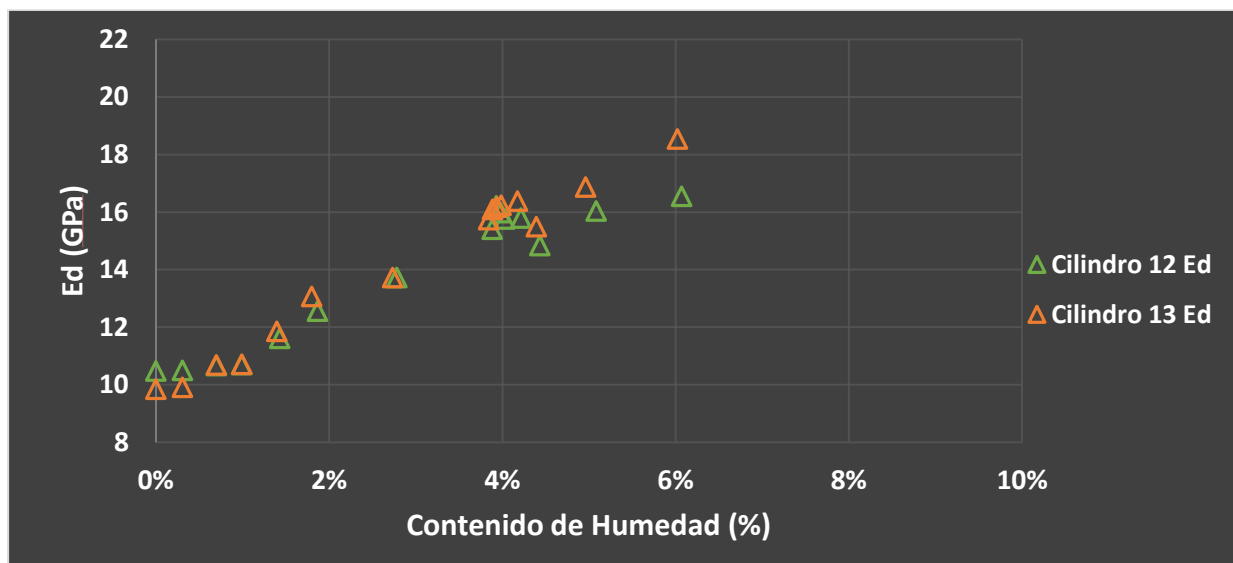
**Figura 36:** Gráfica de  $E_d$  (ASTM C215) vs. C.H., Cilindro 12 y 13, M5. D.D.

En la Figura 37 se divisa que el módulo dinámico para los cilindros 4 y 9 aumenta de 16.1 a 19.2 GPa para la mezcla M4 después de exponer los especímenes al deterioro, con un contenido de humedad máximo de 5.6%. Por otro lado, al relacionar el comportamiento de los especímenes

grandes antes y después del daño, se determina que al igual que la mezcla M5, existe una disminución en el módulo dinámico para el contenido de humedad de 0.0%, donde el valor del módulo en estado sano es de 13.1 GPa y 10.2 GPa para el estado después del deterioro. Al aumentar el nivel de saturación en los especímenes, se evidencia que existe una reducción desde 19.6 GPa (previo al daño) a 17.5 GPa (posterior al daño) como se muestra en la Figura 38.



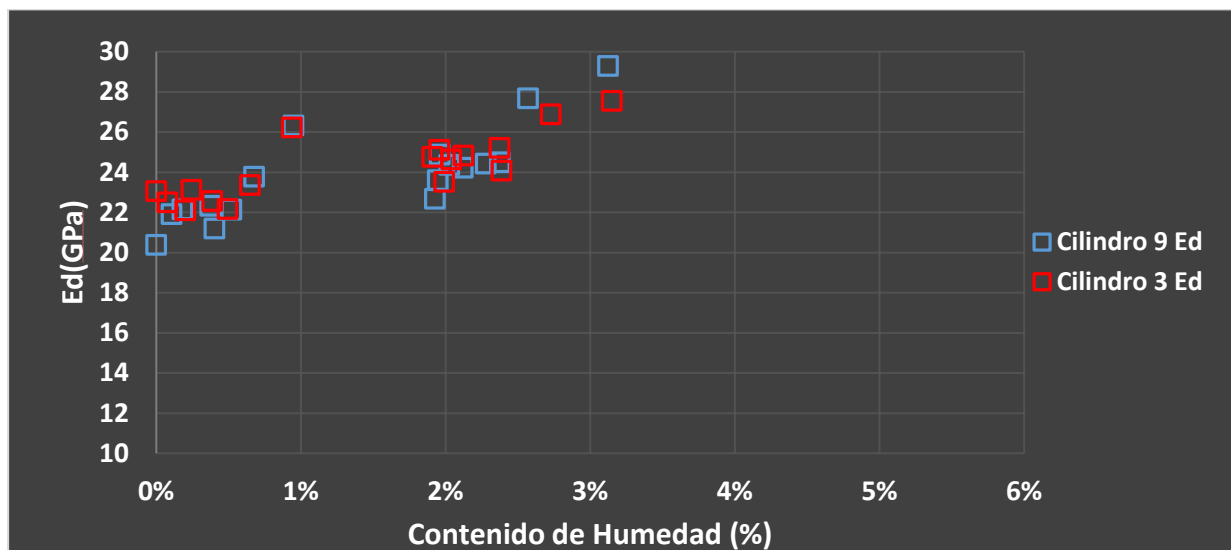
**Figura 37:** Gráfica de Ed (ASTM C215) vs. C.H., Cilindro 4 y 9, M4. D.D.



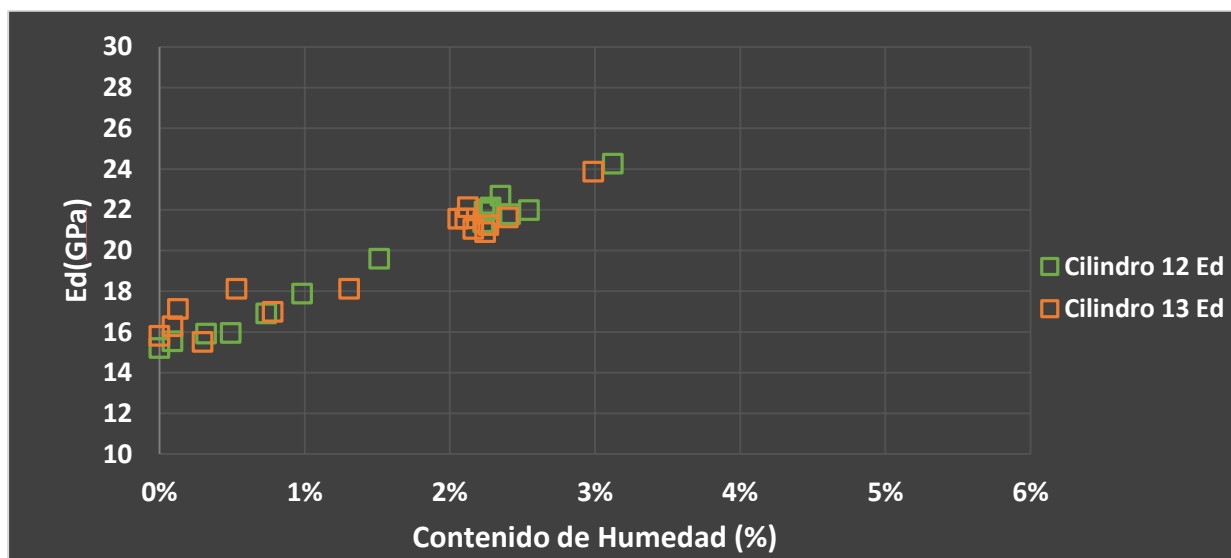
**Figura 38:** Gráfica de Ed (ASTM C215) vs. C.H., Cilindro 12 y 13, M4. D.D.



Con respecto a M3 se visualiza el módulo dinámico después del daño para los cilindros 9 y 3. Se expone en la Figura 39 que el módulo dinámico incrementa de 21.8 GPa a 28.5 GPa en promedio. Relacionando la Figura 32 con la Figura 40, se observa que hay un decrecimiento de 19.2 (previo al daño) a 15.5 GPa (después del daño) y de 28.4 GPa a 24.1 GPa a su nivel máximo alcanzado de saturación.



**Figura 39:** Gráfica de Ed (ASTM C215) vs. C.H., Cilindro 9 y 3, M3. D.D.



**Figura 40:** Gráfica de  $E_d$  (ASTM C215) vs. C.H., Cilindro 12 y 13, M3. D.D.

### 2.5.3. Determinación del Módulo de Elasticidad Dinámico ( $E_d^*$ ) en Base a $V_p$ y $V_s$ .

En base a la velocidad de pulso, la velocidad de corte y la densidad del hormigón se calcula directamente el módulo de elasticidad dinámico antes y después del daño. En la Tabla N. 23-25 se presentan los resultados obtenidos a medida que varía la densidad del material que depende del grado de saturación del elemento antes de generar el deterioro por carga.

#### 2.5.3.1 $E_d^*$ en Estado Sano.

**Tabla N. 23.** Mezcla 5,  $E_d^*$  en Base a  $V_p$  y  $V_s$  Antes del Daño.

Estados	Día	Cilindro 10		Cilindro 11		Cilindro 12		Cilindro 13	
		Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	$E_d^*$ (GPa)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	$E_d^*$ (GPa)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	$E_d^*$ (GPa)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	$E_d^*$ (GPa)
Semisaturado a Seco al Aire	1	2271.5	29.8	2248.2	27.9	2289.0	27.6	2295.3	26.7
	2	2230.1	29.0	2204.9	27.0	2262.1	26.1	2266.6	26.3
	3	2220.4	23.1	2193.0	25.2	2253.0	27.1	2258.0	26.8
	4	2211.4	27.5	2181.0	25.8	2245.4	27.5	2250.5	27.1
	5	2197.6	25.9	2167.2	25.1	2242.9	27.5	2248.0	27.4
	6	2193.6	24.9	2163.2	26.0	2240.1	28.1	2245.5	27.9
	7	2190.7	25.4	2159.6	25.4	2237.7	28.7	2243.3	28.1
	8	2187.9	25.0	2156.8	25.6	2234.6	27.6	2241.0	27.6
	9	2186.7	26.4	2155.6	25.4	2234.4	27.8	2238.8	27.6
Seco al Aire a Seco en Horno	2	2129.3	25.4	2089.3	24.4	2182.1	27.4	2188.2	27.1
	3	2120.3	25.6	2079.5	24.7	2174.1	27.7	2179.5	26.9
	4	2113.1	25.3	2071.5	24.4	2168.6	27.4	2173.7	27.2
	6	2100.1	24.8	2046.7	23.8	2163.1	27.5	2162.1	26.8
	7	2094.3	24.9	2039.7	23.4	2157.4	27.2	2155.9	27.1
	8	2088.0	26.3	2033.1	22.7	2151.0	26.4	2149.9	27.2
	9	2085.4	24.2	2030.1	23.2	2148.8	28.1	2147.7	27.9
	10	2079.5	23.6	2023.9	22.7	2143.2	27.0	2141.8	27.2

En la Figura 41 se expone la tendencia del módulo de elasticidad dinámico calculado para los cilindros de 100x200mm de M5, la cual aumenta a medida que incrementa el contenido de humedad en el elemento. El módulo calculado para 0.0% de grado de saturación es de 23.2 GPa en promedio, e incrementa a 28.9 GPa cuando alcanza un 9.9% de grado de saturación en promedio. A cerca de los cilindros de mayor dimensión se visualizó que el comportamiento del módulo dinámico calculado permanece aproximadamente constante (Figura 42).

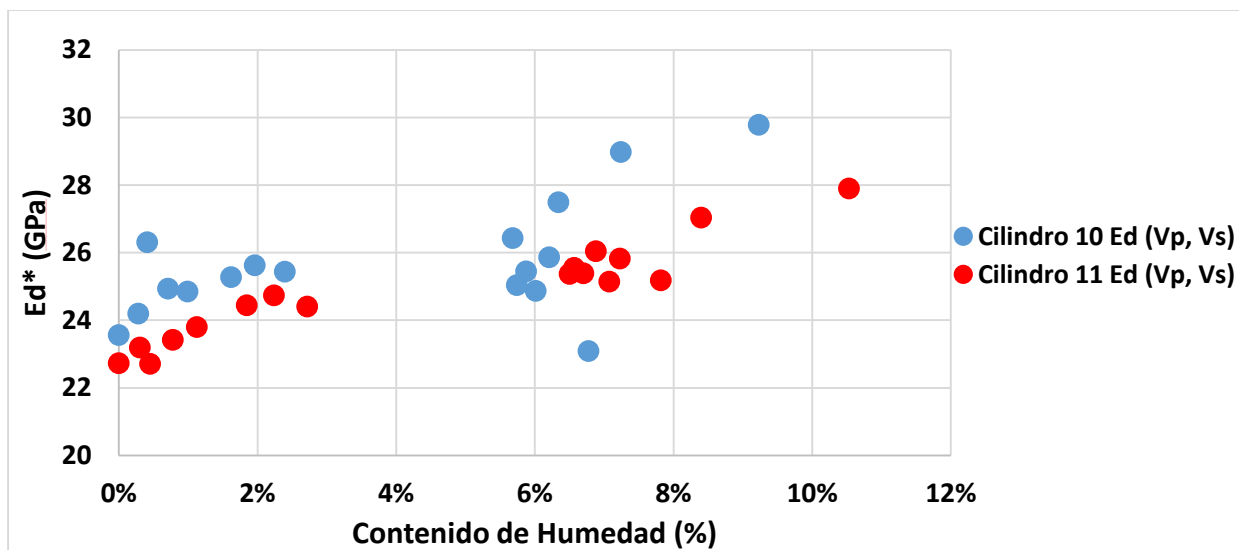
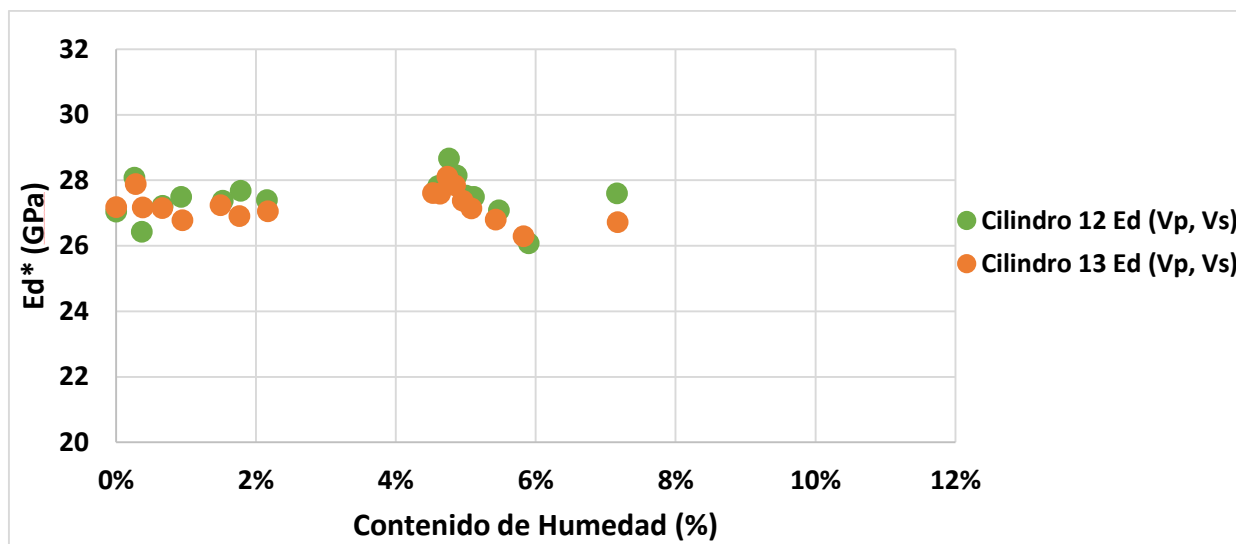


Figura 41: Gráfica de  $E_d^*$  vs. C.H., Cilindro 10 y 11, M5. A.D.



**Figura 42:** Gráfica de  $Ed^*$  vs. C.H., Cilindro 12 y 13, M5. A.D.

**Tabla N. 24.** Mezcla 4,  $Ed^*$  en Base a  $V_p$  y  $V_s$  Antes del Daño.

Estados	Día	Cilindro 10		Cilindro 11		Cilindro 12		Cilindro 13	
		Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	$Ed^*$ (GPa)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	$Ed^*$ (GPa)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	$Ed^*$ (GPa)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	$Ed^*$ (GPa)
Semisaturado a Seco al Aire	2	2251.3	27.6	2242.4	27.1	2250.0	28.6	2250.5	28.0
	3	2242.2	26.3	2234.0	25.8	2243.1	28.5	2244.0	28.3
	4	2235.6	26.1	2228.4	27.0	2239.0	28.2	2239.7	28.4
	5	2227.1	26.1	2220.1	26.6	2232.3	28.4	2233.1	28.2
	7	2234.9	26.4	2216.9	26.0	2237.0	28.8	2230.5	28.5
	8	2231.3	25.7	2213.5	25.8	2234.2	27.0	2228.0	28.5
	9	2225.3	29.3	2208.0	27.0	2229.8	28.5	2223.9	27.9
	10	2212.6	26.1	2204.0	27.0	2220.8	28.8	2220.8	28.6
Seco al Aire a Seco en Horno	1	2140.9	25.1	2136.3	25.0	2170.0	28.1	2172.0	27.6
	2	2124.7	26.3	2122.9	25.6	2158.7	28.7	2160.8	28.1
	3	2117.9	23.8	2105.6	24.0	2152.2	25.6	2161.8	27.2
	4	2106.7	23.1	2092.4	23.2	2140.5	26.5	2150.1	26.8
	5	2094.1	21.6	2080.4	22.4	2128.8	26.9	2138.3	26.3
	6	2088.6	21.3	2084.2	21.7	2123.2	23.6	2125.6	23.6
	7	2088.4	21.6	2083.5	22.3	2122.3	26.9	2124.6	26.3
	8	2073.9	21.4	2080.8	23.1	2125.7	28.5	2121.6	26.4
	9	2070.3	20.8	2076.4	20.3	2120.3	25.4	2116.3	24.1

A diferencia de la mezcla M5, en la mezcla M4 se evidencia que hay una tendencia creciente en ambos casos en el módulo de elasticidad dinámico a medida que aumenta la humedad. La Figura 43 y 44 denota un crecimiento en el módulo de 20.9 GPa a 27.4 GPa para los cilindros 10 y 11, mientras que para los cilindros 12 y 13 el módulo asciende de 24.8 a 28.3 GPa.

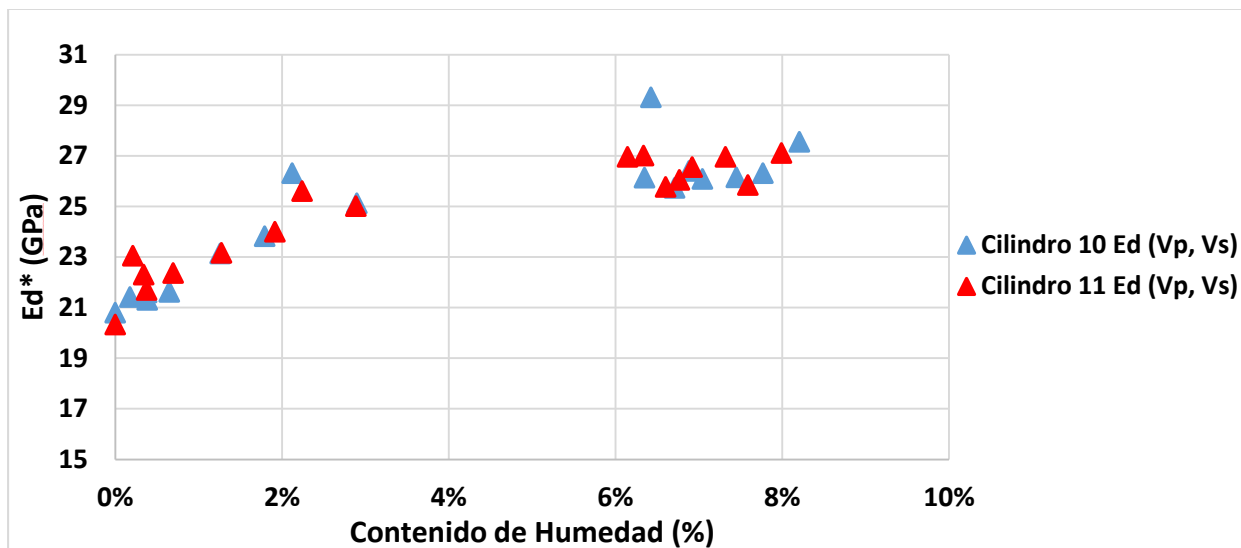


Figura 43: Gráfica de  $E_d^*$  vs. C.H., Cilindro 10 y 11, M4. A.D.

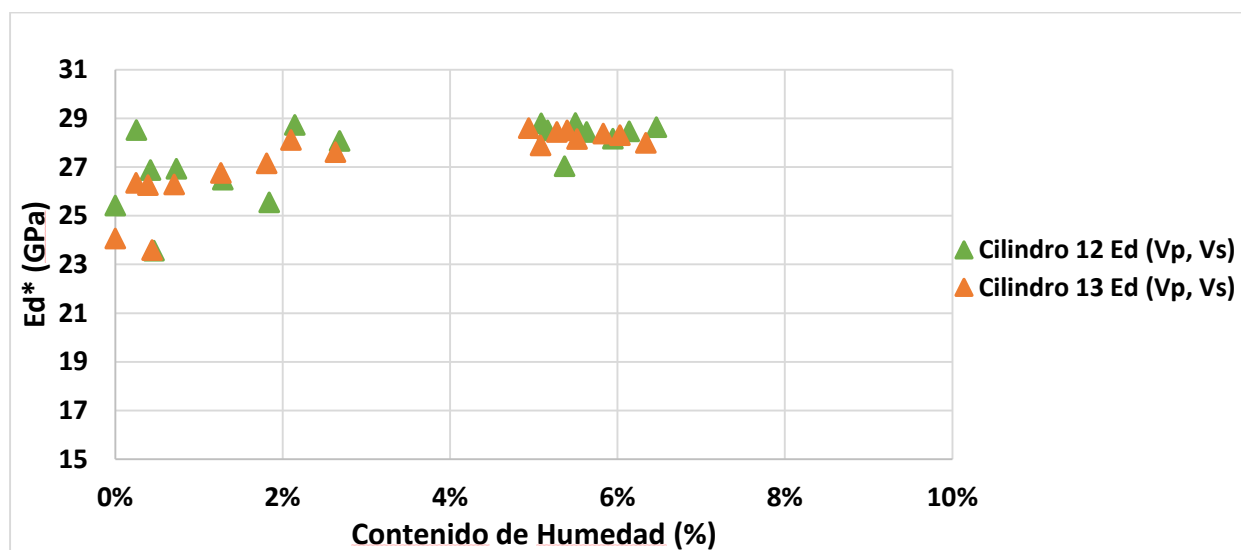


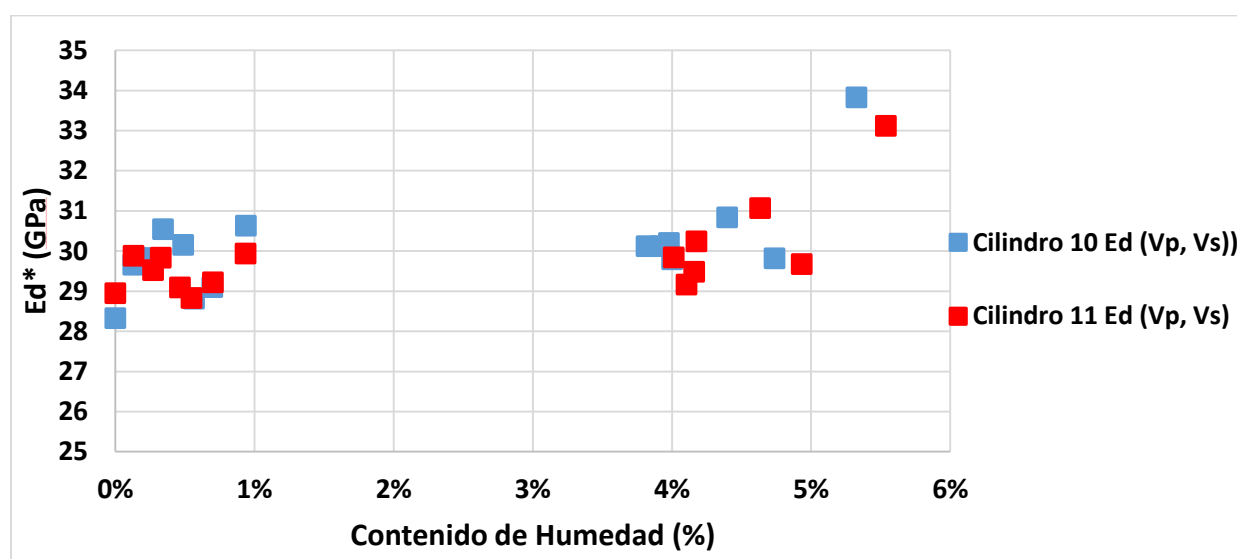
Figura 44: Gráfica de  $E_d^*$  vs. C.H., Cilindro 12 y 13, M4. A.D.

Tabla N. 25. Mezcla 3,  $E_d^*$  en Base a  $V_p$  y  $V_s$  Antes del Daño.

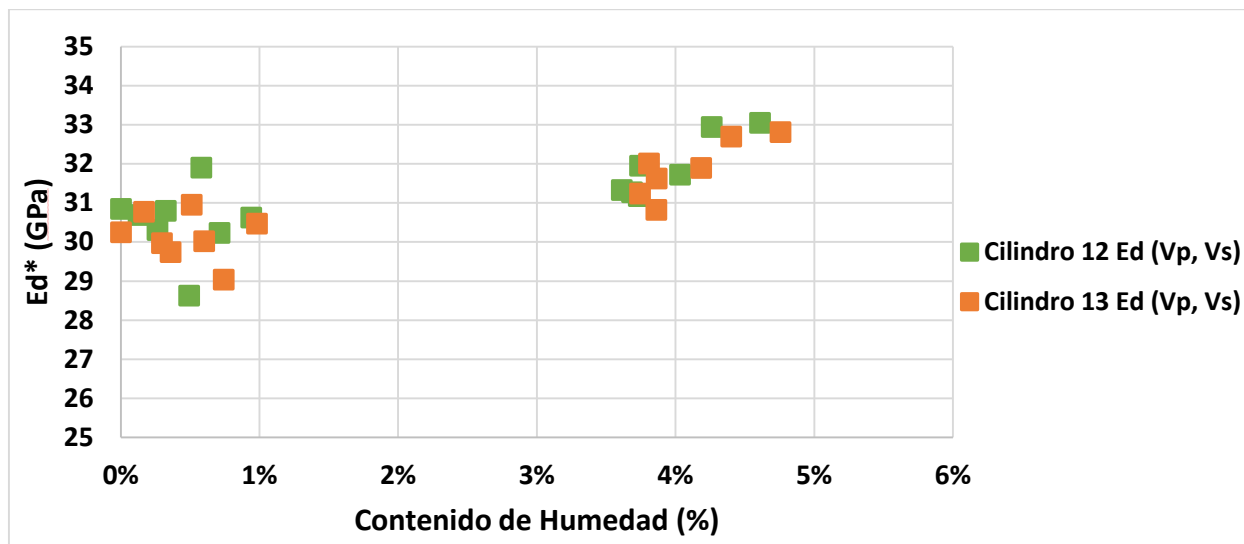
Estados	Día	Cilindro 10		Cilindro 11		Cilindro 12		Cilindro 13	
		Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	$E_d^*$ (GPa)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	$E_d^*$ (GPa)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Ed (GPa)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Ed (GPa)
Semisaturado a Seco al Aire	1	2356.9	33.8	2358.2	33.1	2369.8	33.1	2366.9	32.8
	2	2343.8	29.8	2344.7	29.7	2361.9	32.9	2358.9	32.7
	3	2336.2	30.8	2326.4	31.1	2356.7	31.7	2353.9	31.9

	6	2327.3	29.8	2316.2	30.2	2350.2	32.0	2346.7	31.6
	7	2326.8	30.2	2327.4	29.5	2357.8	31.2	2354.5	30.8
	8	2325.4	30.1	2314.6	29.2	2348.9	31.3	2345.5	32.0
	9	2334.8	30.1	2324.1	29.8	2347.2	31.3	2344.0	31.2
<b>Seco al Aire a Seco en Horno</b>	1	2247.6	30.6	2233.1	29.9	2264.2	30.6	2266.6	30.5
	2	2242.2	29.1	2227.9	29.2	2259.0	30.2	2261.2	29.0
	3	2239.3	28.8	2235.5	28.8	2256.1	31.9	2258.0	30.0
	4	2237.5	30.2	2233.7	29.1	2254.1	28.6	2256.0	31.0
	5	2234.3	30.5	2219.5	29.8	2257.7	30.8	2252.6	29.7
	6	2232.5	29.8	2218.3	29.5	2256.4	30.3	2251.2	30.0
	7	2229.6	29.7	2226.3	29.9	2246.0	30.7	2248.3	30.8
	8	2226.7	28.3	2212.3	29.0	2243.1	30.8	2244.6	30.3

De manera similar a la mezcla M4, la mezcla M3 tiene un comportamiento en el cual para los 4 cilindros la relación entre el módulo de elasticidad dinámico y el contenido de humedad es directamente proporcional. El módulo es considerablemente mayor en comparación a las dos mezclas M5 y M4 con mayor relación agua cemento. En la Figura 45 se expone que el módulo comienza en 28.7 GPa y se eleva hasta alcanzar 33.5 GPa para un contenido de humedad de 5.4%. Respecto a los especímenes de 150x300mm, se determinó que el aumento del módulo dinámico se encuentra entre 30.6 GPa y 33.0 GPa para una saturación de 4.7%.



**Figura 45:** Gráfica de  $Ed^*$  vs. C.H., Cilindro 10 y 11, M3. A.D.



**Figura 46:** Gráfica de  $Ed^*$  vs. C.H., Cilindro 12 y 13, M3. A.D.

### 2.5.3.2 $Ed^*$ en Estado Dañado.

En la Figura 23-28 se observó que la velocidad de corte determinada después de exponer los especímenes al deterioro no era confiable debido a que su comportamiento era incongruente. Por lo antes expuesto, los resultados del módulo de elasticidad dinámico calculado en base a las ondas de esfuerzo después del deterioro por carga, fueron dispersos. En la Figura 47-52 consta la relación entre el módulo de elasticidad dinámico calculado después del daño versus el contenido de humedad para las tres mezclas, donde se observa una nube de puntos dentro de una escala que recorta tanto valores negativos como valores significativamente grandes.

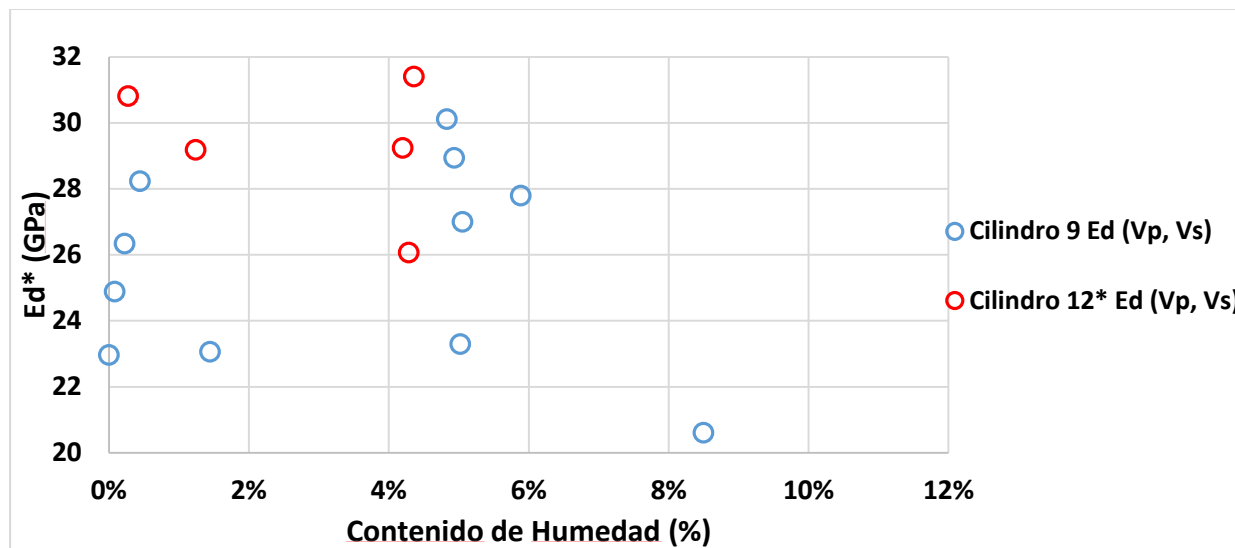


Figura 47: Gráfica de  $E_d^*$  vs. C.H., Cilindro 9 y 12\*, M5. D.D.

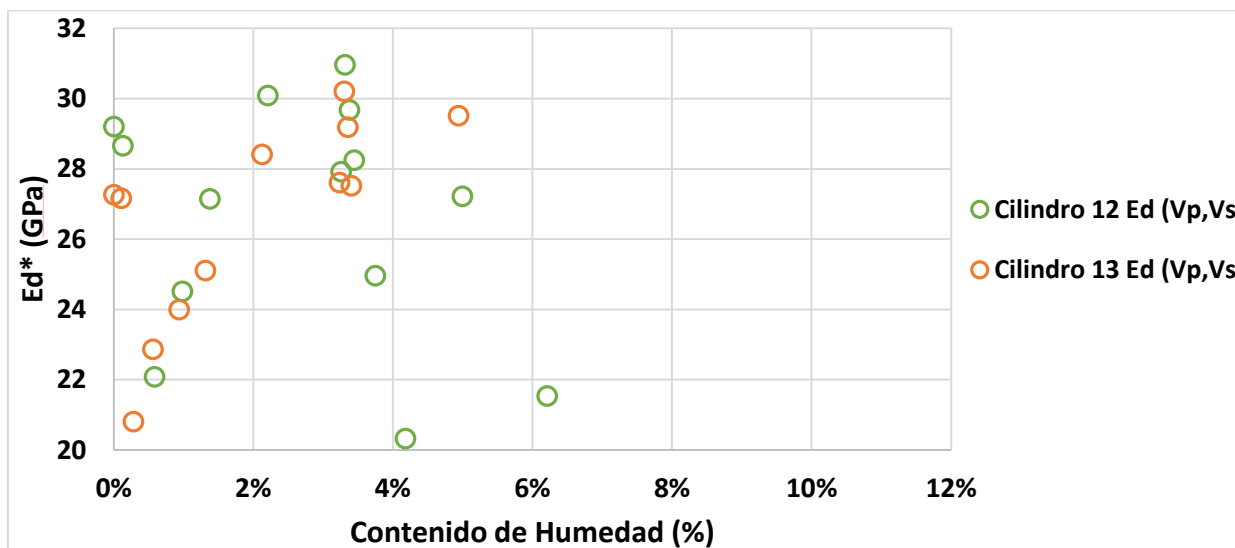


Figura 48: Gráfica de  $E_d^*$  vs. C.H., Cilindro 12 y 13, M5. D.D.



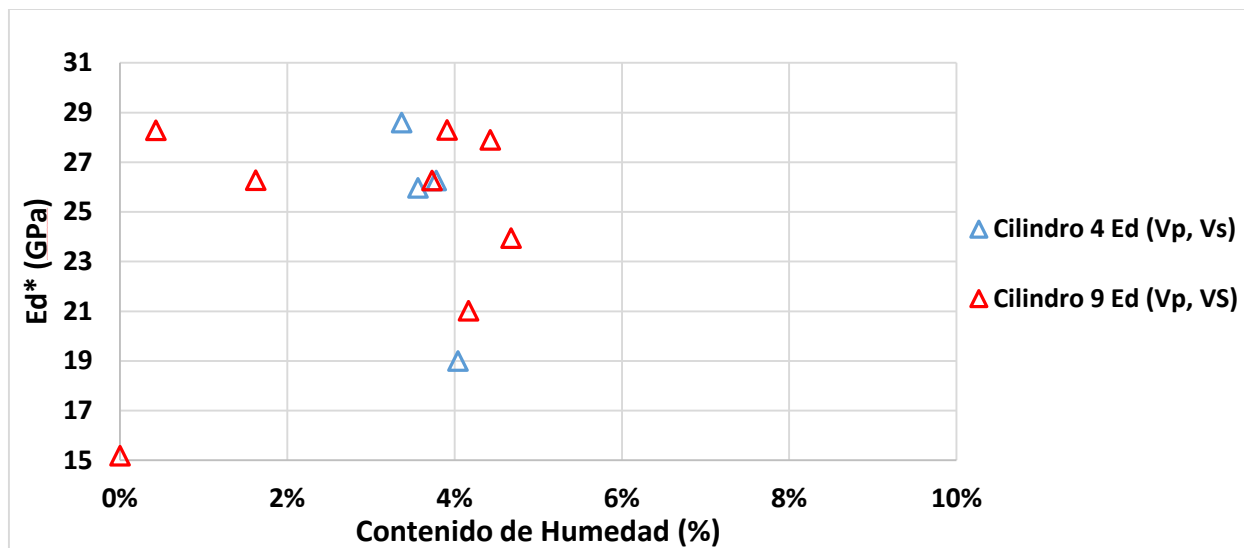


Figura 49: Gráfica de  $E_d^*$  vs. C.H., Cilindro 4 y 9, M4. D.D.

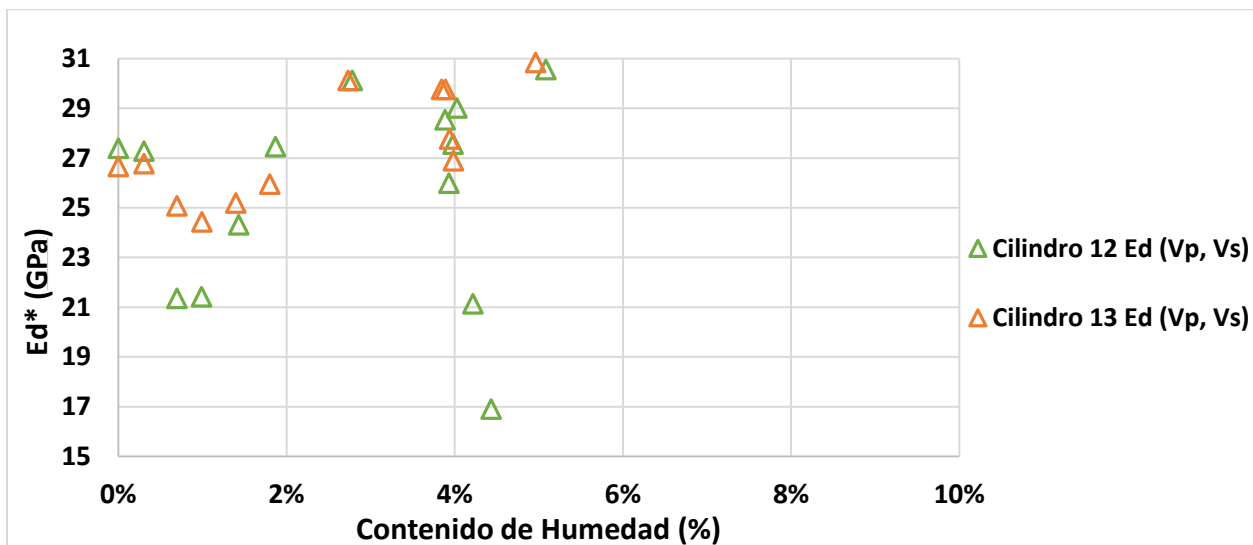
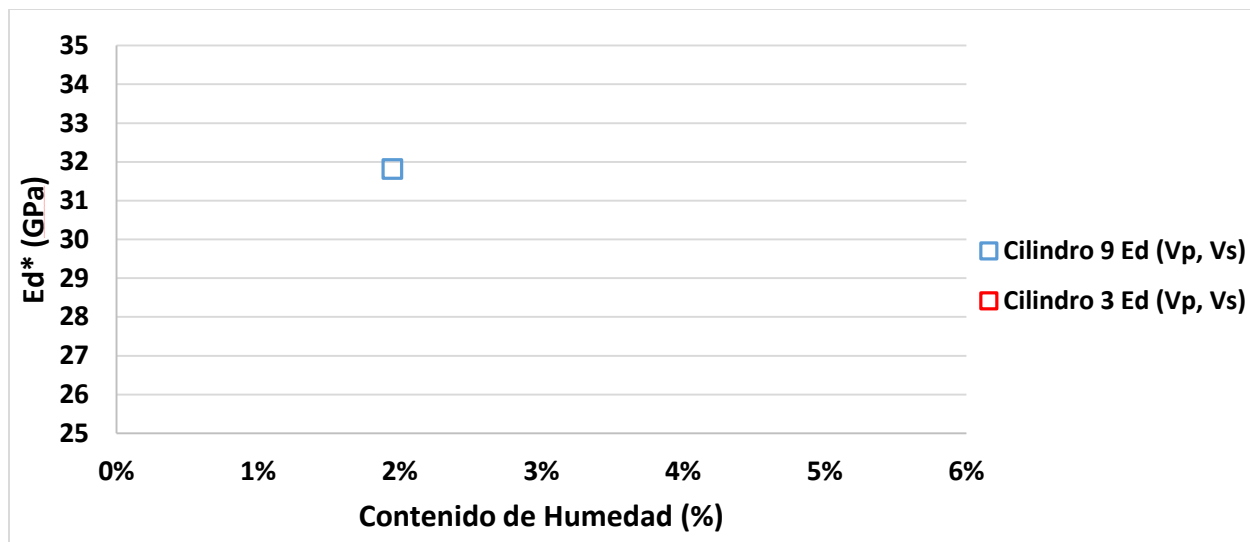
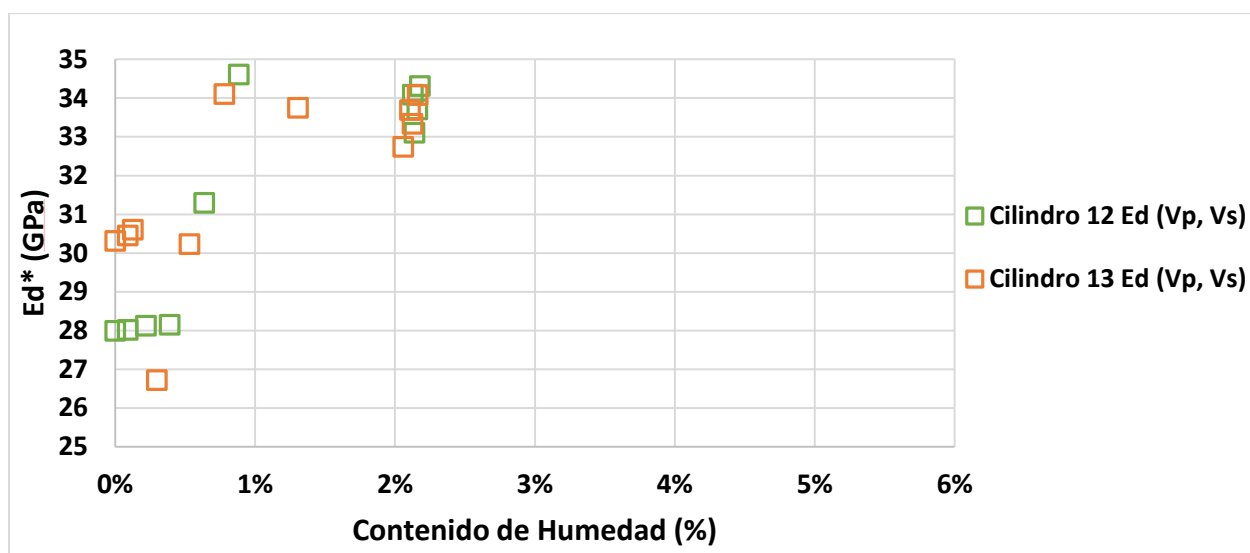


Figura 50: Gráfica de  $E_d^*$  vs. C.H., Cilindro 12 y 13, M4. D.D.



*Figura 51: Gráfica de  $E_d^*$  vs. C.H., Cilindro 9 y 3, M3. D.D.*

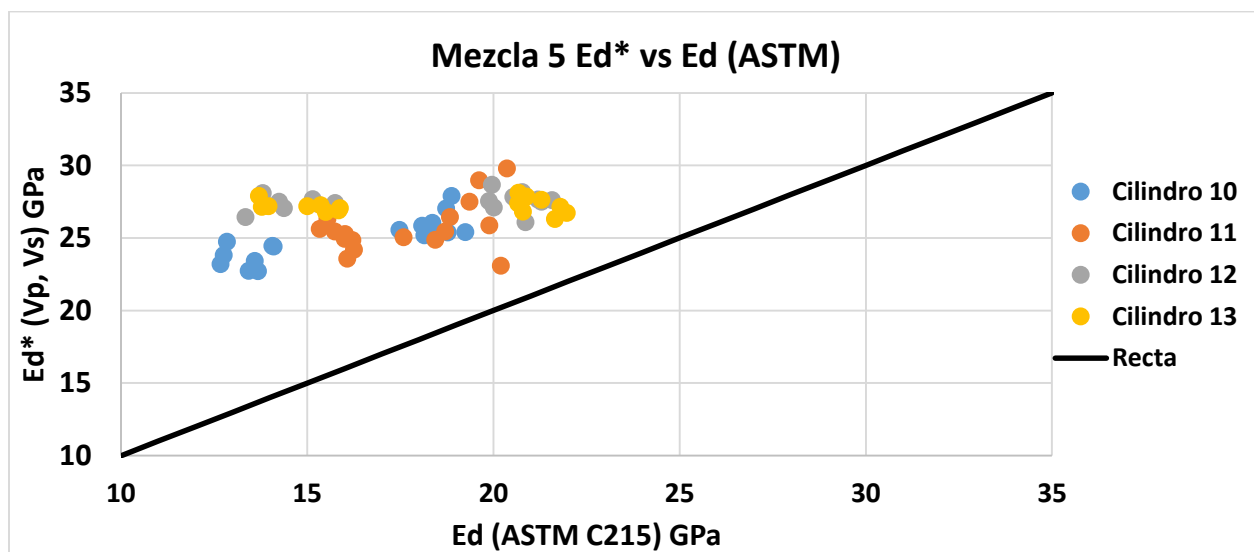


*Figura 52: Gráfica de  $E_d^*$  vs. C.H., Cilindro 12 y 13, M3. D.D.*

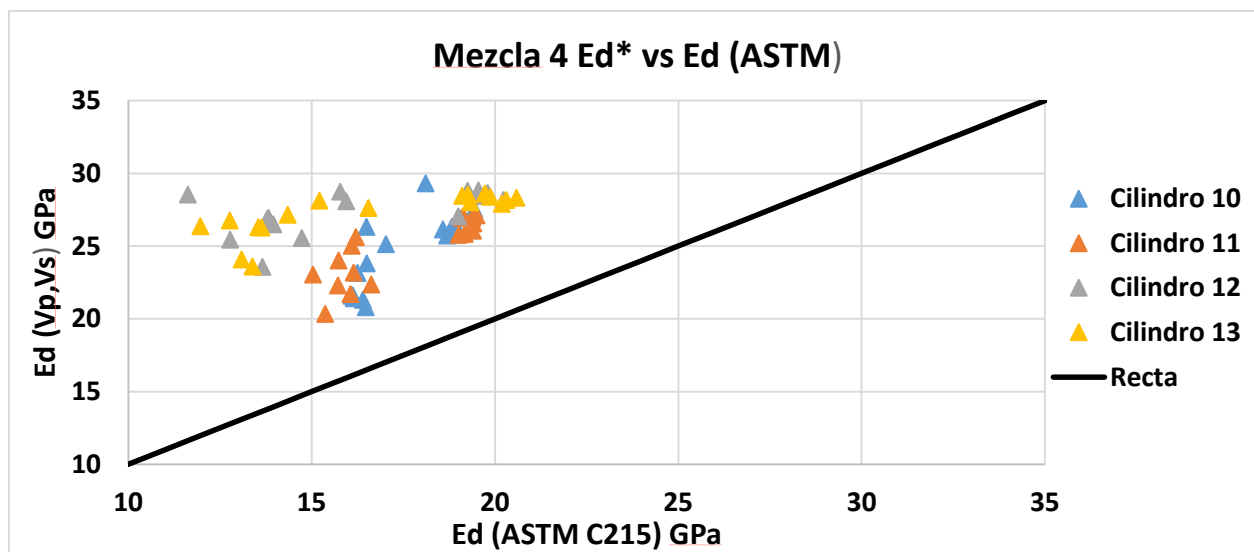
### 2.5.3.3 Discusión.

En el presente trabajo de investigación se determinó el módulo de elasticidad dinámico tanto a través de la norma ASTM C215 como en base a las ondas de esfuerzo (Vp, Vs). Analizando el comportamiento del módulo dinámico frente a los diferentes grados de saturación y los resultados obtenidos por ambos métodos, se establece que en los dos métodos existe una tendencia

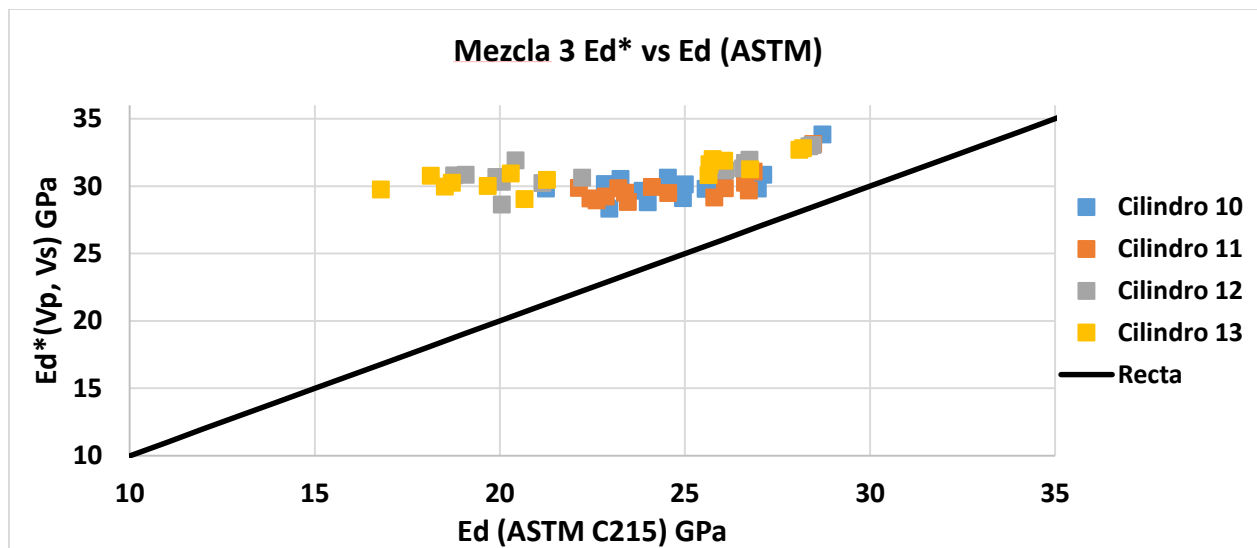
a incrementar el módulo al aumentar el grado de saturación. Sin embargo, al comparar los resultados obtenidos antes del daño, se determina que el módulo dinámico calculado en base a la velocidad de pulso y corte se encuentra por encima del módulo hallado a través de la norma. En la Figura 53-56, se visualiza que para todas las mezclas la nube de puntos que representa la relación entre ambos métodos, se encuentra arriba de la recta de pendiente 1:1.



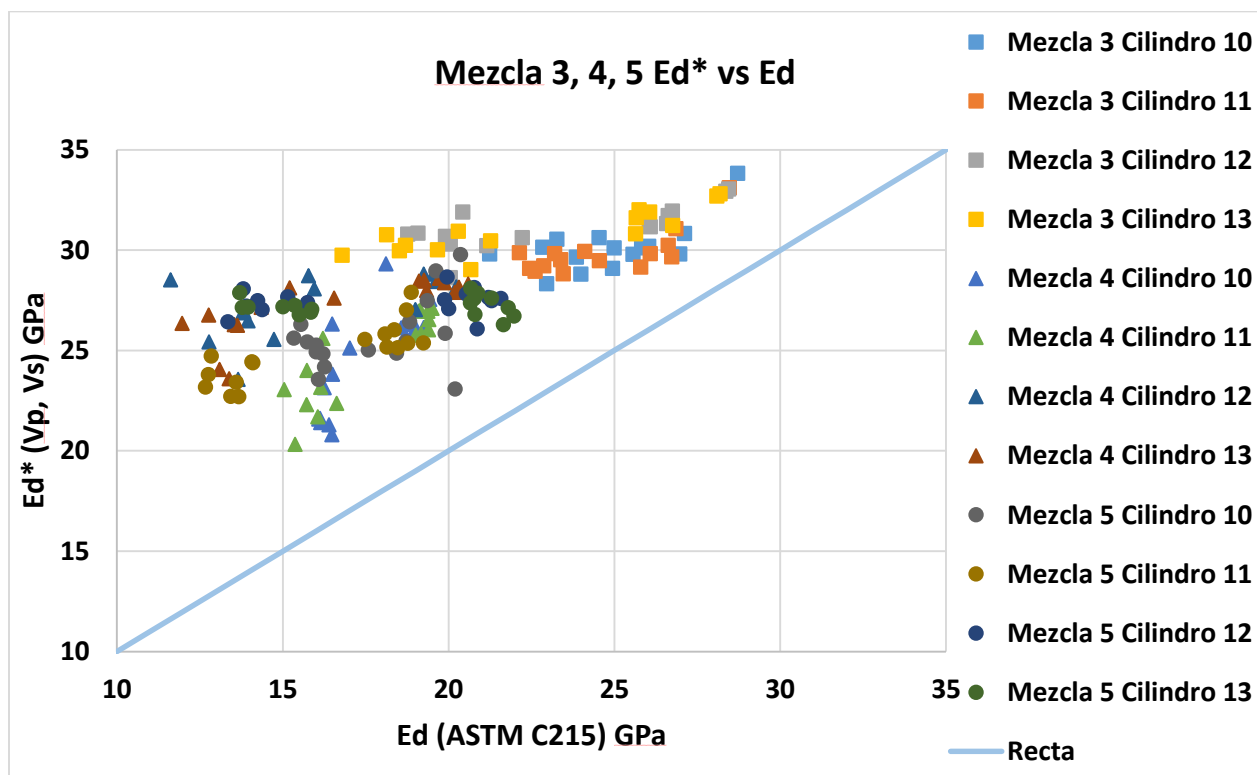
*Figura 53: Gráfica de Ed\* vs. Ed ASTM C215, M5. A.D.*



*Figura 54: Gráfica de Ed\* vs. Ed ASTM C215, M4. A.D.*



*Figura 55: Gráfica de Ed\* vs. Ed ASTM C215, M3. A.D.*



*Figura 56: Gráfica de Ed\* vs. Ed ASTM C215, M5, M4 y M3. A.D.*

## 2.5.4 Aplicabilidad del Modelo de O'Connell & Budiansky a Diferentes Contenidos de Humedad.

En la siguiente sección se busca determinar la aplicabilidad del modelo planteado por O'Connell & Budiansky en el hormigón a diferentes niveles de saturación para los especímenes de 100x200mm y 150x300mm. Para los cilindros de volumen más pequeño se aplicó el modelo antes y después del daño separadamente a diferencia de los cilindros de 150x300mm.

### 2.5.4.1 Mezcla 5.

Al aplicar el modelo de O'Connell & Budiansky para los cilindros de 100x200mm, se determinó el módulo de elasticidad dinámico del modelo empleando una solución numérica partiendo del módulo de elasticidad dinámico medido más saturado y más seco. Una vez determinado los valores intermedios dependiendo de su contenido de humedad, se halló la diferencia entre ambos módulos, los resultados de la mezcla 5 para los cilindros de 100x200mm antes del daño se encuentran en la Tabla N.26 y 27, mientras que los resultados obtenidos después del daño se ubican en la Tabla N. 28 y 29. Además, se realizó una representación gráfica del modelo donde las líneas sólidas simbolizan el módulo dinámico del modelo y los puntos el módulo medido a diferentes grados de saturación como se muestra en la Figura 57 y 58 para los cilindros pequeños antes del daño y en la Figura 59 y 60 después del deterioro.

**Tabla N. 26.** *Ed ASTM C215 y Ed Modelo, Mezcla M5, Cilindro 10, Antes del Daño.*

C.H.	xi	$\epsilon$	Ed.	Modelo		
				$\eta$	Ed. M.	$\Delta$ Ed
%	-	-	GPa	-	GPa	GPa
9.23%	<b>1.000</b>	0.18	20.4	0.292	20.4	0.00
7.24%	<b>0.784</b>	0.18	19.6	0.270	19.5	0.15
6.77%	<b>0.734</b>	0.18	20.2	0.265	19.3	0.94
6.34%	0.687	0.18	19.4	0.260	19.1	0.30

6.21%	0.673	0.18	19.9	0.258	19.0	0.89
6.01%	0.651	0.18	18.4	0.256	18.9	-0.48
5.87%	0.636	0.18	18.7	0.254	18.8	-0.14
5.74%	0.622	0.18	17.6	0.253	18.8	-1.20
5.68%	<b>0.615</b>	0.18	18.8	0.252	18.8	0.07
2.39%	<b>0.259</b>	0.18	15.7	0.213	17.2	-1.48
1.96%	0.212	0.18	15.3	0.208	17.0	-1.68
1.62%	<b>0.175</b>	0.18	16.0	0.204	16.9	-0.84
0.99%	0.107	0.18	16.2	0.196	16.6	-0.34
0.71%	0.077	0.18	16.0	0.192	16.4	-0.41
0.41%	0.044	0.18	15.5	0.189	16.3	-0.73
0.28%	0.031	0.18	16.3	0.187	16.2	0.04
0.00%	<b>0.000</b>	0.18	16.1	0.184	16.1	0.00

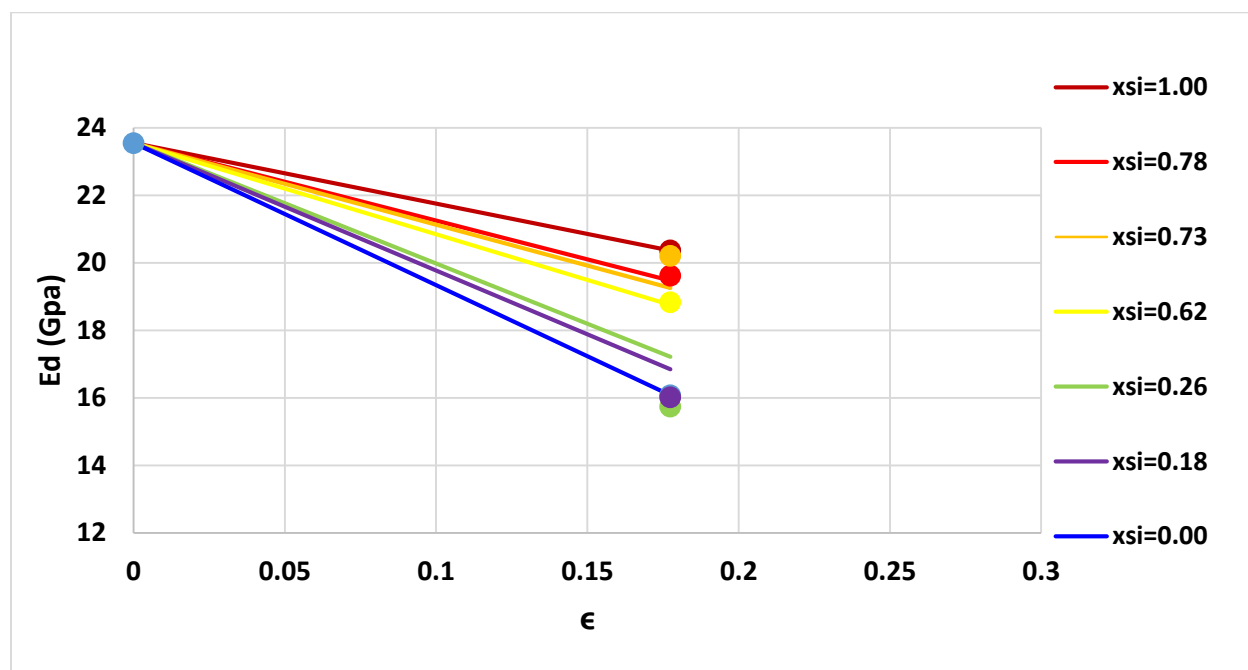


Figura 57: Parámetro de Densidad de Fisuras Mezcla M5, Cilindro 10, Antes del Daño.

Tabla N. 27. Ed ASTM C215 y Ed Modelo, Mezcla M5, Cilindro 11, Antes del Daño.

C.H.	xi	ε	Ed.	Modelo		Δ Ed
				η	Ed. M.	
%	-	-	GPa	-	GPa	GPa

10.53%	<b>1.000</b>	0.23	18.9	0.302	18.9	0.00
8.40%	<b>0.798</b>	0.23	18.7	0.275	17.8	0.91
7.82%	<b>0.742</b>	0.23	18.1	0.267	17.5	0.62
7.23%	0.686	0.23	18.1	0.259	17.2	0.87
7.08%	0.672	0.23	18.5	0.257	17.1	1.32
6.88%	0.653	0.23	18.4	0.255	17.0	1.32
6.70%	0.636	0.23	19.2	0.253	17.0	2.29
6.56%	0.623	0.23	17.5	0.251	16.9	0.59
6.50%	<b>0.618</b>	0.23	18.8	0.250	16.9	1.92
2.72%	<b>0.258</b>	0.23	14.1	0.198	14.9	-0.78
2.24%	0.212	0.23	12.8	0.191	14.6	-1.78
1.84%	<b>0.175</b>	0.23	14.1	0.186	14.4	-0.35
1.12%	0.107	0.23	12.8	0.176	14.0	-1.27
0.78%	0.074	0.23	13.6	0.171	13.8	-0.25
0.45%	0.043	0.23	13.7	0.166	13.7	0.00
0.30%	0.029	0.23	12.7	0.164	13.6	-0.92
0.00%	<b>0.000</b>	0.23	13.4	0.159	13.4	0.00

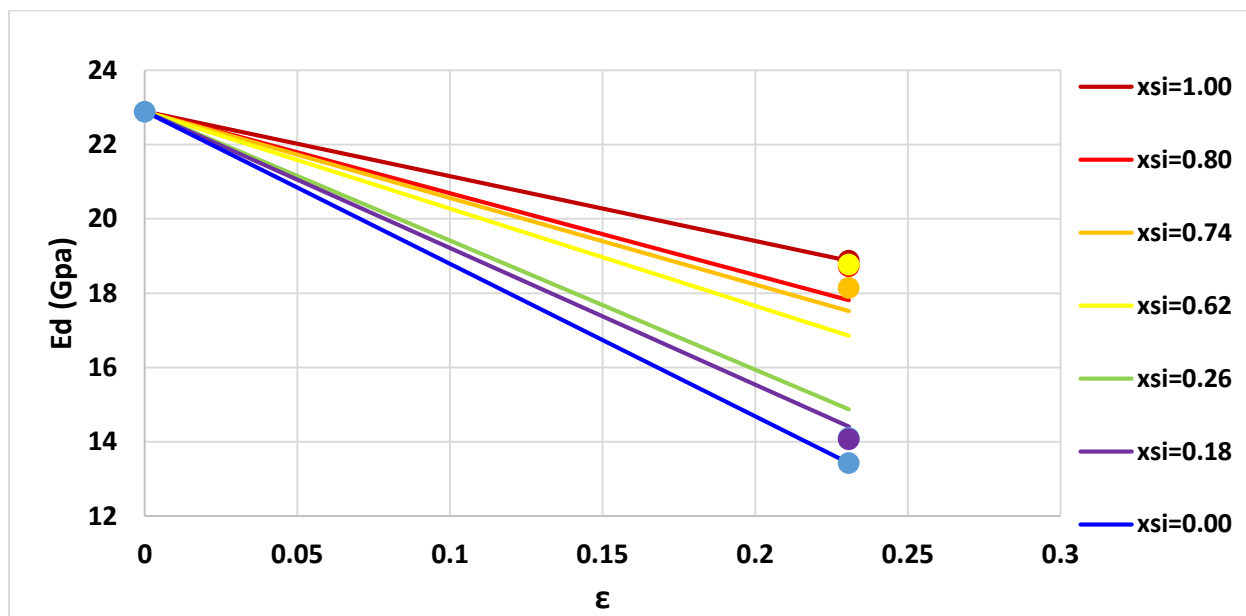


Figura 58: Parámetro de Densidad de Fisuras Mezcla M5, Cilindro 11, Antes del Daño.

Tabla N. 28. Ed ASTM C215 y Ed Modelo, Mezcla M5, Cilindro 9, Después del Daño.

C.H.	xi	$\epsilon$	Ed.	Modelo		
				$\eta$	Ed. M.	$\Delta$ Ed
%	-	-	GPa	-	GPa	GPa
8.50%	<b>1.000</b>	0.27	16.5	0.309	18.7	-2.16
7.43%	<b>0.874</b>	0.27	16.2	0.289	17.9	-1.73
6.23%	<b>0.733</b>	0.27	15.8	0.267	17.0	-1.19
5.89%	0.693	0.27	16.0	0.260	16.7	-0.73
5.55%	0.653	0.27	16.1	0.254	16.5	-0.38
5.05%	0.595	0.27	16.2	0.244	16.1	0.10
5.02%	0.591	0.27	16.0	0.244	16.1	-0.12
4.93%	0.581	0.27	16.3	0.242	16.0	0.28
4.83%	<b>0.568</b>	0.27	15.9	0.240	15.9	-0.01
1.45%	<b>0.170</b>	0.27	17.3	0.173	13.3	3.93
0.95%	0.112	0.27	13.4	0.163	12.9	0.42
0.73%	<b>0.086</b>	0.27	13.3	0.158	12.8	0.57
0.64%	0.075	0.27	13.8	0.156	12.7	1.13
0.45%	0.052	0.27	14.5	0.152	12.5	1.98
0.23%	0.027	0.27	13.3	0.148	12.4	0.89
0.08%	0.010	0.27	13.2	0.145	12.3	0.92
0.00%	<b>0.000</b>	0.27	13.1	0.143	12.2	0.90

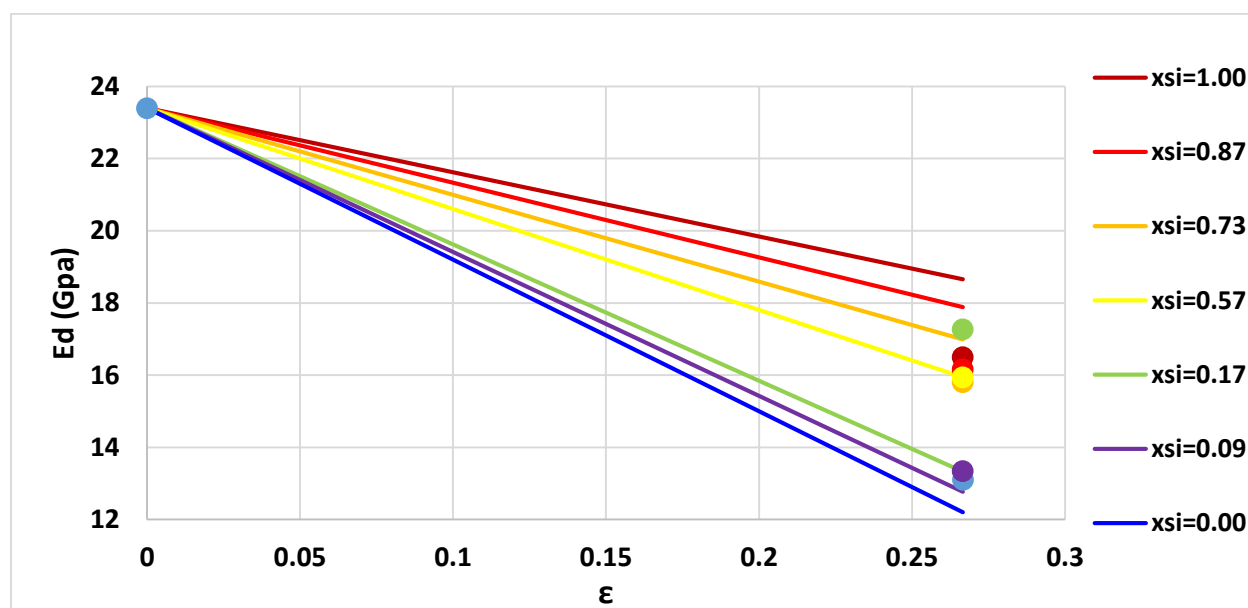
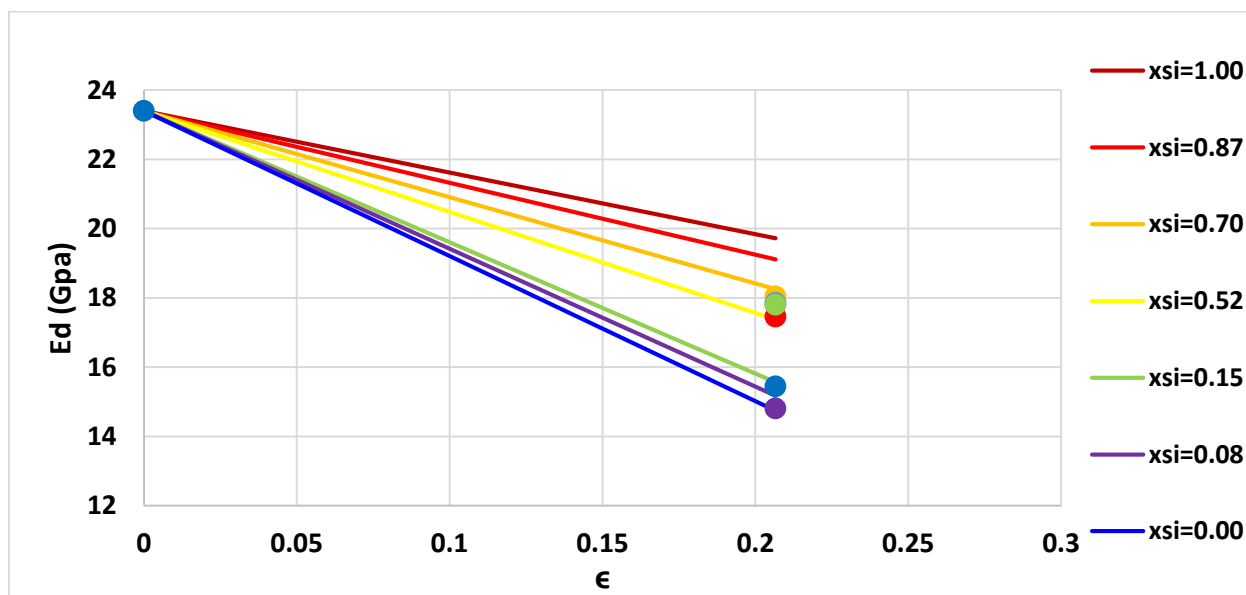


Figura 59: Parámetro de Densidad de Fisuras Mezcla M5, Cilindro 9, Después del Daño.



**Tabla N. 29.** *Ed ASTM C215 y Ed Modelo, Mezcla M5, Cilindro 12\*, Después del Daño.*

C.H.	xi	$\epsilon$	Ed.	Modelo		
				$\eta$	Ed. M.	$\Delta$ Ed
%	-	-	GPa	-	GPa	GPa
8.14%	<b>1.000</b>	0.21	18.0	0.298	19.7	-1.68
7.11%	<b>0.874</b>	0.13	17.5	0.274	19.1	-1.65
5.66%	<b>0.695</b>	0.13	17.9	0.260	18.2	-0.39
5.23%	0.643	0.13	17.6	0.256	18.0	-0.41
4.88%	0.599	0.13	17.0	0.253	17.8	-0.78
4.53%	0.557	0.13	16.9	0.250	17.6	-0.69
4.36%	0.536	0.13	16.6	0.248	17.5	-0.90
4.29%	0.527	0.13	17.8	0.247	17.4	0.41
4.20%	<b>0.516</b>	0.13	17.8	0.247	17.4	0.45
1.24%	<b>0.152</b>	0.13	17.8	0.218	15.6	2.24
0.82%	0.101	0.13	14.9	0.214	15.3	-0.43
0.62%	<b>0.076</b>	0.13	14.8	0.212	15.2	-0.37
0.40%	0.049	0.13	15.1	0.210	15.0	0.05
0.28%	0.034	0.13	16.6	0.209	15.0	1.66
0.20%	0.024	0.13	15.4	0.208	14.9	0.48
0.07%	0.009	0.13	14.7	0.207	14.8	-0.14
0.00%	<b>0.000</b>	0.21	15.4	0.170	14.7	0.70



**Figura 60:** *Parámetro de Densidad de Fisuras Mezcla M5, Cilindro 12\*, Después del Daño.*

Con respecto a los cilindros de 150x300mm para la mezcla 5, se logró cotejar los resultados antes y después del daño en un solo modelo, obteniendo una densidad de fisura diferente antes y después. Los resultados hallados de los cilindros 12 y 13 se exponen en la Tabla N.30-33, mientras que las gráficas se ubican en la Figura 61 y 62 respectivamente.

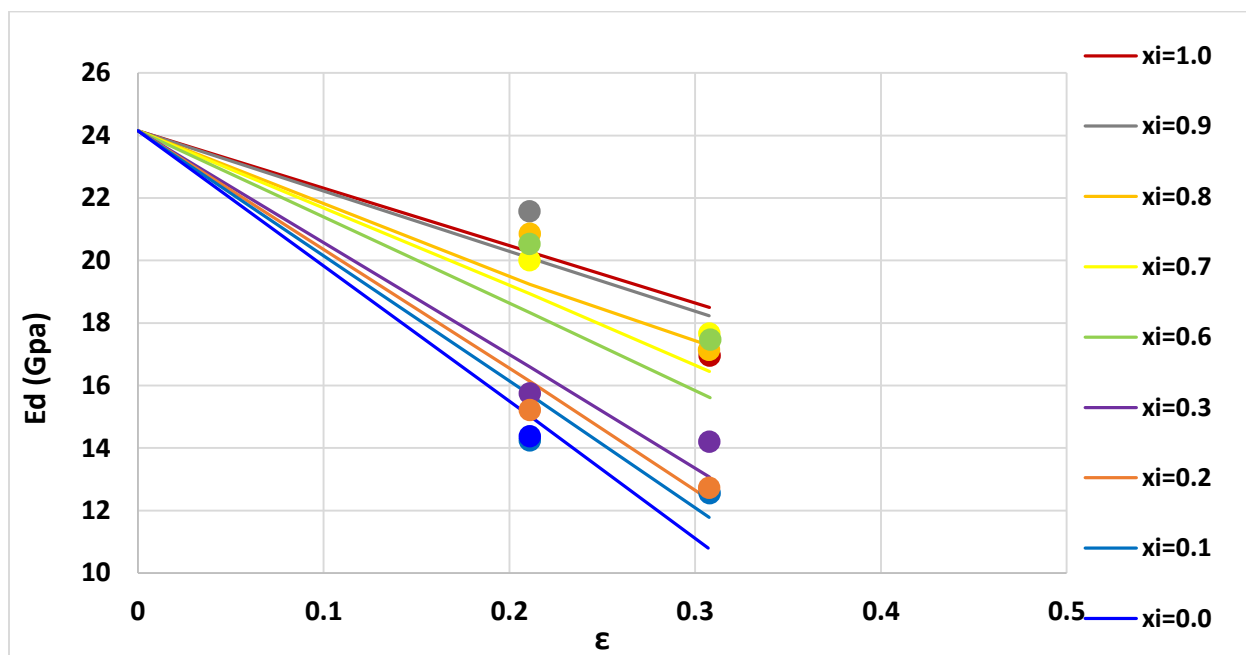
**Tabla N. 30.** *Ed ASTM C215 y Ed Modelo, Mezcla M5, Cilindro 12, Antes del Daño.*

C.H.	xi	$\epsilon$	Ed.	Modelo		$\Delta$ Ed
				$\eta$	Ed. M.	
%	-	-	GPa	-	GPa	GPa
7.16%	<b>0.963</b>	0.21	21.6	0.294	20.1	1.5
5.90%	<b>0.794</b>	0.21	20.9	0.273	19.2	1.6
5.47%	<b>0.736</b>	0.21	20.0	0.266	18.9	1.1
5.12%	0.689	0.21	21.3	0.260	18.7	2.6
5.00%	0.673	0.21	19.9	0.258	18.6	1.3
4.87%	0.655	0.21	20.8	0.256	18.5	2.3
4.76%	0.640	0.21	20.0	0.254	18.4	1.5
4.61%	0.621	0.21	21.2	0.251	18.3	2.9
4.60%	<b>0.619</b>	0.21	20.5	0.251	18.3	2.2
2.16%	<b>0.290</b>	0.21	15.7	0.208	16.6	-0.8
1.78%	0.239	0.21	15.1	0.201	16.3	-1.2
1.52%	<b>0.205</b>	0.21	15.2	0.196	16.1	-0.9
0.93%	<b>0.125</b>	0.21	14.2	0.186	15.7	-1.5
0.66%	0.089	0.21	13.9	0.181	15.5	-1.6
0.37%	0.049	0.21	13.3	0.175	15.3	-2.0
0.26%	0.035	0.21	13.8	0.173	15.2	-1.4
0.00%	<b>0.000</b>	0.21	14.4	0.169	15.0	-0.7

**Tabla N. 31.** *Ed ASTM C215 y Ed Modelo, Mezcla M5, Cilindro 12, Después del Daño.*

C.H.	xi	$\epsilon$	Ed.	Modelo		$\Delta$ Ed
				$\eta$	Ed. M.	
%	-	-	GPa	-	GPa	GPa
7.43%	<b>1.000</b>	0.31	17.0	0.316	18.5	-1.5
6.20%	<b>0.834</b>	0.31	17.1	0.287	17.3	-0.1
5.38%	<b>0.723</b>	0.31	17.7	0.266	16.4	1.2
4.94%	0.665	0.31	16.6	0.255	16.0	0.6

4.63%	0.623	0.31	17.1	0.247	15.7	1.5
4.57%	<b>0.614</b>	0.31	17.5	0.246	15.6	1.9
4.50%	0.605	0.31	17.8	0.244	15.5	2.2
4.44%	0.598	0.31	17.6	0.243	15.5	2.2
3.38%	0.455	0.31	17.1	0.215	14.4	2.7
2.54%	0.342	0.31	14.7	0.193	13.5	1.2
2.14%	<b>0.288</b>	0.31	14.2	0.182	13.1	1.1
1.74%	0.234	0.31	13.7	0.171	12.6	1.0
1.46%	<b>0.197</b>	0.31	12.6	0.163	12.3	0.2
1.28%	0.172	0.31	12.8	0.158	12.2	0.6
1.15%	<b>0.155</b>	0.31	12.7	0.155	12.0	0.7



**Figura 61:** Parámetro de Densidad de Fisuras Mezcla M5, Cilindro 12, Antes y Después del Daño.

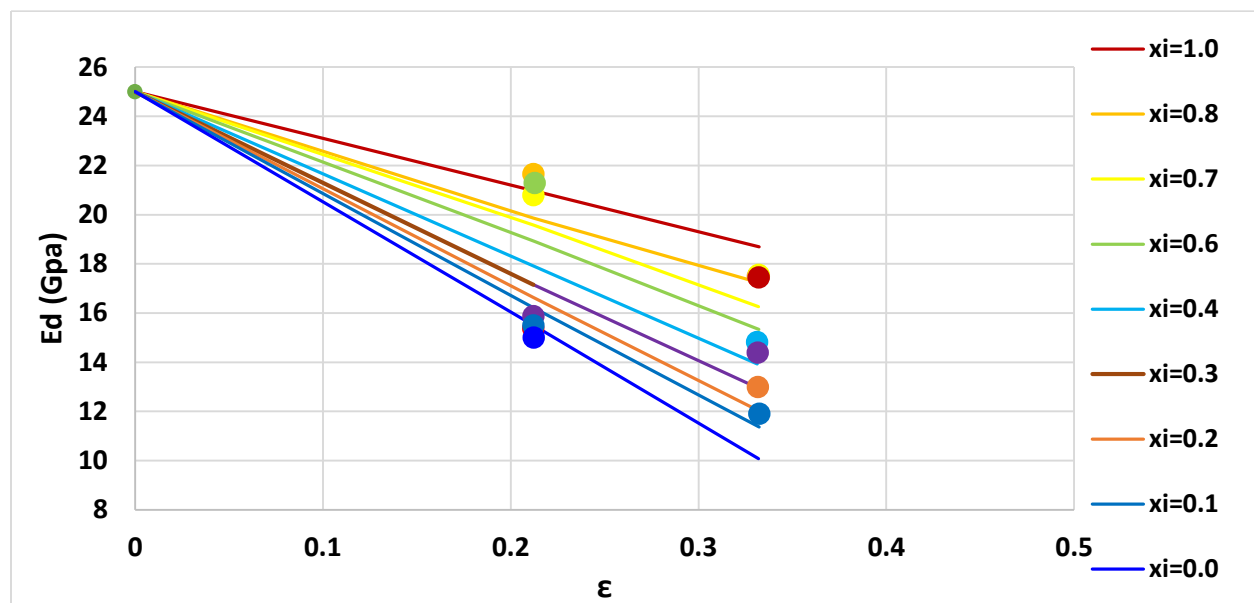
**Tabla N. 32.** *Ed ASTM C215 y Ed Modelo, Mezcla M5, Cilindro 13, Antes del Daño.*

C.H.	xi	ε	Ed.	Modelo		
				η	Ed. M.	Δ Ed
%	-	-	GPa	-	GPa	GPa
7.17%	<b>0.974</b>	0.21	22.0	0.296	20.8	1.1
5.83%	<b>0.792</b>	0.21	21.6	0.273	19.9	1.8
5.43%	<b>0.737</b>	0.21	20.8	0.266	19.6	1.2
5.08%	0.690	0.21	21.8	0.260	19.3	2.5

4.96%	0.673	0.21	20.7	0.258	19.2	1.4
4.84%	0.658	0.21	20.9	0.256	19.1	1.7
4.74%	0.644	0.21	20.7	0.254	19.1	1.6
4.63%	0.629	0.21	20.8	0.252	19.0	1.8
4.53%	<b>0.615</b>	0.21	21.3	0.250	18.9	2.4
2.17%	<b>0.294</b>	0.21	15.9	0.208	17.2	-1.3
1.76%	0.239	0.21	15.8	0.201	16.8	-1.0
1.49%	<b>0.203</b>	0.21	15.4	0.196	16.6	-1.3
0.95%	<b>0.129</b>	0.21	15.5	0.186	16.2	-0.7
0.66%	0.089	0.21	13.8	0.180	16.0	-2.2
0.38%	0.052	0.21	14.0	0.175	15.8	-1.8
0.28%	0.038	0.21	13.7	0.173	15.7	-2.0
0.00%	<b>0.000</b>	0.21	15.0	0.168	15.5	-0.5

**Tabla N. 33.** Ed ASTM C215 y Ed Modelo, Mezcla M5, Cilindro 13, Después del Daño.

C.H.	xi	$\epsilon$	Ed.	Modelo		
				$\eta$	Ed. M.	$\Delta$ Ed
%	-	-	GPa	-	GPa	GPa
7.36%	<b>1.000</b>	0.33	17.5	0.321	18.7	-1.2
6.07%	<b>0.825</b>	0.33	17.5	0.287	17.2	0.2
5.21%	<b>0.707</b>	0.33	17.6	0.263	16.3	1.3
4.81%	0.654	0.33	17.2	0.253	15.8	1.4
4.52%	0.614	0.33	17.6	0.244	15.5	2.2
4.47%	0.607	0.33	18.0	0.243	15.4	2.6
4.42%	<b>0.600</b>	0.33	17.5	0.242	15.3	2.1
4.34%	0.590	0.33	17.8	0.240	15.3	2.5
3.22%	<b>0.438</b>	0.33	14.8	0.208	13.9	0.9
2.40%	<b>0.326</b>	0.33	14.4	0.184	12.9	1.4
2.02%	0.275	0.33	13.7	0.172	12.5	1.2
1.64%	<b>0.223</b>	0.33	13.0	0.161	12.0	1.0
1.36%	0.185	0.33	12.0	0.152	11.7	0.3
1.18%	0.161	0.33	12.0	0.147	11.5	0.5
1.08%	<b>0.146</b>	0.33	11.9	0.144	11.4	0.5



**Figura 62:** *Parámetro de Densidad de Fisuras Mezcla M5, Cilindro 13, Antes y Después del Daño.*

#### 2.5.4.2 Mezcla 4.

Al igual que la mezcla M5, se encontró una solución numérica para determinar el módulo de elasticidad dinámico del modelo a partir de los módulos medidos a través de la norma ASTM C215. Los resultados determinados previo y posterior al daño para los cilindros pequeños de la mezcla M4 se hallan en las Tablas N. 34-37 y las gráficas se manifiestan desde la Figura 63 a la 66.

**Tabla N. 34.** *Ed ASTM C215 y Ed Modelo, Mezcla M4, Cilindro 10, Antes del Daño.*

C.H.	xi	ε	Ed.	Modelo		
				η	Ed. M.	Δ Ed
%	-	-	GPa	-	GPa	GPa
8.21%	<b>1.000</b>	0.13	19.4	0.285	19.4	0.00
7.77%	<b>0.947</b>	0.13	18.8	0.280	19.3	-0.46
7.45%	<b>0.908</b>	0.13	19.2	0.277	19.2	0.07
7.04%	0.858	0.13	19.0	0.273	19.0	-0.04
6.88%	0.839	0.13	18.9	0.272	19.0	-0.06

6.71%	0.818	0.13	18.7	0.270	18.9	-0.22
6.42%	0.783	0.13	18.1	0.267	18.8	-0.70
6.35%	<b>0.774</b>	0.13	18.6	0.267	18.8	-0.21
2.90%	<b>0.353</b>	0.13	17.0	0.233	17.5	-0.52
2.12%	0.259	0.13	16.5	0.225	17.3	-0.77
1.79%	<b>0.219</b>	0.13	16.5	0.221	17.1	-0.64
1.26%	0.153	0.13	16.2	0.216	16.9	-0.70
0.65%	0.079	0.13	16.1	0.210	16.7	-0.60
0.39%	0.047	0.13	16.4	0.207	16.6	-0.23
0.37%	0.046	0.13	16.1	0.207	16.6	-0.54
0.18%	0.021	0.13	16.1	0.205	16.5	-0.40
0.00%	<b>0.000</b>	0.13	16.5	0.203	16.5	0.00

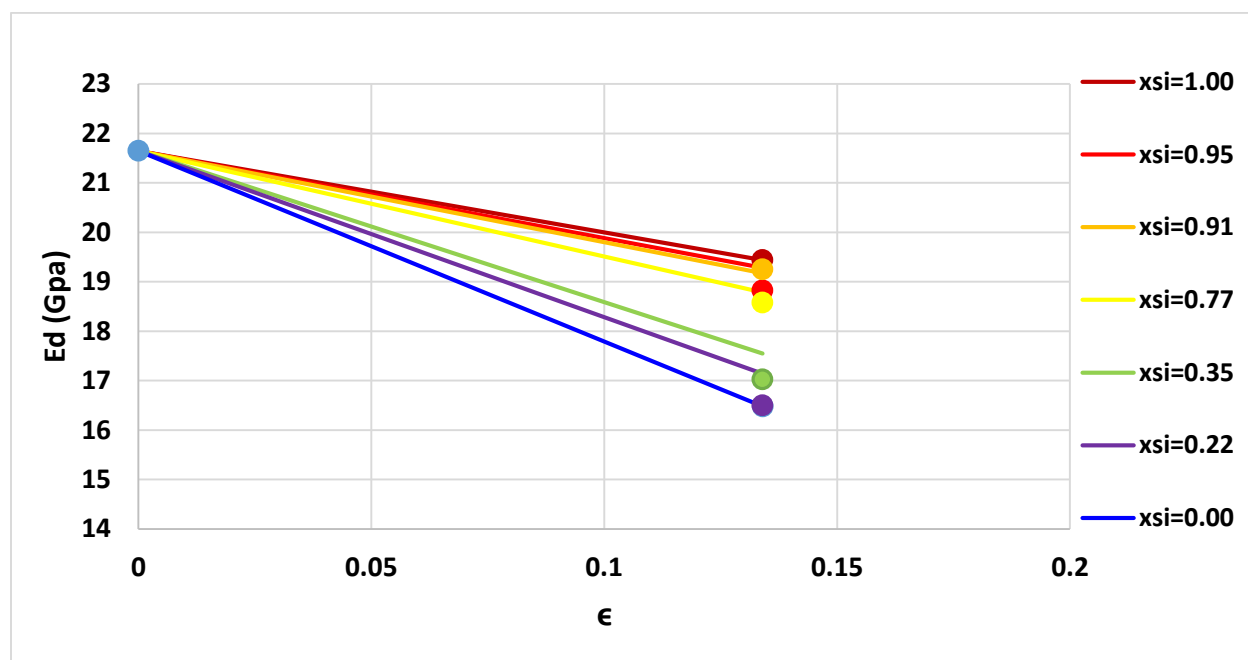
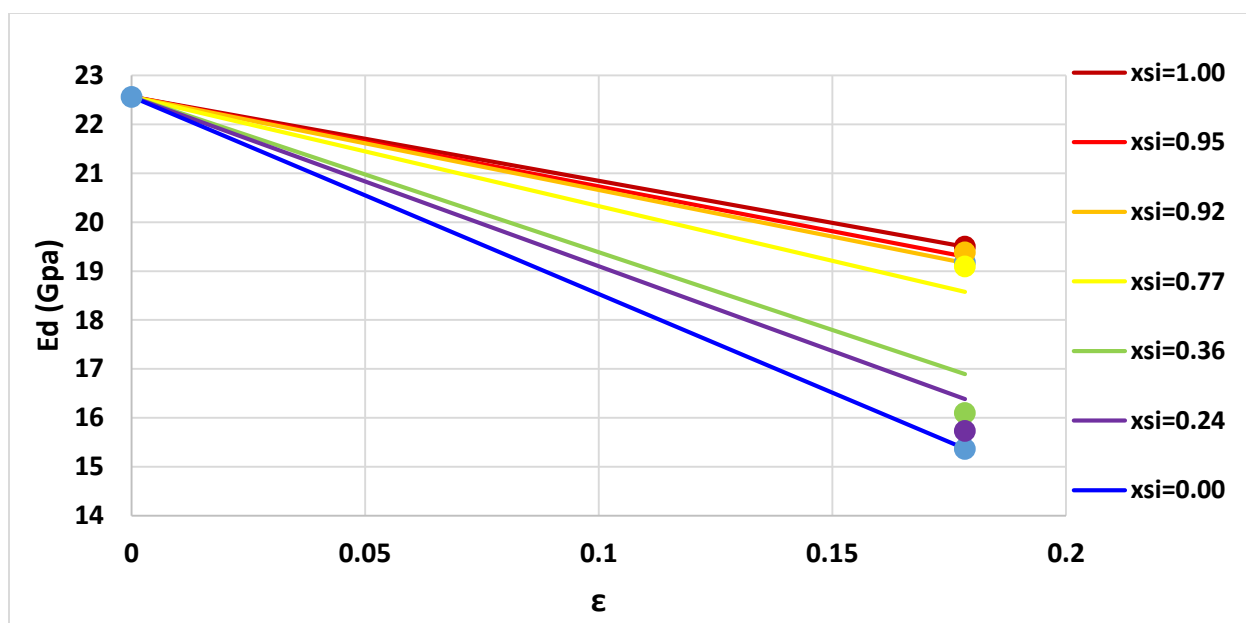


Figura 63: Parámetro de Densidad de Fisuras Mezcla M4, Cilindro 10, Antes del Daño.

Tabla N. 35. Ed ASTM C215 y Ed Modelo, Mezcla M4, Cilindro 11, Antes del Daño.

C.H.	xi	$\epsilon$	Ed.	Modelo		$\Delta$ Ed
				$\eta$	Ed. M.	
%	-	-	GPa	-	GPa	GPa
7.99%	<b>1.000</b>	0.18	19.5	0.293	19.5	0.00

7.59%	<b>0.949</b>	0.18	19.2	0.287	19.3	-0.12
7.32%	<b>0.916</b>	0.18	19.4	0.284	19.2	0.22
6.92%	0.866	0.18	19.4	0.279	19.0	0.44
6.77%	0.847	0.18	19.4	0.277	18.9	0.51
6.60%	0.826	0.18	19.0	0.274	18.8	0.20
6.34%	0.793	0.18	19.1	0.271	18.7	0.47
6.15%	<b>0.769</b>	0.18	19.1	0.268	18.6	0.52
2.89%	<b>0.361</b>	0.18	16.1	0.224	16.9	-0.80
2.24%	0.280	0.18	16.2	0.215	16.6	-0.35
1.91%	<b>0.239</b>	0.18	15.7	0.211	16.4	-0.65
1.27%	0.159	0.18	16.1	0.201	16.0	0.10
0.70%	0.087	0.18	16.6	0.193	15.7	0.89
0.38%	0.047	0.18	16.1	0.189	15.6	0.49
0.34%	0.043	0.18	15.7	0.188	15.5	0.17
0.21%	0.026	0.17	15.0	0.189	15.5	-0.45
0.00%	<b>0.000</b>	0.18	15.4	0.183	15.4	0.00



*Figura 64: Parámetro de Densidad de Fisuras Mezcla M4, Cilindro 11, Antes del Daño.*

**Tabla N. 36.** *Ed ASTM C215 y Ed Modelo, Mezcla M4, Cilindro 4, Después del Daño.*

C.H.	xi	ε	Ed.	Modelo		
				η	Ed. M.	Δ Ed

%	-	-	GPa	-	GPa	GPa
5.42%	<b>1.000</b>	0.13	19.8	0.284	19.8	-0.03
4.89%	<b>0.901</b>	0.13	20.1	0.277	19.6	0.52
4.30%	<b>0.793</b>	0.13	18.8	0.268	19.2	-0.39
4.04%	0.745	0.13	20.6	0.264	19.1	1.48
3.78%	0.697	0.13	19.3	0.261	19.0	0.33
3.56%	0.657	0.13	18.8	0.257	18.8	-0.06
3.43%	0.632	0.13	18.8	0.255	18.8	0.07
3.37%	0.621	0.13	18.3	0.254	18.7	-0.48
3.32%	<b>0.611</b>	0.13	18.0	0.254	18.7	-0.68
1.43%	<b>0.264</b>	0.13	19.8	0.225	17.7	2.12
1.06%	0.195	0.13	15.5	0.220	17.4	-1.94
0.78%	<b>0.144</b>	0.13	15.2	0.215	17.3	-2.10
0.52%	0.097	0.13	16.4	0.211	17.1	-0.77
0.38%	0.071	0.13	16.8	0.209	17.1	-0.24
0.25%	0.046	0.13	11.0	0.207	17.0	-5.93
0.17%	0.032	0.13	17.4	0.206	16.9	0.49
0.00%	<b>0.000</b>	0.13	16.8	0.203	16.8	0.01

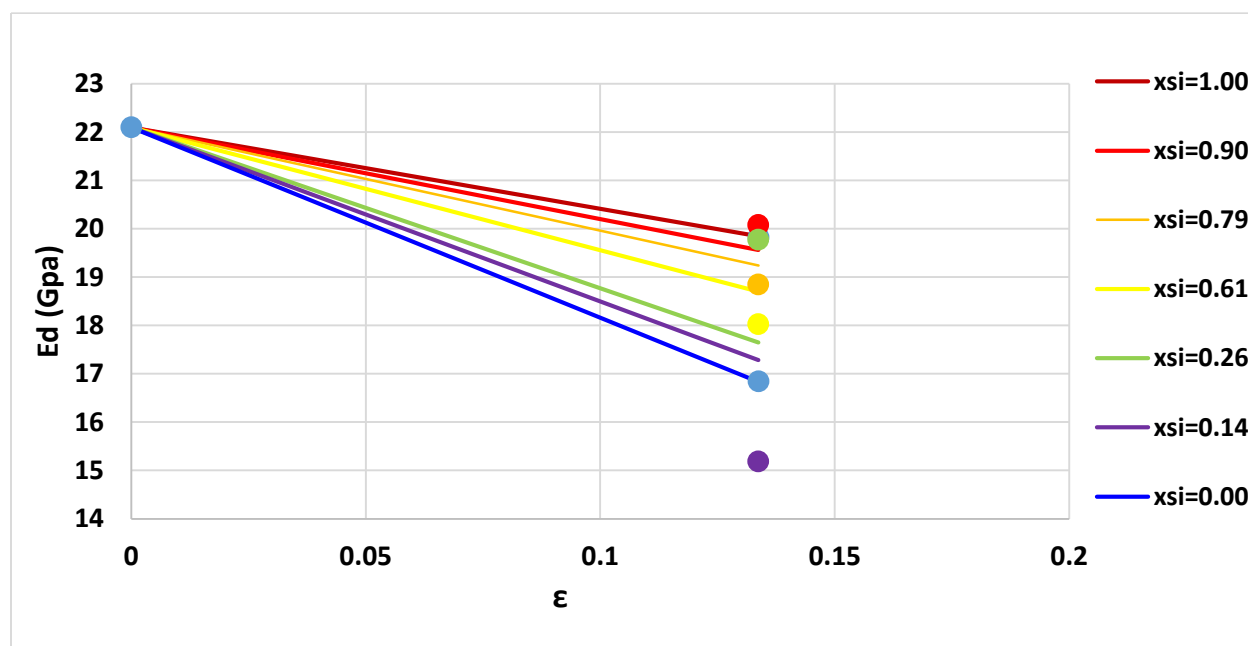
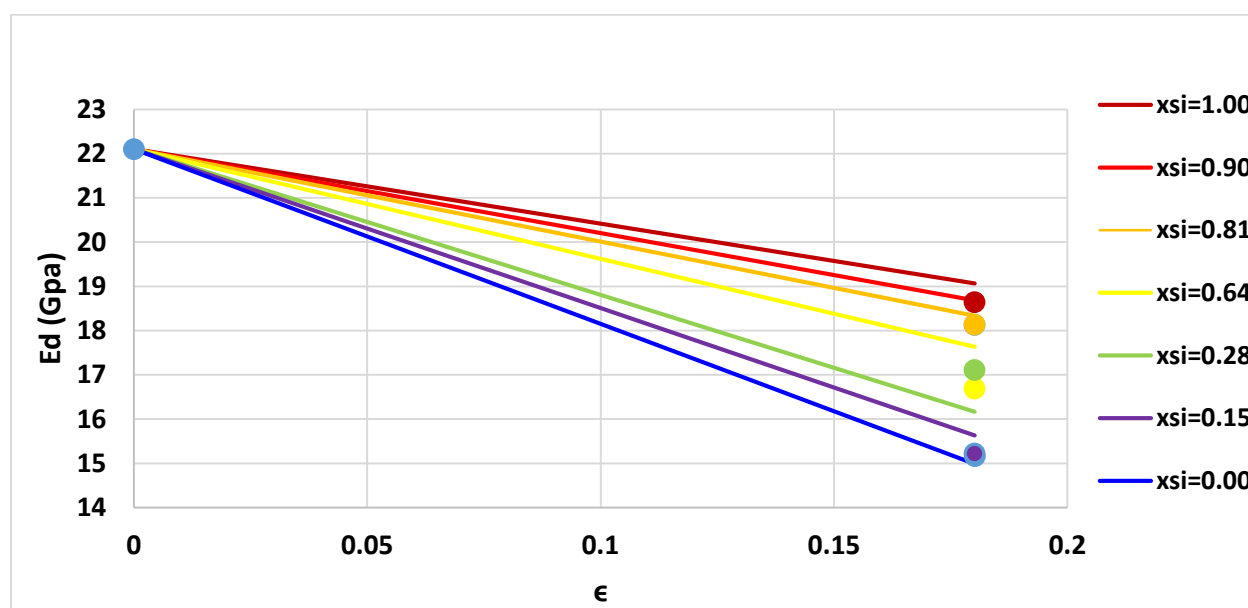


Figura 65: Parámetro de Densidad de Fisuras Mezcla M4, Cilindro 4, Después del Daño.



**Tabla N. 37.** Ed ASTM C215 y Ed Modelo, Mezcla M4, Cilindro 9, Después del Daño.

C.H.	xi	$\epsilon$	Ed.	Modelo		
				$\eta$	Ed. M.	$\Delta$ Ed
%	-	-	GPa	-	GPa	GPa
5.75%	<b>1.000</b>	0.18	18.6	0.293	19.1	-0.43
5.18%	<b>0.901</b>	0.18	18.1	0.283	18.7	-0.55
4.67%	<b>0.814</b>	0.18	18.1	0.273	18.3	-0.20
4.43%	0.770	0.18	16.6	0.269	18.2	-1.52
4.16%	0.725	0.18	17.3	0.264	18.0	-0.64
3.91%	0.680	0.18	16.9	0.259	17.8	-0.95
3.78%	0.658	0.18	16.2	0.256	17.7	-1.48
3.73%	0.649	0.18	16.2	0.256	17.7	-1.51
3.67%	<b>0.639</b>	0.18	16.7	0.254	17.6	-0.94
1.62%	<b>0.282</b>	0.18	17.1	0.215	16.2	0.94
1.16%	0.202	0.18	16.7	0.206	15.8	0.91
0.88%	<b>0.154</b>	0.18	15.2	0.200	15.6	-0.41
0.65%	0.112	0.18	14.3	0.195	15.5	-1.16
0.43%	0.074	0.18	15.2	0.191	15.3	-0.07
0.31%	0.053	0.18	13.8	0.189	15.2	-1.36
0.12%	0.021	0.18	13.9	0.185	15.1	-1.22
0.00%	<b>0.000</b>	0.18	15.2	0.182	15.0	0.18



**Figura 66:** Parámetro de Densidad de Fisuras Mezcla M4, Cilindro 9, Después del Daño.

Se empleó el modelo para los cilindros 12 y 13 con el fin de relacionar lo sucedido antes y después del deterioro por carga. Utilizando cuatro datos, se encontró una solución con la cual se localiza una densidad de fisura previa y posterior al deterioro como se muestra en la Tabla N.38-41. Adicionalmente, se presenta gráficamente la comparación entre el módulo de elasticidad dinámico medido versus el módulo dinámico del modelo (Figura 67, 68).

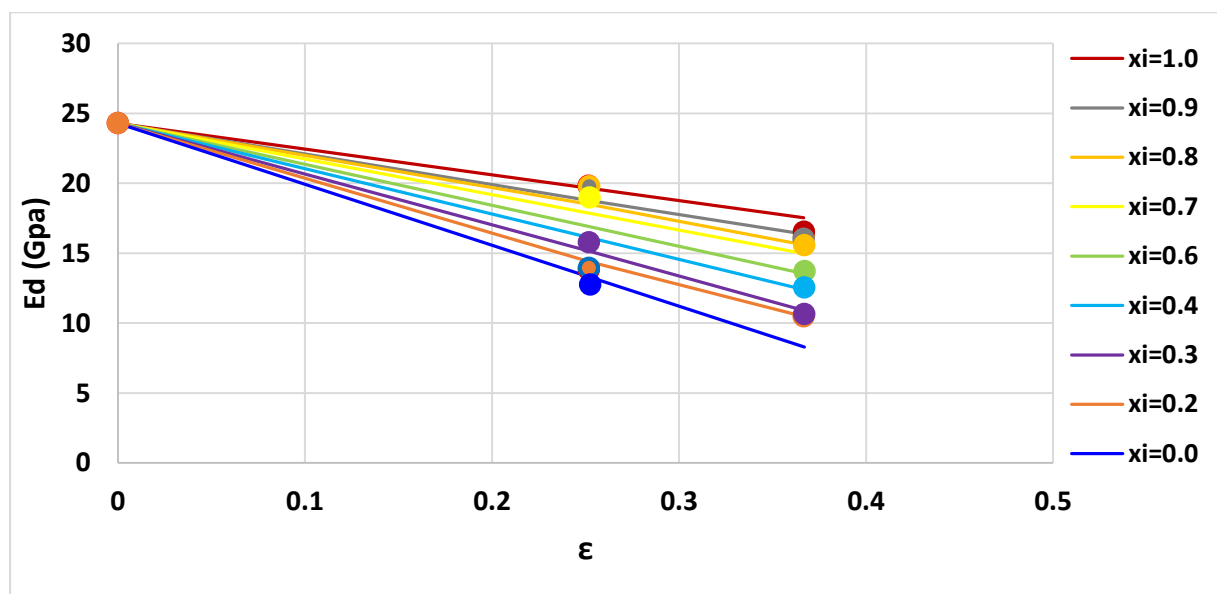
**Tabla N. 38.** *Ed ASTM C215 y Ed Modelo, Mezcla M4, Cilindro 12, Antes del Daño.*

C.H.	xi	$\epsilon$	Ed.	Modelo		$\Delta$ Ed
				$\eta$	Ed. M.	
%	-	-	GPa	-	GPa	GPa
6.47%	<b>0.857</b>	0.25	19.8	0.285	18.8	1.0
6.14%	<b>0.814</b>	0.25	19.8	0.279	18.5	1.3
5.95%	0.789	0.25	20.2	0.275	18.3	1.9
5.63%	0.747	0.25	19.6	0.269	18.1	1.5
5.50%	0.729	0.25	19.6	0.266	18.0	1.6
5.37%	<b>0.712</b>	0.25	19.0	0.263	17.9	1.1
5.16%	0.685	0.25	19.8	0.259	17.7	2.1
5.09%	0.675	0.25	19.3	0.258	17.6	1.6
2.68%	0.355	0.25	15.9	0.208	15.6	0.3
2.15%	<b>0.285</b>	0.25	15.8	0.196	15.1	0.6
1.84%	0.244	0.25	14.7	0.190	14.9	-0.2
1.29%	<b>0.170</b>	0.25	13.9	0.178	14.4	-0.5
0.73%	<b>0.097</b>	0.25	13.8	0.166	13.9	-0.1
0.47%	0.062	0.25	13.7	0.160	13.7	0.0
0.42%	0.056	0.25	13.8	0.159	13.7	0.1
0.25%	0.034	0.25	11.6	0.155	13.5	-1.9
0.00%	<b>0.000</b>	0.25	12.8	0.149	13.3	-0.5

**Tabla N. 39.** *Ed ASTM C215 y Ed Modelo, Mezcla M4, Cilindro 12, Después del Daño.*

C.H.	xi	$\epsilon$	Ed.	Modelo		$\Delta$ Ed
				$\eta$	Ed. M.	
%	-	-	GPa	-	GPa	GPa
7.54%	<b>1.000</b>	0.37	16.5	0.327	17.5	-1.0
6.55%	<b>0.868</b>	0.37	16.0	0.299	16.4	-0.3

5.88%	<b>0.780</b>	0.37	14.8	0.280	15.6	-0.7
5.67%	0.751	0.37	15.8	0.274	15.3	0.5
5.47%	0.726	0.37	15.8	0.268	15.1	0.7
5.42%	0.719	0.37	16.0	0.267	15.0	1.0
5.37%	<b>0.713</b>	0.37	16.2	0.265	15.0	1.2
5.33%	0.706	0.37	15.4	0.264	14.9	0.5
4.21%	<b>0.558</b>	0.37	13.7	0.230	13.5	0.2
3.28%	<b>0.435</b>	0.37	12.6	0.201	12.4	0.2
2.84%	0.376	0.37	11.6	0.187	11.8	-0.2
2.39%	0.317	0.37	10.7	0.173	11.3	-0.6
2.10%	<b>0.278</b>	0.37	10.7	0.163	10.9	-0.2
1.70%	0.225	0.37	10.5	0.150	10.4	0.1
1.39%	<b>0.184</b>	0.37	10.5	0.140	10.5	0.0



*Figura 67: Parámetro de Densidad de Fisuras Mezcla M4, Cilindro 12, Antes y Después del Daño.*

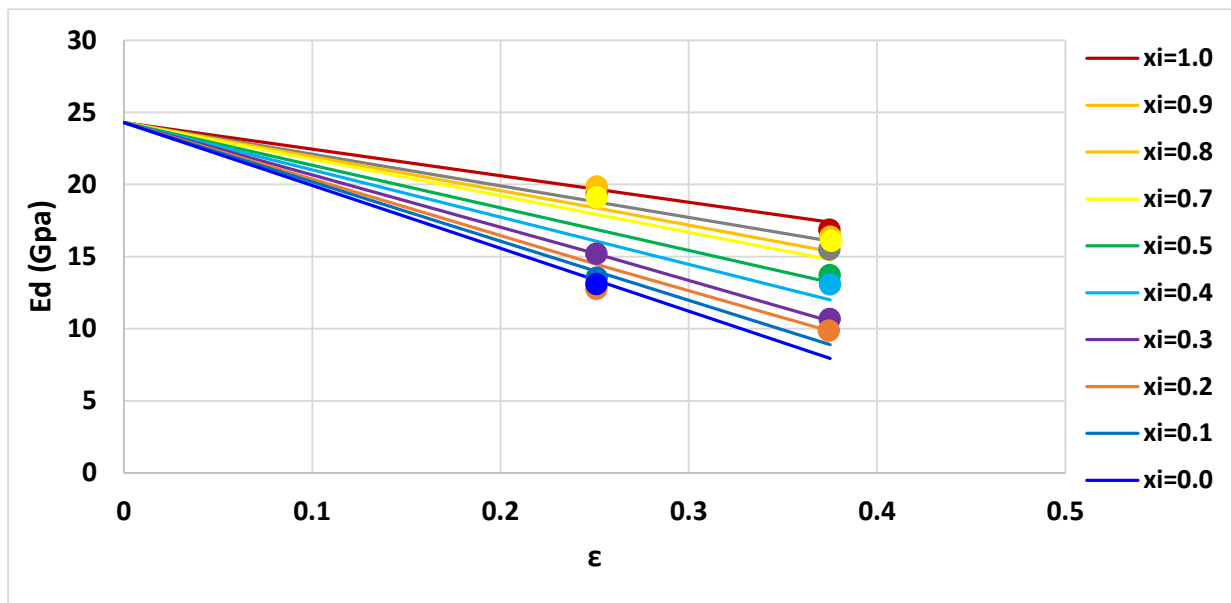
**Tabla N. 40.** *Ed ASTM C215 y Ed Modelo, Mezcla M4, Cilindro 13, Antes del Daño.*

C.H.	xi	ε	Ed.	Modelo		Δ Ed
				η	Ed. M.	
%	-	-	GPa	-	GPa	GPa

6.34%	<b>0.858</b>	0.25	19.3	0.285	18.8	0.5
6.03%	0.816	0.25	20.6	0.279	18.5	2.0
5.83%	<b>0.789</b>	0.25	19.9	0.275	18.4	1.5
5.52%	0.746	0.25	20.3	0.269	18.1	2.2
5.40%	0.730	0.25	19.3	0.266	18.0	1.2
5.28%	<b>0.714</b>	0.25	19.1	0.264	17.9	1.2
5.08%	0.687	0.25	20.2	0.260	17.8	2.4
4.94%	0.668	0.25	19.7	0.257	17.6	2.1
2.63%	0.356	0.25	16.5	0.208	15.7	0.9
2.10%	<b>0.284</b>	0.25	15.2	0.196	15.2	0.0
1.81%	0.245	0.25	14.3	0.190	14.9	-0.6
1.26%	<b>0.171</b>	0.25	12.8	0.178	14.5	-1.7
0.70%	<b>0.095</b>	0.25	13.5	0.166	14.0	-0.4
0.44%	0.059	0.25	13.4	0.160	13.7	-0.4
0.39%	0.053	0.25	13.6	0.159	13.7	-0.1
0.25%	0.034	0.25	12.0	0.156	13.6	-1.6
0.00%	<b>0.000</b>	0.25	13.1	0.150	13.4	-0.3

**Tabla N. 41.** *Ed ASTM C215 y Ed Modelo, Mezcla M4, Cilindro 13, Después del Daño.*

C.H.	xi	$\epsilon$	Ed.	Modelo		
				$\eta$	Ed. M.	$\Delta$ Ed
%	-	-	GPa	-	GPa	GPa
7.39%	<b>1.000</b>	0.37	16.9	0.328	17.4	-0.5
6.32%	<b>0.854</b>	0.37	15.5	0.297	16.1	-0.6
5.74%	<b>0.777</b>	0.38	16.4	0.280	15.4	1.0
5.52%	0.747	0.38	16.2	0.273	15.1	1.2
5.33%	0.721	0.38	16.2	0.267	14.8	1.3
5.28%	<b>0.714</b>	0.38	16.1	0.266	14.8	1.3
5.23%	0.707	0.38	18.5	0.264	14.7	3.8
5.19%	0.701	0.37	15.7	0.263	14.7	1.1
4.06%	<b>0.549</b>	0.37	13.7	0.227	13.2	0.5
3.11%	<b>0.421</b>	0.37	13.1	0.196	12.0	1.1
2.71%	0.366	0.37	11.9	0.183	11.5	0.4
2.30%	0.311	0.37	10.7	0.169	10.9	-0.2
2.00%	<b>0.270</b>	0.37	10.7	0.159	10.5	0.2
1.60%	0.217	0.37	9.9	0.146	10.0	-0.1
1.29%	<b>0.175</b>	0.37	9.8	0.135	9.8	0.0



**Figura 68:** *Parámetro de Densidad de Fisuras Mezcla M4, Cilindro 13, Antes y Después del Daño.*

#### 2.5.4.3 Mezcla 3.

El mismo procedimiento que se llevó a cabo para la mezcla M5 y M4 fue aplicado para la mezcla M3. En la Tabla N.42 y 43, se expone la comparación entre el módulo medido y el del modelo a diferentes grados de saturación, paralelamente se presenta la solución de manera gráfica en la Figura 69-72 para los especímenes de 100x200mm.

**Tabla N. 42.** *Ed ASTM C215 y Ed Modelo, Mezcla M3, Cilindro 10, Antes del Daño.*

C.H.	xi	ε	Ed.	Modelo		
				η	Ed. M.	Δ Ed
%	-	-	GPa	-	GPa	GPa
5.32%	<b>1.000</b>	0.17	28.7	0.291	28.7	0.00
4.74%	<b>0.890</b>	0.17	27.0	0.280	28.1	-1.13
4.40%	<b>0.826</b>	0.17	27.1	0.274	27.7	-0.64
4.00%	0.751	0.17	25.6	0.266	27.3	-1.77
3.98%	0.747	0.17	26.0	0.266	27.3	-1.27
3.92%	0.736	0.17	25.0	0.265	27.2	-2.24
3.82%	<b>0.717</b>	0.17	25.8	0.263	27.1	-1.31

0.94%	<b>0.176</b>	0.17	24.5	0.206	24.0	0.54
0.69%	0.131	0.17	24.9	0.201	23.7	1.21
0.56%	<b>0.106</b>	0.17	24.0	0.198	23.6	0.40
0.49%	0.091	0.17	22.8	0.197	23.5	-0.66
0.34%	0.064	0.17	23.3	0.194	23.3	-0.08
0.26%	0.049	0.17	21.2	0.192	23.2	-2.00
0.13%	0.024	0.17	23.9	0.190	23.1	0.76
0.00%	<b>0.000</b>	0.17	23.0	0.187	23.0	0.00

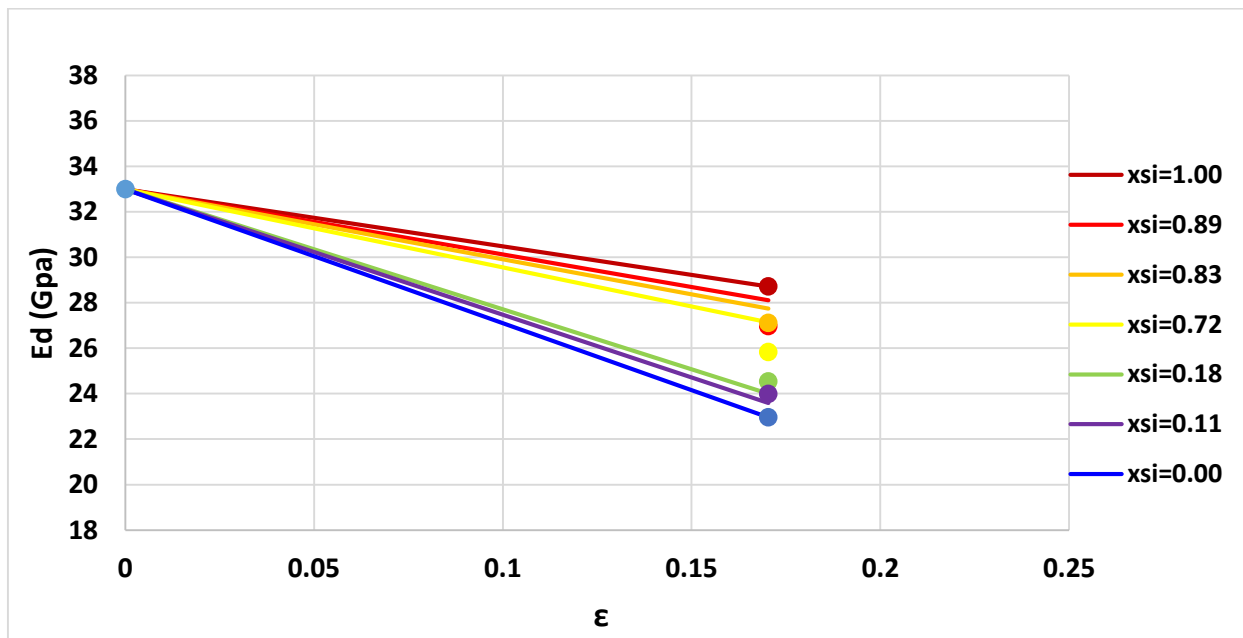


Figura 69: Parámetro de Densidad de Fisuras Mezcla M3, Cilindro 10, Antes del Daño.

Tabla N. 43. Ed ASTM C215 y Ed Modelo, Mezcla M3, Cilindro 11, Antes del Daño.

C.H.	xi	ε	Ed.	Modelo		
				η	Ed. M.	Δ Ed
%	-	-	GPa	-	GPa	GPa
5.54%	<b>1.000</b>	0.17	28.5	0.292	28.5	0.00
4.93%	<b>0.891</b>	0.17	26.7	0.281	27.8	-1.12
4.63%	<b>0.837</b>	0.17	26.9	0.275	27.5	-0.69
4.18%	0.754	0.17	26.6	0.267	27.1	-0.45
4.16%	0.751	0.17	24.5	0.266	27.1	-2.51
4.11%	0.741	0.17	25.8	0.265	27.0	-1.20

4.01%	<b>0.725</b>	0.17	26.1	0.264	26.9	-0.82
0.94%	<b>0.169</b>	0.17	24.1	0.204	23.6	0.48
0.70%	0.127	0.17	22.9	0.199	23.4	-0.51
0.55%	<b>0.099</b>	0.17	23.5	0.196	23.2	0.26
0.46%	0.084	0.17	22.4	0.195	23.1	-0.67
0.32%	0.059	0.17	23.2	0.192	23.0	0.24
0.27%	0.049	0.17	23.4	0.190	22.9	0.48
0.13%	0.024	0.17	22.1	0.188	22.8	-0.62
0.00%	<b>0.000</b>	0.17	22.6	0.185	22.6	0.00

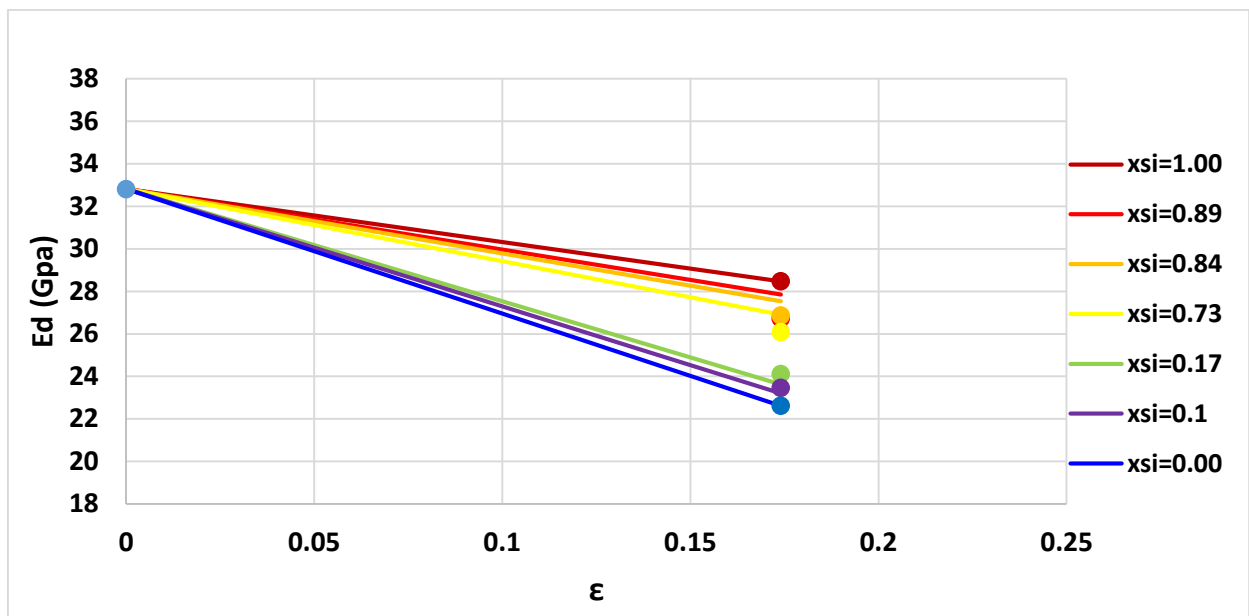


Figura 70: Parámetro de Densidad de Fisuras Mezcla M3, Cilindro 11, Antes del Daño.

Tabla N. 44. Ed ASTM C215 y Ed Modelo, Mezcla M3, Cilindro 9, Después del Daño.

C.H.	xi	ε	Ed.	Modelo		Δ Ed
				η	Ed. M.	
%	-	-	GPa	-	GPa	GPa
3.12%	<b>1.000</b>	0.24	29.3	0.304	29.3	0.00
2.57%	<b>0.823</b>	0.24	27.7	0.279	27.8	-0.09
2.38%	0.761	0.24	24.5	0.270	27.2	-2.75
2.28%	0.730	0.24	24.4	0.266	27.0	-2.54
2.12%	0.679	0.24	24.2	0.258	26.5	-2.30

2.03%	<b>0.649</b>	0.24	24.4	0.254	26.3	-1.90
1.96%	0.628	0.24	24.9	0.251	26.1	-1.20
1.95%	0.623	0.24	23.6	0.250	26.0	-2.44
1.93%	<b>0.617</b>	0.24	22.7	0.249	26.0	-3.29
0.95%	<b>0.304</b>	0.24	26.3	0.202	23.2	3.16
0.68%	0.217	0.24	23.8	0.189	22.4	1.39
0.52%	<b>0.167</b>	0.24	22.1	0.181	21.9	0.21
0.40%	0.129	0.24	21.2	0.175	21.6	-0.38
0.37%	0.120	0.24	22.3	0.174	21.5	0.84
0.18%	0.058	0.24	22.1	0.164	20.9	1.22
0.11%	0.035	0.24	21.9	0.160	20.7	1.21
0.00%	<b>0.000</b>	0.24	20.4	0.155	20.4	0.00

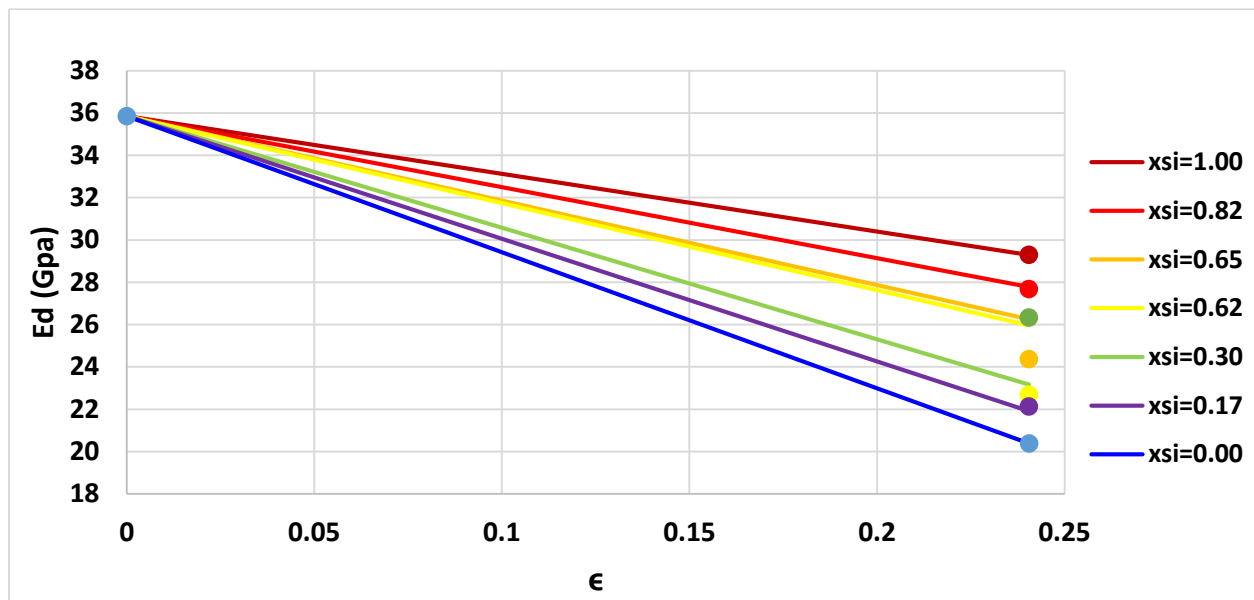


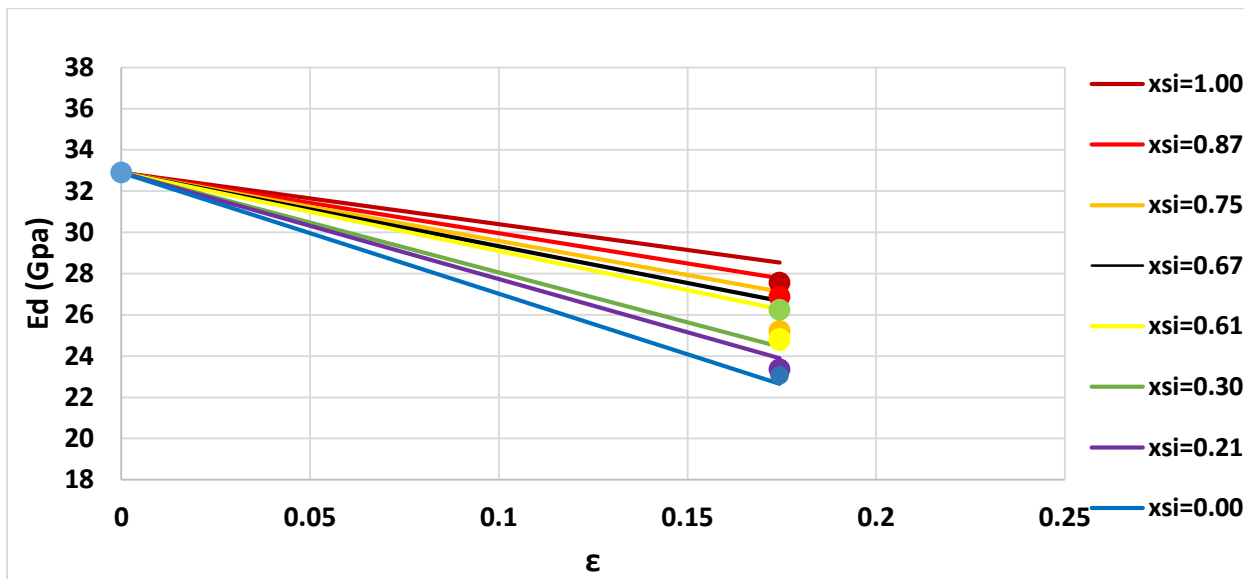
Figura 71: Parámetro de Densidad de Fisuras Mezcla M3, Cilindro 9, Después del Daño.

Tabla N. 45. Ed ASTM C215 y Ed Modelo, Mezcla M3, Cilindro 3, Después del Daño.

C.H.	xi	ε	Ed.	Modelo		
				η	Ed. M.	Δ Ed
%	-	-	GPa	-	GPa	GPa
3.15%	<b>1.000</b>	0.17	27.6	0.292	28.5	-0.98
2.73%	<b>0.866</b>	0.17	26.9	0.278	27.8	-0.89
2.37%	<b>0.753</b>	0.17	25.2	0.267	27.1	-1.92
2.28%	0.724	0.35	24.1	0.267	27.0	-2.88



2.12%	<b>0.674</b>	0.18	24.8	0.258	26.7	-1.85
2.04%	0.648	0.17	24.6	0.256	26.5	-1.88
1.99%	0.632	0.17	23.5	0.254	26.4	-2.91
1.96%	0.621	0.17	25.1	0.253	26.4	-1.26
1.91%	<b>0.606</b>	0.17	24.8	0.251	26.3	-1.50
0.94%	<b>0.298</b>	0.17	26.2	0.218	24.4	1.78
0.65%	<b>0.206</b>	0.17	23.4	0.208	23.9	-0.54
0.49%	0.157	0.17	22.2	0.203	23.6	-1.44
0.39%	0.123	0.17	22.6	0.199	23.4	-0.83
0.24%	0.077	0.17	23.1	0.194	23.1	-0.01
0.20%	0.064	0.17	22.1	0.192	23.0	-0.94
0.08%	0.025	0.17	22.5	0.188	22.8	-0.31
0.00%	<b>0.000</b>	0.17	23.1	0.185	22.6	0.41



*Figura 72: Parámetro de Densidad de Fisuras Mezcla M3, Cilindro 3, Después del Daño.*

Debido a que los cilindros 12 y 13 son los mismos en estado sano y dañado, se empleó el modelo con cuatro datos cuyos resultados se visualizan en las Tablas N.46-49. La Figura 73 y 74 muestra el parámetro de densidad de fisura para la mezcla 3.

**Tabla N. 46.** *Ed ASTM C215 y Ed Modelo, Mezcla M3, Cilindro 12, Antes del Daño.*

C.H.	xi	$\epsilon$	Ed.	Modelo		
				$\eta$	Ed. M.	$\Delta$ Ed
%	-	-	GPa	-	GPa	GPa
4.61%	<b>1.000</b>	0.25	28.5	0.306	28.3	0.1
4.26%	<b>0.925</b>	0.25	28.4	0.295	27.7	0.7
4.03%	0.875	0.25	26.6	0.288	27.2	-0.6
3.74%	<b>0.812</b>	0.25	26.7	0.279	26.7	0.1
3.73%	0.810	0.25	26.1	0.278	26.7	-0.6
3.69%	0.800	0.25	26.1	0.277	26.6	-0.5
3.61%	0.784	0.25	26.6	0.274	26.4	0.1
0.94%	<b>0.204</b>	0.25	22.2	0.182	21.1	1.2
0.71%	0.154	0.25	21.1	0.174	20.6	0.6
0.58%	0.126	0.25	20.4	0.170	20.3	0.1
0.49%	<b>0.107</b>	0.25	20.1	0.166	20.1	-0.1
0.32%	0.070	0.25	18.8	0.160	19.8	-1.0
0.26%	0.057	0.25	20.1	0.158	19.7	0.4
0.13%	0.028	0.25	19.9	0.153	19.4	0.5
0.00%	<b>0.000</b>	0.25	19.1	0.149	19.1	0.0

**Tabla N. 47.** *Ed ASTM C215 y Ed Modelo, Mezcla M3, Cilindro 12, Después del Daño.*

C.H.	xi	$\epsilon$	Ed.	Modelo		
				$\eta$	Ed. M.	$\Delta$ Ed
%	-	-	GPa	-	GPa	GPa
4.35%	<b>0.943</b>	0.37	24.3	0.315	24.4	-0.2
3.77%	<b>0.817</b>	0.37	22.0	0.289	22.8	-0.8
3.63%	0.788	0.37	21.8	0.282	22.4	-0.6
3.57%	0.774	0.37	22.7	0.279	22.2	0.5
3.50%	0.759	0.37	22.1	0.276	22.0	0.1
3.48%	0.754	0.37	22.0	0.275	21.9	0.1
3.46%	0.750	0.37	21.9	0.274	21.9	0.0
3.44%	<b>0.747</b>	0.37	21.4	0.273	21.8	-0.4
2.72%	<b>0.590</b>	0.37	19.6	0.237	19.7	-0.1
2.18%	<b>0.474</b>	0.37	17.9	0.209	18.1	-0.2
1.93%	<b>0.419</b>	0.37	19.6	0.196	17.3	2.2

1.68%	0.366	0.37	15.9	0.183	16.6	-0.7
1.51%	<b>0.328</b>	0.37	15.9	0.174	16.1	-0.2
1.28%	0.278	0.37	15.5	0.161	15.4	0.1
1.21%	<b>0.261</b>	0.37	15.2	0.157	15.2	0.0

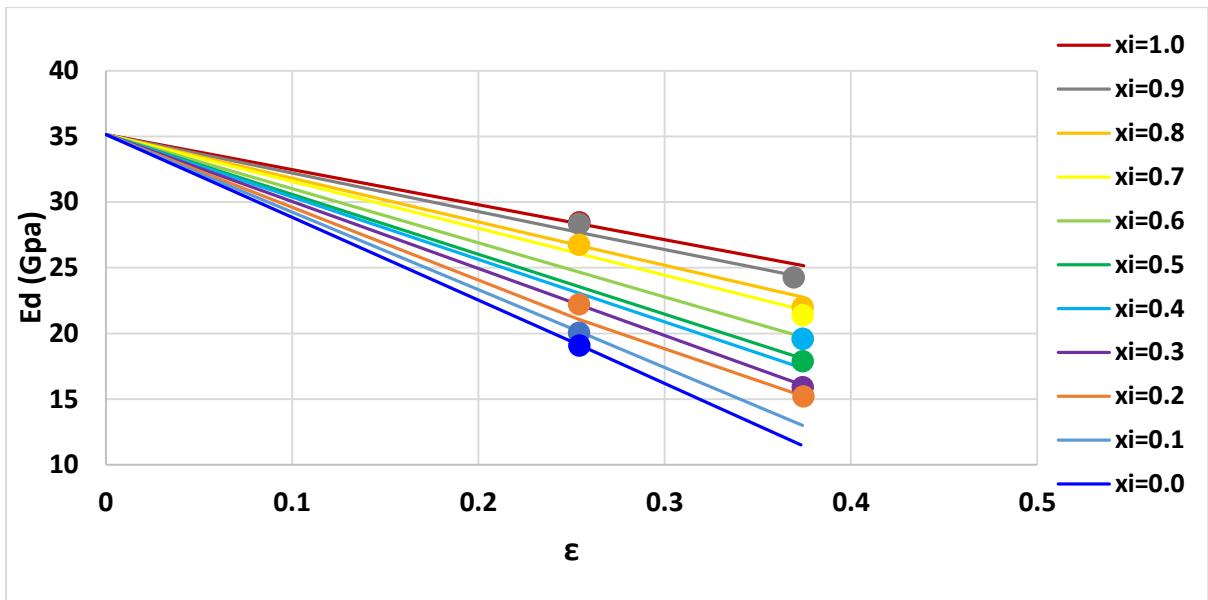


Figura 73: Parámetro de Densidad de Fisuras Mezcla M3, Cilindro 12, Antes y Después del Daño.

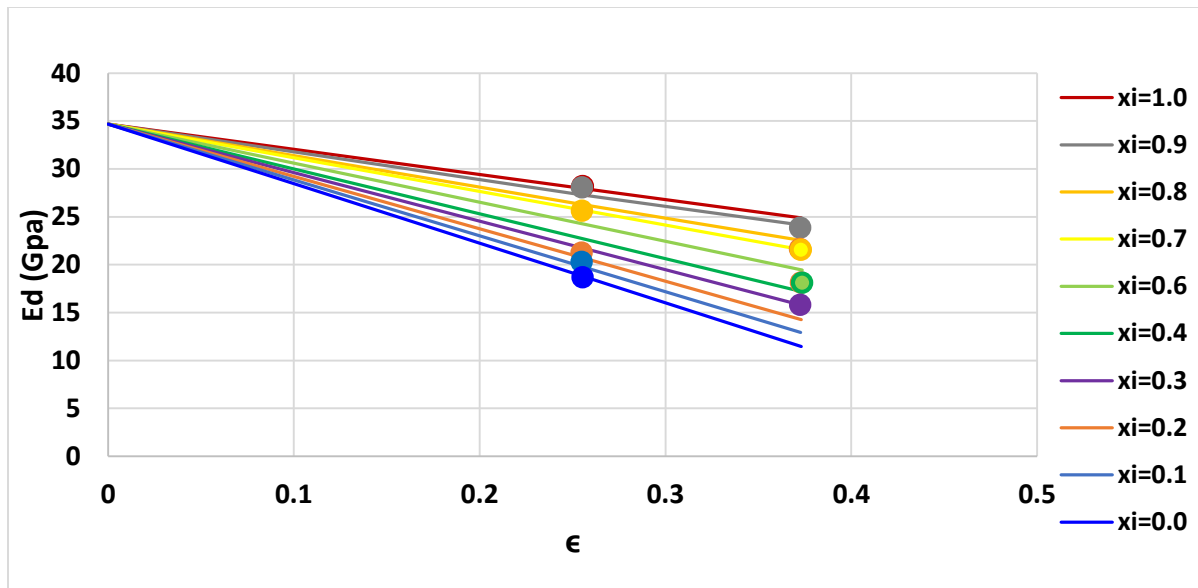
Tabla N. 48. Ed ASTM C215 y Ed Modelo, Mezcla M3, Cilindro 13, Antes del Daño.

C.H.	xi	ε	Ed.	Modelo		
				η	Ed. M.	Δ Ed
%	-	-	GPa	-	GPa	GPa
4.76%	<b>1.000</b>	0.26	28.2	0.307	28.0	0.2
4.40%	<b>0.925</b>	0.25	28.1	0.296	27.3	0.8
4.18%	0.880	0.25	26.1	0.289	26.9	-0.8
3.86%	<b>0.812</b>	0.26	25.7	0.279	26.3	-0.6
3.86%	0.812	0.26	25.6	0.279	26.3	-0.7
3.81%	0.801	0.26	25.7	0.277	26.2	-0.5
3.74%	0.787	0.26	26.8	0.275	26.1	0.7
0.98%	<b>0.206</b>	0.25	21.3	0.182	20.7	0.5
0.74%	0.156	0.25	20.7	0.174	20.3	0.4
0.60%	0.126	0.25	19.7	0.169	20.0	-0.3
0.51%	<b>0.107</b>	0.25	20.3	0.166	19.8	0.5

0.36%	0.075	0.25	16.8	0.161	19.5	-2.7
0.30%	0.062	0.25	18.5	0.159	19.4	-0.9
0.17%	0.035	0.25	18.1	0.154	19.1	-1.0
0.00%	<b>0.000</b>	0.26	18.7	0.148	18.8	-0.1

**Tabla N. 49.** *Ed ASTM C215 y Ed Modelo, Mezcla M3, Cilindro 13, Después del Daño.*

C.H.	xi	$\epsilon$	Ed.	Modelo		$\Delta$ Ed
				$\eta$	Ed. M.	
%	-	-	GPa	-	GPa	GPa
4.49%	<b>0.943</b>	0.37	23.9	0.316	24.2	-0.3
3.89%	<b>0.818</b>	0.37	21.6	0.289	22.5	-0.9
3.73%	0.785	0.37	20.9	0.281	22.1	-1.2
3.67%	0.771	0.37	21.2	0.282	21.9	-0.7
3.61%	0.759	0.37	22.1	0.276	21.8	0.3
3.59%	0.755	0.37	21.6	0.275	21.7	-0.2
3.57%	0.750	0.37	21.1	0.278	21.7	-0.6
3.54%	<b>0.745</b>	0.37	21.6	0.272	21.6	0.0
2.78%	<b>0.585</b>	0.37	18.1	0.235	19.4	-1.3
2.25%	0.473	0.37	17.0	0.209	17.9	-0.9
1.99%	<b>0.419</b>	0.37	18.1	0.196	17.2	0.9
1.76%	0.369	0.37	15.5	0.184	16.5	-1.0
1.58%	<b>0.333</b>	0.37	17.1	0.175	16.0	1.1
1.55%	0.325	0.37	16.3	0.173	15.9	0.4
1.46%	<b>0.306</b>	0.37	15.8	0.168	15.8	0.0



*Figura 74: Parámetro de Densidad de Fisuras Mezcla M3, Cilindro 13, Antes y Después del Daño.*

#### 2.5.4.4 Discusión.

Al emplear el modelo para los especímenes de todas las mezclas se percibió diferentes comportamientos dependiendo del grado de saturación y el estado en el que se encontraba el material. En el caso de la mezcla M5 correspondiente a hormigones convencionales, se observa que antes del daño para un valor de  $\xi$  mayor o igual a 0.5, el  $E_d$  del modelo tiende a encontrarse por abajo del  $E_d$  medido y cuando la saturación del material corresponde a un valor de  $\xi$  menor a 0.5, el  $E_d$  del modelo se ubica a la altura o por encima del  $E_d$  medido, tal como se muestra en la Figura 57, 58, 61, 62. Por otro lado, al exponer al material a deterioro por carga, se visualizó en algunos cilindros de 100x200mm pertenecientes a las tres mezclas, una tendencia en la cual el módulo de elasticidad dinámico del modelo se halla por encima del módulo medido cuando el elemento está con un nivel de saturación mayor o igual a 0.5, mientras que cuando  $\xi$  es menor a

0.5 el Ed del modelo se encuentra por abajo del Ed medido, tal y como se expone en la Figura 59, 60, 66 y 72.

En la Figura 69 y 71, se percibe que ambos módulos determinados para dos cilindros de 100x200mm de la mezcla M3, se encuentran muy cerca entre sí. Sin embargo, al analizar la Tabla 42 y 44, se determina que el cuadrado de la diferencia de los módulos en promedio es de 1.34 y 3.35.

Con respecto a 3 de los 4 cilindros de 100x200mm pertenecientes a la mezcla M4 y M3 antes del daño, se observó que el módulo dinámico del modelo es igual o muy cercano a la mayoría de los puntos que representan los módulos medidos, al analizar las Tablas correspondientes a la Figura 63, 64 y 70. Un caso similar sucedió con los cilindros de 150x300mm correspondientes a la mezcla 4 y 3, en el cual tanto antes como después del daño, el Ed del modelo y el medido se encuentran en su mayoría muy cerca o igual entre sí (Figura 67, 68, 73, 74).

En los especímenes de mayor volumen se manifiesta un incremento en la densidad de fisuras comparando antes y después del daño. Para la mezcla M5, la densidad de fisura aumenta 0.11, mientras que para la mezcla M4 y M3 incrementa 0.12.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 3.1 Conclusiones.

Después de completar el presente trabajo de titulación, se determinaron las siguientes conclusiones:

- Se midió satisfactoriamente velocidad de pulso, velocidad de corte y módulo de elasticidad dinámico a medida que variaba el contenido de humedad en estado sano.
- Se observaron diferencias en cuanto a la velocidad de pulso de la mezcla M5 y M4 donde la velocidad de pulso se encontraba en el rango entre 3500 y 4000 metros por segundo mientras que en la mezcla M3 la velocidad de pulso se hallaba entre 4000 y 4500 metros por segundo, antes del daño.
- Se percibió que las velocidades de corte para las tres mezclas se ubicaban en el rango de 2000 y 2500 metros por segundo, antes del daño.
- Se visualiza que el módulo de elasticidad dinámico determinado en base a la norma ASTM C215, incrementa a medida que aumenta el contenido de humedad, cuyo rango se encuentra entre 12 y 29 GPa para las tres mezclas, antes del daño.
- Se lograron obtener datos confiables de velocidad de pulso y módulo de elasticidad dinámico a diferentes grados de saturación, después de exponer los especímenes a deterioro por carga a compresión.

- La velocidad de pulso para M5 y M4, se mantiene en el rango de 3500 a 4000 metros por segundo, al igual que M3 que está entre 4000 y 4500 metros por segundo, después del deterioro.
- No se obtuvieron valores confiables con respecto a la velocidad de corte después del daño mediante el procedimiento expuesto.
- Se observó una disminución en el módulo dinámico en las tres mezclas a medida que variaba el contenido de humedad para los cilindros de 150x300 milímetros, cuyo rango antes del daño se encontraba entre 12 y 29 GPa y después del daño entre 10 y 25 GPa.
- Se determinó el módulo de elasticidad dinámico en base a la velocidad de pulso y corte para M5, M4 y M3 antes del daño.
- El módulo de elasticidad dinámico calculado se encuentra sobreestimado en relación al módulo medido por el método ACTM C215.
- Los resultados del módulo de elasticidad dinámico en base a la velocidad de pulso y corte después del daño no fueron confiables debido a la variabilidad de la velocidad de corte después del daño.
- Se determinó la aplicabilidad del modelo de O'Connell & Budiansky para cilindros de hormigón a diferentes grados de saturación.
- Para M5 antes del daño, el  $E_d$  del modelo está por abajo del  $E_d$  medido por el ASTM C215 para un grado de saturación correspondiente a  $x_i$  mayor o igual a 0.5.
- Para M5 antes del daño con  $x_i$  menor a 0.5 el  $E_d$  del modelo tiende a estar por arriba del  $E_d$  medido.



- La diferencia de los módulos al cuadrado es de 1.85 en promedio para M5 antes del daño.
- Para 3 de los 4 cilindros de 100x200mm de M4 y M3 antes del daño, el módulo dinámico del modelo y el medido se encuentran muy cerca entre sí, cuya diferencia al cuadrado en promedio es de 0.40.
- Para cilindros de 150x300mm de M4 y M3 tanto antes como después del daño el  $E_d$  del modelo es igual o muy cercano al  $E_d$  medido con un error promedio de 0.94.
- Existe un incremento de 0.12 en la densidad de fisura para M5, M4 y M3 comparando antes y después del daño.

### **3.2 Recomendaciones.**

Una vez concluida la investigación, se dan las siguientes recomendaciones:

- Realizar mediciones diarias de ondas de esfuerzo desde el estado saturado a seco al horno hasta que se estabilice el peso al finalizar cada estado, con el objetivo de tener gráficas continuas y por lo tanto mayor información en el parámetro de densidad de fisuras a diferentes grados de saturación.
- Utilizar otro método para obtener la velocidad de corte después del daño, ya que a través del método planteado no se obtuvieron resultados satisfactorios.
- Llevar a cabo una metodología para saturar y secar por completo los especímenes, con el objetivo de tener los límites reales en cuanto al rango de variación en el contenido de humedad.
- Estudiar la anisotropía en futuras investigaciones para mejores resultados en la velocidad de corte.

- Estudiar las propiedades de transmisión de fluidos.

## REFERENCIAS.

- Aldo, O. (2013). Assessment of concrete using the Mira and Eyecon ultrasonic shear wave devices and the SAFT C-image reconstruction technique. *Construction and Building Materials*. Recuperado de [www.elsevier.com/locate/conbuildmat](http://www.elsevier.com/locate/conbuildmat)
- Alexandr V. (2008). Ultrasonic Echo-Pulse Tomography of Concrete Using Shear Waves Low-Frequency Phased Antenna Arrays. Conference on Nondestructive Testing. Shanghai, China.
- ASTM C1585-13. (2013). ASTM International. *Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic- Cement Concretes*, 1–6. Recuperado de <https://www.astm.org/>
- ASTM C215-14. (2014). ASTM International. *Standard Test Method for Fundamental Transverse, Longitudinal, and Torsional Resonant Frequencies of Concrete Specimens*, 1–7. Recuperado de <https://www.astm.org/>
- ASTM C597-09. (2009). ASTM International. *Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete*, 1–4. Recuperado de <https://www.astm.org/>
- ASTM D7400-08. (2008). Standard Test Methods for Downhole Seismic Testing. *ASTM International*. Recuperado de <https://www.astm.org/>
- ASTM E1316-19. (2019). ASTM International. *Standard Terminology for Nondestructive Examinations*. Recuperado de <https://www.astm.org/>
- Carnot, L. (2018). Effect of Acoustoelasticity on Ultrasonic Pulses and Damage of Concrete under Tensile Stresses. *ACI MATERIALS JOURNAL*.
- Kosmatka, S. H. (2011). *Design and Control of Concrete Mixtures*. Washington, United States of America: Portland Cement Association.

- Moreno, A. (2018). Estimación del parámetro de densidad de fisuras en el hormigón mediante ondas de esfuerzo Trabajo Experimental. Universidad San Francisco de Quito, Quito, Pichincha.
- Neville, A.M. (2011). Properties of Concrete (5 ed.). Pearson Education.
- O'Connell & Budiansky, B. (1977). Viscoelastic Properties of Fluid Saturated Cracked Solids. Journal of Geophysical Research.
- Popovics, J. (2008). A Study of Static and Dynamic Modulus of Elasticity of Concrete. ACI-CRC. University of Illinois at Urbana Champaign.
- 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. Universidad San Francisco de Quito, Quito, Pichincha.
- Zhindón, A. (2018). Cuantificación del deterioro de hormigones convencionales por carga, Trabajo Experimental. Universidad San Francisco de Quito, Quito, Pichincha.

## ANEXO A.

**Velocidad de Corte Determinado en base a la Medición de Tiempo y Distancia, Antes del Daño.**

M5 Cilindro 10							
	Día	Masa (g)	Dm	C.H. (%)	T (ms)	Distancia (cm)	Vs (m/s)
<b>Semisaturado a Seco al Aire</b>	1	3568.0	301.5	9.23%	81	20.0	2459
	2	3503.0	236.5	7.24%	82	20.0	2449
	3	3487.8	221.3	6.77%	89	20.0	2247
	4	3473.6	207.1	6.34%	86	20.0	2317
	5	3469.3	202.8	6.21%	91	20.1	2217
	6	3462.9	196.4	6.01%	92	20.1	2185
	7	3458.4	191.9	5.87%	93	20.1	2161
	8	3454.0	187.5	5.74%	92	20.1	2193
	9	3452.0	185.5	5.68%	88	20.1	2275
<b>Seco al Aire a Seco al Horno</b>	2	3344.7	78.2	2.39%	90	20.0	2222
	3	3330.5	64.0	1.96%	90	20.0	2230
	4	3319.3	52.8	1.62%	90	20.0	2214
	6	3298.9	32.4	0.99%	91	20.0	2198
	7	3289.7	23.2	0.71%	90	20.0	2222
	8	3279.9	13.4	0.41%	84	20.0	2381
	9	3275.7	9.2	0.28%	93	20.0	2158
	10	3266.5	0.0	0.00%	92	20.0	2166

M5 Cilindro 11							
	Día	Masa (g)	Dm	C.H. (%)	T (ms)	Distancia (cm)	Vs (m/s)
<b>Semisaturado a Seco al Aire</b>	1	3549.1	338.1	10.53%	81	20.1	2492
	2	3480.7	269.7	8.40%	81	20.1	2492
	3	3462.0	251.0	7.82%	89	20.1	2267
	4	3443.0	232.0	7.23%	88	20.1	2284
	5	3438.2	227.2	7.08%	90	20.2	2244
	6	3431.9	220.9	6.88%	87	20.2	2313
	7	3426.2	215.2	6.70%	90	20.2	2236
	8	3421.8	210.8	6.56%	91	20.2	2220
	9	3419.8	208.8	6.50%	90	20.2	2244
<b>Seco al Aire a Seco al Horno</b>	2	3298.3	87.3	2.72%	89	20.1	2250
	3	3282.8	71.8	2.24%	89	20.1	2267

	4	3270.2	59.2	1.84%	89	20.1	2258
	6	3247.1	36.1	1.12%	90	20.2	2253
	7	3236.0	25.0	0.78%	88	20.2	2304
	8	3225.5	14.5	0.45%	87	20.2	2322
	9	3220.7	9.7	0.30%	92	20.2	2204
	10	3211.0	0.0	0.00%	92	20.2	2204

<b>M5 Cilindro 12</b>							
	<b>Día</b>	<b>Masa (g)</b>	<b>Dm</b>	<b>C.H. (%)</b>	<b>T (ms)</b>	<b>Distancia (cm)</b>	<b>Vs (m/s)</b>
<b>Semisaturado a Seco al Aire</b>	1	12215.8	816.0	7.16%	136	30.2	2226
	2	12072.2	672.5	5.90%	140	30.2	2162
	3	12023.5	623.8	5.47%	135	30.2	2237
	4	11983.1	583.4	5.12%	133	30.2	2271
	5	11969.7	570.0	5.00%	133	30.2	2271
	6	11954.7	555.0	4.87%	131	30.2	2305
	7	11942.1	542.3	4.76%	128	30.2	2353
	8	11925.5	525.8	4.61%	131	30.2	2299
	9	11924.6	524.9	4.60%	131	30.2	2299
<b>Seco al Aire a Seco al Horno</b>	2	11645.5	245.8	2.16%	131	30.2	2305
	3	11602.6	202.9	1.78%	130	30.2	2329
	4	11573.3	173.5	1.52%	132	30.2	2294
	6	11505.8	106.0	0.93%	129	30.1	2327
	7	11475.4	75.7	0.66%	131	30.1	2298
	8	11441.6	41.9	0.37%	133	30.1	2258
	9	11429.5	29.8	0.26%	130	30.1	2309
	10	11399.8	0.0	0.00%	133	30.1	2263

<b>M5 Cilindro 13</b>							
	<b>Día</b>	<b>Masa (g)</b>	<b>Dm</b>	<b>C.H. (%)</b>	<b>T (ms)</b>	<b>Distancia (cm)</b>	<b>Vs (m/s)</b>
<b>Semisaturado a Seco al Aire</b>	1	12209.2	816.7	7.17%	139	30.1	2171
	2	12056.2	663.7	5.83%	138	30.1	2176
	3	12010.6	618.1	5.43%	135	30.1	2224
	4	11970.8	578.3	5.08%	134	30.1	2252
	5	11957.2	564.7	4.96%	133	30.1	2263
	6	11944.3	551.8	4.84%	132	30.1	2275
	7	11932.2	539.7	4.74%	131	30.1	2292
	8	11920.1	527.6	4.63%	132	30.1	2275
	9	11908.4	515.9	4.53%	131	30.1	2304
	2	11639.4	246.9	2.17%	132	30.1	2286

<b>Seco al Aire a Seco al Horno</b>	3	11593.2	200.7	1.76%	132	30.1	2280
	4	11562.4	169.9	1.49%	131	30.1	2292
	6	11500.5	108.0	0.95%	132	30.1	2280
	7	11467.5	75.0	0.66%	130	30.1	2315
	8	11435.7	43.2	0.38%	131	30.1	2298
	9	11424.0	31.5	0.28%	130	30.1	2315
	10	11392.5	0.0	0.00%	133	30.1	2269

<b>M4 Cilindro 10</b>								
	<b>Día</b>	<b>Masa (g)</b>	<b>Dm</b>	<b>C.H. (%)</b>	<b>T (ms)</b>	<b>Distancia (cm)</b>	<b>Vs (m/s)</b>	
<b>Semisaturado a Seco al Aire</b>	2	3554.0	269.5	8.21%	88	20.1	2293	
	3	3539.7	255.2	7.77%	91	20.1	2209	
	4	3529.2	244.7	7.45%	91	20.1	2217	
	5	3515.8	231.3	7.04%	91	20.1	2209	
	7	3510.6	226.1	6.88%	90	20.0	2214	
	8	3504.9	220.4	6.71%	92	20.0	2174	
	9	3495.5	211.0	6.42%	85	20.0	2362	
	10	3493.0	208.5	6.35%	91	20.1	2217	
	<b>Seco al Aire a Seco al Horno</b>	1	3379.7	95.2	2.90%	92	20.1	2177
		2	3354.2	69.7	2.12%	89	20.1	2267
3		3343.4	58.9	1.79%	95	20.1	2116	
4		3325.8	41.3	1.26%	96	20.1	2087	
5		3305.8	21.3	0.65%	100	20.1	2010	
6		3297.2	12.7	0.39%	101	20.1	1990	
7		3296.8	12.3	0.37%	100	20.1	2010	
8		3290.3	5.8	0.18%	100	20.2	2020	
9		3284.5	0.0	0.00%	101	20.2	1993	

<b>M4 Cilindro 11</b>								
	<b>Día</b>	<b>Masa (g)</b>	<b>Dm</b>	<b>C.H. (%)</b>	<b>T (ms)</b>	<b>Distancia (cm)</b>	<b>Vs (m/s)</b>	
<b>Semisaturado a Seco al Aire</b>	2	3522.3	260.7	7.99%	88	20.0	2264	
	3	3509.1	247.5	7.59%	92	20.0	2182	
	4	3500.3	238.7	7.32%	88	20.0	2264	
	5	3487.3	225.7	6.92%	90	20.0	2214	
	7	3482.3	220.7	6.77%	91	20.0	2190	
	8	3477.0	215.4	6.60%	92	20.0	2182	
	9	3468.3	206.7	6.34%	90	20.0	2222	
	10	3462.1	200.5	6.15%	90	20.0	2222	
		1	3355.7	94.1	2.89%	92	20.0	2174

<b>Seco al Aire a Seco al Horno</b>	2	3334.7	73.1	2.24%	90	20.0	2222
	3	3324.0	62.4	1.91%	94	20.1	2138
	4	3303.1	41.5	1.27%	96	20.1	2094
	5	3284.3	22.7	0.70%	98	20.1	2058
	6	3273.9	12.3	0.38%	100	20.0	2007
	7	3272.7	11.1	0.34%	98	20.0	2048
	8	3268.5	6.9	0.21%	95	20.0	2098
	9	3261.6	0.0	0.00%	103	20.0	1948

<b>M4 Cilindro 12</b>								
	<b>Día</b>	<b>Masa (g)</b>	<b>Dm</b>	<b>C.H. (%)</b>	<b>T (ms)</b>	<b>Distancia (cm)</b>	<b>Vs (m/s)</b>	
<b>Semisaturado a Seco al Aire</b>	2	12007.7	729.4	6.47%	130	30.2	2323	
	3	11971.0	692.7	6.14%	130	30.2	2317	
	4	11949.1	670.8	5.95%	132	30.2	2294	
	5	11913.5	635.2	5.63%	130	30.2	2317	
	7	11898.6	620.3	5.50%	129	30.1	2339	
	8	11883.9	605.6	5.37%	136	30.1	2219	
	9	11860.8	582.5	5.16%	132	30.1	2280	
	10	11852.2	573.9	5.09%	131	30.2	2305	
	<b>Seco al Aire a Seco al Horno</b>	1	11580.6	302.3	2.68%	131	30.2	2311
		2	11520.5	242.2	2.15%	127	30.2	2384
3		11485.7	207.4	1.84%	139	30.2	2178	
4		11423.3	145.0	1.29%	135	30.2	2243	
5		11361.0	82.7	0.73%	132	30.2	2294	
6		11330.8	52.5	0.47%	145	30.2	2083	
7		11326.1	47.8	0.42%	132	30.2	2294	
8		11307.0	28.7	0.25%	123	30.1	2454	
9		11278.3	0.0	0.00%	137	30.1	2197	

<b>M4 Cilindro 13</b>							
	<b>Día</b>	<b>Masa (g)</b>	<b>Dm</b>	<b>C.H. (%)</b>	<b>T (ms)</b>	<b>Distancia (cm)</b>	<b>Vs (m/s)</b>
<b>Semisaturado a Seco al Aire</b>	2	12010.5	716.2	6.34%	132	30.2	2294
	3	11975.5	681.2	6.03%	130	30.2	2323
	4	11952.7	658.4	5.83%	130	30.2	2329
	5	11917.5	623.2	5.52%	131	30.2	2305
	7	11903.9	609.6	5.40%	129	30.2	2347
	8	11890.3	596.0	5.28%	129	30.2	2335
	9	11868.3	574.0	5.08%	134	30.2	2254
	10	11852.2	557.9	4.94%	131	30.2	2299



<b>Seco al Aire a Seco al Horno</b>	1	11591.7	297.4	2.63%	132	30.2	2294
	2	11531.5	237.2	2.10%	128	30.2	2366
	3	11498.8	204.5	1.81%	132	30.1	2286
	4	11436.8	142.5	1.26%	133	30.1	2269
	5	11373.8	79.5	0.70%	134	30.1	2252
	6	11343.9	49.6	0.44%	145	30.2	2088
	7	11338.3	44.0	0.39%	134	30.2	2259
	8	11322.5	28.2	0.25%	133	30.2	2276
	9	11294.3	0.0	0.00%	142	30.2	2127

<b>M3 Cilindro 10</b>							
	<b>Día</b>	<b>Masa (g)</b>	<b>Dm</b>	<b>C.H. (%)</b>	<b>T (ms)</b>	<b>Distancia (cm)</b>	<b>Vs (m/s)</b>
<b>Semisaturado a Seco al Aire</b>	1	3720.8	188.1	5.32%	84	20.1	2393
	2	3700.0	167.4	4.74%	91	20.1	2209
	3	3688.0	155.4	4.40%	89	20.1	2267
	6	3674.0	141.4	4.00%	91	20.1	2217
	7	3673.2	140.6	3.98%	90	20.1	2233
	8	3671.0	138.4	3.92%	90	20.1	2233
	9	3667.5	134.9	3.82%	90	20.0	2222
<b>Seco al Aire a Seco al Horno</b>	1	3565.8	33.1	0.94%	87	20.2	2331
	2	3557.2	24.5	0.69%	90	20.2	2253
	3	3552.6	19.9	0.56%	90	20.2	2236
	4	3549.8	17.2	0.49%	87	20.2	2322
	5	3544.7	12.0	0.34%	86	20.2	2340
	6	3541.8	9.2	0.26%	88	20.2	2295
	7	3537.2	4.5	0.13%	89	20.2	2278
	8	3532.7	0.0	0.00%	91	20.2	2220

<b>M3 Cilindro 11</b>								
	<b>Día</b>	<b>Masa (g)</b>	<b>Dm</b>	<b>C.H. (%)</b>	<b>T (ms)</b>	<b>Distancia (cm)</b>	<b>Vs (m/s)</b>	
<b>Semisaturado a Seco al Aire</b>	1	3704.3	194.4	5.54%	85	20.0	2353	
	2	3683.0	173.1	4.93%	91	20.0	2198	
	3	3672.5	162.6	4.63%	88	20.1	2275	
	6	3656.5	146.6	4.18%	90	20.1	2242	
	7	3655.9	146.0	4.16%	91	20.0	2206	
	8	3654.0	144.1	4.11%	92	20.1	2193	
	9	3650.8	140.9	4.01%	90	20.0	2214	
	<b>Seco al Aire a Seco al Horno</b>	1	3542.8	32.9	0.94%	88	20.2	2304
		2	3534.5	24.6	0.70%	89	20.2	2270

3	3529.1	19.2	0.55%	90	20.1	2242
4	3526.2	16.3	0.46%	89	20.1	2267
5	3521.3	11.4	0.32%	88	20.2	2304
6	3519.4	9.5	0.27%	88	20.2	2287
7	3514.5	4.6	0.13%	88	20.1	2293
8	3509.9	0.0	0.00%	89	20.2	2261

M3 Cilindro 12							
Día	Masa (g)	Dm	C.H. (%)	T (ms)	Distancia (cm)	Vs (m/s)	
<b>Semisaturado a Seco al Aire</b>	1	2341.1	557.2	4.61%	129	30.2	2341
	2	2341.1	515.2	4.26%	129	30.2	2341
	3	2287.9	487.5	4.03%	132	30.2	2288
	6	2305.3	452.5	3.74%	131	30.2	2305
	7	2263.2	451.5	3.73%	133	30.1	2263
	8	2276.4	445.7	3.69%	133	30.2	2276
	9	2270.7	436.7	3.61%	133	30.2	2271
<b>Seco al Aire a Seco al Horno</b>	1	2322.3	113.7	0.94%	131	30.5	2322
	2	2328.2	86.0	0.71%	131	30.5	2328
	3	2401.6	70.1	0.58%	127	30.5	2402
	4	2226.3	59.5	0.49%	137	30.5	2226
	5	2338.5	39.0	0.32%	130	30.4	2338
	6	2303.0	31.8	0.26%	132	30.4	2303
	7	2322.3	15.5	0.13%	131	30.5	2322
	8	2340.2	0.0	0.00%	130	30.5	2340

M3 Cilindro 13							
Día	Masa (g)	Dm	C.H. (%)	T (ms)	Distancia (cm)	Vs (m/s)	
<b>Semisaturado a Seco al Aire</b>	1	12631.5	573.5	4.76%	130	30.2	2329
	2	12588.8	530.8	4.40%	130	30.2	2329
	3	12562.5	504.5	4.18%	131	30.2	2305
	6	12523.8	465.8	3.86%	132	30.2	2288
	7	12523.6	465.6	3.86%	134	30.1	2246
	8	12517.2	459.2	3.81%	131	30.2	2311
	9	12509.3	451.3	3.74%	133	30.2	2271
<b>Seco al Aire a Seco al Horno</b>	1	12176.3	118.3	0.98%	132	30.4	2309
	2	12147.3	89.3	0.74%	132	30.4	2309
	3	12130.5	72.5	0.60%	132	30.4	2297

4	12119.5	61.5	0.51%	130	30.4	2344
5	12101.2	43.2	0.36%	133	30.4	2286
6	12093.6	35.6	0.30%	133	30.4	2291
7	12078.2	20.2	0.17%	131	30.4	2327
8	12058.0	0.0	0.00%	131	30.4	2315

## ANEXO B.

**Velocidad de Corte Determinado en base a la Medición de Tiempo y Distancia, Después del Daño.**

		<b>M5 Cilindro 9</b>						
		<b>Día</b>	<b>Masa (g)</b>	<b>Dm</b>	<b>C.H. (%)</b>	<b>T (ms)</b>	<b>Distancia (cm)</b>	<b>Vs (m/s)</b>
<b>Semisaturado a Seco al Aire</b>	1	3607.3	282.6	8.50%	64	20.0	3125	
	2	3571.8	247.1	7.43%	60	20.0	3352	
	3	3531.8	207.1	6.23%	65	20.0	3093	
	4	3520.5	195.8	5.89%	69	20.0	2885	
	5	3509.3	184.6	5.55%	68	20.1	2970	
	6	3492.8	168.1	5.05%	69	20.1	2899	
	8	3491.8	167.1	5.02%	67	20.0	3000	
	9	3488.8	164.1	4.93%	84	20.0	2381	
	10	3485.3	160.6	4.83%	75	20.0	2679	
	<b>Seco al Aire a Seco al Horno</b>	1	3372.8	48.1	1.45%	67	20.0	2970
2		3356.4	31.7	0.95%	62	20.0	3243	
3		3349.0	24.3	0.73%	65	20.0	3093	
4		3345.9	21.2	0.64%	67	20.0	3000	
5		3339.5	14.8	0.45%	81	20.1	2492	
6		3332.2	7.5	0.23%	73	20.1	2766	
7		3327.5	2.8	0.08%	71	20.0	2804	
8		3324.7	0.0	0.00%	71	20.0	2830	

		<b>M5 Cilindro 12*</b>						
		<b>Día</b>	<b>Masa (g)</b>	<b>Dm</b>	<b>C.H. (%)</b>	<b>T (ms)</b>	<b>Distancia (cm)</b>	<b>Vs (m/s)</b>
<b>Semisaturado a Seco al Aire</b>	1	3654.0	275.1	8.14%	59	20.1	3388	
	2	3619.3	240.4	7.11%	57	20.1	3526	
	3	3570.0	191.1	5.66%	55	20.0	3614	
	4	3555.8	176.9	5.23%	68	20.0	2956	
	5	3543.8	164.9	4.88%	71	20.1	2818	
	6	3532.0	153.1	4.53%	71	20.0	2830	
	8	3526.3	147.4	4.36%	68	20.0	2941	
	9	3523.8	144.9	4.29%	94	20.0	2128	
	10	3520.8	141.9	4.20%	86	20.0	2317	
		1	3420.8	41.9	1.24%	69	20.1	2927

<b>Seco al Aire a Seco al Horno</b>	2	3406.7	27.8	0.82%	61	20.1	3313
	3	3399.9	21.0	0.62%	61	20.0	3297
	4	3392.5	13.6	0.40%	61	20.0	3261
	5	3388.3	9.4	0.28%	78	20.1	2577
	6	3385.5	6.6	0.20%	59	20.0	3371
	7	3381.3	2.4	0.07%	59	20.0	3409
	8	3378.9	0.0	0.00%	58	20.0	3448

<b>M5 Cilindro 12</b>							
	<b>Día</b>	<b>Masa (g)</b>	<b>Dm</b>	<b>C.H. (%)</b>	<b>T (ms)</b>	<b>Distancia (cm)</b>	<b>Vs (m/s)</b>
<b>Semisaturado a Seco al Aire</b>	1	12247.0	716.3	6.21%	97	30.0	3103
	2	12106.8	576.0	5.00%	100	30.0	3000
	3	12012.5	481.8	4.18%	96	30.0	3114
	4	11962.8	432.0	3.75%	99	30.0	3041
	6	11927.8	397.0	3.44%	132	30.0	2267
	7	11920.3	389.5	3.38%	127	30.0	2362
	8	11912.8	382.0	3.31%	122	30.0	2466
	9	11906.3	375.5	3.26%	133	30.0	2250
	1	11785.0	254.3	2.20%	124	30.0	2419
<b>Seco al Aire a Seco al Horno</b>	2	11689.3	158.5	1.37%	134	30.0	2233
	3	11643.8	113.0	0.98%	144	30.0	2086
	4	11598.3	67.5	0.59%	153	30.0	1957
	5	11566.3	35.5	0.31%	193	30.0	1552
	6	11545.8	15.0	0.13%	127	30.0	2356
	7	11530.8	0.0	0.00%	125	30.0	2400

<b>M5 Cilindro 13</b>							
	<b>Día</b>	<b>Masa (g)</b>	<b>Dm</b>	<b>C.H. (%)</b>	<b>T (ms)</b>	<b>Distancia (cm)</b>	<b>Vs (m/s)</b>
<b>Semisaturado a Seco al Aire</b>	1	12231.0	716.0	6.22%	92	30.0	3261
	2	12084.0	569.0	4.94%	104	30.0	2885
	3	11985.5	470.5	4.09%	93	30.0	3237
	4	11941.0	426.0	3.70%	95	30.0	3147
	6	11907.0	392.0	3.40%	133	30.0	2250
	7	11901.3	386.3	3.35%	126	30.0	2384
	8	11895.5	380.5	3.30%	118	30.0	2535
	9	11887.5	372.5	3.23%	133	30.0	2250
	1	11759.5	244.5	2.12%	124	30.0	2419

<b>Seco al Aire a Seco al Horno</b>	2	11666.0	151.0	1.31%	139	30.0	2158
	3	11622.8	107.8	0.94%	144	30.0	2086
	4	11579.5	64.5	0.56%	149	30.0	2018
	5	11547.5	32.5	0.28%	157	30.0	1907
	6	11527.5	12.5	0.11%	131	30.0	2296
	7	11515.0	0.0	0.00%	130	30.0	2308

<b>M4 Cilindro 4</b>							
	<b>Día</b>	<b>Masa (g)</b>	<b>Dm</b>	<b>C.H. (%)</b>	<b>T (ms)</b>	<b>Distancia (cm)</b>	<b>Vs (m/s)</b>
<b>Semisaturado a Seco al Aire</b>	1	3639.8	187.3	5.42%	55	20.1	3633
	2	3621.3	168.8	4.89%	58	20.1	3466
	3	3601.0	148.5	4.30%	60	20.1	3350
	4	3592.0	139.5	4.04%	61	20.2	3311
	5	3583.0	130.5	3.78%	63	20.1	3174
	6	3575.5	123.0	3.56%	64	20.2	3156
	8	3570.8	118.3	3.43%	69	20.2	2942
	9	3568.8	116.3	3.37%	90	20.1	2233
	10	3567.0	114.5	3.32%	76	20.1	2645
	<b>Seco al Aire a Seco al Horno</b>	1	3502.0	49.5	1.43%	54	20.1
2		3489.1	36.6	1.06%	62	20.1	3242
3		3479.5	27.0	0.78%	53	20.1	3769
4		3470.6	18.1	0.52%	52	20.2	3885
5		3465.8	13.3	0.38%	57	20.1	3506
6		3461.1	8.6	0.25%	47	20.2	4268
7		3458.5	6.0	0.17%	51	20.2	3935
8		3452.5	0.0	0.00%	59	20.1	3426

<b>M4 Cilindro 9</b>							
	<b>Día</b>	<b>Masa (g)</b>	<b>Dm</b>	<b>C.H. (%)</b>	<b>T (ms)</b>	<b>Distancia (cm)</b>	<b>Vs (m/s)</b>
<b>Semisaturado a Seco al Aire</b>	1	3628.3	197.2	5.75%	53	20.1	3769
	2	3608.8	177.7	5.18%	55	20.1	3633
	3	3591.5	160.4	4.67%	63	20.1	3207
	4	3583.0	151.9	4.43%	65	20.0	3093
	5	3574.0	142.9	4.16%	63	20.1	3190
	6	3565.2	134.1	3.91%	65	20.0	3077
	8	3560.8	129.7	3.78%	69	20.1	2927
	9	3559.0	127.9	3.73%	94	20.1	2138

	10	3557.0	125.9	3.67%	75	20.1	2668
<b>Seco al Aire a Seco al Horno</b>	1	3486.8	55.7	1.62%	66	20.1	3045
	2	3470.9	39.8	1.16%	58	20.1	3446
	3	3461.4	30.3	0.88%	60	20.1	3350
	4	3453.3	22.2	0.65%	62	20.0	3226
	5	3445.8	14.7	0.43%	67	20.1	2985
	6	3441.6	10.5	0.31%	53	20.0	3750
	7	3435.3	4.2	0.12%	61	20.1	3313
	8	3431.1	0.0	0.00%	63	20.1	3174

<b>M4 Cilindro 12</b>							
	<b>Día</b>	<b>Masa (g)</b>	<b>Dm</b>	<b>C.H. (%)</b>	<b>T (ms)</b>	<b>Distancia (cm)</b>	<b>Vs (m/s)</b>
<b>Semisaturado a Seco al Aire</b>	1	12129.0	694.0	6.07%	102	30.0	2941
	2	12016.5	581.5	5.09%	103	30.0	2922
	3	11942.0	507.0	4.43%	95	30.0	3158
	4	11917.3	482.3	4.22%	98	30.0	3072
	6	11895.5	460.5	4.03%	128	30.0	2344
	7	11890.0	455.0	3.98%	134	30.0	2236
	8	11884.5	449.5	3.93%	140	30.0	2138
	9	11879.3	444.3	3.89%	131	30.0	2290
	1	11753.0	318.0	2.78%	119	30.0	2521
<b>Seco al Aire a Seco al Horno</b>	2	11648.5	213.5	1.87%	132	30.0	2273
	3	11598.4	163.4	1.43%	144	30.0	2088
	4	11548.3	113.3	0.99%	155	30.0	1931
	5	11514.8	79.8	0.70%	157	30.0	1915
	6	11470.0	35.0	0.31%	132	30.0	2278
	7	11435.0	0.0	0.00%	130	30.0	2308

<b>M4 Cilindro 13</b>							
	<b>Día</b>	<b>Masa (g)</b>	<b>Dm</b>	<b>C.H. (%)</b>	<b>T (ms)</b>	<b>Distancia (cm)</b>	<b>Vs (m/s)</b>
<b>Semisaturado a Seco al Aire</b>	1	12129.3	689.0	6.02%	102	30.0	2941
	2	12007.8	567.5	4.96%	106	30.0	2830
	3	11943.0	502.8	4.39%	92	30.0	3249
	4	11918.0	477.8	4.18%	103	30.0	2922
	6	11896.3	456.0	3.99%	133	30.0	2256
	7	11890.6	450.4	3.94%	126	30.0	2387
	8	11885.0	444.8	3.89%	118	30.0	2535

	9	11880.0	439.8	3.84%	125	30.0	2394
	1	11753.0	312.8	2.73%	119	30.0	2521
<b>Seco al Aire a Seco al Horno</b>	2	11646.0	205.8	1.80%	137	30.0	2190
	3	11600.0	159.8	1.40%	140	30.0	2145
	4	11554.0	113.8	0.99%	143	30.0	2103
	5	11520.0	79.8	0.70%	140	30.0	2143
	6	11475.3	35.0	0.31%	133	30.0	2250
	7	11440.3	0.0	0.00%	133	30.0	2256

<b>M3 Cilindro 9</b>							
	<b>Día</b>	<b>Masa (g)</b>	<b>Dm</b>	<b>C.H. (%)</b>	<b>T (ms)</b>	<b>Distancia (cm)</b>	<b>Vs (m/s)</b>
<b>Semisaturado a Seco al Aire</b>	1	3724.8	112.9	3.12%	49	20.2	4095
	2	3704.8	92.9	2.57%	42	20.2	4848
	3	3697.8	85.9	2.38%	54	20.2	3741
	4	3694.3	82.4	2.28%	49	20.1	4130
	5	3688.5	76.6	2.12%	54	20.1	3745
	6	3685.2	73.3	2.03%	61	20.1	3313
	8	3682.8	70.9	1.96%	69	20.2	2913
	9	3682.3	70.4	1.95%	88	20.2	2295
	10	3681.5	69.6	1.93%	69	20.2	2942
	<b>Seco al Aire a Seco al Horno</b>	1	3646.3	34.4	0.95%	49	20.2
2		3636.4	24.5	0.68%	58	20.2	3503
3		3630.7	18.8	0.52%	50	20.2	4040
4		3626.5	14.6	0.40%	48	20.1	4188
5		3625.4	13.5	0.37%	47	20.1	4246
6		3618.5	6.6	0.18%	47	20.1	4307
7		3615.8	3.9	0.11%	44	20.2	4591
8		3611.9	0.0	0.00%	43	20.2	4662

<b>M3 Cilindro 3</b>							
	<b>Día</b>	<b>Masa (g)</b>	<b>Dm</b>	<b>C.H. (%)</b>	<b>T (ms)</b>	<b>Distancia (cm)</b>	<b>Vs (m/s)</b>
<b>Semisaturado a Seco al Aire</b>	1	3717.3	113.6	3.15%	45	20.1	4434
	2	3702.0	98.3	2.73%	45	20.1	4467
	3	3689.3	85.6	2.37%	58	20.1	3466
	4	3685.9	82.2	2.28%	62	20.1	3259
	5	3680.3	76.6	2.12%	64	20.1	3141
	6	3677.3	73.6	2.04%	60	20.1	3350



	8	3675.5	71.8	1.99%	61	20.1	3277
	9	3674.3	70.6	1.96%	81	20.1	2492
	10	3672.5	68.8	1.91%	76	20.1	2645
<b>Seco al Aire a Seco al Horno</b>	1	3637.5	33.8	0.94%	46	20.1	4338
	2	3627.1	23.4	0.65%	64	20.1	3124
	3	3621.5	17.8	0.49%	54	20.1	3699
	4	3617.7	14.0	0.39%	52	20.1	3865
	5	3612.5	8.8	0.24%	50	20.1	4020
	6	3611.0	7.3	0.20%	43	20.1	4711
	7	3606.6	2.9	0.08%	43	20.1	4638
	8	3603.7	0.0	0.00%	42	20.1	4748

<b>M3 Cilindro 12</b>							
	<b>Día</b>	<b>Masa (g)</b>	<b>Dm</b>	<b>C.H. (%)</b>	<b>T (ms)</b>	<b>Distancia (cm)</b>	<b>Vs (m/s)</b>
<b>Semisaturado a Seco al Aire</b>	1	12615.5	380.0	3.11%	75	30.0	3982
	2	12545.0	309.5	2.53%	97	30.0	3082
	3	12529.0	293.5	2.40%	99	30.0	3030
	4	12521.0	285.5	2.33%	96	30.0	3114
	6	12512.5	277.0	2.26%	124	30.0	2419
	7	12510.0	274.5	2.24%	126	30.0	2387
	8	12507.5	272.0	2.22%	127	30.0	2356
	9	12506.3	270.8	2.21%	125	30.0	2400
	1	12418.8	183.3	1.50%	120	30.0	2500
	<b>Seco al Aire a Seco al Horno</b>	2	12353.8	118.3	0.97%	121	30.0
3		12323.5	88.0	0.72%	130	30.0	2305
4		12293.5	58.0	0.47%	139	30.0	2153
5		12272.8	37.3	0.30%	139	30.0	2153
6		12244.5	9.0	0.07%	130	30.0	2150
7		12235.5	0.0	0.00%	143	30.0	2150

<b>M3 Cilindro 13</b>							
	<b>Día</b>	<b>Masa (g)</b>	<b>Dm</b>	<b>C.H. (%)</b>	<b>T (ms)</b>	<b>Distancia (cm)</b>	<b>Vs (m/s)</b>
<b>Semisaturado a Seco al Aire</b>	1	12599.0	365.5	2.99%	77	30.1	3892
	2	12527.0	293.5	2.40%	103	30.1	2913
	3	12508.0	274.5	2.24%	97	30.1	3092
	4	12500.3	266.8	2.18%	93	30.1	3237
	5	12493.5	260.0	2.13%	127	30.1	2376

	6	12491.3	257.8	2.11%	126	30.1	2392
	7	12488.3	254.8	2.08%	125	30.1	2408
	8	12485.3	251.8	2.06%	128	30.1	2345
	1	12393.3	159.8	1.31%	124	30.1	2421
<b>Seco al Aire a Seco al Horno</b>	2	12329.0	95.5	0.78%	123	30.1	2447
	3	12298.5	65.0	0.53%	134	30.1	2255
	4	12269.8	36.3	0.30%	144	30.1	2090
	5	12249.0	15.5	0.13%	132	30.1	2280
	6	12244.5	11.0	0.09%	130	30.1	2275
	7	12233.5	0.0	0.00%	131	30.1	2270

## ANEXO C.

## Módulo de Elasticidad Dinámico por Metodología ASTM C215, Antes del Daño.

M5 Cilindro 10												
	Día	Vp (m/s)	Vs (m/s)	F (Hz)	Dist. (m)	D. (m)	K (m)	K/L	$\eta$	T	C (m-1)	Ed (Gpa)
Semi-saturado a Seco al Aire	1	3650	2459	4702	0.200	0.10	0.025	0.125	0.084	2.008	258.1	20.4
	2	3632	2449	4658	0.200	0.10	0.025	0.125	0.083	2.008	258.1	19.6
	3	3228	2247	4747	0.200	0.10	0.025	0.125	0.030	1.999	257.0	20.2
	4	3636	2317	4717	0.200	0.10	0.025	0.126	0.158	2.027	250.4	19.4
	5	3610	2217	4629	0.201	0.10	0.025	0.124	0.197	2.051	267.6	19.9
	6	3523	2185	4464	0.201	0.10	0.025	0.124	0.187	2.047	267.1	18.4
	7	3711	2161	4464	0.201	0.10	0.025	0.124	0.243	2.080	271.4	18.7
	8	3544	2193	4365	0.201	0.10	0.025	0.124	0.190	2.048	267.2	17.6
	9	3599	2275	4629	0.201	0.10	0.025	0.126	0.167	2.030	254.5	18.8
Seco al Aire a Seco al Horno	2	3666	2222	4189	0.200	0.10	0.025	0.125	0.209	2.086	268.1	15.7
	3	3699	2230	4225	0.200	0.10	0.025	0.126	0.214	2.088	257.9	15.3
	4	3695	2214	4237	0.200	0.10	0.025	0.125	0.220	2.090	268.7	16.0
	6	3688	2198	4361	0.200	0.10	0.025	0.126	0.225	2.093	258.5	16.2
	7	3650	2222	4261	0.200	0.10	0.025	0.125	0.205	2.084	267.9	16.0
	8	3599	2381	4322	0.200	0.10	0.025	0.126	0.111	2.053	253.6	15.5
	9	3715	2158	4286	0.200	0.10	0.025	0.125	0.245	2.102	270.1	16.3
	10	3565	2166	4285	0.200	0.10	0.025	0.125	0.207	2.085	268.0	16.1

M5 Cilindro 11												
	Día	Vp (m/s)	Vs (m/s)	F (Hz)	Dist. (m)	D. (m)	K (m)	K/L	$\eta$	T	C (m-1)	Ed (Gpa)
Semi-saturado a Seco al Aire	1	3523	2492	4518	0.201	0.10	0.025	0.124	0.112	1.997	260.6	18.9
	2	3502	2492	4545	0.201	0.10	0.025	0.124	0.115	1.996	260.5	18.7
	3	3442	2267	4464	0.201	0.10	0.025	0.124	0.117	2.016	263.0	18.1
	4	3516	2284	4464	0.201	0.10	0.025	0.124	0.135	2.020	263.6	18.1
	5	3502	2244	4464	0.202	0.10	0.025	0.124	0.151	2.035	269.5	18.5
	6	3533	2313	4464	0.202	0.10	0.025	0.124	0.125	2.028	268.5	18.4
	7	3564	2236	4545	0.202	0.10	0.025	0.124	0.175	2.053	271.9	19.2
	8	3633	2220	4334	0.202	0.10	0.025	0.124	0.202	2.053	271.8	17.5
	9	3554	2244	4518	0.202	0.10	0.025	0.124	0.168	2.030	268.9	18.8
Seco al Aire a Seco	2	3516	2250	4021	0.201	0.10	0.025	0.124	0.153	2.026	264.3	14.1
	3	3554	2267	3846	0.201	0.10	0.025	0.124	0.157	2.027	264.5	12.8
	4	3540	2258	4033	0.201	0.10	0.025	0.124	0.157	2.027	264.4	14.1
	6	3498	2253	3906	0.202	0.10	0.025	0.125	0.146	2.023	257.5	12.8

<b>al Horno</b>	7	3413	2304	3975	0.202	0.10	0.025	0.124	0.081	2.008	265.9	13.6
	8	3347	2322	4000	0.202	0.10	0.025	0.124	0.036	2.001	264.9	13.7
	9	3514	2204	3823	0.202	0.10	0.025	0.124	0.176	2.033	269.3	12.7
	10	3452	2204	3947	0.202	0.10	0.025	0.124	0.156	2.027	268.4	13.4

<b>M5 Cilindro 12</b>												
	<b>Día</b>	<b>Vp (m/s)</b>	<b>Vs (m/s)</b>	<b>F (Hz)</b>	<b>Dist. (m)</b>	<b>D. (m)</b>	<b>K (m)</b>	<b>K/L</b>	<b><math>\eta</math></b>	<b>T</b>	<b>C (m-1)</b>	<b>Ed (Gpa)</b>
<b>Semi- satu- rado a Seco al Aire</b>	1	3702	2226	3125	0.302	0.15	0.038	0.124	0.217	2.069	180.8	21.6
	2	3665	2162	3086	0.302	0.15	0.038	0.124	0.233	2.076	181.4	20.9
	3	3658	2237	3086	0.302	0.15	0.038	0.125	0.201	2.053	174.7	20.0
	4	3661	2271	3151	0.302	0.15	0.038	0.124	0.187	2.047	179.0	21.3
	5	3672	2271	3086	0.302	0.15	0.038	0.125	0.191	2.048	174.4	19.9
	6	3698	2305	3125	0.302	0.15	0.038	0.124	0.182	2.035	177.9	20.8
	7	3689	2353	3112	0.302	0.15	0.038	0.125	0.157	2.027	172.5	20.0
	8	3646	2299	3164	0.302	0.15	0.038	0.124	0.170	2.031	177.5	21.2
	9	3672	2299	3112	0.302	0.15	0.038	0.124	0.178	2.034	177.8	20.5
<b>Seco al Aire a Seco al Horno</b>	2	3695	2305	2757	0.302	0.15	0.038	0.124	0.181	2.035	177.9	15.7
	3	3705	2329	2747	0.302	0.15	0.038	0.125	0.173	2.032	173.0	15.1
	4	3745	2294	2708	0.302	0.15	0.038	0.124	0.200	2.052	179.4	15.2
	6	3702	2327	2688	0.301	0.15	0.038	0.125	0.173	2.032	171.3	14.2
	7	3733	2298	2613	0.301	0.15	0.038	0.125	0.195	2.050	177.4	13.9
	8	3709	2258	2595	0.301	0.15	0.038	0.125	0.206	2.054	173.1	13.3
	9	3877	2309	2595	0.301	0.15	0.038	0.125	0.225	2.072	179.4	13.8
	10	3831	2263	2650	0.301	0.15	0.038	0.125	0.232	2.075	179.6	14.4

<b>M5 Cilindro 13</b>												
	<b>Día</b>	<b>Vp (m/s)</b>	<b>Vs (m/s)</b>	<b>F (Hz)</b>	<b>Dist. (m)</b>	<b>D. (m)</b>	<b>K (m)</b>	<b>K/L</b>	<b><math>\eta</math></b>	<b>T</b>	<b>C (m-1)</b>	<b>Ed (Gpa)</b>
<b>Semi- satu- rado a Seco al Aire</b>	1	3690	2171	3164	0.301	0.15	0.038	0.125	0.235	2.077	179.8	22.0
	2	3653	2176	3164	0.301	0.15	0.038	0.125	0.225	2.072	179.4	21.6
	3	3631	2224	3164	0.301	0.15	0.038	0.125	0.200	2.052	172.9	20.8
	4	3637	2252	3205	0.301	0.15	0.038	0.125	0.189	2.048	177.2	21.8
	5	3654	2263	3164	0.301	0.15	0.038	0.125	0.189	2.048	172.6	20.7
	6	3709	2275	3138	0.301	0.15	0.038	0.125	0.199	2.051	177.6	20.9
	7	3715	2292	3125	0.301	0.15	0.038	0.125	0.193	2.049	177.4	20.7
	8	3677	2275	3178	0.301	0.15	0.038	0.125	0.190	2.048	172.6	20.8
	9	3628	2304	3191	0.301	0.15	0.038	0.125	0.162	2.029	175.6	21.3
	2	3669	2286	2819	0.301	0.15	0.038	0.125	0.18	2.036	171.6	15.9

<b>Seco al Aire a Seco al Horno</b>	3	3675	2280	2777	0.301	0.15	0.038	0.125	0.19	2.047	177.2	15.8
	4	3716	2292	2737	0.301	0.15	0.038	0.125	0.19	2.049	177.4	15.4
	6	3690	2280	2757	0.301	0.15	0.038	0.125	0.19	2.049	177.3	15.5
	7	3687	2315	2613	0.301	0.15	0.038	0.125	0.17	2.033	175.9	13.8
	8	3741	2298	2622	0.301	0.15	0.038	0.125	0.20	2.051	177.5	14.0
	9	3825	2315	2596	0.301	0.15	0.038	0.125	0.21	2.056	178.0	13.7
	10	3844	2269	2707	0.301	0.15	0.038	0.125	0.23	2.076	179.6	15.0

<b>M4 Cilindro 10</b>												
	<b>Día</b>	<b>Vp (m/s)</b>	<b>Vs (m/s)</b>	<b>F (Hz)</b>	<b>Dist. (m)</b>	<b>D. (m)</b>	<b>K (m)</b>	<b>K/L</b>	<b><math>\eta</math></b>	<b>T</b>	<b>C (m-1)</b>	<b>Ed (Gpa)</b>
<b>Semi-saturado a Seco al Aire</b>	2	3617	2293	4545	0.201	0.10	0.025	0.124	0.164	2.029	264.8	19.4
	3	3617	2209	4545	0.201	0.10	0.025	0.126	0.203	2.053	257.4	18.8
	4	3583	2217	4518	0.201	0.10	0.025	0.124	0.190	2.048	267.2	19.2
	5	3609	2209	4491	0.201	0.10	0.025	0.124	0.200	2.052	267.8	19.0
	7	3635	2214	4518	0.200	0.10	0.025	0.125	0.205	2.054	264.0	18.9
	8	3628	2174	4477	0.200	0.10	0.025	0.125	0.220	2.070	266.1	18.7
	9	3783	2362	4451	0.200	0.10	0.025	0.125	0.180	2.035	261.5	18.1
10	3627	2217	4456	0.201	0.10	0.025	0.124	0.202	2.053	267.8	18.6	
<b>Seco al Aire a Seco al Horno</b>	1	3715	2177	4310	0.201	0.10	0.025	0.124	0.239	2.078	271.2	17.0
	2	3722	2267	4273	0.201	0.10	0.025	0.124	0.205	2.064	269.3	16.5
	3	3695	2116	4237	0.201	0.10	0.025	0.124	0.256	2.107	274.9	16.5
	4	3673	2087	4213	0.201	0.10	0.025	0.124	0.262	2.109	275.2	16.2
	5	3622	2010	4201	0.201	0.10	0.025	0.124	0.277	2.117	276.3	16.1
	6	3646	1990	4237	0.201	0.10	0.025	0.124	0.288	2.123	277.0	16.4
	7	3634	2010	4201	0.201	0.10	0.025	0.124	0.280	2.119	276.4	16.1
	8	3575	2020	4190	0.202	0.10	0.025	0.124	0.265	2.111	279.6	16.1
	9	3521	1993	4237	0.202	0.10	0.025	0.124	0.264	2.110	279.5	16.5

<b>M4 Cilindro 11</b>												
	<b>Día</b>	<b>Vp (m/s)</b>	<b>Vs (m/s)</b>	<b>F (Hz)</b>	<b>Dist. (m)</b>	<b>D. (m)</b>	<b>K (m)</b>	<b>K/L</b>	<b><math>\eta</math></b>	<b>T</b>	<b>C (m-1)</b>	<b>Ed (Gpa)</b>
<b>Semi-saturado a Seco al Aire</b>	2	3621	2264	4601	0.200	0.10	0.025	0.125	0.179	2.034	261.5	19.5
	3	3621	2182	4545	0.200	0.10	0.025	0.125	0.215	2.058	264.5	19.2
	4	3625	2264	4601	0.200	0.10	0.025	0.125	0.180	2.035	261.5	19.4
	5	3695	2214	4573	0.200	0.10	0.025	0.125	0.220	2.070	266.1	19.4
	7	3676	2190	4573	0.200	0.10	0.025	0.125	0.225	2.072	266.4	19.4
	8	3654	2182	4531	0.200	0.10	0.025	0.125	0.223	2.071	266.3	19.0
	9	3793	2222	4545	0.200	0.10	0.025	0.125	0.239	2.078	267.1	19.1
	10	3793	2222	4543	0.200	0.10	0.025	0.125	0.239	2.078	267.1	19.1
		1	3711	2174	4237	0.200	0.10	0.025	0.125	0.239	2.078	267.2

Seco al Aire a Seco al Horno	2	3715	2222	4273	0.200	0.10	0.025	0.125	0.221	2.071	266.2	16.2
	3	3688	2138	4237	0.201	0.10	0.025	0.126	0.247	2.103	263.6	15.7
	4	3692	2094	4213	0.201	0.10	0.025	0.124	0.263	2.110	275.3	16.1
	5	3661	2058	4285	0.201	0.10	0.025	0.124	0.269	2.113	275.7	16.6
	6	3706	2007	4237	0.200	0.10	0.025	0.125	0.293	2.126	273.2	16.1
	7	3683	2048	4285	0.200	0.10	0.025	0.126	0.276	2.118	261.6	15.7
	8	3676	2098	4121	0.200	0.10	0.025	0.125	0.258	2.108	271.0	15.0
	9	3582	1948	4237	0.200	0.10	0.025	0.126	0.290	2.125	262.5	15.4

M4 Cilindro 12													
	Día	Vp (m/s)	Vs (m/s)	F (Hz)	Dist. (m)	D. (m)	K (m)	K/L	$\eta$	T	C (m-1)	Ed (Gpa)	
Semi-saturado a Seco al Aire	2	3718	2323	3086	0.302	0.15	0.038	0.125	0.180	2.034	173.2	19.8	
	3	3718	2317	3048	0.302	0.15	0.038	0.124	0.182	2.035	177.9	19.8	
	4	3730	2294	3073	0.302	0.15	0.038	0.124	0.196	2.050	179.2	20.2	
	5	3733	2317	3073	0.302	0.15	0.038	0.125	0.187	2.047	174.2	19.6	
	7	3735	2339	3048	0.301	0.15	0.038	0.125	0.177	2.044	176.9	19.6	
	8	3744	2219	3024	0.301	0.15	0.038	0.125	0.229	2.074	174.8	19.0	
	9	3849	2280	3048	0.301	0.15	0.038	0.125	0.230	2.074	179.5	19.8	
	10	3849	2305	3036	0.302	0.15	0.038	0.125	0.220	2.070	176.2	19.3	
	Seco al Aire a Seco al Horno	1	3820	2311	2768	0.302	0.15	0.038	0.124	0.211	2.056	179.8	15.9
		2	3785	2384	2777	0.302	0.15	0.038	0.124	0.171	2.031	177.6	15.8
3		3780	2178	2640	0.302	0.15	0.038	0.124	0.252	2.104	184.0	14.7	
4		3788	2243	2595	0.302	0.15	0.038	0.124	0.230	2.074	181.3	13.9	
5		3756	2294	2604	0.302	0.15	0.038	0.124	0.203	2.053	179.5	13.8	
6		3764	2083	2551	0.302	0.15	0.038	0.124	0.279	2.118	185.2	13.7	
7		3760	2294	2604	0.302	0.15	0.038	0.124	0.204	2.053	179.5	13.8	
8		3719	2454	2428	0.301	0.15	0.038	0.125	0.115	2.015	174.4	11.6	
9		3767	2197	2508	0.301	0.15	0.038	0.125	0.242	2.080	180.0	12.8	

M4 Cilindro 13													
	Día	Vp (m/s)	Vs (m/s)	F (Hz)	Dist. (m)	D.(m)	K (m)	K/L	$\eta$	T	C (m-1)	Ed (Gpa)	
Semi-saturado a Seco al Aire	2	3681	2294	3048	0.302	0.15	0.038	0.125	0.183	2.036	173.3	19.3	
	3	3681	2323	3112	0.302	0.15	0.038	0.124	0.169	2.031	177.5	20.6	
	4	3687	2329	3061	0.302	0.15	0.038	0.124	0.168	2.030	177.5	19.9	
	5	3713	2305	3086	0.302	0.15	0.038	0.124	0.186	2.047	178.9	20.3	
	7	3690	2347	3062	0.302	0.15	0.038	0.125	0.160	2.028	172.6	19.3	
	8	3707	2335	3048	0.302	0.15	0.038	0.125	0.171	2.031	172.9	19.1	
	9	3829	2254	3061	0.302	0.15	0.038	0.124	0.235	2.077	181.5	20.2	
	10	3829	2299	3073	0.302	0.15	0.038	0.125	0.218	2.069	176.2	19.7	
		1	3779	2294	2819	0.302	0.15	0.038	0.124	0.208	2.055	179.7	16.5

<b>Seco al Aire a Seco al Horno</b>	2	3728	2366	2727	0.302	0.15	0.038	0.124	0.163	2.029	177.3	15.2
	3	3740	2286	2650	0.301	0.15	0.038	0.125	0.202	2.053	177.7	14.3
	4	3741	2269	2538	0.301	0.15	0.038	0.125	0.209	2.056	173.3	12.8
	5	3725	2252	2586	0.301	0.15	0.038	0.125	0.212	2.057	178.0	13.5
	6	3741	2088	2560	0.302	0.15	0.038	0.125	0.274	2.116	180.1	13.4
	7	3733	2259	2586	0.302	0.15	0.038	0.124	0.211	2.056	179.7	13.6
	8	3713	2276	2427	0.302	0.15	0.038	0.124	0.199	2.052	179.3	12.0
	9	3719	2127	2508	0.302	0.15	0.038	0.124	0.257	2.107	184.2	13.1

<b>M3 Cilindro 10</b>												
	<b>Día</b>	<b>Vp (m/s)</b>	<b>Vs (m/s)</b>	<b>F (Hz)</b>	<b>Dist. (m)</b>	<b>D. (m)</b>	<b>K (m)</b>	<b>K/L</b>	<b><math>\eta</math></b>	<b>T</b>	<b>C (m-1)</b>	<b>Ed (Gpa)</b>
<b>Semi-saturado a Seco al Aire</b>	1	4164	2393	5300	0.201	0.10	0.025	0.124	0.253	2.105	274.7	28.7
	2	4161	2209	5119	0.201	0.10	0.025	0.124	0.304	2.132	278.1	27.0
	3	4130	2267	5154	0.201	0.10	0.025	0.124	0.284	2.121	276.7	27.1
	6	4167	2217	5102	0.201	0.10	0.025	0.126	0.303	2.132	267.3	25.6
	7	4188	2233	5050	0.201	0.10	0.025	0.124	0.301	2.130	277.9	26.0
	8	4167	2233	5050	0.201	0.10	0.025	0.126	0.298	2.129	267.0	25.0
	9	4205	2222	5067	0.200	0.10	0.025	0.125	0.306	2.133	274.2	25.8
<b>Seco al Aire a Seco al Horno</b>	1	4062	2331	4967	0.202	0.10	0.025	0.124	0.255	2.106	278.9	24.5
	2	4067	2253	5000	0.202	0.10	0.025	0.124	0.279	2.118	280.5	24.9
	3	4089	2236	4902	0.202	0.10	0.025	0.124	0.287	2.122	281.0	24.0
	4	4021	2322	4902	0.202	0.10	0.025	0.125	0.250	2.104	267.8	22.8
	5	4045	2340	4854	0.202	0.10	0.025	0.124	0.249	2.103	278.5	23.3
	6	4075	2295	4630	0.202	0.10	0.025	0.124	0.268	2.112	279.7	21.2
	7	4131	2278	4902	0.202	0.10	0.025	0.124	0.281	2.119	280.7	23.9
	8	4089	2220	4902	0.202	0.10	0.025	0.125	0.291	2.125	270.4	23.0

<b>M3 Cilindro 11</b>												
	<b>Día</b>	<b>Vp (m/s)</b>	<b>Vs (m/s)</b>	<b>F (Hz)</b>	<b>Dist. (m)</b>	<b>D. (m)</b>	<b>K (m)</b>	<b>K/L</b>	<b><math>\eta</math></b>	<b>T</b>	<b>C (m-1)</b>	<b>Ed (Gpa)</b>
<b>Semi-saturado a Seco al Aire</b>	1	4182	2353	5319	0.200	0.10	0.025	0.125	0.268	2.113	271.6	28.5
	2	4188	2198	5245	0.200	0.10	0.025	0.126	0.310	2.136	263.9	26.7
	3	4182	2275	5137	0.201	0.10	0.025	0.124	0.290	2.124	277.1	26.9
	6	4188	2242	5119	0.201	0.10	0.025	0.124	0.299	2.129	277.8	26.6
	7	4138	2206	5050	0.200	0.10	0.025	0.126	0.302	2.131	263.3	24.5
	8	4182	2193	5033	0.201	0.10	0.025	0.124	0.310	2.135	278.6	25.8
	9	4216	2214	5102	0.200	0.10	0.025	0.125	0.310	2.135	274.5	26.1
<b>Seco al Aire a</b>	1	4062	2304	4935	0.202	0.10	0.025	0.124	0.263	2.110	279.4	24.1
	2	4062	2270	4902	0.202	0.10	0.025	0.125	0.273	2.115	269.2	22.9
	3	4075	2242	4902	0.201	0.10	0.025	0.124	0.283	2.120	276.7	23.5

<b>Seco al Horno</b>	4	4023	2267	4902	0.201	0.10	0.025	0.126	0.267	2.113	264.9	22.4
	5	4081	2304	4854	0.202	0.10	0.025	0.124	0.266	2.111	279.6	23.2
	6	4089	2287	4870	0.202	0.10	0.025	0.124	0.272	2.115	280.0	23.4
	7	4125	2293	4870	0.201	0.10	0.025	0.126	0.277	2.117	265.5	22.1
	8	4089	2261	4792	0.202	0.10	0.025	0.124	0.280	2.118	280.5	22.6

<b>M3 Cilindro 12</b>													
	<b>Día</b>	<b>Vp (m/s)</b>	<b>Vs (m/s)</b>	<b>F (Hz)</b>	<b>Dist. (m)</b>	<b>D.(m)</b>	<b>K (m)</b>	<b>K/L</b>	<b><math>\eta</math></b>	<b>T</b>	<b>C (m-1)</b>	<b>Ed (Gpa)</b>	
<b>Semi-saturado a Seco al Aire</b>	1	4187	2341	3488	0.302	0.15	0.038	0.124	0.273	2.115	184.9	28.5	
	2	4187	2341	3488	0.302	0.15	0.038	0.124	0.273	2.115	184.9	28.4	
	3	4178	2288	3378	0.302	0.15	0.038	0.124	0.286	2.122	185.5	26.6	
	6	4166	2305	3393	0.302	0.15	0.038	0.124	0.279	2.118	185.2	26.7	
	7	4166	2263	3363	0.301	0.15	0.038	0.125	0.291	2.125	183.9	26.1	
	8	4149	2276	3348	0.302	0.15	0.038	0.124	0.285	2.121	185.4	26.1	
	9	4207	2271	3378	0.302	0.15	0.038	0.124	0.294	2.126	185.9	26.6	
	<b>Seco al Aire a Seco al Horno</b>	1	4045	2322	3099	0.305	0.15	0.038	0.123	0.254	2.105	189.6	22.2
		2	3954	2328	3048	0.305	0.15	0.038	0.123	0.235	2.076	186.9	21.1
3		4036	2402	3000	0.305	0.15	0.038	0.123	0.226	2.072	186.6	20.4	
4		4036	2226	2941	0.305	0.15	0.038	0.123	0.281	2.119	190.8	20.1	
5		4036	2338	2873	0.304	0.15	0.038	0.123	0.247	2.102	187.5	18.8	
6		4081	2303	2964	0.304	0.15	0.038	0.123	0.266	2.111	188.3	20.1	
7		4118	2322	2941	0.305	0.15	0.038	0.123	0.267	2.111	190.1	19.9	
8		4085	2340	2884	0.305	0.15	0.038	0.123	0.256	2.106	189.6	19.1	

<b>M3 Cilindro 13</b>													
	<b>Día</b>	<b>Vp (m/s)</b>	<b>Vs (m/s)</b>	<b>F (Hz)</b>	<b>Dist. (m)</b>	<b>D.(m)</b>	<b>K (m)</b>	<b>K/L</b>	<b><math>\eta</math></b>	<b>T</b>	<b>C (m-1)</b>	<b>Ed (Gpa)</b>	
<b>Semi-saturado a Seco al Aire</b>	1	4199	2329	3472	0.302	0.15	0.038	0.124	0.278	2.118	185.1	28.2	
	2	4199	2329	3472	0.302	0.15	0.038	0.124	0.278	2.118	185.1	28.1	
	3	4138	2305	3393	0.302	0.15	0.038	0.125	0.275	2.116	180.2	26.1	
	6	4187	2288	3323	0.302	0.15	0.038	0.124	0.287	2.122	185.5	25.7	
	7	4182	2246	3378	0.301	0.15	0.038	0.125	0.297	2.128	179.4	25.6	
	8	4164	2311	3378	0.302	0.15	0.038	0.125	0.277	2.118	180.3	25.7	
	9	4193	2271	3393	0.302	0.15	0.038	0.124	0.293	2.125	185.8	26.8	
	<b>Seco al Aire a Seco al Horno</b>	1	4059	2309	3048	0.304	0.15	0.038	0.123	0.261	2.109	188.0	21.3
		2	3789	2309	3048	0.304	0.15	0.038	0.123	0.205	2.054	183.1	20.7
3		4032	2297	2976	0.304	0.15	0.038	0.124	0.260	2.108	183.1	19.7	
4		4050	2344	2988	0.304	0.15	0.038	0.123	0.248	2.103	187.5	20.3	
5		4035	2286	2788	0.304	0.15	0.038	0.125	0.264	2.111	178.5	16.8	
6		4068	2291	2851	0.304	0.15	0.038	0.123	0.268	2.112	188.3	18.5	
7		4110	2327	2862	0.304	0.15	0.038	0.124	0.264	2.111	183.3	18.1	
8		4052	2315	2873	0.304	0.15	0.038	0.123	0.258	2.107	187.9	18.7	



## ANEXO D.

## Módulo de Elasticidad Dinámico por Metodología ASTM C215, Después del Daño.

		M5 Cilindro 9									
		Día	F (Hz)	Dist. (m)	D. (m)	K (m)	K/L	$\eta$	T	C (m-1)	Ed (Gpa)
<b>Semisaturado a Seco al Aire</b>	1	4121	0.200	0.10	0.025	0.125	0.230	2.095	269.3	16.5	
	2	4098	0.200	0.10	0.025	0.125	0.230	2.095	269.3	16.2	
	3	4076	0.200	0.10	0.025	0.125	0.230	2.095	269.3	15.8	
	4	4109	0.200	0.10	0.025	0.125	0.230	2.095	269.3	16.0	
	5	4098	0.201	0.10	0.025	0.124	0.230	2.095	273.3	16.1	
	6	4121	0.201	0.10	0.025	0.124	0.230	2.095	273.3	16.2	
	8	4121	0.200	0.10	0.025	0.125	0.230	2.095	269.3	16.0	
	9	4166	0.200	0.10	0.025	0.125	0.230	2.095	269.3	16.3	
	10	4121	0.200	0.10	0.025	0.125	0.230	2.095	269.3	15.9	
	<b>Seco al Aire a Seco al Horno</b>	1	4360	0.200	0.10	0.025	0.125	0.230	2.095	269.3	17.3
2		3846	0.200	0.10	0.025	0.125	0.230	2.095	269.3	13.4	
3		3846	0.200	0.10	0.025	0.125	0.230	2.095	269.3	13.3	
4		3917	0.200	0.10	0.025	0.125	0.230	2.095	269.3	13.8	
5		3989	0.201	0.10	0.025	0.124	0.230	2.095	273.3	14.5	
6		3816	0.201	0.10	0.025	0.124	0.230	2.095	273.3	13.3	
7		3836	0.200	0.10	0.025	0.125	0.230	2.095	269.3	13.2	
8		3826	0.200	0.10	0.025	0.125	0.230	2.095	269.3	13.1	

		M5 Cilindro 12*									
		Día	F (Hz)	Dist. (m)	D. (m)	K (m)	K/L	$\eta$	T	C (m-1)	Ed (Gpa)
<b>Semisaturado a Seco al Aire</b>	1	4335	0.201	0.10	0.025	0.126	0.230	2.095	262.7	18.0	
	2	4285	0.201	0.10	0.025	0.126	0.230	2.095	262.7	17.5	
	3	4310	0.200	0.10	0.025	0.125	0.230	2.095	269.3	17.9	
	4	4285	0.200	0.10	0.025	0.125	0.230	2.095	269.3	17.6	
	5	4190	0.201	0.10	0.025	0.124	0.230	2.095	273.3	17.0	
	6	4213	0.200	0.10	0.025	0.125	0.230	2.095	269.3	16.9	
	8	4261	0.200	0.10	0.025	0.126	0.230	2.095	258.8	16.6	
	9	4335	0.200	0.10	0.025	0.125	0.230	2.095	269.3	17.8	
	10	4335	0.200	0.10	0.025	0.125	0.230	2.095	269.3	17.8	
	<b>Seco al Aire a Seco al Horno</b>	1	4451	0.201	0.10	0.025	0.126	0.230	2.095	262.7	17.8
2		4077	0.201	0.10	0.025	0.126	0.230	2.095	262.7	14.9	
3		4021	0.200	0.10	0.025	0.125	0.230	2.095	269.3	14.8	

	4	4065	0.200	0.10	0.025	0.125	0.230	2.095	269.3	15.1
	5	4237	0.201	0.10	0.025	0.124	0.230	2.095	273.3	16.6
	6	4109	0.200	0.10	0.025	0.125	0.230	2.095	269.3	15.4
	7	4098	0.200	0.10	0.025	0.126	0.230	2.095	258.8	14.7
	8	4121	0.200	0.10	0.025	0.125	0.230	2.095	269.3	15.4

		M5 Cilindro 12									
		Día	F (Hz)	Dist. (m)	D. (m)	K (m)	K/L	$\eta$	T	C (m-1)	Ed (Gpa)
<b>Semisaturado a Seco al Aire</b>	1	2777	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	17.0	
	2	2809	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	17.1	
	3	2862	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	17.7	
	4	2777	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	16.6	
	6	2830	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	17.1	
	7	2857	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	17.5	
	8	2885	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	17.8	
	9	2873	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	17.6	
<b>Seco al Aire a Seco al Horno</b>	1	2840	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	17.1	
	2	2650	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	14.7	
	3	2607	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	14.2	
	4	2564	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	13.7	
	5	2459	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	12.6	
	6	2484	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	12.8	
	7	2480	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	12.7	

		M5 Cilindro 13									
		Día	F (Hz)	Dist. (m)	D. (m)	K (m)	K/L	$\eta$	T	C (m-1)	Ed (Gpa)
<b>Semisaturado a Seco al Aire</b>	1	2820	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	17.5	
	2	2840	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	17.5	
	3	2851	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	17.5	
	4	2862	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	17.6	
	6	2840	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	17.2	
	7	2874	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	17.6	
	8	2907	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	18.0	
	9	2884	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	17.8	
	<b>Seco al Aire a Seco al Horno</b>	1	2650	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	14.8
2		2622	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	14.4	
3		2561	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	13.7	

	4	2500	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	13.0
	5	2403	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	12.0
	6	2411	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	12.0
	7	2400	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	11.9

<b>M4 Cilindro 4</b>										
	<b>Día</b>	<b>F (Hz)</b>	<b>Dist. (m)</b>	<b>D. (m)</b>	<b>K (m)</b>	<b>K/L</b>	<b><math>\eta</math></b>	<b>T</b>	<b>C (m-1)</b>	<b>Ed (Gpa)</b>
<b>Semisaturado a Seco al Aire</b>	1	4464	0.201	0.10	0.025	0.124	0.230	2.095	273.3	19.8
	2	4504	0.201	0.10	0.025	0.124	0.230	2.095	273.3	20.1
	3	4464	0.201	0.10	0.025	0.126	0.230	2.095	262.7	18.8
	4	4545	0.202	0.10	0.025	0.124	0.230	2.095	277.4	20.6
	5	4438	0.201	0.10	0.025	0.124	0.230	2.095	273.3	19.3
	6	4438	0.202	0.10	0.025	0.125	0.230	2.095	266.6	18.8
	8	4361	0.202	0.10	0.025	0.124	0.230	2.095	277.4	18.8
	9	4413	0.201	0.10	0.025	0.126	0.230	2.095	262.7	18.3
	10	4386	0.201	0.10	0.025	0.126	0.230	2.095	262.7	18.0
	<b>Seco al Aire a Seco al Horno</b>	1	4545	0.201	0.10	0.025	0.124	0.260	2.109	275.1
2		4032	0.201	0.10	0.025	0.124	0.260	2.109	275.1	15.6
3		4076	0.201	0.10	0.025	0.126	0.260	2.109	264.4	15.3
4		4122	0.202	0.10	0.025	0.124	0.260	2.108	279.2	16.5
5		4213	0.201	0.10	0.025	0.124	0.260	2.109	275.1	16.9
6		3460	0.202	0.10	0.025	0.125	0.260	2.109	268.4	11.1
7		4261	0.202	0.10	0.025	0.124	0.260	2.108	279.2	17.5
8		4310	0.201	0.10	0.025	0.126	0.260	2.109	264.4	17.0

<b>M4 Cilindro 9</b>										
	<b>Día</b>	<b>F (Hz)</b>	<b>Dist. (m)</b>	<b>D. (m)</b>	<b>K (m)</b>	<b>K/L</b>	<b><math>\eta</math></b>	<b>T</b>	<b>C (m-1)</b>	<b>Ed (Gpa)</b>
<b>Semisaturado a Seco al Aire</b>	1	4335	0.201	0.10	0.025	0.124	0.230	2.095	273.3	18.6
	2	4373	0.201	0.10	0.025	0.126	0.230	2.095	262.7	18.1
	3	4298	0.201	0.10	0.025	0.124	0.230	2.095	273.3	18.1
	4	4237	0.200	0.10	0.025	0.126	0.230	2.095	258.8	16.6
	5	4213	0.201	0.10	0.025	0.124	0.230	2.095	273.3	17.3
	6	4190	0.200	0.10	0.025	0.125	0.230	2.095	269.3	16.9
	8	4166	0.201	0.10	0.025	0.126	0.230	2.095	262.7	16.2
	9	4076	0.201	0.10	0.025	0.124	0.230	2.095	273.3	16.2
	10	4143	0.201	0.10	0.025	0.124	0.230	2.095	273.3	16.7
		1	4237	0.201	0.10	0.025	0.124	0.230	2.095	273.3

<b>Seco al Aire a Seco al Horno</b>	2	4285	0.201	0.10	0.025	0.126	0.230	2.095	262.7	16.7
	3	4011	0.201	0.10	0.025	0.124	0.230	2.095	273.3	15.2
	4	4000	0.200	0.10	0.025	0.126	0.230	2.095	258.8	14.3
	5	4022	0.201	0.10	0.025	0.124	0.230	2.095	273.3	15.2
	6	3866	0.200	0.10	0.025	0.125	0.230	2.095	269.3	13.8
	7	3918	0.201	0.10	0.025	0.126	0.230	2.095	262.7	13.9
	8	4021	0.201	0.10	0.025	0.124	0.230	2.095	273.3	15.2

<b>M4 Cilindro 12</b>										
	<b>Día</b>	<b>F (Hz)</b>	<b>Dist. (m)</b>	<b>D. (m)</b>	<b>K (m)</b>	<b>K/L</b>	<b><math>\eta</math></b>	<b>T</b>	<b>C (m-1)</b>	<b>Ed (Gpa)</b>
<b>Semisaturado a Seco al Aire</b>	1	2757	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	16.5
	2	2727	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	16.0
	3	2631	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	14.8
	4	2717	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	15.8
	6	2717	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	15.8
	7	2737	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	16.0
	8	2757	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	16.2
	9	2688	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	15.4
	<b>Seco al Aire a Seco al Horno</b>	1	2551	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5
2		2451	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	12.6
3		2362	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	11.6
4		2272	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	10.7
5		2272	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	10.7
6		2259	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	10.5
7		2259	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	10.5

<b>M4 Cilindro 13</b>										
	<b>Día</b>	<b>F (Hz)</b>	<b>Dist. (m)</b>	<b>D. (m)</b>	<b>K (m)</b>	<b>K/L</b>	<b><math>\eta</math></b>	<b>T</b>	<b>C (m-1)</b>	<b>Ed (Gpa)</b>
<b>Semisaturado a Seco al Aire</b>	1	2798	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	17.0
	2	2688	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	15.6
	3	2767	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	16.4
	4	2758	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	16.3
	6	2752	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	16.2
	7	2747	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	16.1
	8	2918	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	18.2
	9	2717	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	15.7
		1	2551	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5

<b>Seco al Aire a Seco al Horno</b>	2	2500	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	13.1
	3	2386	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	11.9
	4	2272	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	10.7
	5	2274	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	10.7
	6	2193	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	9.9
	7	2190	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	9.8

<b>M3 Cilindro 9</b>										
	<b>Día</b>	<b>F (Hz)</b>	<b>Dist. (m)</b>	<b>D. (m)</b>	<b>K (m)</b>	<b>K/L</b>	<b><math>\eta</math></b>	<b>T</b>	<b>C (m-1)</b>	<b>Ed (Gpa)</b>
<b>Semisaturado a Seco al Aire</b>	1	5324	0.202	0.10	0.025	0.124	0.230	2.095	277.4	29.3
	2	5190	0.202	0.10	0.025	0.124	0.230	2.095	277.4	27.7
	3	4886	0.202	0.10	0.025	0.124	0.230	2.095	277.4	24.5
	4	5017	0.201	0.10	0.025	0.126	0.230	2.095	262.7	24.4
	5	4902	0.201	0.10	0.025	0.124	0.230	2.095	273.3	24.2
	6	4918	0.201	0.10	0.025	0.124	0.230	2.095	273.3	24.4
	8	4934	0.202	0.10	0.025	0.124	0.230	2.095	277.4	24.9
	9	4902	0.202	0.10	0.025	0.125	0.230	2.095	266.6	23.6
	10	4807	0.202	0.10	0.025	0.125	0.230	2.095	266.6	22.7
	<b>Seco al Aire a Seco al Horno</b>	1	5102	0.202	0.10	0.025	0.124	0.230	2.095	277.4
2		4854	0.202	0.10	0.025	0.124	0.230	2.095	277.4	23.8
3		4687	0.202	0.10	0.025	0.124	0.230	2.095	277.4	22.1
4		4717	0.201	0.10	0.025	0.126	0.230	2.095	262.7	21.2
5		4746	0.201	0.10	0.025	0.124	0.230	2.095	273.3	22.3
6		4732	0.201	0.10	0.025	0.124	0.230	2.095	273.3	22.1
7		4674	0.202	0.10	0.025	0.124	0.230	2.095	277.4	21.9
8		4601	0.202	0.10	0.025	0.125	0.230	2.095	266.6	20.4

<b>M3 Cilindro 3</b>										
	<b>Día</b>	<b>F (Hz)</b>	<b>Dist. (m)</b>	<b>D. (m)</b>	<b>K (m)</b>	<b>K/L</b>	<b><math>\eta</math></b>	<b>T</b>	<b>C (m-1)</b>	<b>Ed (Gpa)</b>
<b>Semisaturado a Seco al Aire</b>	1	5208	0.201	0.10	0.025	0.124	0.230	2.095	273.3	27.6
	2	5154	0.201	0.10	0.025	0.124	0.230	2.095	273.3	26.9
	3	5000	0.201	0.10	0.025	0.124	0.230	2.095	273.3	25.2
	4	4886	0.201	0.10	0.025	0.124	0.230	2.095	273.3	24.0
	5	4967	0.201	0.10	0.025	0.124	0.230	2.095	273.3	24.8
	6	4951	0.201	0.10	0.025	0.124	0.230	2.095	273.3	24.6
	8	4838	0.201	0.10	0.025	0.124	0.230	2.095	273.3	23.5
	9	5000	0.201	0.10	0.025	0.124	0.230	2.095	273.3	25.1

	10	4967	0.201	0.10	0.025	0.124	0.230	2.095	273.3	24.8
<b>Seco al Aire a Seco al Horno</b>	1	5137	0.201	0.10	0.025	0.124	0.230	2.095	273.3	26.2
	2	4854	0.201	0.10	0.025	0.124	0.230	2.095	273.3	23.4
	3	4732	0.201	0.10	0.025	0.124	0.230	2.095	273.3	22.2
	4	4777	0.201	0.10	0.025	0.124	0.230	2.095	273.3	22.6
	5	4838	0.201	0.10	0.025	0.124	0.230	2.095	273.3	23.1
	6	4732	0.201	0.10	0.025	0.124	0.230	2.095	273.3	22.1
	7	4777	0.201	0.10	0.025	0.124	0.230	2.095	273.3	22.5
	8	4839	0.201	0.10	0.025	0.124	0.230	2.095	273.3	23.1

<b>M3 Cilindro 12</b>										
	<b>Día</b>	<b>F (Hz)</b>	<b>Dist. (m)</b>	<b>D. (m)</b>	<b>K (m)</b>	<b>K/L</b>	<b><math>\eta</math></b>	<b>T</b>	<b>C (m-1)</b>	<b>Ed (Gpa)</b>
<b>Semisaturado a Seco al Aire</b>	1	3273	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	24.3
	2	3125	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	22.0
	3	3112	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	21.8
	4	3178	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	22.7
	6	3138	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	22.1
	7	3132	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	22.0
	8	3125	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	21.9
	9	3086	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	21.4
	<b>Seco al Aire a Seco al Horno</b>	1	2964	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5
2		2840	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	17.9
3		2764	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	16.9
4		2688	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	15.9
5		2688	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	15.9
6		2659	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	15.5
7		2630	0.300	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	179.5	15.2

<b>M3 Cilindro 13</b>										
	<b>Día</b>	<b>F (Hz)</b>	<b>Dist. (m)</b>	<b>D. (m)</b>	<b>K (m)</b>	<b>K/L</b>	<b><math>\eta</math></b>	<b>T</b>	<b>C (m-1)</b>	<b>Ed (Gpa)</b>
<b>Semisaturado a Seco al Aire</b>	1	3232	0.301	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	181.3	23.9
	2	3086	0.301	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	181.3	21.6
	3	3036	0.301	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	181.3	20.9
	4	3061	0.301	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	181.3	21.2
	6	3125	0.301	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	181.3	22.1
	7	3087	0.301	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	181.3	21.6
	8	3048	0.301	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	181.3	21.0

	9	3086	0.301	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	181.3	21.6
<b>Seco al Aire a Seco al Horno</b>	1	2840	0.301	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	181.3	18.1
	2	2757	0.301	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	181.3	17.0
	3	2699	0.301	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	181.3	16.2
	4	2640	0.301	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	181.3	15.5
	5	2777	0.301	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	181.3	17.1
	6	2709	0.301	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	181.3	16.3
	7	2670	0.301	0.15	0.038	0.125	0.230	2.095	181.3	15.8





