

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
ESCUELA DE POSGRADO
PROGRAMA DE DOCTORADO EN INGENIERÍA CIVIL



UNS
ESCUELA DE
POSGRADO

**“Evolución de las microfisuras en la resistencia a la
tracción del concreto en pavimentos rígidos
evaluado con velocidad de ultrasonido”**

**Tesis para obtener el Grado de
Doctor en Ingeniería Civil**

Autor:

Mg. Caceres Flores, Roberto Bonifacio

Asesor:

Dr. Coronado Zuloeta, Omar

DNI. N° 18802184

Código ORCID. 0000-0002-7757-4649

Línea de Investigación

Ensayos no destructivos en estructuras

Nuevo Chimbote - PERÚ
2024



UNS
ESCUELA DE
POSGRADO

CERTIFICACIÓN DE ASESORAMIENTO DE LA TESIS

YO, Dr. Coronado Zuloeta, Omar, por medio de la presente certifico mi asesoramiento de la Tesis titulada: **“Evolución de las microfisuras en la resistencia a la tracción del concreto en pavimentos rígidos evaluado con velocidad de ultrasonido”**, que tiene como autor al Mg. **Caceres Flores, Roberto Bonifacio**, alumno del Doctorado en **Ingeniería Civil** ha sido elaborado de acuerdo al Reglamento de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Santa.

Nuevo Chimbote, marzo, del 2024

.....
Dr. Coronado Zuloeta, Omar

ASESOR

Código. ORCID: 0000-0002-7757-4649

DNI N°: 16802184



UNS
ESCUELA DE
POSGRADO

CONFORMIDAD DEL JURADO EVALUADOR

“Evolución de las microfisuras en la resistencia a la tracción del concreto en pavimentos rígidos evaluado con velocidad de ultrasonido”,

Revisado y Aprobado por el Jurado Evaluador:

.....
Dr. León Bobadilla, Abner Itamar

Presidente

Código. ORCID: 0000-0003-2948-6591

DNI N°: 32942184

.....
Dr. López Carranza, Atilio Rubén

Secretario

CODIGO ORCID: 0000-0002-3631-2001

DNI N° 32965940

.....
Dr. Coronado Zuloeta, Omar

Vocal

CODIGO ORCID: 0000-0002-7757-4649

DNI N° 16802184



UNS
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
POSGRADO

ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

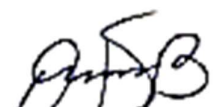
A los dieciocho días del mes de marzo del año 2024, siendo las 9:50 horas, en el aula P-01 de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Santa, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador, designados mediante Resolución Directoral N° 289-2023-EPG-UNS de fecha 27.10.2023, conformado por los docentes: Dr. Abner Itamar León Bobadilla (Presidente), Dr. Atilio Rubén López Carranza (Secretario), Dr. Omar Coronado Zuloeta (Vocal), con la finalidad de evaluar la tesis titulada **"EVOLUCIÓN DE LAS MICROFISURAS EN LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEL CONCRETO EN PAVIMENTOS RIGIDOS EVALUADO CON VELOCIDAD DE ULTRASONIDO"** presentado por el tesisista **Roberto Bonifacio Caceres Flores**, egresado del programa de **Doctorado en Ingeniería Civil**.

Sustentación autorizada mediante Resolución Directoral N° 093-2024-EPG-UNS de fecha 29 de febrero de 2024.

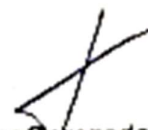
El presidente del jurado autorizó el inicio del acto académico; producido y concluido el acto de sustentación de tesis, los miembros del jurado procedieron a la evaluación respectiva, haciendo una serie de preguntas y recomendaciones al tesisista, quien dio respuestas a las interrogantes y observaciones.

El jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, declara la sustentación como **APROBADO**, asignándole la calificación de **DIECISEIS**.

Siendo las 9:40 horas del mismo día se da por finalizado el acto académico, firmando la presente acta en señal de conformidad.


Dr. Abner Itamar León Bobadilla
Presidente


Dr. Atilio Rubén López Carranza
Secretario


Dr. Omar Coronado Zuloeta
Vocal

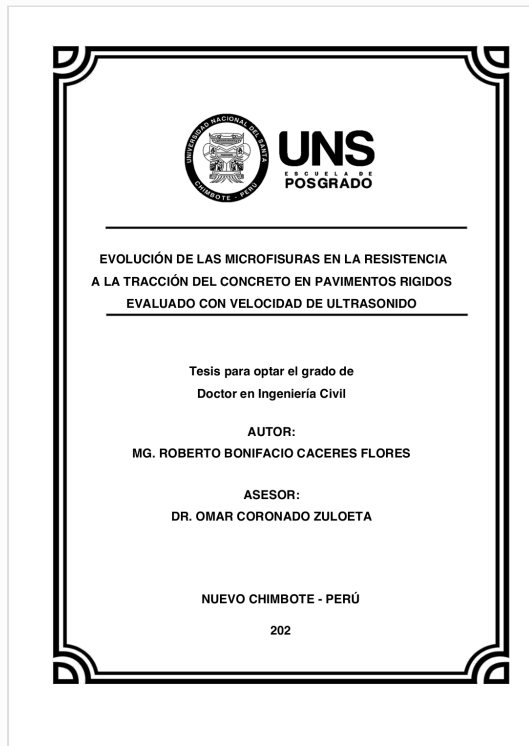


Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega:	Roberto Bonifacio CACERES FLORES
Título del ejercicio:	DOCTORADO 2023
Título de la entrega:	LEV OBS TESIS DOCTORADO ROBERTO CACERES
Nombre del archivo:	OCTORADO_LEV_OBS_ROBERTO_CACERES_UNS_2022_-_V_24_...
Tamaño del archivo:	18.39M
Total páginas:	140
Total de palabras:	25,715
Total de caracteres:	128,920
Fecha de entrega:	06-feb.-2024 11:24a. m. (UTC-0500)
Identificador de la entre...	2197963393



LEV OBS TESIS DOCTORADO ROBERTO CACERES

INFORME DE ORIGINALIDAD

4%

INDICE DE SIMILITUD

4%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

1%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

vdocuments.es

Fuente de Internet

<1 %

2

imt.mx

Fuente de Internet

<1 %

3

hdl.handle.net

Fuente de Internet

<1 %

4

docplayer.es

Fuente de Internet

<1 %

5

repositorio.unsaac.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

6

repositorio.unfv.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

7

Submitted to CONACYT

Trabajo del estudiante

<1 %

8

repositorio.uns.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

9

Submitted to Universidad Internacional SEK

Trabajo del estudiante

<1 %

DEDICATORIA

A mis queridos padres Valentín y Hermelinda, los cuales me inculcaron desde niño los valores, el estudio, el trabajo y la superación, muchas gracias por los esfuerzos que hicieron por mí.

AGRADECIMIENTO

A los integrantes del laboratorio RCF S.R.L., que han colaborado en la ejecución del presente trabajo de investigación.

Índice general

RESUMEN	xvi
Palabra clave:	xvi
ABSTRACT	xvii
Keywords:	xvii
INTRODUCCIÓN:	xviii
CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	19
1.1. Planteamiento y fundamentación del problema de investigación	19
Realidad genérica del problema.....	19
Características de la realidad específica	19
1.2. Formulación del problema:.....	20
1.2.1. Problema general.....	20
1.2.2. Problemas específicos	20
1.3. Antecedentes de la investigación.....	21
1.4. Justificación e importancia	21
1.5. Limitaciones	21
1.6. Hipótesis de la investigación	22
1.7. Variables	22
1.8. Objetivos de la investigación: General y específicos	22
1.8.1. Objetivo general.....	22
1.8.2. Objetivos específicos	23
CAPITULO II: MARCO TEORICO.....	24
2.1. Fundamentos teóricos de la investigación.....	24
2.1.1. El concreto	24
2.2. Fisuras en estado plástico	27
2.3. En estado endurecido.....	28
2.4. Marco conceptual	30
2.4.1. Fundamentos de la mecánica de fractura	30
2.4.2. Fisuras por tracción.....	32
2.4.3. La velocidad de ultrasonido	34
CAPÍTULO III: METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION	38
3.1. Método de investigación.....	38
3.2. Diseño de investigación.....	38

3.3. Población y muestra.....	39
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	39
3.5 Procedimiento de recolección de datos	40
3.6 Técnicas de procesamiento y análisis de los resultados	40
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
4.1 Proceso previo y adecuación para medición de resultados.....	42
4.1.1 Diseño de mezclas.....	42
4.1.2 Especímenes de ensayo.....	43
4.1.3. Resistencias de diseño.....	45
4.1.4. Curado de los prismas y cilindros de concreto	46
4.1.5. Humedad y análisis de humedad.....	46
4.1.6. Humedad y velocidad de ultrasonido.....	47
4.1.7. Ensayos preliminares carga-VUS(velocidad de ultra sonido)	48
4.1.8. Evaluación de muescas en la zona de falla	50
4.1.9. Análisis de curvas de propagación con carga controlada	53
4.1.11 Optimización de resultados.....	54
4.1.12. Análisis integral de métodos, hipótesis y recolección de datos	55
4.2 Resultados y análisis de resultados.....	56
4.2.1 Aspectos relevantes de investigación.....	56
4.2.2 Resultados con carga controlada.....	58
4.2.2.1 Resultados con aplicación de carga en el centro	59
4.2.2.2 Resultados con aplicación de carga en los tercios.....	62
4.2.2.3 Resultados de carga controlada medida en los extremos	65
4.2.3 Resultados con deformación controlada	66
4.2.3.1 Resultados con aplicación de deformación en el centro	67
4.2.3.2 Resultados con aplicación de deformación en los tercios	70
4.2.3.3 Resultados de deformación 0.02 mm/min.....	71
4.3 DISCUSION	72
4.3.1 Discusión de micro fisuras con carga en el centro.....	73
4.3.2 Evolución de micro fisuras con carga a dos tercios.....	75
4.3.3 Evolución de microfisuras con carga controlada medida en los extremos laterales	77
4.3.4 Evolución de microfisuras con aplicación de deformación en el centro	78
4.3.5 Evolución de microfisuras con aplicación de deformación a dos tercios	80
4.3.6 Evolución de microfisuras con aplicación de deformación 0.02 mm/min.....	82
4.3.7 Análisis integral de los resultados y discusión	84

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	85
5. CONCLUSIONES	85
6. RECOMENDACIONES	86
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS	87
ANEXOS	89

Índice de cuadros

Cuadro 1. Cuadro típico de medición en adecuación 2-6	39
Cuadro 2. Propiedades de los agregados	42
Cuadro 3. Registro zonificado de VUS	51
Cuadro 4. Registro zonificado de VUS	52
Cuadro 5. Cuadro típico de medición en adecuación 2-6	54
Cuadro 6. 1° Ensayo de carga en el centro $f'c:210$	102
Cuadro 7. 2° Ensayo de carga en el centro $f'c:210$	103
Cuadro 8. 3° Ensayo de carga en el centro $f'c:210$	104
Cuadro 9. 4° Ensayo de carga en el centro $f'c:210$	105
Cuadro 10. 5° Ensayo de carga en el centro $f'c:210$	106
Cuadro 11. 6° Ensayo de carga en el centro $f'c:210$	107
Cuadro 12. 7° Ensayo de carga en el centro $f'c:210$	107
Cuadro 13. 1° Ensayo de carga a dos tercios $f'c:210$	108
Cuadro 14. 2° Ensayo de carga a dos tercios $f'c:210$	109
Cuadro 15. 3° Ensayo de carga a dos tercios $f'c:210$	110
Cuadro 16. 1° Ensayo de carga en el centro $f'c:280$	111
Cuadro 17. 2° Ensayo de carga en el centro $f'c:280$	112
Cuadro 18. 3° Ensayo de carga en el centro $f'c:280$	113
Cuadro 19. 1° Ensayo de carga a dos tercios $f'c:280$	114
Cuadro 20. 2° Ensayo de carga a dos tercios $f'c:280$	115
Cuadro 21. 3° Ensayo de carga a dos tercios $f'c:280$	116
Cuadro 22. 1° Ensayo de carga en el centro $f'c:350$	117
Cuadro 23. 2° Ensayo de carga en el centro $f'c:350$	118
Cuadro 24. 3° Ensayo de carga en el centro $f'c:350$	119
Cuadro 25. 4° Ensayo de carga en el centro $f'c:350$	120
Cuadro 26. 5° Ensayo de carga en el centro $f'c:350$	121
Cuadro 27. 6° Ensayo de carga en el centro $f'c:350$	122
Cuadro 28. 7° Ensayo de carga en el centro $f'c:350$	123
Cuadro 29. 1° Ensayo de carga a dos tercios $f'c:350$	124
Cuadro 30. 2° Ensayo de carga a dos tercios $f'c:350$	125
Cuadro 31. 3° Ensayo de carga a dos tercios $f'c:350$	126
Cuadro 32. 1° Ensayo de carga en el centro $f'c:210$ evaluado en extremos	127
Cuadro 33. 1° Ensayo de carga en el centro $f'c:350$ evaluado en extremos	127

Cuadro 34. 1° Ensayo de deformación en el centro $f'c:210$	128
Cuadro 35. 2° Ensayo de deformación en el centro $f'c:210$	128
Cuadro 36. 3° Ensayo de deformación en el centro $f'c:210$	129
Cuadro 37. 1° Ensayo de deformación en el centro $f'c:280$	129
Cuadro 38. 2° Ensayo de deformación en el centro $f'c:280$	130
Cuadro 39. 3° Ensayo de deformación en el centro $f'c:280$	130
Cuadro 40. 1° Ensayo de deformación en el centro $f'c:350$	131
Cuadro 41. 2° Ensayo de deformación en el centro $f'c:350$	131
Cuadro 42. 3° Ensayo de deformación en el centro $f'c:350$	131
Cuadro 43. 1° Ensayo de deformación a dos tercios $f'c:210$	132
Cuadro 44. 1° Ensayo de deformación a dos tercios $f'c:280$	132
Cuadro 45. 1° Ensayo de deformación a dos tercios $f'c:350$	133
Cuadro 46. 1° Ensayo de deformación 0.02 mm/min en el centro $f'c:210$	134
Cuadro 47. 2° Ensayo de deformación 0.02 mm/min en el centro $f'c:210$	135
Cuadro 48. 3° Ensayo de deformación 0.02 mm/min en el centro $f'c:210$	136
Cuadro 49. 4° Ensayo de deformación 0.02 mm/min en el centro $f'c:210$	137
Cuadro 50. 1° Ensayo de deformación 0.02 mm/min en el centro $f'c:350$	138
Cuadro 51. 2° Ensayo de deformación 0.02 mm/min en el centro $f'c:350$	139
Cuadro 52. 3° Ensayo de deformación 0.02 mm/min en el centro $f'c:350$	140

Índice de ecuaciones

Ecuación 1 Relación esfuerzo de fractura y tamaño de la grieta.....	30
Ecuación 2 Máximo esfuerzo - fractura	31
Ecuación 3 Velocidad de los pulsos de ultrasonido	36
Ecuación 4 Velocidad de los pulsos de ultrasonido	74
Ecuación 5 Velocidad de los pulsos de ultrasonido	74
Ecuación 6 Velocidad de los pulsos de ultrasonido	75
Ecuación 7 Velocidad de los pulsos de ultrasonido	75
Ecuación 8 Velocidad de los pulsos de ultrasonido	76
Ecuación 9 Velocidad de los pulsos de ultrasonido	76
Ecuación 10 Velocidad de los pulsos de ultrasonido	77
Ecuación 11 Velocidad de los pulsos de ultrasonido	78
Ecuación 12 Velocidad de los pulsos de ultrasonido	79
Ecuación 13 Velocidad de los pulsos de ultrasonido	79
Ecuación 14 Velocidad de los pulsos de ultrasonido	80
Ecuación 15 Velocidad de los pulsos de ultrasonido	81
Ecuación 16 Velocidad de los pulsos de ultrasonido	81
Ecuación 17 Velocidad de los pulsos de ultrasonido	82
Ecuación 18 Velocidad de los pulsos de ultrasonido	83
Ecuación 19 Velocidad de los pulsos de ultrasonido	83

Índice de figuras

Figura 1. <i>Evaluación de la energía superficial</i>	32
Figura 2. <i>Modo de deformación de una grieta</i>	32
Figura 3 <i>Ensayo de tracción ASTM</i>	33
Figura 4. <i>Compresión y tracción losas de concreto</i>	33
Figura 5. <i>Distribución de los agregados</i>	35
Figura 6. <i>Fabricación del concreto</i>	44
Figura 7. <i>Fabricación de primas para flexión</i>	44
Figura 8. <i>Curado de especímenes de ensayo</i>	45
Figura 9. <i>Secado de especímenes de ensayo</i>	45
Figura 10. <i>Variación de humedad</i>	47
Figura 11. <i>Variación de velocidad</i>	48
Figura 12. <i>Variación de VUS con carga controlada</i>	49
Figura 13. <i>Variación del VUS</i>	50
Figura 14. <i>Registro zonificado de VUS</i>	51
Figura 17. <i>Registro de VUS con modificación de lectura</i>	54
Figura 18. <i>Gráfica típica de medición en adecuación 2-6</i>	55
Figura 20. <i>Ensayo de carga vs velocidad de ultrasonido</i>	59
Figura 21. <i>$f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$, Ensayo de carga vs velocidad de ultrasonido</i>	60
Figura 23. <i>$f'c= 350 \text{ kg/cm}^2$, ensayo de carga vs Velocidad de ultrasonido</i>	61
Figura 24. <i>Ensayo de carga vs velocidad de ultrasonido</i>	62
Figura 25. <i>$f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$, ensayo de carga vs velocidad de ultrasonido</i>	63
Figura 26. <i>$F'c= 280 \text{ kg/cm}^2$, ensayo de carga vs velocidad de ultrasonido</i>	63
Figura 27. <i>$F'c= 350 \text{ kg/cm}^2$, ensayo de carga vs velocidad de ultrasonido</i>	64
Figura 31. <i>Correlación entre deformación y carga</i>	67
Figura 32. <i>Ensayo de carga vs velocidad de ultrasonido</i>	68
Figura 33. <i>$F'c= 210 \text{ kg/cm}^2$, ensayo deformación vs velocidad de ultrasonido</i>	68
Figura 34. <i>$F'c= 280 \text{ kg/cm}^2$, ensayo deformación vs velocidad de ultrasonido</i>	69
Figura 35. <i>$F'c= 350 \text{ kg/cm}^2$, ensayo deformación vs Velocidad de ultrasonido</i>	69
Figura 36. <i>$F'c= 210 \text{ kg/cm}^2$, Ensayo deformación vs Velocidad de ultrasonido</i>	70
Figura 38. <i>$F'c= 280 \text{ kg/cm}^2$, Ensayo deformación vs Velocidad de ultrasonido</i>	71
Figura 39. <i>$F'c= 210 \text{ kg/cm}^2$, Ensayo deformación vs Velocidad de ultrasonido</i>	71
Figura 40. <i>$F'c= 350 \text{ kg/cm}^2$, Ensayo deformación vs Velocidad de ultrasonido</i>	72
Figura 41. <i>$F'c: 210\text{Kg/cm}^2$, ensayo carga vs velocidad de ultrasonido</i>	73

Figura 42. <i>F'c: 280Kg/cm2, ensayo carga vs velocidad de ultrasonido</i>	74
Figura 46. <i>F'c: 350Kg/cm2, ensayo carga vs velocidad de ultrasonido</i>	76
Figura 47. <i>F'c: 210Kg/cm2, ensayo deformación vs velocidad de ultrasonido.....</i>	77
Figura 48. <i>F'c: 350Kg/cm2, ensayo deformación vs velocidad de ultrasonido.....</i>	78
Figura 49. <i>F'c: 210Kg/cm2, ensayo deformación vs velocidad de ultrasonido.....</i>	79
Figura 50. <i>F'c: 280Kg/cm2, ensayo deformación vs velocidad de ultrasonido.....</i>	79
Figura 51. <i>F'c: 350Kg/cm2, ensayo deformación vs velocidad de ultrasonido.....</i>	80
Figura 54. <i>F'c= 350 kg/cm2, Ensayo deformación vs Velocidad de ultrasonido.....</i>	82
Figura 55. <i>F'c= 210 kg/cm2, Ensayo deformación vs Velocidad de ultrasonido.....</i>	83
Figura 56. <i>F'c= 350 kg/cm2, Ensayo deformación vs Velocidad de ultrasonido.....</i>	83
Figura 57. <i>Equipo de medición ultrasonido para la investigación</i>	89
Figura 58. <i>Equipo de comprensión para la investigación.....</i>	100

Índice de Anexos

Anexo 1 Especificaciones de detector ultrasónico	89
Anexo 2 Máquina de compresión.....	90
Anexo 3 Certificado de calibración pag 1-4	91
Anexo 4 Certificado de calibración pág. 2-4	92
Anexo 5 Certificado de calibración pág. 3-4	93
Anexo 6 Certificado de calibración pág. 4-4	94
Anexo 7 Certificado de cumplimiento	95
Anexo 8 Certificado de calibración - laboratorio	96
Anexo 9 Certificado de calibración - laboratorio	97
Anexo 10 Certificado de calibración - laboratorio 2	98
Anexo 11 Certificado de calibración - laboratorio 3	99
Anexo 12 Certificado de calibración - laboratorio 4	100
Anexo 13 Certificado de Laboratorio Acreditado.....	101
Anexo 14 Cuadro de datos individuales	102

RESUMEN

El deterioro de los pavimentos rígidos se observa al final de su periodo de vida, se manifiesta principalmente mediante fisuras de las losas, que a su vez por ser de uso y servicio dinámico, esta fisura inicial se magnifica, por ello, ensayos no destructivos con fines de evaluar el concreto a flexión aplicando velocidad de ultrasonido es una alternativa, básicamente por el menor tiempo de evaluación, gran cantidad de mediciones y la inalterabilidad de las estructuras evaluadas.

A la aplicación de carga, a partir de las micro fisuras de fábrica del concreto, se genera una zona de proceso de micro fisura, en donde las tensiones se magnifican sobre todo el borde la misma, tal que, al vencer la energía específica del conjunto concreto, sobre todo en la zona de contacto pasta – agregado, se inician o continúan las micro fisuras.

Conocer la relación entre la aplicación de la carga y la evolución de la micro fisura es el objetivo principal de esta investigación y es importante para poder monitorear en qué grado de deterioro se puede encontrar un concreto, ello se puede evaluar mediante la velocidad de ultrasonido en medios no metálicos.

Se han efectuado vigas prismáticas para ensayo, apegados a los estándares de fabricación y de ensayo, en el proceso mismo de ensayo se ha adecuado la forma de lectura para conseguir los objetivos planteados, con variantes de carga controlada o de deformación controlada.

Los resultados de laboratorio en vigas prismáticas indican un reducido rango de aplicación de carga en la cual se produce la falla del concreto a flexión, en general, es posible encontrar una correlación de carga con la velocidad de ultrasonido, la evolución de las micro fisuras es de tendencia lineal, aunque se observa dos zonas: la primera hasta el orden del 80% de aplicación de la carga de falla en donde la pendientes baja y la una segunda zona posterior al 80% en donde la tendencia en lineal con incremento de pendiente y/o tendencia a correlación cuadrática, en esta segunda zona puede asumirse que se produce la generalización de dichas micro fisuras.

Palabra clave:

Velocidad de ultrasonido, flexión, microfisura, evolución de microfisura

ABSTRACT

The deterioration of rigid pavements becomes evident toward the end of their service life and is primarily manifested through cracks in the slabs. These cracks, due to dynamic usage and service, tend to magnify over time. As a result, non-destructive tests aimed at evaluating concrete in flexural conditions have gained significance in recent decades. This is mainly due to their shorter evaluation time, the ability to collect a large number of measurements, and the preservation of the structures being assessed. Under the application of load, starting from the inherent microcracks in the concrete, a microcrack propagation zone is generated. Within this zone, stresses are amplified, particularly along the edges. When the specific energy of the concrete assembly, especially in the paste-aggregate contact zone, is exceeded, microcrack initiation or propagation occurs. The primary objective of this research is to understand the relationship between load application and the evolution of microcracks. This understanding is essential for monitoring the degree of deterioration in concrete. It can be assessed using ultrasonic velocity in non-metallic media.

Prismatic beams have been made for testing, in accordance with manufacturing and testing standards. In the testing process itself, the Reading form has been adapted to achieve the stated objectives, with variants of controlled load or controlled deformation.

The laboratory results on prismatic beams indicate a limited range of load application within which concrete failure occurs in flexion. In general, it is possible to find a correlation of load with the ultrasound velocity, the evolution of microcracks is of linear trend, although two zones are observed: the first up to the order of 80% of application of the failure load, where the slope decreases and the second zone after 80% where the trend is linear with an increase in slope and /or tendency towards quadratic correlation, in this second zone it can be assumed that the generalization of said micro cracks occurs.

Keywords:

Ultrasound velocity, deflection, microcrack, microcrack evolution

INTRODUCCIÓN:

El deterioro de los pavimentos rígidos se observa al final de su periodo de vida, u se manifiesta principalmente mediante fisuras de las losas, que a su vez por ser de uso y servicio dinámico esta fisura inicial se magnifica, por ellos ensayos no destructivos con fines de evaluar el concreto a flexión está cobrando relevancia en las últimas décadas, básicamente por el menor tiempo de evaluación, gran cantidad de mediciones y la inalterabilidad de las estructuras evaluadas.

A la aplicación de carga, a partir de las micro fisuras de fábrica del concreto, se genera una zona de proceso de micro fisura, en donde las tensiones se magnifican sobre todo el borde la misma, tal que, al vencer la energía específica del conjunto concreto, sobre todo en la zona de contacto pasta – agregado, se inicia o continua la micro fisura.

Conocer la relación entre la aplicación de la carga y la evolución de la micro fisura es el objetivo principal de esta investigación y será importante para poder monitorear en qué grado de deterioro se puede encontrar un concreto, ello se puede evaluar mediante la velocidad de ultrasonido en medios no metálicos.

Los resultados de laboratorio en vigas prismáticas indican un reducido rango de aplicación de carga en la cual se produce la falla del concreto a flexión, en general las tendencia de evolución de las micro fisuras es lineal, aunque en algunos casos se observa dos zonas de evolución: la primera hasta el orden del 80% de aplicación de la carga de falla en donde se genera el 14% de micro fisuras; una segunda zona de entre el 80% en donde se estima la generalización de las micro fisuras y generación de macro fisuras.

CAPÍTULO I:

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento y fundamentación del problema de investigación

Realidad genérica del problema

Evaluar el progreso de las micro fisuras con velocidad de ultrasonido pretende ser una herramienta que nos permita conocer en forma rápida en qué etapa de deterioro se encuentra el concreto sometido a esfuerzos de flexión.

Los ensayos de evaluación no destructivos NDT en el concreto, constituyen una herramienta muy valiosa en el diagnóstico y toma de decisiones a fin de mantener la estabilidad de las estructuras.

La realidad indica que para la evaluación de pavimentos flexibles existe una serie de equipos y métodos de evaluación y sumado a que estos presentan diversas manifestaciones que permiten al menos en forma cualitativa inducir que tipo de falla y en qué etapa de falla se encuentra.

En cambio, en los pavimentos rígidos los equipos de evaluación estructural son más escasos y las manifestaciones de falla son poco notorias y generalmente no se puede conocer en qué estado de avance de falla se encuentra. '

Características de la realidad específica

Los pavimentos en general son altamente dinámicos, debido a los efectos de carga y descarga permanente que le aplican los ejes de los vehículos, esta aplicación cíclica hace los pavimentos rígidos y flexibles se fatiguen y consecuente fallan y se agrietan.

En los pavimentos de concreto esta falla ocurre por tracción en la parte inferior de la losa, que al final se aprecia como fisuras y grietas en la parte superior de la misma.

El progreso del agrietamiento se debe a la continua carga y descarga y la magnitud de la carga y/o esfuerzo aplicado sobre el pavimento rígido.

Este trabajo pretende investigar como es el fisuración o agrietamiento por flexión en el concreto del pavimento rígido.

1.2. Formulación del problema:

Es necesario establecer e intentar una correlación entre la resistencia a la tracción del concreto y el avance y progreso de las micro fisuras, mediante la aplicación de un porcentaje de la resistencia final a la tracción.

Con el fin de incrementar los NDT o ensayos no destructivos, rápidos y confiables en el proceso de evaluación estructural de los pavimentos de concreto.

Dentro ellos la evaluación de resistencia por medio de la velocidad de ultrasonido en el concreto representa un potencial medio de evaluación y este trabajo pretende iniciar las correlaciones iniciales para esta determinación.

En contraste se tienen los equipos de gran envergadura, de difícil obtención en el mercado y de alto costo.

1.2.1. Problema general

Es de suma importancia conocer la evolución de las micro fisuras mediante la velocidad de ultrasonido afin de conocer el grado de deterioro del concreto sometido a flexión.

Este NDT aplicado a la evaluación y control de calidad del concreto puede constituir de una herramienta de cuantificación rápida y confiable que permita estimar en forma expeditiva si la micro fisura está cerca a se ha generalizado a macro fisura en el concreto, así como realizar varios sondeos que permitan obtener una evaluación integral del concreto que nos permita realizar un óptimo diagnóstico, así como decisión certera acerca del estado de la estructura.

1.2.2. Problemas específicos

- a) Conocer cuál es grado de micro fisuras en la fabricación convencional de concreto.
- b) Conocer como es la evolución de las micro fisuras con diferentes porcentajes de carga ultima.
- c) Determinar en qué porcentaje de la resistencia final del concreto se inicia las micro fisuras concreto.
- d) Estimar en qué porcentaje de la resistencia final del concreto las micro fisuras se generalizan en el concreto.

e) Estimar en qué porcentaje de la resistencia ultima se produce la transición de micro fisura a macro fisura.

1.3. Antecedentes de la investigación

En la revisión de la literatura del tema se han realizado investigaciones para el concreto en general, puntualmente referido a los pavimentos rígidos son muy escasa o nulas las bibliografías e infografías.

Sin embargo a nivel de correlación entre la velocidad de ultrasonido y la resistencia a la compresión se tiene trabajos tipo artículos de investigación los cuales se indican el marco teórico.

El ACI tiene una publicación para verificar que la velocidad el ultrasonido no se transmite en el vacío en el interior del concreto, ellos han simulado el vacío con esferas de tecnopor.

1.4. Justificación e importancia

En el proceso de evaluación del estado de deterioro de un pavimento rígido se tiene ensayos como el deflectometro de impacto FWD, el cual es de alto costo, y a la fecha solo se encuentra en la ciudad de Lima y el número de equipos es muy limitado, este equipo brinda condición estructural del sistema subrasante y losa de concreto.

Sin embargo, con fines de evaluar en forma periódica se hace necesario contar con otros tipos de evaluaciones que estén a disposición continua de los operadores de mantenimiento. Por ello el presente trabajo de investigación pretende analizar cómo es el progreso de las micro fisuras en flexión en el concreto desde el estado de reposo sin carga hasta cuando aparecen las macro fisuras y de esta manera se manifiesta la importancia de aportar en el diagnóstico de rehabilitación de pavimentos rígidos.

1.5. Limitaciones

El estudio de la propagación de micro fisuras se enmarca en la que se originan debido a los esfuerzos de flexión en el concreto hidráulico de los pavimentos rígidos.

Las que se originan por gradiente de temperatura, condiciones climáticas, fraguado o procedimientos constructivos inadecuados no son considerados en este estudio.

1.6. Hipótesis de la investigación

Existe una relación entre el porcentaje de aplicación de la carga ultima y la propagación de las micro fisuras

1.7. Variables

Definición conceptual

- Diseño y calidad del concreto
- Resistencia final
- Porcentaje de aplicación de la carga última

Definición operacional

- Micro fisuras inicial por fraguado del concreto
- Propagación de micro fisuras
- Inicio de macro fisuras

Indicadores

- Velocidad de propagación de las ondas de ultrasonido:
En adelante este parámetro se representará en los gráficos posteriores en el eje de las ordenadas y en las ecuaciones con la letra “y”.
- Porcentaje de aplicación de la carga última y deformación:
En adelante este parámetro se representará en los gráficos posteriores en el eje de las abscisas y en las ecuaciones con la letra “x”.
- Aparición de macro fisuras

1.8. Objetivos de la investigación: General y específicos

1.8.1. Objetivo general

Determinar la evolución de las microfisuras en la resistencia a la tracción del concreto de pavimentos rígidos, mediante la medición de la velocidad de ultrasonido.

1.8.2. Objetivos específicos

- a) Establecer en qué grado de aplicación de la carga total se originan las micro fisuras medidas con velocidad de ultrasonido.

- b) Establecer una correlación en base a velocidad de ultrasonido entre la evolución de micro fisuras vs % de carga última.

- c) Establecer en qué porcentaje de la carga ultima se ocurre la transición de micro a macro fisura evaluada con velocidad de ultrasonido.

CAPITULO II:

MARCO TEORICO

2.1. Fundamentos teóricos de la investigación

2.1.1. El concreto

El desarrollo del hombre ha conllevado en primer lugar a buscar materiales que le permitan cumplir una de sus necesidades, la tercera a saber, la seguridad que le permita protegerse a sí mismo como sus bienes. Avanzada la civilización hoy no solamente busca seguridad, si no que con el incremento de la población y la reducción del espacio disponible ahora busca elevar las construcciones a niveles extraordinarios; en ambos casos ha recurrido al concreto.

Es menester conocer que es el concreto, y este aspecto es de común conocimiento y no se puede atribuir autoría única sobre el concreto convencional, pero básicamente el concreto es la suma de los siguientes elementos:

CEMENTO + AGREGADOS + AGUA + AIRE + ADITIVOS

Es de esperar que cada uno de los componentes tiene una característica propia que aporta al resultado final en términos de calidad, uso y durabilidad entre otros, por ejemplo, si se quiere concreto porosos o drenantes de seguro el aire será uno de factores influyentes en el diseño, o si se requiere acelerar o retardar el proceso de fraguado los aditivos serán de principal importancia.

En lo que respecta a la presente investigación, según la AASHTO un pavimento de concreto también conocido como pavimento rígido son una capa o losa de concreto apoyadas normalmente en una capa subrasante para evitar gradiente de temperatura en la parte inferior y superior de dicha losa.

Para el concreto convencional para una losa, al menos en el Perú se fija un espesor mínimo de 15 cm. y revenimientos del orden de tres pulgadas y resistencia mínimas del orden de 300 kg/cm², y usualmente son realizados por ahora en zonas urbanas en donde no se requiere condiciones especiales de diseño maximizando u optimizando los componentes antes descritos.

Respecto a la calidad y pertinencia de uso de cada uno de los componentes del concreto estos han sido estudiados por entidades líderes como la ASTM y el ACI, en los Estados Unidos de Norteamérica y de referencia más cercana la tenemos del IMCYC de México.

Zanuy (2008), indica que el concreto al ser sometido a compresión, debido a las cargas externas por encima o debajo o su propio peso originan esfuerzos de tracción, compresión y flexión origina micro fisuras que y estas van aumentando gradualmente hasta que son visibles al menos a la resolución de un vista normal humana; así mismo indica que estas micro fisuras son directamente proporcionales a la heterogeneidad de los materiales de fabricación del concreto que generan micro fisuras en forma ortogonal a la aplicación de las cargas o esfuerzos son afectados además por los siguientes factores:

- a) Modulo elástico diferente del cemento hidráulico y del agregado pétreo
- b) Preexistencia de micro fisuras del proceso de fabricación
- c) Vacíos preexistentes en la pasta o entre la pasta y el agregado pétreo

Para Toriac J. (2004), la patología del concreto y en especial lo referido a las micro fisuras, fisuras y grietas tiene causas físicas y químicas, en ambos casos se tiene los esfuerzos permisibles y los esfuerzos aplicado por estos procesos sobre todo en edades tempranas del concreto en dos la resistencia final aún no ha sido desarrollada más bien está en proceso.

En primer lugar, las causas físicas están asociadas a gradientes térmicos en el concreto producto de la misma reacción con el concreto a través del calor de hidratación, los agentes medio ambientales y últimamente la radiación solar, estos provocan cambios volumétricos en el concreto según la temperatura en el calor dilatación y en el frio retracción. Los esfuerzos de compresión están asociados a las dilataciones y los de tracción a las retracciones, los resultados de laboratorio y las observaciones de campo indican que el punto débil del concreto es la tracción, en términos generales es del orden del 10% de la resistencia a la compresión.

En segundo lugar, están las causas químicas están asociadas al mismo proceso de hidratación de la pasta de cemento, es muy conocido el proceso de fragua y endurecimiento, estas reacciones condicionan la resistencia y originan intersticios y micro fisuras; el otro aspecto es el relación a contacto con el acero de refuerzo estructural, cuando este inicia un proceso de corrosión u oxidación, en este caso el acero aumenta de volumen y genera

esfuerzos sobre el concreto y usualmente falla en el lado más delgado de la concreto o recubrimiento.

Según Silva Filho y Helene (2011), sostienen que la patología más recurrente en el concreto son las micro fisuras y fisuras y las que son originadas por esfuerzos de tracción son las más notorias desde el punto de vista estructural, precisamente la tracción es el parámetro más desfavorable del concreto, aunque estas fisuras quizá no represente un peligro estructural si se ven afectados la permeabilidad de la estructura ante el agua, sobre todo en pavimentos donde el agua podría pasar a la subrasante y debilitar la estructura. Este aspecto se agrava si el concreto o losa de concreto lleva acero de refuerzo estructural.

La otra fuente según los autores se asigna al diseño mismo del concreto por cemento inadecuado, agregados de mala calidad, calidad del agua, etc., en donde el concreto tiene deficiencia en la capacidad de carga y esfuerzos mínimos generan la patología antes indicada.

Al respecto existe mucha información sobre la evaluación de la patología del concreto y opiniones valederas rescatables de las cuales indicamos algunas a continuación:

“La detección oportuna de estos defectos puede evitar el rápido deterioro y prolongar la vida útil de las estructuras” (Aggelis et al., 2010).

“La evaluación de estructuras normalmente se la realiza a través de una inspección visual, cuyos resultados son subjetivos porque dependen de la experiencia del inspector” (Rocha y Póvoas, 2017).

“Existen varios ensayos no destructivos (NDT) que permiten extraer información valorable de las propiedades del concreto” (Rehman et al., 2016).

“Los ensayos NDT normalmente son utilizados para ubicar y evaluar defectos en el concreto colocado” (Lorenzi et al., 2016).

Lee, Chai y Lim (2016), consideran que “los métodos disponibles a la fecha sobre evaluación de fisuras de hormigón presentan sus propias características y limitaciones de acuerdo al equipo y personal”.

“Los equipos de ultrasonido, NDT, utilizados en el concreto están diseñados para generar ondas longitudinales a través del concreto, también denominadas ondas sonoras” (Bungey, Millard y Grantham, 2006).

“Estas ondas sonoras en el rango de frecuencia entre 20Hz y 20.000Hz son perceptibles al oído humano, las que escapan de este rango, en este caso las ondas inferiores a 20Hz se denominan infrasónicas, así como las ondas superiores a 20.000Hz son llamadas ondas ultrasónicas” (Posani et al., 2017).

“Los parámetros obtenidos por el ensayo se ven afectados por diversos factores entre otras como como la distancia en el concreto entre las superficies de contacto de los transductores; el acero de refuerzo estructural, principalmente en el sentido de propagación de la onda sonora; la peso volumétrico del concreto, que depende de la dosificación y de las condiciones del fabricación del concreto; el tipo, el peso específico, absorción y otras características del agregado; el tipo y características de cemento hidráulico y grado de hidratación de la pasta; el colocado y tipo de vibrado, y la edad del concreto” (Pacheco et al., 2014, Lorenzi et al, 2013, Mohamad et al., 2015).

2.2. Fisuras en estado plástico

Por retracción plástica

Este tipo de patología es muy conocida en donde por retracción se produce típicas fisuras o micro fisuras, al ser un proceso cuantificable los autores no difieren mucho es sus apreciaciones o afirmaciones al respecto.

Al respecto citamos uno de ellos, Barlow (1994), indica que este este tipo de patología de da en superficie del concreto por que ha este nivel el concreto se contrae y consecuentemente sufre un cambio volumétrico de mínimo valor, por debajo de la esta zona superficial del concreto este permanece cuasi inalterado realizando su proceso normal de fragua. Al estar el concreto en sus etapas iniciales de endurecimiento no tiene resistencia a la tracción y se generan fisuras de baja profundidad, pero en longitud pueden alcanzar algunos metros y usualmente paralelas. Otro aspecto conocer por que ocurren esta patología y se atribuye directamente a las condiciones climáticas como el viento, la humedad relativa y otros que hacen perder el agua superficial en forma rápida que provocan estas retracciones.

Por precipitación de agregado

En concreto en estado fresco tiene la consistencia más o menos viscosa en el proceso de colado del mismo se le da un acomodo normalmente producto del vibrado, pero luego el concreto puede seguir su proceso de consolidación posterior sobre todo de fragmentos de mayor o también por la restricción del acero de refuerzo estructural si hubiese; este genera vacíos o fisuras en la masa de concreto.

2.3. En estado endurecido

En el estudio de la micro fisuras y fisuras en el concreto la entidad mundial representativa es ACI (American Concrete Institute) en su documento:

Según ACI 224 IR-93, en las causas, evaluación y reparación de fisuras en estructuras de concreto recopilan los aportes mundiales de causas de patología de las fisuras que se producen en el concreto, aunque con fines de la investigación el alcance a estas causas es necesario conocerlas para ver su influencia.

Dentro de ellas se tiene las siguientes causas que originan fisuras:

Retracción por secado

El agua en el concreto no forma parte de la estructura en estado endurecido, en estado fresco sirve para iniciar la hidratación del cemento y proveer trabajabilidad a la mezcla, en ese sentido el agua, que más se asocia a una propiedad de fase, ocupa un volumen en la mezcla y esta paulatinamente se va evaporando ya sea por el calor de hidratación, por los agentes climáticos, cualquiera que fuese el medio al final el cambio volumétrico por retracción es del orden de 0,06% en el concreto. Esta retracción provoca tensiones y en edad joven del concreto provoca las fisuras.

Por origen térmico

En referencia al ACI, este aspecto origina fisuras intrínsecas y extrínsecas, las primeras debido a la propia reacción del concreto, puntualmente el calor de hidratación, por ejemplo en los laterales de la losa de pavimento y en el interior, o por la diferencia de temperatura en la zona inferior de la losa en contacto con el suelo y la zona superior en contacto con el

medio ambiente; al final en forma individual u ocurrencia de ambos casos se producen cambios volumétricos en el concreto que generan tensiones de tracción y por ende fisuras a edades tempranas.

Se debe mencionar que pavimentos de concreto predomina la deformación lineal del concreto por las dimensiones del mismo pavimento.

Por reacciones químicas

Las fuentes de ataque químico al concreto pueden ser naturaleza interna y/o externa, dentro de las internas se tiene el mismo proceso de hidratación de la pasta de cemento y la interacción con la naturaleza de los agregados y las externas más conocidas como ataque al concreto.

En las internas se tiene dos principales y recurrentes, la reacción sílice-alcalis entre la pasta de concreto y los agregados que provocan expansiones del concreto y fisuras, otra reacción es la carbonación del concreto sobre todo en zonas expuestas al ambiente.

En las externas una de las más perjudiciales es la presencia de ion sulfato en el suelo como nivel freático o en el suelo con sales que al entrar en contacto eventual con el agua arrastra las sales hacia el concreto, este se da por la formación de sulfoaluminato de calcio con el consecuente aumento de volumen, tracción y falla del concreto.

Meteorización

El cambio brusco del gradiente térmico origina micro fisuras debido al cambio volumétrico diferencial, la meteorización se atribuye al agua, la temperatura y el viento principalmente.

El agua en su estado líquido y sólido por efecto de la temperatura es la principal fuente de fisuras, en horas del día penetra en los poros del concreto y los satura y en la noche se congela y aumenta de volumen, estas fuerzas reprimidas en los poros terminan por fracturas las zonas superficiales del concreto muy similar a la meteorización por gelificación en las rocas

Por corrosión de armadura

Según el ACI 201.2R indica “El proceso de corrosión de un metal es electroquímico y para ello se requiere un agente oxidante, agua y flujo de electrones dentro del metal; se producen una serie de reacciones químicas superficiales en el metal y cerca de la misma”.

Los cloruros o iones cloruro son los encargados de la oxidación o corrosión del acero, cuando estos llegan al acero este sufre un aumento de su volumen, obviamente radial debido a su forma circular de la barra y por ende estas presiones pasan al concreto y la fisuran.

Por prácticas constructivas inadecuadas

Básicamente se puede indicar hasta tres causas de fisuras debido a estas prácticas, falta de diseño o mal diseño de concreto, el incremento de agua en forma directa a la mezcla y la falta de curado.

Al respecto Barlow (1993), indica agregarle agua al concreto altera la relación agua/cemento y la resistencia final no alcanzará los valores de diseño y el incremento modifica la temperatura del concreto.

El mismo indica que no dar un curado adecuado al concreto conlleva retracción y fisuras por que el concreto se encuentra en edades tempranas y no ha alcanzado su resistencia final, afectada su resistencia y durabilidad.

2.4. Marco conceptual

2.4.1. Fundamentos de la mecánica de fractura

Los fundamentos de la mecánica de la fractura esencialmente han sido desarrollados en los metales y puntualmente en la industria aeronáutica con mayor énfasis, en los últimos años se ha tratado analizar en el concreto, tal como lo muestra los reportes del ACI 224R-01 en donde uno de los factores en contra es la heterogeneidad entre la pasta y los agregados. Sin embargo, sus principios pueden ayudar a comprender la propagación de las micro fisuras en el concreto.

Uno de los principales investigadores de este campo es A.A. Griffith, el cual en 1920 demostró que había diferencia entre los resultados teóricos y los observados en la realidad respecto a los esfuerzos influenciados por la presencia de grietas.

Precisamente en su disertación doctoral oporto la siguiente ecuación:

Ecuación 1 Relación esfuerzo de fractura y tamaño de la grieta

$$\sigma_f = \sqrt{\frac{2\gamma E}{\pi\alpha}} \dots (1)$$

Esta ecuación muestra la relación entre el esfuerzo de fractura σ_f y el tamaño de la grieta.

Donde

E : es el módulo de Young

γ : es el término de la energía de superficie

α : es la mitad de la longitud de la grieta

Tal como indica Balankin A. (2000), se busca mejorar cada vez más ecuaciones a fin de mejorar su aplicación fusionan las ecuaciones con las de Charles Inglis (1904), también investigador de la mecánica de la fractura, y se obtiene una ecuación más simple con una fractura del tipo elíptica en la cual el esfuerzo máximo es:

Ecuación 2 Máximo esfuerzo - fractura

$$\sigma_{max} = \sigma \left[1 + 2 \sqrt{\frac{\alpha}{\rho}} \right] \dots (2)$$

Donde:

σ : es el esfuerzo aplicado

α : es la mitad de la longitud de la muesca

ρ : es el radio de la raíz de la abertura elíptica

Estas ecuaciones permiten visualizar mejor el fenómeno de fractura y de alguna manera es más aplicable por la naturaleza frágil del concreto, es menester conocer cual el valor de la energía de superficie del concreto, valor que tiene un rango muy variable debido a la heterogeneidad de los agregados.

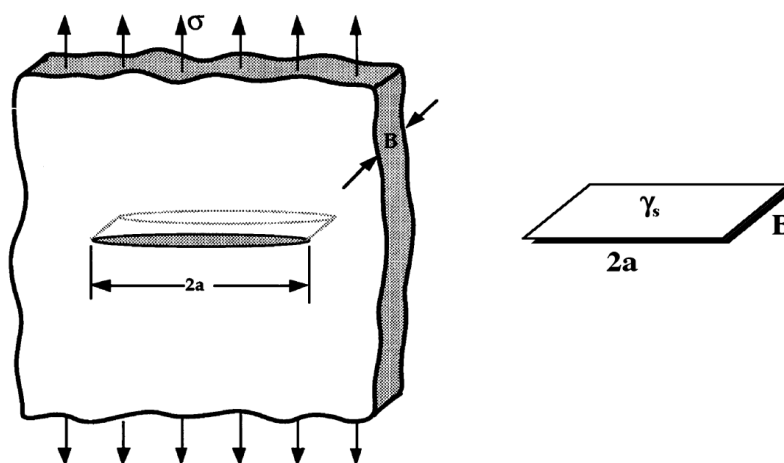


Figura 1. Evaluación de la energía superficial

Nota: Arana J. (2002), Mecánica de fractura.

El enfoque principal de análisis de propagación de grieta se puede apreciar con los modos de deformación de una grieta se pueden apreciar a continuación:

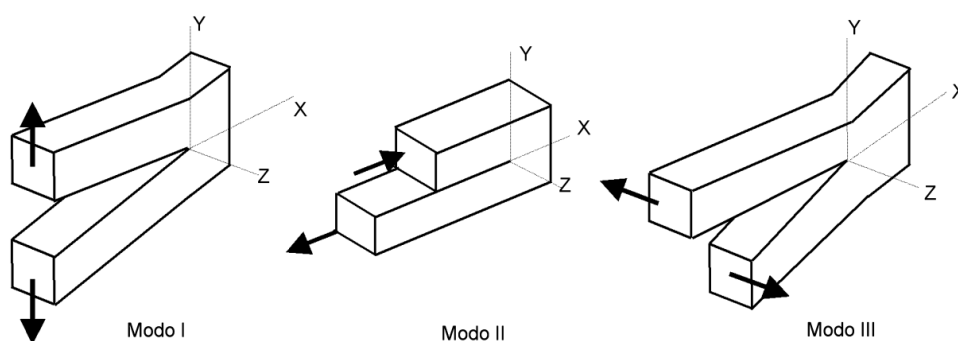


Figura 2. Modo de deformación de una grieta

Nota: Norma UNE 7540:1998.

2.4.2. Fisuras por tracción

Las fisuras por tracción usualmente están asociada a los esfuerzos de flexión en el concreto, típicamente tracción en la parte inferior y compresión en la zona superior, usualmente en este ensayo solo se busca encontrar la carga final de rotura a la tracción.

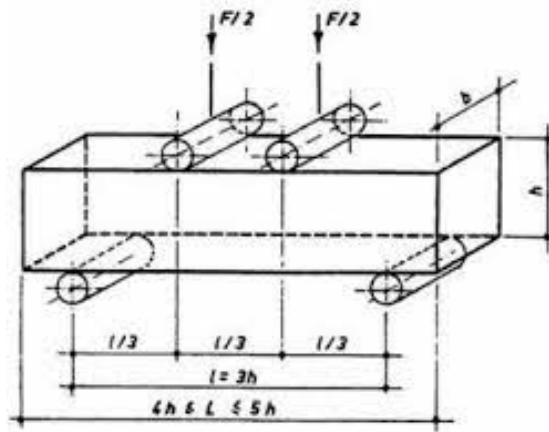


Figura 3 Ensayo de tracción ASTM

En gran medida este valor dependerá de la geometría de la estructura y de igual manera que en toda la patología del concreto también depende de la heterogeneidad del mismo concreto.

Es importante no solo conocer el estado final de falla si más bien como se están propagando las fisuras en el interior del espécimen.

Otro aspecto en las losas o pavimentos rígidos es la que se muestra por restricción inferior y temperatura en la zona superior

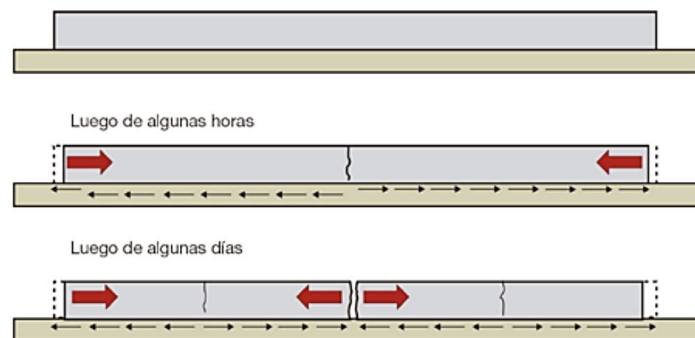


Figura 4. Compresión y tracción losas de concreto

Shaowei, et al. (2013), indica sí las grietas son un continuo proceso de propagación de microgrietas internas que al juntarse forman una grieta mayor, y falla consecuente, prosiguiendo con una macro fractura estructural, visible, indica que dar con el origen a la falla que es impredecible debido a las propiedades de los materiales como los agregados y la pasta de cemento de variable composición y su compleja estructura.

Crespo S. (2017), indica que la aparición de micro grietas en la dirección perpendicular a la principal de compresión o carga de tracción, puede ser debido a la pre existencia de poros con micro fisuras debido a algunos aspectos inadecuados, a las diferencias de rigidez entre las partículas de agregado y la pasta de cemento, a las pérdidas de contacto en la interface agregado/pasta o a las zonas de deslizamiento en la propia pasta de cemento.

La fisuración del concreto ante una carga incluye micro agrietamientos en el mismo, los cuales se mantienen estables en valores que oscilan en el 30% de la carga final, no obstante, con análisis del agrietamiento en concreto a través de la técnica de emisiones acústicas o ultrasonido a porcentajes mayores a éste porcentaje, estas micro fisuras comienzan a incrementar en número, longitud y ancho.

Se espera que la propagación lenta del agrietamiento antes del 70% de la carga final, cuando la carga alcanza entre el 70 y el 90% de la carga final de falla, las grietas se propagan a través de la pasta de cemento y se unen con las grietas de adherencia, formando patrones continuos de agrietamiento, en una etapa rápida de propagación de fisuras y agrietamientos, hasta alcanzar la falla en el material (Neville A., 1999).

2.4.3. La velocidad de ultrasonido

En este campo de la ciencia se estudió las ondas sonoras de frecuencia extremas y particularmente ha sido adaptado al estudio del concreto y ha sido estandarizado por la ASTM C 597, estas ondas se propagan en los medios sólidos y ahí radica la importancia de la presente investigación, cuando encuentre micro fisuras o fisuras interna en el concreto varía su velocidad.

Cabe indicar que estas evaluaciones se hacen en medios continuos homogéneos, y en el concreto es muy difícil afirmar que el concreto sea homogéneo respecto a la distribución del tamaño de las partículas y de la composición de la misma, tal como se muestra en la siguiente toma fotográfica con fines de evaluar fisuras a la compresión.



Figura 5. *Distribución de los agregados*

Céspedes (2013), indica al respecto: “Generalmente existe antagonismo entre los resultados de obra y laboratorio, las pruebas tradicionales de resistencia del concreto se practican sobre testigos estándar preparados que, por su forma, no son verdaderamente representativos del concreto de la estructura real. Ello se corrobora en que el grado de compactación del concreto de la estructura no se refleja en los resultados de la prueba de resistencia, y no es posible determinar si la resistencia potencial de la mezcla, como lo indica la prueba del testigo de concreto, se ha desarrollado en tal como se prevé en el diseño de mezclas de concreto. Es posible cortar una muestra de la misma estructura, para corroborar resultados, pero esto da necesariamente como resultado el daño al elemento afectado; y, además, este procedimiento es muy costoso para aplicarlo como método estándar”.

Teodoru (1988), manifiesta respecto a la evaluación con ultrasonido: “En el proceso de evaluación con la velocidad de ultrasonido el pulso vibratorio viaja a través del elemento estructural y es detectado por un transductor de recepción juntado a la superficie opuesta del concreto. Cuando se recibe el pulso, el temporizador electrónico vuelve y se visualiza el tiempo transcurrido del recorrido. La longitud de camino directa entre los transductores se divide por el tiempo del recorrido para obtener la velocidad del pulso a través del concreto. También se puede medir la atenuación del pulso ultrasónico pues viaja del transmisor al receptor.

La velocidad de los pulsos de ultrasonido que viajan en un material sólido depende principalmente de la DENSIDAD y las propiedades ELÁSTICAS DEL MATERIAL. La

calidad de algunos materiales se relaciona a veces con su comportamiento elástico, entonces la medida de la velocidad del pulso de ultrasonido en tales materiales a menudo puede indicar su calidad, así como determinará sus características elásticas. Los materiales que se pueden evaluar de esta manera incluyen, en particular, concreto y madera, pero excluyen los metales que dependen de otros factores adicionales.

Esto puede ser mostrado como la velocidad de un pulso de ultrasonido de vibraciones longitudinales viajando en un sólido elástico, el cual viene dado por:

Ecuación 3 Velocidad de los pulsos de ultrasonido

$$V = \sqrt{\frac{E}{P} * \frac{1 - \mu}{(1 + \mu) * (1 + 2\mu)}} \dots (3)$$

Donde:

E = Módulo Elasticidad Dinámico.

P = Densidad del material

μ = Modulo de Poisson

La ecuación mostrada puede ser considerada para aplicarse a la transmisión de pulsos longitudinales a través de un sólido de cualquier dimensión o tamaño, proporcionado a la menor dimensión lateral, es decir la dimensión medida perpendicular al camino viajado por el pulso, es menor que la longitud de onda de las vibraciones del pulso. Así mismo, la velocidad del pulso no es afectada por la frecuencia del pulso, entonces, la longitud de onda de las vibraciones del pulso es inversamente proporcional a esta frecuencia. Por ello, la velocidad del pulso dependerá generalmente sólo de las características de los materiales, por tanto, las medidas de esta velocidad, lograrán ser calculadas o valoradas a partir de la condición del material evaluado.”

De acuerdo a Mabuza et al. (2012), en un análisis del tema, se destacó la necesidad de métodos de pruebas de ultrasonido para el estudio de los problemas de la Mecánica de Fractura, teniendo en cuenta las fallas en placas de acero. Fue realizada una simulación computacional de la propagación de defectos en una integración numérica, y fueron presentados los resultados teóricos y experimentales para ambos tópicos; la mecánica de fractura y las disciplinas de evaluación con ensayo de ultrasonido.

Finalmente, se llegó a la conclusión que las dos disciplinas son complementarias y se influyen mutuamente.

CAPÍTULO III:

METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

3.1. Método de investigación

Método Deductivo, mediante la revisión y discretización del marco teórico, las estandarización y normativa de resistencia a la flexión y calidad del concreto, así como y la teoría de la velocidad de ultrasonido en concreto, para llegar a determinar la evolución de las micro fisuras en el mismo.

3.2. Diseño de investigación

La propagación de la velocidad de ultrasonido se da en medios sólidos, y por otro lado la microestructura del concreto endurecido muestra microporos, poros y micro fisuras propias el proceso de fabricación, su cantidad está en relación directa con la relación agua/cemento, por ello se debe analizar su variación.

Las muestras serán preparadas controlando la calidad de los agregados para la fabricación del concreto, se elabora un diseño de mezclas a una resistencia estructural de 350, 280 y 210 kg/cm² a los 28 días de edad del concreto, con ella se realizan ensayos de flexión con incrementos de carga hasta llegar a la resistencia de diseño y/o falla del testigo de concreto, para ello se elaboran como mínimo 50 vigas prismáticas para dicha evaluación.

Para evaluar la velocidad de las ondas de ultra sonido se empleará precisamente un equipo de ultrasonido y para evaluar la resistencia a la compresión una máquina de compresión automática, para ello se contará las verificaciones y calibraciones de los equipos de medición.

Una vez aplicado la carga en el accesorio de flexión, se procede a evaluar la velocidad de ultra sonido en cada espécimen y se registra estos valores.

Con ellos mediante análisis de regresión se analizará los datos y se pretende establecer una correlación entre la aplicación de la carga y la propagación de las micro fisuras.

Para detectar la aparición de macro fisuras se utilizará una cámara de alta resolución y se evaluará en el momento de la carga y posterior a la carga.

3.3. Población y muestra

La población de la investigación son los concretos estructurales de pavimentos rígidos según el Manual de Carreteras del MTC, sección suelos, geología, geotecnia y pavimentos, en cuadro 14.7 indica resistencias entre 210, 280 y 350 kg/cm², estas resistencias constituyen la población en estudio.

Según la NTP 339.034 e deben ensayar al menos 3 muestras por cada tipo de concreto, en este caso en específico realizaremos 3 ensayos por cada tipo de concreto y por cada tipo de ensayo.

La muestra será como mínimo 50 vigas y probetas elaboradas para los ensayos de compresión para verificar la resistencia f'_c y flexión para la medición de velocidad de ultrasonido, para ello se acondicionará las probetas estándar prismáticas para ensayos de flexión.

Cuadro 1.

Cuadro típico de medición en adecuación 2-6

		210 kg/cm2	280 kg/cm2	350 kg/cm2	total
ensayo para probetas	ensayo para probetas	3	3	3	9
deformación carga controlada	carga controlada con aplicación en el centro	3	3	3	9
	carga controlada con aplicación en los tercios	3	3	3	9
	carga controlada con aplicación en los extremos	3	3	3	9
deformación en velocidad controlada	velocidad controlada con aplicación en el centro	3	3	3	9
	velocidad controlada con aplicación en los tercios	3	3	3	9

54

Fuente: Elaboración propia, 2023.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica que se aplicará en la presente es la observación, y está referida a la observación de la propagación de las micro fisuras por flexión medidas a través de la velocidad de ultrasonido, así mismo el instrumento a utilizar será los registros y formatos de laboratorio en donde se plasma los resultados de las ensayos y mediciones realizadas en el proceso de investigación y referida a las variables dependientes principalmente.

3.5 Procedimiento de recolección de datos

El procedimiento de carga por flexión tiene normatividad propia nacional y ASTM, estos son:

- NTP 339.078:2012
- ASTM C78:2002, ASTM C283

Estas normas indican registro de carga finales de falla a flexión en las muestras de vigas prismáticas, la variante será que las cargas serán parciales hasta llegar a la carga de falla, usualmente al 25%, 50% y 75% y 95% de la carga final.

3.6 Técnicas de procesamiento y análisis de los resultados

Las muestras serán preparadas controlando la calidad de los agregados para la fabricación del concreto, se elabora un diseño de mezclas a una resistencia estructural de 350, 280 y 210 kg/cm² a los 28 días de edad del concreto, con ella se realizan ensayos de compresión con incrementos del 25%, hasta llegar a la resistencia de diseño y falla de la viga de concreto, para ello se elaboran como mínimo 50 vigas prismáticas para dicha evaluación. Para evaluar la velocidad de las ondas de ultra sonido se empleará precisamente un equipo de ultrasonido y para evaluar la resistencia a la compresión una máquina de compresión automática, para ello se contará las verificaciones y calibraciones de los equipos de medición.

Una vez aplicado el porcentaje de la carga, se procede a evaluar la velocidad de ultra sonido en cada espécimen y se registra estos valores.

Con ellos mediante análisis de regresión se analizará los datos y se pretende establecer una correlación entre la aplicación de la carga y la propagación de las micro fisuras.

Para detectar la aparición de macro fisuras se utilizará una cámara de alta resolución y se evaluará en el momento de la carga y posterior a la carga.

CAPÍTULO IV:

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la ejecución de este ítem la primera etapa consiste en determinar cuál es el procedimiento más adecuado para cuantificar la variación de la velocidad de ondas de ultrasonido y la segunda es la evaluación en las vigas prismáticas.

4.1 Proceso previo y adecuación para medición de resultados

4.1.1 Diseño de mezclas

Con fines de la presente investigación, los agregados son seleccionados son los aquellos que cumplen las especificaciones técnicas, aunque ello no es materia de investigación, si se analizan los agregados más usados en la localidad de Arequipa.

De la revisión del marco teórico se desprende que los agregados corresponden a la mezo escala del concreto, es decir las micro fisuras no se originan a este nivel si no en la micro estructura que lo conforma la pasta de cemento, por ello el diseño de mezcla es fundamental en los fines de la investigación.

Como resumen de las propiedades se tiene:

Cuadro 2. *Propiedades de los agregados*

CUADRO RESUMEN PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS			
Descripción	Agregado Grueso	Agregado Fino	Unidades
Peso Específico SSS	2,73	2,67	g./cm ³
Contenido de Humedad	0,25	2,12	%
Porcentaje de Absorción	0,8	1,6	%
Peso Unitario Compactado	1,58	1,65	g./cm ³
Peso Unitario Suelto	1,40	1,46	g./cm ³
Módulo de Fineza	6,70	2,05	
Pasante Malla #200		14,8%	
Forma de Partículas	Sub Angular	Sub Angular	
Cantera	Supermix	Supermix	
Agua	Agua potable		

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Otro aspecto con fines de correlación y trazabilidad entre el concreto en laboratorio y los que corresponden a la macro estructura o estructuras reales es que los trabajos de laboratorio están referenciados principalmente a los siguientes estándares:

ASTM C31: Standard practice for making and curing concrete testing test specimens in the field.

ASTM C33: Standard specification for concrete aggregates

ASTM C192: Standard practice for making and curing concrete testing specimens in the laboratory.

RNE E-060: Norma técnica peruana E-060 Concreto Armado.

Estas son las principales referencias normativas, es necesario observar las indicaciones y criterios de la normatividad con fines de tener trazabilidad de los resultados.

4.1.2 Especímenes de ensayo

Para los ensayos de flexión el tamaño estándar las vigas de ensayo son las de 15 cm* 15 cm* 50 cm, el estándar indica que en función del tamaño máximo nominal de agregado grueso se puede ser de 10cm*10cm*40cm, del análisis del agregado grueso utilizado en la investigación, menor a 1", también es factible realizar estas últimas por que el TMN es de $\frac{3}{4}$ ".

Utilizar tamaño reducido, sin afectar el comportamiento mecánico, es conveniente desde el punto de vista que a menor longitud estamos reduciendo las probables de atenuación y absorción con fines de concentrar la variación de velocidad en la parte central de la viga en donde se espera que ocurran las micro fisuras. No obstante, ello se elaboran los dos tamaños de vigas con fines de afinar el ensayo por que las ondas son multi direccionales.

Figura 6. Fabricación del concreto



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura 7. Fabricación de primas para flexión



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura 8. *Curado de especímenes de ensayo*



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura 9. *Secado de especímenes de ensayo*



Fuente: Elaboración propia, 2023.

4.1.3. Resistencias de diseño

La revisión de la normatividad de losas de concreto armado para pavimentos no indica puntualmente una resistencia, e indica que debe ser fijada por el diseñador, en el manual de puentes el MTC se encuentra referencia que indican que resistencia del concreto no debe ser menor de 280 kg/cm^2 , usualmente se acepta resistencia de 300 hasta 350 y los adoquines de pavimentos semirrígidos hasta 400 kg/cm^2

Con fines de afinar la ejecución de los ensayos y optimizar la obtención de los resultados de medición se considera evaluaciones preliminares con resistencias del orden de 210 kg/cm^2 , en vigas prismáticas.

4.1.4. Curado de los prismas y cilindros de concreto

La edad de resistencia del concreto con fines de evaluación es de 28 días, los lineamientos de proceso de curado están indicado en la norma ASTM C192, se ha optado por la aplicación de cal en las dosificaciones indicadas y poza con control de temperatura. La micro estructura del concreto tiene relación directa con la etapa de curado y por tanto del resultado final, por ello es de suma importancia uniformizar el curado según la referencia normativa.

Una de los puntos importantes en este tema está referido a ensayar una vez que saque de las probetas o testigos una vez sacados de la poza de curado, tal como indica la normatividad, o esperar a que las muestras se encuentren en estado seco.

Al respecto dos apreciaciones, la primera es que el agua o la humedad hacen que se incremente el volumen de la masa de concreto y la segunda es que el agua parcialmente presente en el concreto genera tensiones en la transición del concreto seco y húmedo.

En ambos casos creemos que al tratarse de micro fisuras pueden afectar la real magnitud de las medidas y por ello hemos optado por hacer secar los prismas de concreto para luego realizar la evaluación versus la aplicación de la carga.

4.1.5. Humedad y análisis de humedad

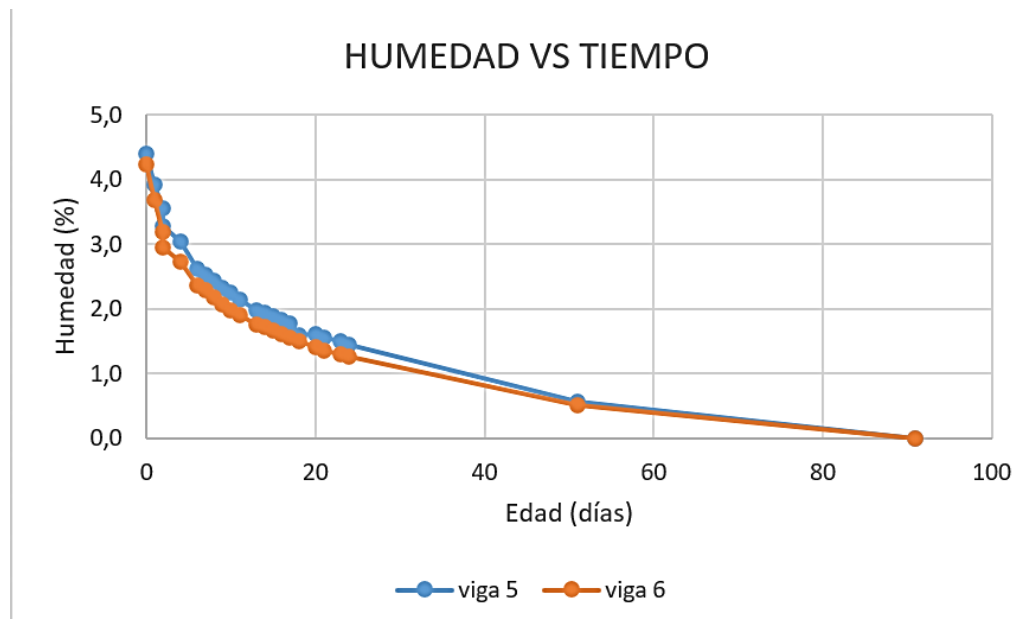
La evaluación de la humedad es con dos fines, el primero y más importante es para ver cómo es la variación de la velocidad de ultrasonido en muestra saturada y como varia conforme esta pierde el agua y se acerca a un estado seco.

Es de esperar que este disminuya de acuerdo a las condiciones climáticas, en particular en nuestra zona prima la humedad relativa baja; también depende de la superficie expuesta en donde se acelera la perdida de humedad.

En vigas de 10*10*40 en centímetros la humedad de saturación oscila entre 4 a 4.5% y se evaluado con al menos hasta los 30 días en forma continua.

En el grafico siguiente se observa dicha disminución.

Figura 10. *Variación de humedad*

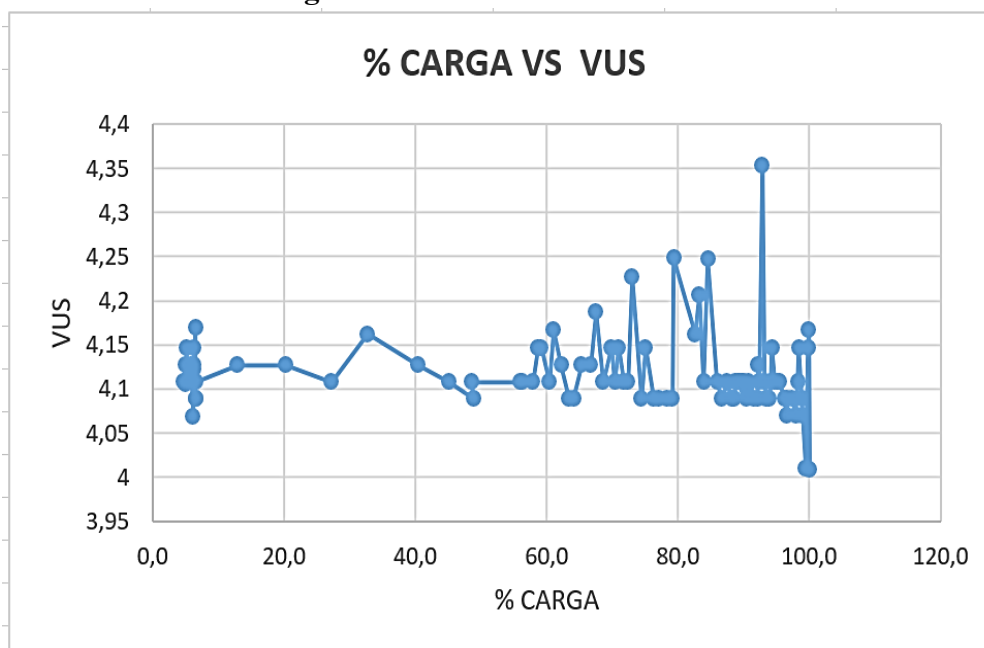


Fuente: Elaboración propia, 2023.

4.1.6. Humedad y velocidad de ultrasonido

La naturaleza de las ondas ultrasónicas indica que solo se propagan en medios que presentan módulo de elasticidad, en ese sentido el efecto no debería ser significativo en la velocidad de las ondas. En las mediciones efectuadas se ha observado que en promedio el agua incrementa en 2% la velocidad de ultrasonido, ello podría atribuirse a las partículas de agua que se encuentra confinadas en microporos en los cuales en agua puede hacer generar presión ante el movimiento de las ondas. Otro criterio sería que el agua al aumentar el volumen del concreto también lo hace de sus vacíos internos y por ello se observa un incremento de la velocidad de ultrasonido.

Figura 11. Variación de velocidad



Fuente: Elaboración propia, 2023.

4.1.7. Ensayos preliminares carga-VUS(velocidad de ultra sonido)

a) Medición en los extremos de la viga con carga controlada

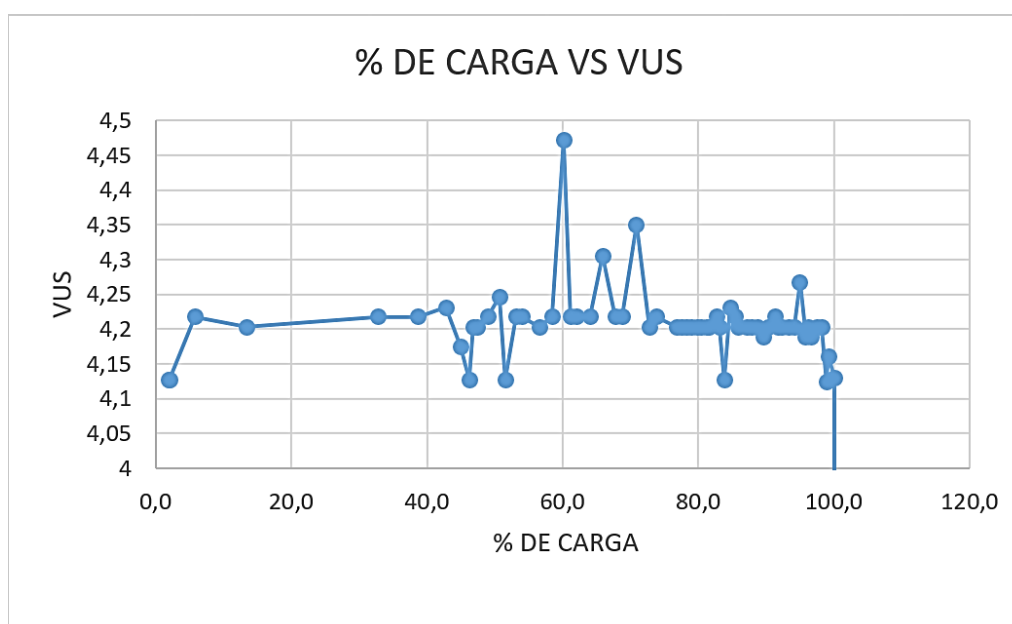
En este caso se trató de medir con la velocidad estándar de flexión que corresponde a 0.15 Mpa/s, en este proceso se denota que los falla que registra la variación de ultrasonido se da en el ultimas centésimas de segundo.

Los resultados son poco convincentes, pues se observa la variación de velocidad abrupta del orden de los 4200 km/s a menos de 1000 km/s en un periodo de centésimas de segundo.

Otro patrón que se encontro en los resultados es que en los instantes previos a la falla se observa un crecimiento abrupto de la VUS contradiciendo los resultados esperados, es decir en vez que decrezca por la aparición previa de la fisura de falla, se atribuye a que las ondas de ultrasonido viajan por toda la sección transversal del espécimen de ensayo, y el eje en flexión en el medio de la viga es eje neutro, por encima es compresión y por debajo es flexión, de alguna manera por el principio de trabajo mínimo, al estar la parte superior en compresión disminuyen los vacíos y las ondas encuentra trabajo más fácil para desplazarse por la zona superior.

Los resultados iniciales conllevan a modificar la estrategia o metodología de obtención de resultados.

Figura 12. *Variación de VUS con carga controlada*

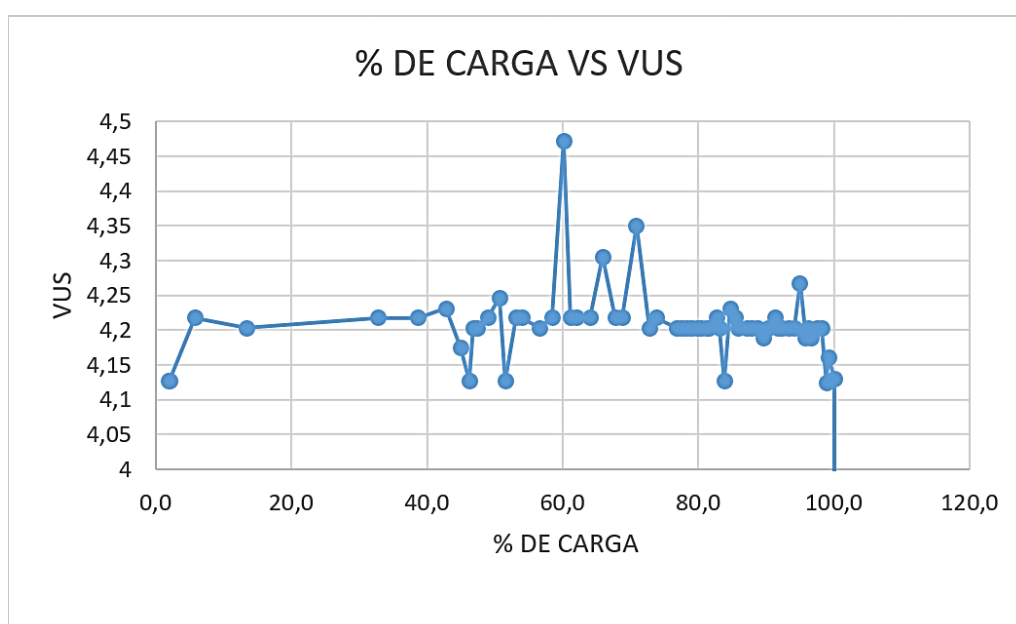


Fuente: Elaboración propia, 2023.

b) Medición en los extremos con velocidad de carga controlada

Con fines de obtener una mejor lectura de la fase final de la falla se disminuye la velocidad de carga a 0.1 Mpa/s, ello basado en que el objetivo no es hallar la resistencia a la flexión, en este caso se observa una ligera mejora de obtención de resultados, pero aun así se observa una zona singular cerca de la falla en donde nuevamente se incrementa la velocidad, en estudios realizados por el suscrito en análisis de micro fisura en compresión se observó también este comportamiento de aumento de lectura, y ello lo atribuimos en ese caso al cierre de poros por deformación en compresión antes del inicio de la micro fisuras.

Figura 13. *Variación del VUS*



Fuente: Elaboración propia, 2023.

c) Medición en los extremos con deformación controlada

Con los resultados obtenidos en los ítems a y b precedentes, se ha establecido una correspondencia entre la aplicación de carga y deformación de las vigas en su zona central, en este caso se deforma la viga en correspondencia con la carga que lo hubiese generado, la particularidad es que dejamos al menos 5 minutos entre cada incremento de deformación para que se pueda evaluar la VUS, los resultados también fueron poco alentadores y se observa el mismo patrón de incremento de lectura en la parte inicial del ensayo.

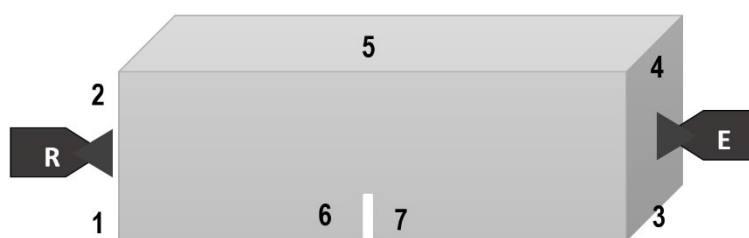
4.1.8. Evaluación de muescas en la zona de falla

Con fines de optimizar los resultados de medición de la VUS, en base a la naturaleza de la propagación de las ondas en el concreto y los resultados de los ítems a, b y c se realiza muescas o ranuras en el concreto a 2.5 cm y a 5 cm.

Ello porque, a saber, en flexión por encima del eje neutro se produce compresión y por debajo tracción, la idea es analizar cómo se propagan las ondas una vez producidas las fisuras o en el proceso mismo de fisuración.

a) Muesca a 2.5 cm.

Figura 14. Registro zonificado de VUS



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Cuadro 3.

Registro zonificado de VUS

DE:	A:	V1	V2	V3	PROMEDIO
2	4	4,089	4,070	4,108	4,089
1	3	4,014	4,032	4,014	4,020
2	3	4,051	4,070	4,051	4,057
4	1	4,032	4,032	4,032	4,032
3	5	3,708	3,708	3,708	3,708
3	7	4,605	4,605	4,605	4,605
3	6	3,081	3,059	3,059	3,066
4	7	4,207	4,248	4,248	4,234
4	6	3,059	3,059	3,081	3,066

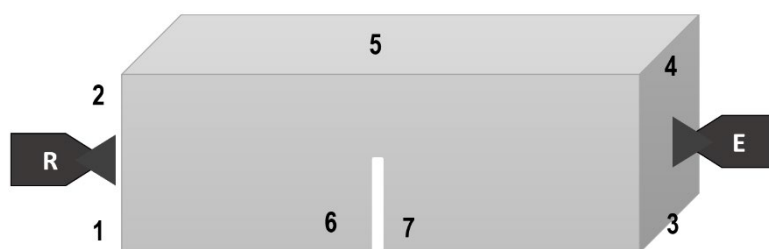
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Las ondas de ultrasonido se propagan por toda la sección y longitud de la viga, en forma directa en las caras laterales e indirecta en la cara lateral y el lados o caras de la viga prismática.

Aunque la muesca no es en toda el área a tracción se observa que al no tener continuidad las ondas se redireccionan por la parte superior de la muesca, ello se evidencia cuándo se emite de los puntos 3 y 4 y la recepción es en el punto 6, la medición más baja de la velocidad ocurre en la medición en lo puntos 4-6.

b) Muesca de 5 cm

Figura 15. Registro zonificado de VUS



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Cuadro 4.

Registro zonificado de VUS

De:	A:	V1	V2	V3	PROMEDIO
2	4	4,032	4,051	4,014	4,032
1	3	3,924	3,924	3,904	3,917
2	3	3,959	3,941	3,959	3,953
4	1	3,924	3,906	3,924	3,918
3	5	3,733	3,708	3,739	3,727
3	7	3,500	3,528	3,528	3,519
3	6	2,878	2,859	2,878	2,872
4	7	4,167	4,207	4,167	4,180
4	6	1,676	1,689	1,689	1,685

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Se reafirma la tendencia de la muesca de 2,5 cm., en donde la medición 4-6 registra la menor velocidad de ultrasonido es decir la presencia de vacío o discontinuidad afecta la velocidad, se puede atribuir que por las ondas tratan de seguir en diagonal por encima de la muesca evitando el punto 6, por principio de trabajo mínimo, por ello la medición 3-6 en la cual la onda emitida y recepcionada siguen línea recta y las micro fisuras son perpendiculares a la onda y debe ser captadas en forma más directa en los ensayos a efectuar.

Figura 16. Registro de VUS con muesca de 5 cm



Fuente: Elaboración propia, 2023.

4.1.9. Análisis de curvas de propagación con carga controlada

En base a la evidencia de la propagación de las ondas con las muescas de 2.5 y 5 cm. y los resultados preliminares de en los ensayos de carga controlada se puede observar que:

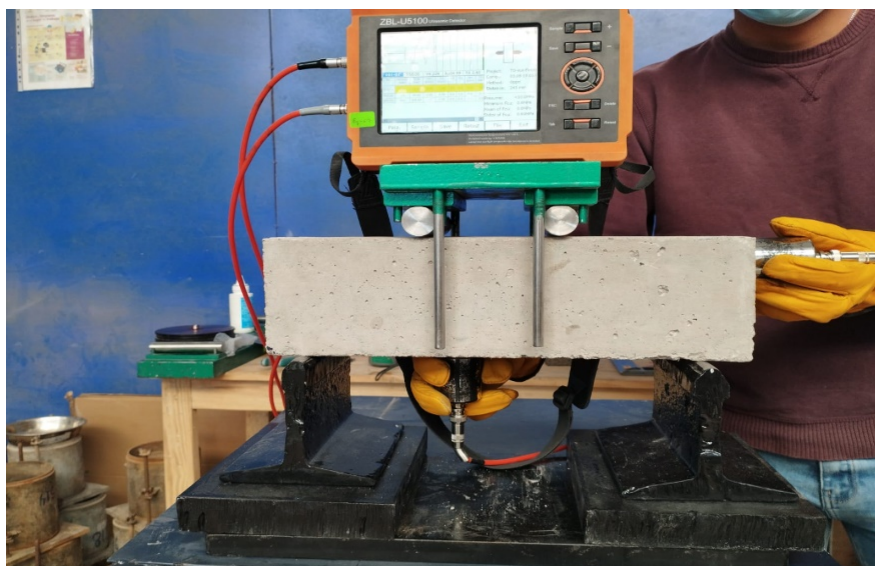
- Las ondas se propagan en la viga prismática y que si encuentran obstáculo se redireccionan.
- En las vigas prismáticas, en el proceso de ensayo, la zona inferior se debe originar microfisuras por lo cual las ondas se redireccionan por la parte superior, en compresión, en la cual los poros se comprimen y facilitan más aun el paso de las ondas, es por ello que se observa previo a la falla un incremento notorio de la velocidad de propagación.

Con estos nuevos hallazgos en el proceso ensayo con fines de evaluar la propagación de microfisuras en flexión, se debe redirecciona la ejecución de los ensayos.

4.1.10. Modificación del equipo de medición

Para poder evaluar la velocidad de ultrasonido, emisor de ondas en la cara lateral y receptor de onda en la cara inferior de la viga prismática debemos modificar los apoyos inferiores de la viga, hacerlos más altos sin perder rigidez y sin alterar las proporciones de distancia dados por la normatividad respectiva.

Figura 17. Registro de VUS con modificación de lectura



Fuente: Elaboración propia, 2023.

4.1.11 Optimización de resultados

Con base a los antecedentes de medición y la optimización en el proceso de registro de datos, se ha ejecutado ensayos de medición en posición 4-6, es decir el receptor se ubicó en la parte inferior y al costado de la probable zona de falla, según la muesca de 5 cm.

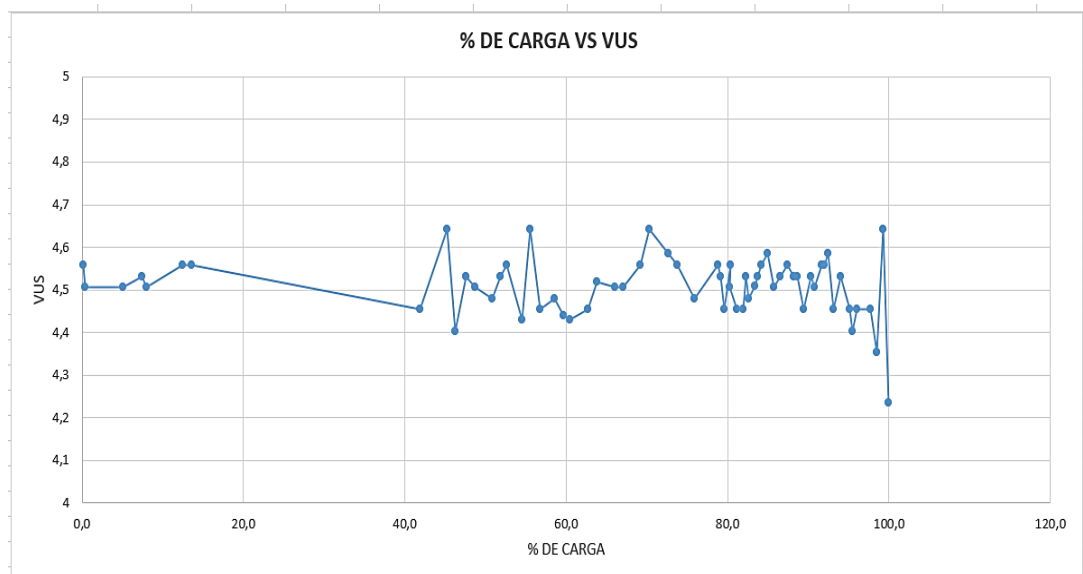
Cuadro 5.

Cuadro típico de medición en adecuación 2-6

VELOCIDAD	%	VELOCIDAD	%	VELOCIDAD	%	VELOCIDAD 4	%
4.677	0.3	4.616	42.8	4.7	63.9	4.62	87.1
4.677	0.5	4.741	44.3	4.72	66.5	4.62	88.8
4.657	0.6	4.657	46.4	4.62	67.5	4.48	91.3
4.657	0.4	4.499	48.1	4.62	70	4.68	92.1
4.698	0.5	4.616	49.6	4.62	73.6	4.58	94.4
4.657	0.4	4.636	51	4.64	74.5	4.48	95.4
4.677	0.5	4.576	52.8	4.64	75.4	4.66	97.2
4.636	6.6	4.677	53.7	4.6	79	4.62	99.2
4.518	35.3	4.616	56.9	4.83	81.2	4.58	99.8
4.829	40.3	4.518	59.5	4.64	83.8	4.87	100
4.719	41.8	4.557	62.2	4.64	84.6		

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura 18. *Gráfica típica de medición en adecuación 2-6*



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Se observa en estos resultados que los puntos tienen mayor consistencia para el análisis, las lecturas antes de falla prácticamente han sido eliminadas y de seguro refleja con más realismo la propagación de las micro fisuras.

4.1.12. Análisis integral de métodos, hipótesis y recolección de datos

En esta fase, luego de varios intentos en obtener la propagación de las micro fisuras, se ha logrado establecer una metodología que de seguro nos va a permitir la obtención de resultados consistentes y satisfactorios, ello básicamente se ha conseguido bajo dos aspectos:

- Baja tasa de carga
- Adecuar la lectura en posición 4-6 (emisión/recepción)

Respecto al análisis de la hipótesis los resultados preliminares tienden confirmar la validez de la hipótesis en el sentido que si es posible establecer una relación entre la carga y la propagación de las micro fisuras.

La recolección de datos se llevó de manera satisfactoria y se obtienen en simultaneo tres parámetros principales:

- Medición de tiempo
- Medición de carga

- Medición de velocidad de ultrasonido

Un cuarto parámetro también se evalúa ocasionalmente:

- Deformación en la zona central de la viga, con tiempo y carga

Con estos resultados se hace más asequible la obtención de datos y parámetros que nos permitan conseguir los objetivos propuestos en el presente trabajo de investigación.

4.2 Resultados y análisis de resultados

4.2.1 Aspectos relevantes de investigación

Normatividad de referencia

Para el desarrollo del presente se considera tres resistencias 210, 280 y 350 kg/cm², en base a la optimización de medición los resultados desarrollados en el ítem 5.1, se procede en esta etapa a la medición directa de los resultados.

Con fines de tener trazabilidad en los resultados de medición se toma como referencia:

ASTM C 597 – 16 Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete.

ASTM C 293-02 Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Center-Point Loading)

ASTM C 78-02 Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third Center-Point Loading)

Esta norma indica el procedimiento seguir en el caso de medición y los cálculos respectivos, así como las limitaciones y bondades del ultrasonido. Otro aspecto importante es la validez de las lecturas, y para ello el equipo tiene su propia corrección que también lo menciona la normativa como corrección de cero.

Velocidad aplicación de carga y de deformación en el ensayo

La premisa del desarrollo del presente trabajo es en primer la detección de la variación en la velocidad del ultrasonido, este es indicio de generación de micro fisuras.

En los ensayos en base a la velocidad que establece la normatividad oscila entre 0.9 a 1.2 Mpa/s para flexión en vigas y de 0.25 Mpa/s para ensayos de compresión. En los ensayos realizados con esta ratio de aplicación de carga se observa que ocurre la falla en forma abrupta y en un

tiempo del orden de microsegundos, para poder medir estos cambios en poco tiempo podemos inferir dos procedimientos:

- Disminuir la velocidad de aplicación de la carga de tal manera que se pueda detectar los cambios por generación de micro fisuras
- Aplicar deformación controlada tal que se pueda medir los cambios internos respecto a la generación de micro fisuras.

En el primer caso se fija la mínima velocidad permisible por el equipo de aplicación de carga y en el segundo caso con la resolución de los diales extensómetros, estos corresponden a:

- Velocidad de ensayo: 0.1 Mpa/s.
- Deformación controlada de 0.05mm.

Con estas tasas de aplicación de carga se puede obtener las mínimas variaciones de velocidad de ultrasonido en la zona interna de las vigas.

El equipo de ultrasonido

El equipo de ultrasonido utilizado es el ZBL-U100, las características y ficha técnica de este equipo se incluyen en el anexo.

La premisa de investigación no es determinar la variación de velocidad como modulo, en cuyo caso la calibración de la velocidad sería determinante, lo que se pretende es determinar la variación de velocidad, no obstante, ello el equipo cuenta con patrón para verificar dicho modulo. En referencia a los parámetros y procedimientos de uso es en cumplimiento de la norma ASTM C587, como la longitud de evaluación, la corrección de cero y la planitud de la superficie en donde se apoyan los sensores.

El equipo detalla la amplitud de la onda que se propaga por el medio interno de concreto y la velocidad con la cual la onda se desplaza por el medio solido de la viga de ensayo

Equipo de aplicación de carga

Para la aplicación de carga se utiliza una máquina de compresión automática PILOT PRO de 200 kN, cuya capacidad es suficiente para el desarrollo de la investigación.

Una de las ventajas de este equipo de última generación es que se puede establecer velocidad de aplicación de la carga según los requerimientos del ensayo con bajas tasas de aplicación.

4.2.2 Resultados con carga controlada

La ejecución de los ensayos de flexión en prismas de concreto considera dos variantes según el número de puntos de aplicación de la carga:

ASTM C 293-02 Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Center-Point Loading)

ASTM C 78-02 Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third Center-Point Loading)

La evaluación en el presente trabajo de investigación considera las dos variantes de ejecución, también se busca trazabilidad por ello se toma como referencia los procedimientos indicados en los documentos técnicos mencionados.

Figura 19. *Ensayo de carga vs velocidad de ultrasonido*



Fuente: Elaboración propia, 2023.

4.2.2.1 Resultados con aplicación de carga en el centro

Se han efectuado en las tres resistencias correspondientes a 210, 280 y 350 Kg/cm², los registros de carga de han expresado en porcentaje en función de la máxima carga que resiste cada probeta sometida a flexión, a la velocidad indicada líneas arriba.

En la fotografía se aprecia la aplicación de carga, la medición de la velocidad de ultrasonido y el tiempo transcurrido en forma simultánea, todo ello es filmado para obtener los registros correspondientes, carga-velocidad-tiempo.

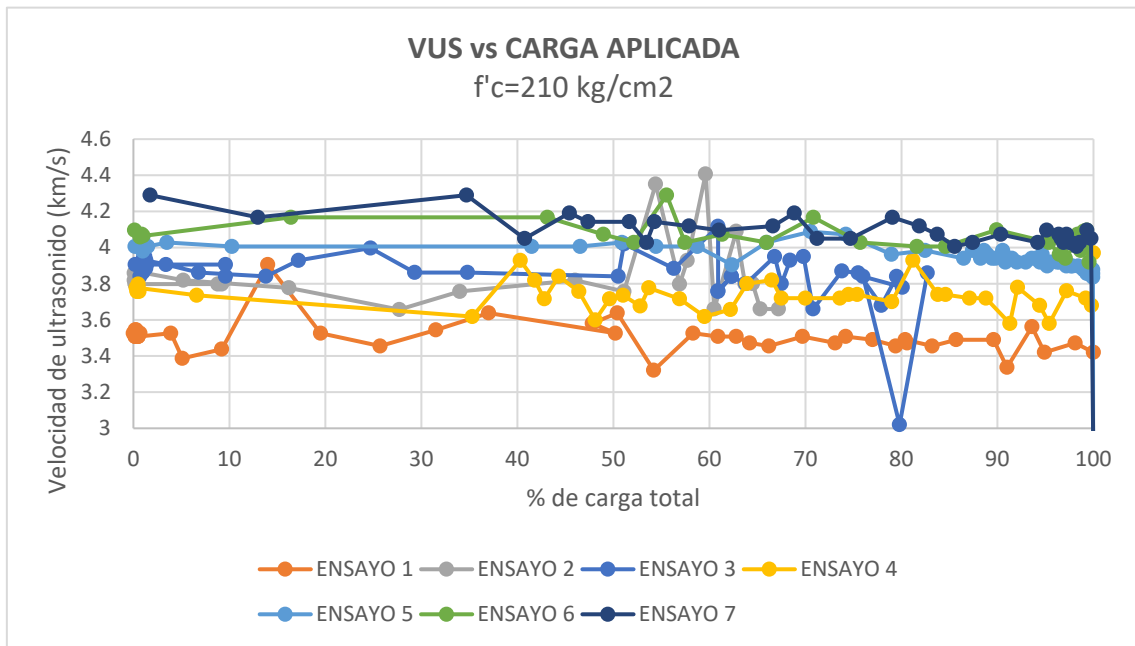
Figura 20. *Ensayo de carga vs velocidad de ultrasonido*



Fuente: Elaboración propia, 2023.

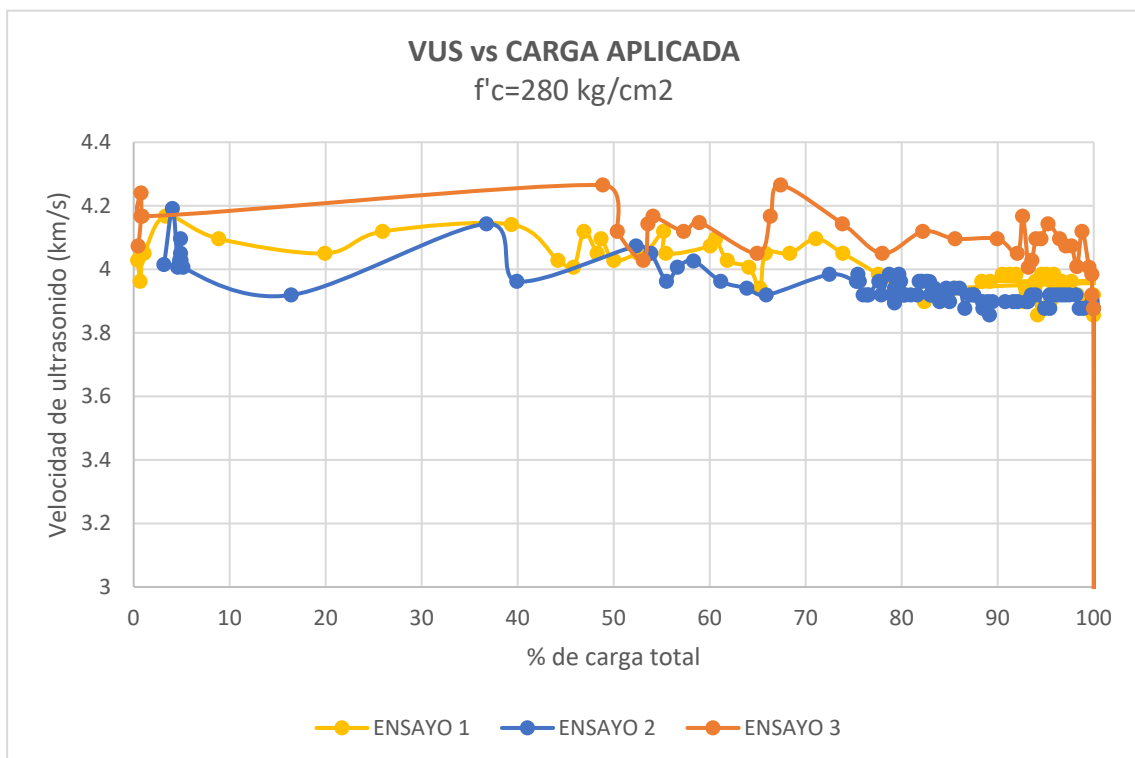
En los gráficos siguientes se plasman los parámetros obtenidos del proceso de evaluación mencionado en las figuras N° 19 y 20, para cada una de las resistencias, se han integrado resultados de tres probetas, todas al 100% de la carga de falla.

Figura 21. $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$, Ensayo de carga vs velocidad de ultrasonido



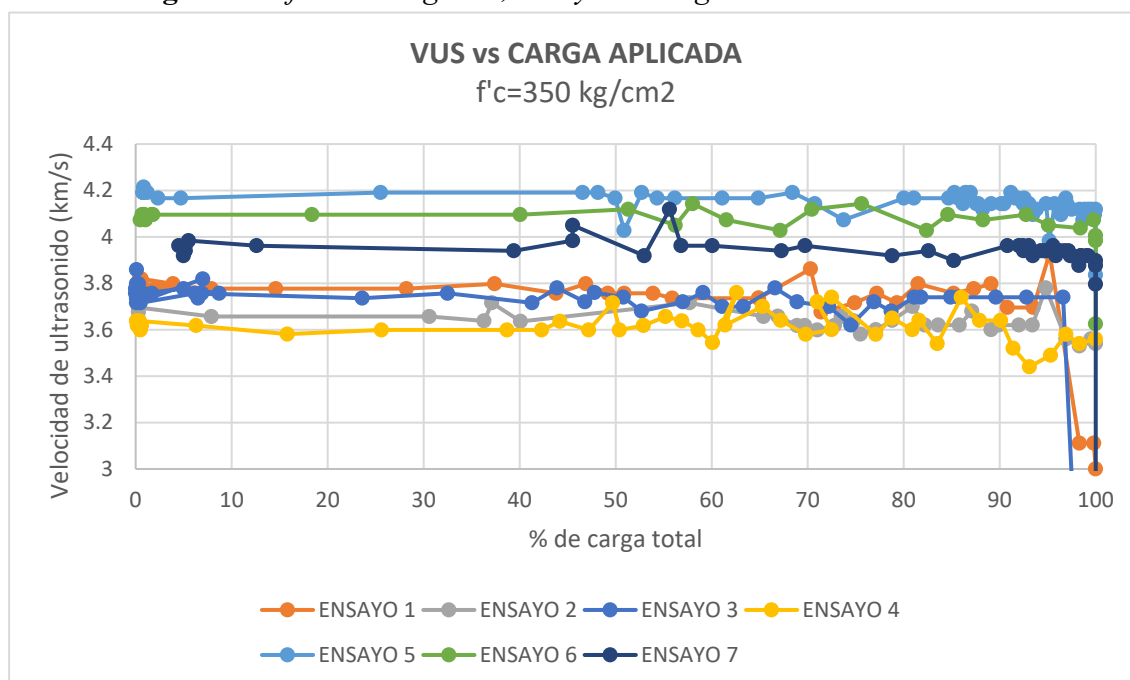
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura 22. $f'c= 280 \text{ kg/cm}^2$, Ensayo de carga vs Velocidad de ultrasonido



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura 23. $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$, ensayo de carga vs Velocidad de ultrasonido



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Los resultados muestran al menos dos zonas con tendencias y comportamientos diferenciables, la primera es una variación lineal entre los 0 y 80% y del 80 al 100% tiende a tener un comportamiento no lineal, más bien con tendencia al cuadrático.

En la zona de análisis de resultados se podrá discretizar dichos rangos de variación, cabe indicar que se debe notar que dentro de las lecturas de velocidad de ultrasonido en general se ha notado variación para la misma resistencia y para el mismo porcentaje de aplicación de carga.

Esta variación se puede atribuir a los cambios e interacción interna producto de la aplicación de la carga y la redistribución de que realizan las ondas de ultrasonido tratando de buscar el trabajo mínimo para su continuidad dentro de la masa de concreto.

Las cargas finales obtenidas no representan los resultados de análisis de flexión esperados por que la premisa es determinar la variación de velocidad de ultrasonido, mas no la resistencia a la flexión.

4.2.2.2 Resultados con aplicación de carga en los tercios

El procedimiento de obtención de los resultados es similar al de aplicación de carga en el centro, en este caso en los tercios de la viga según lo indica la distribución de la normatividad.

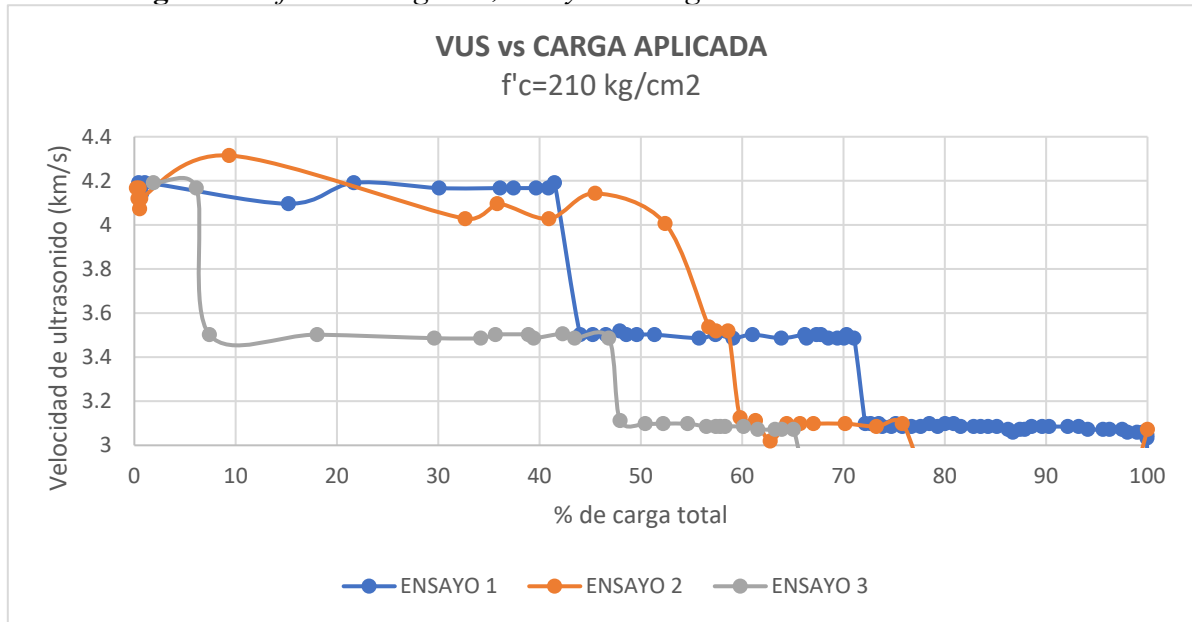
Figura 24. *Ensayo de carga vs velocidad de ultrasonido*



Fuente: Elaboración propia, 2023.

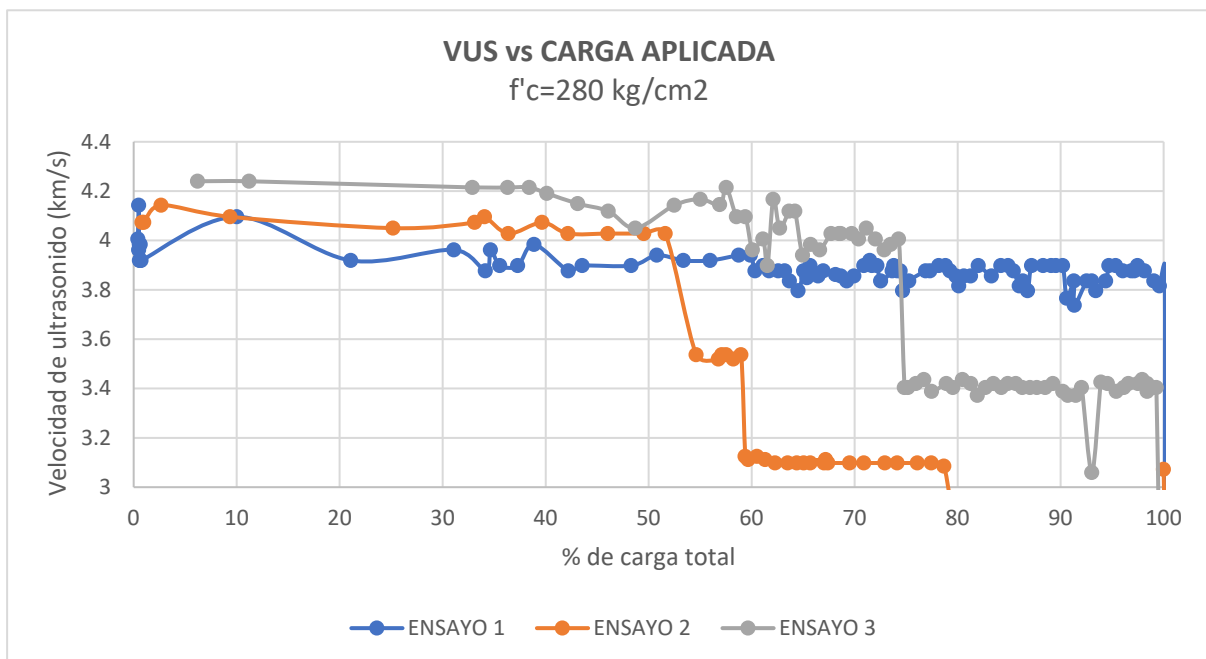
A continuación, se muestra los resultados para las resistencias de estudio, la medición del receptor del ultrasonido es el medio de la viga, es posible que a interacción del punto posterior a la zona de recepción hay provocado una dispersión de datos.

Figura 25. $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, ensayo de carga vs velocidad de ultrasonido



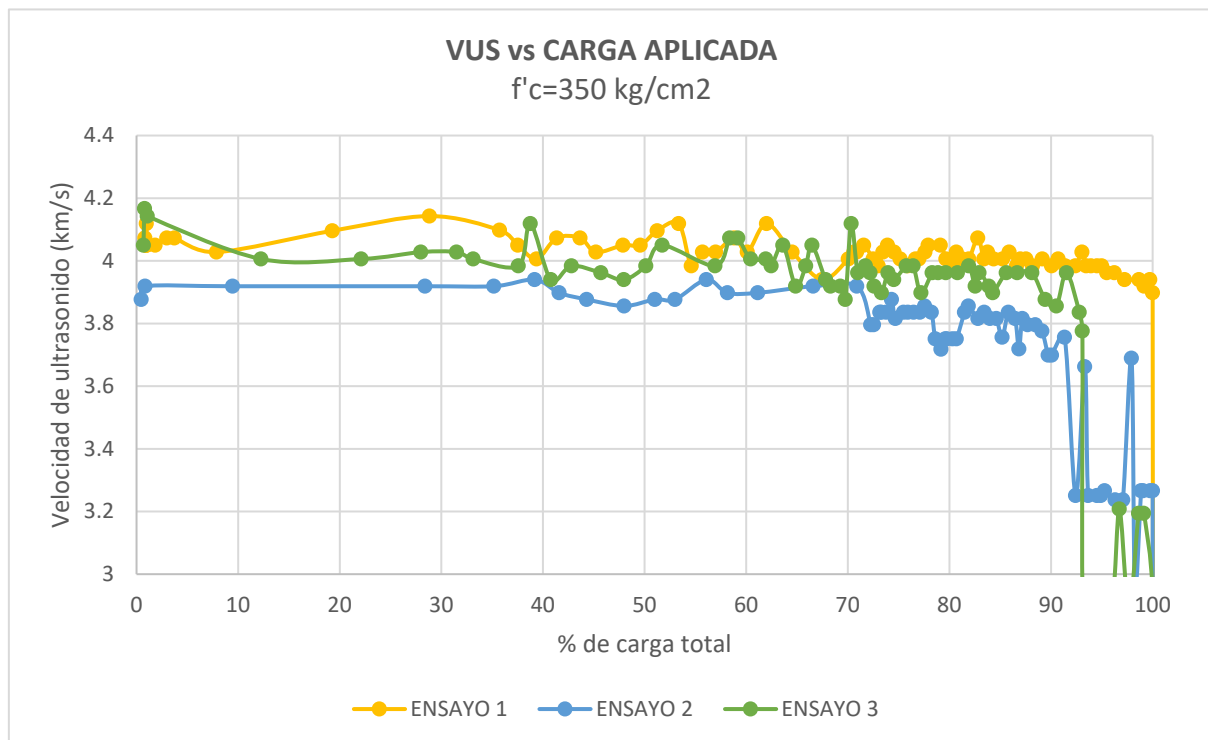
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura 26. $F'c = 280 \text{ kg/cm}^2$, ensayo de carga vs velocidad de ultrasonido



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura 27. $F'_c = 350 \text{ kg/cm}^2$, ensayo de carga vs velocidad de ultrasonido



Fuente: Elaboración propia, 2023.

En el análisis con aplicación de las cargas en los tercios de la viga muestran resultados más dispersos en las lecturas de velocidad de ultrasonido, podría atribuirse a que los dos puntos de aplicación de carga tratan de originar sus propias micro fisuras, pero al originarse en el centro estas confluyen y se observa al final un descenso notorio de la velocidad de ultrasonido.

En general se observa que conforme se aplica la carga tiende a disminuir la velocidad, en las resistencias de 280 y 350 kg/cm^2 , de 0 a 80% puede tener un comportamiento lineal y el resto se asemeja a una tendencia de comportamiento polinomial, en todo caso en la fase de análisis se puede determinar la correlación más adecuada y los umbrales más representativos.

Las cargas de falla registradas como era de esperarse son mayores a las que se aplican en la zona central, pero reiteramos que estas no necesariamente representan resultados de flexión por que la velocidad ha sido reducida a 0,10 MN/s por fines propios de la investigación.

4.2.2.3 Resultados de carga controlada medida en los extremos

En afán de conseguir una mejor visualización de la evolución de las micro fisuras por flexión, como mejora continua de proceso de evaluación, se evaluó en forma lateral la velocidad de ultrasonido.

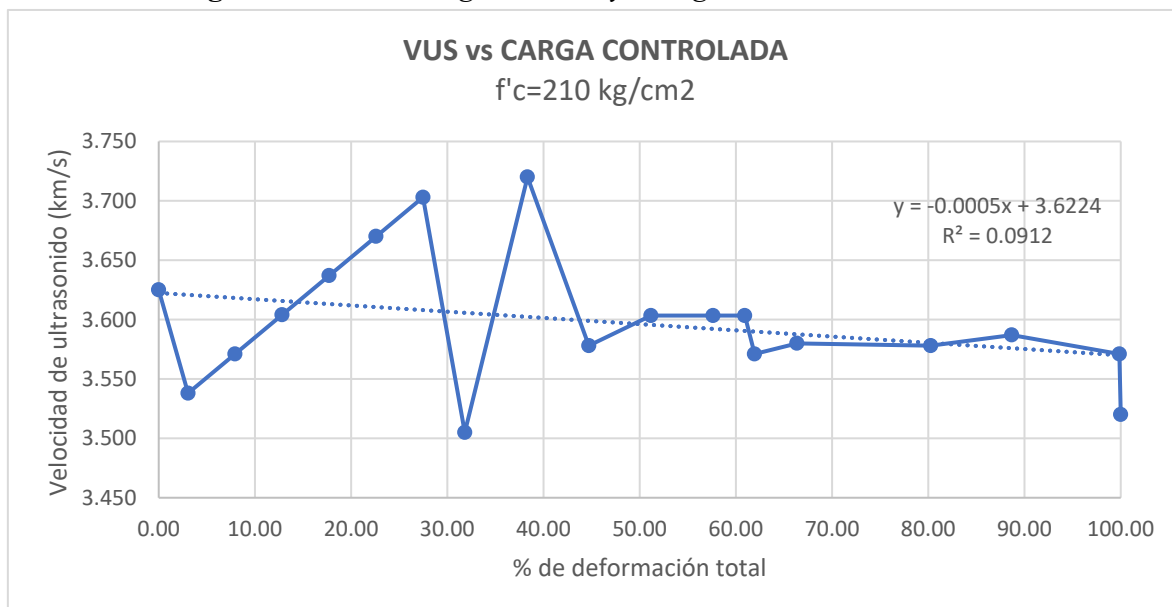
Figura 28. *Ensayo de carga vs velocidad de ultrasonido evaluado en los extremos*



Fuente: Elaboración propia, 2023.

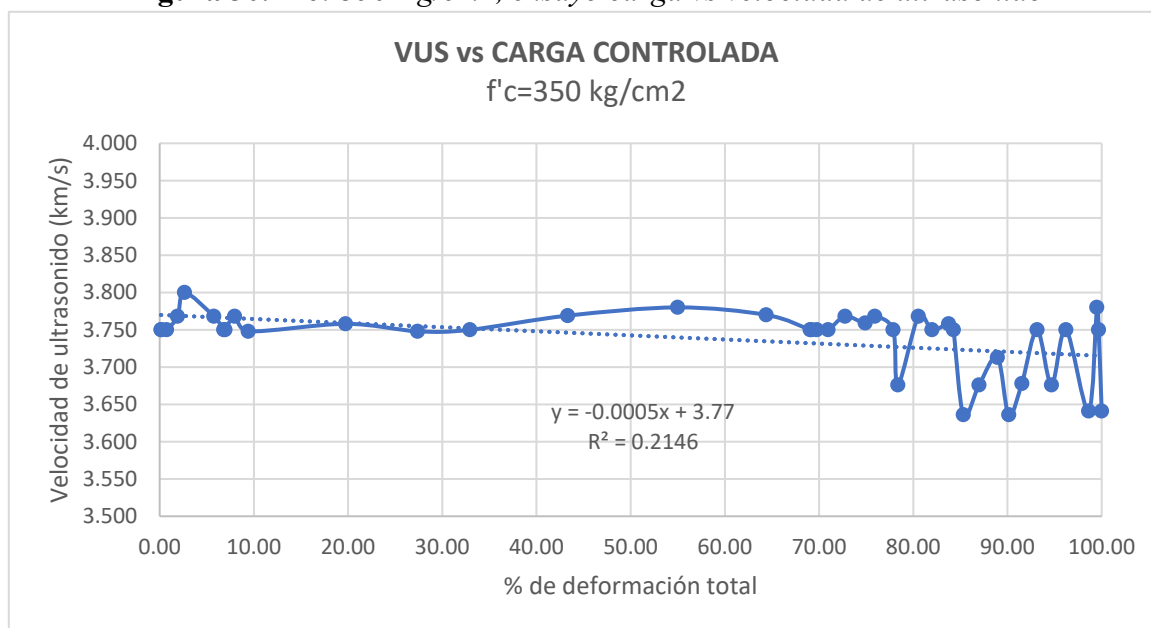
Los resultados obtenidos se muestran en las dos figuras siguientes

Figura 29. $F'c$: 210Kg/cm2, ensayo carga vs velocidad de ultrasonido



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura 30. $F'c$: 350 Kg/cm2, ensayo carga vs velocidad de ultrasonido



Fuente: Elaboración propia, 2023.

En estas mediciones, se observa mejores tendencias, quizá la para futuras investigaciones se deberá optar por esta forma de medición.

4.2.3 Resultados con deformación controlada

La aplicación de carga en la viga genera interacciones internas y redistribución de tensiones que hacen variable la lectura de la velocidad de ultrasonido que las atraviesa en tiempo real.

Si se pudiera aplicar carga por etapas y esperar un tiempo prudencial para lograr el equilibrio interno en la viga y recién leer la velocidad de ultrasonido se podría obtener quizá datos más consistentes y con menos variabilidad, ello se pretende en este análisis con deformación controlada.

Las máquinas de compresión en general son de aplicación de carga continua, requisito de ASTM, por ello es muy tedioso tratar de aplicar carga controlada por etapas.

Para este caso se aplica deformación cada 0.05 mm, medida en el centro de la viga y esta deformación se asocia a una carga aplicada, para cada uno de las resistencias en estudio.

Figura 31. *Correlación entre deformación y carga*



Fuente: Elaboración propia, 2023.

4.2.3.1 Resultados con aplicación de deformación en el centro

En la foto se aprecia el gato mecánico con el cual se aplica deformación cada 0,05 mm. y se espera un tiempo prudencial de dos minutos en la cual esperamos que las interacciones internas debido al aplicación indirecta de carga y pasado este tiempo se mide la velocidad de ultrasonido,

\

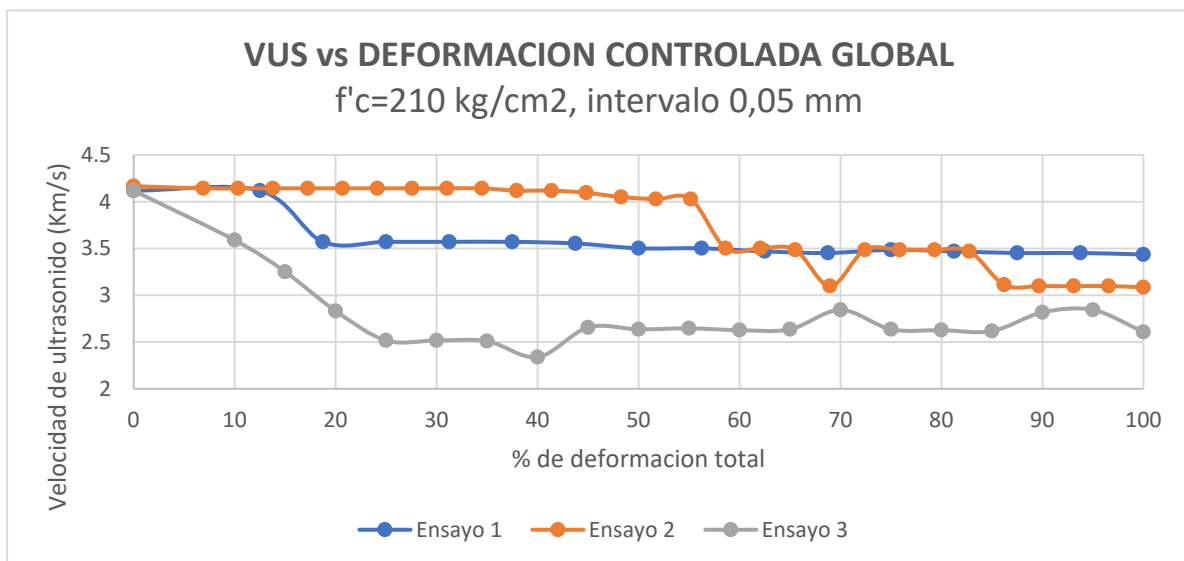
Figura 32. *Ensayo de carga vs velocidad de ultrasonido*



Fuente: Elaboración propia, 2023.

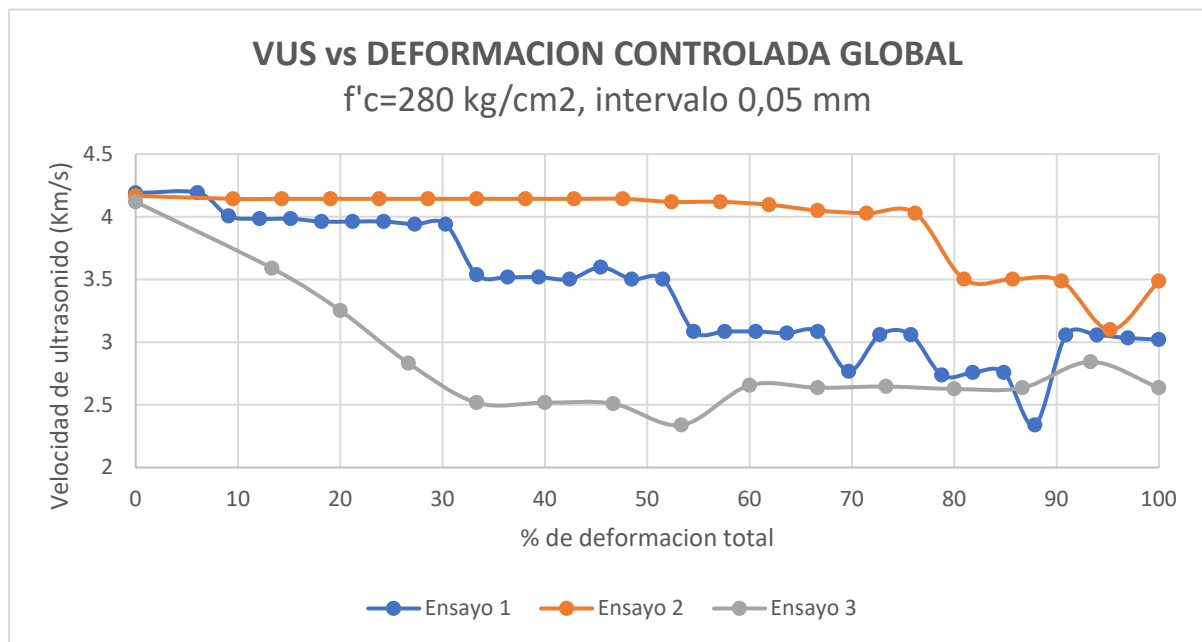
Los gráficos siguientes muestran los resultados encontrados en las mediciones, se han integrado los resultados de tres mediciones todas respecto al 100% de la deformación de falla

Figura 33. *$f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, ensayo deformación vs velocidad de ultrasonido*



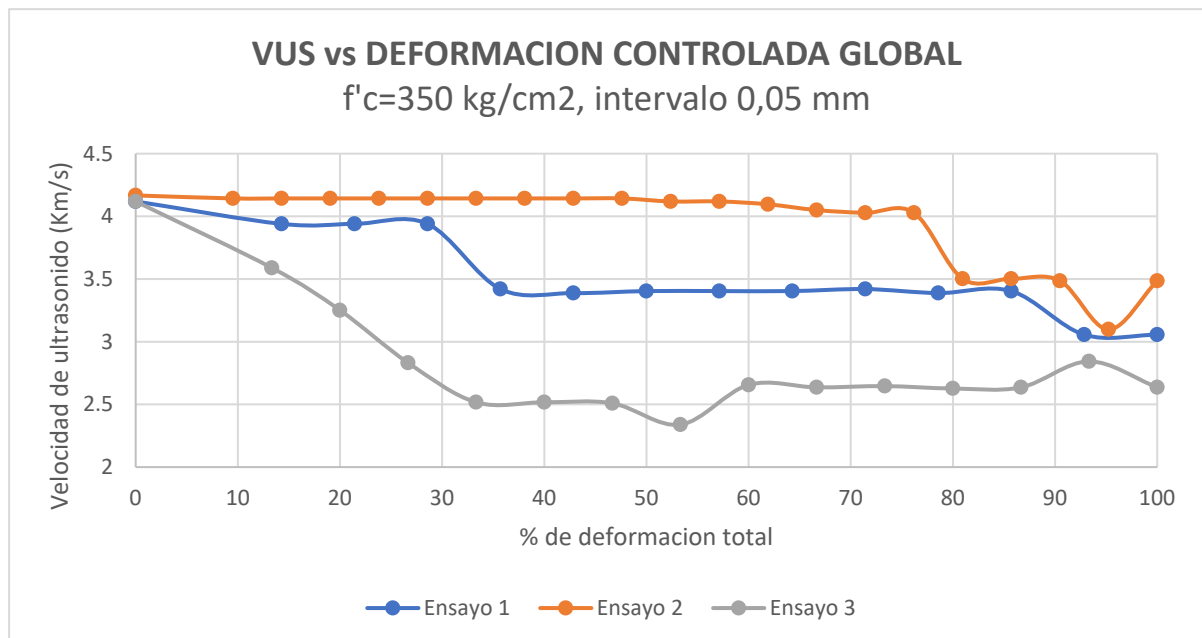
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura 34. $F'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$, ensayo deformación vs velocidad de ultrasonido



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura 35. $F'_c = 350 \text{ kg/cm}^2$, ensayo deformación vs Velocidad de ultrasonido

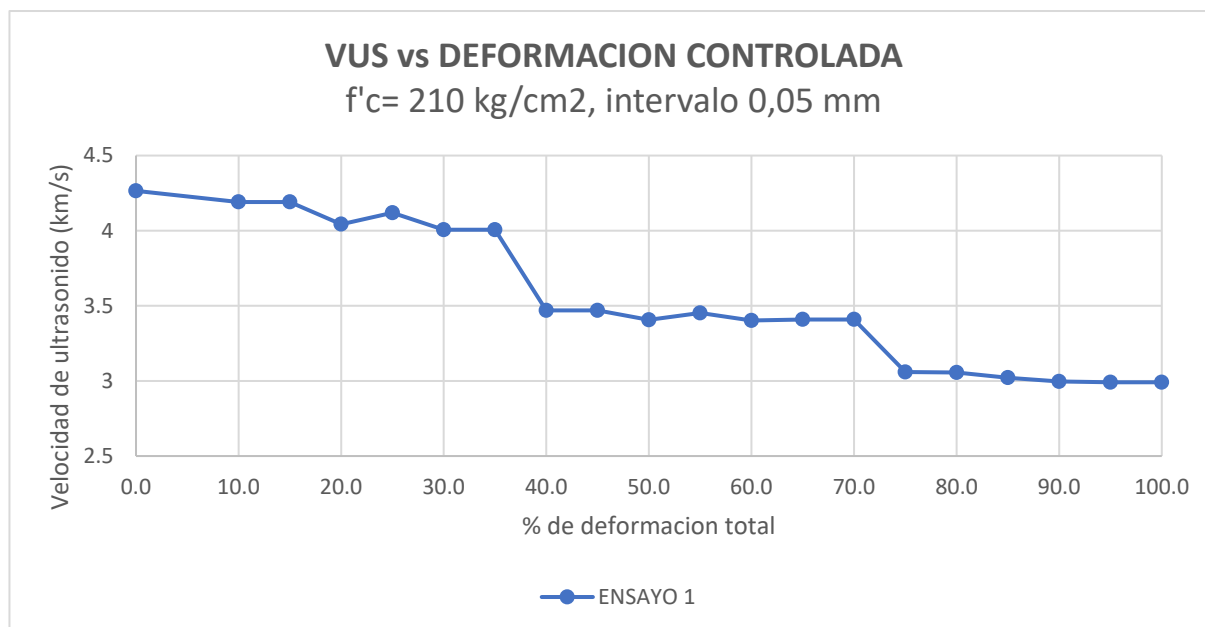


Fuente: Elaboración propia, 2023.

4.2.3.2 Resultados con aplicación de deformación en los tercios

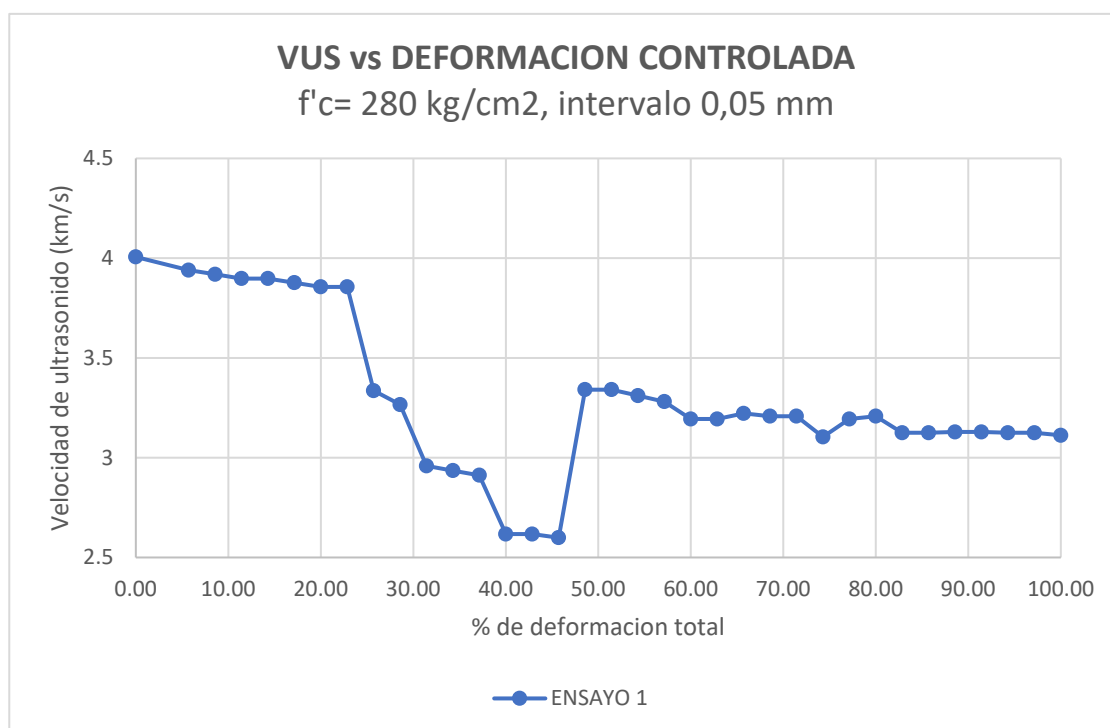
En este caso se tiene los gráficos para una aplicación de carga en dos puntos aplicado en los tercios de la viga

Figura 36. $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, Ensayo deformación vs Velocidad de ultrasonido



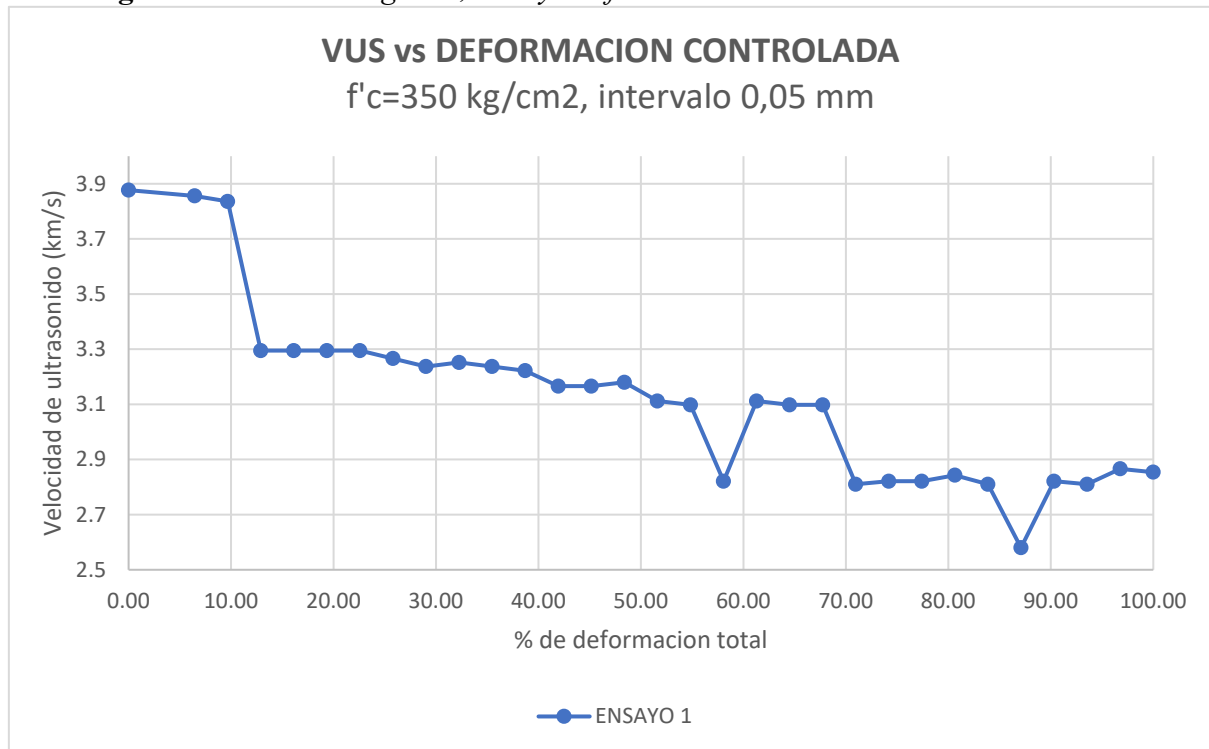
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura 37. $F'c = 280 \text{ kg/cm}^2$, Ensayo deformación vs Velocidad de ultrasonido



Fuente: Elaboración propia, 2023.

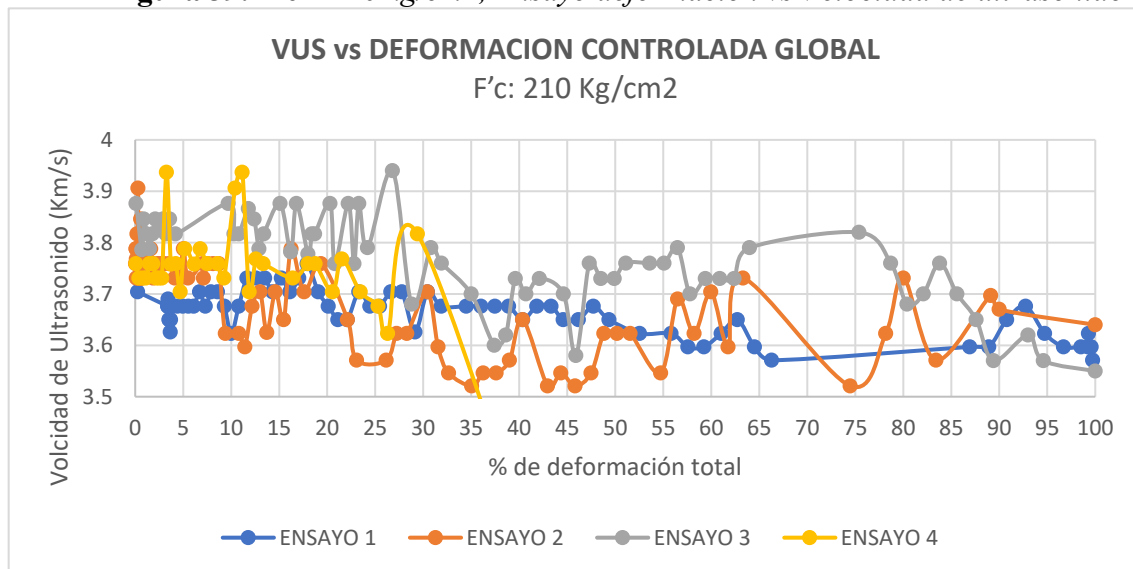
Figura 38. $F'c = 280 \text{ kg/cm}^2$, Ensayo deformación vs Velocidad de ultrasonido



Fuente: Elaboración propia, 2023.

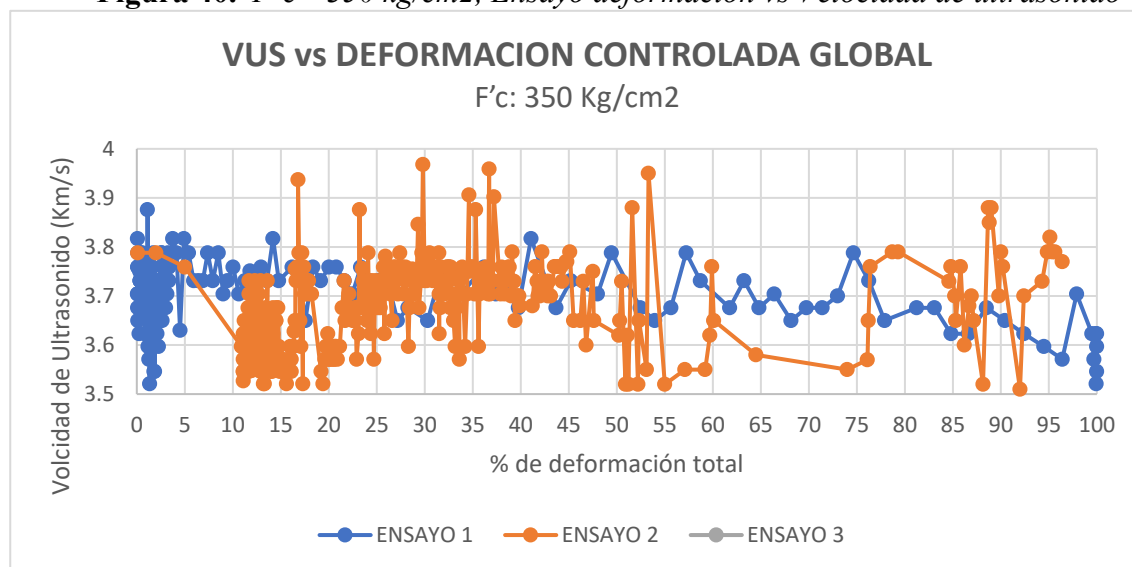
4.2.3.3 Resultados de deformación 0.02 mm/min

Figura 39. $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, Ensayo deformación vs Velocidad de ultrasonido



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura 40. $F'c = 350 \text{ kg/cm}^2$, Ensayo deformación vs Velocidad de ultrasonido



Fuente: Elaboración propia, 2023.

4.3 DISCUSION

Los resultados en general son concordantes con los planteamientos previos, las micro fisuras se desarrollan desde las primeras aplicaciones de la carga, según el estado de las zonas de proceso de fracturas en las micro fisuras existentes previos a la aplicación de la carga y en las zonas débiles del contacto entre la pasta y el agregado.

A la luz de ello podemos afirmar en primer lugar que las micro fisuras ante aplicación de carga se desarrollan, se generalizan y se transforman en macro fisuras las cuales pueden apreciarse con la resolución de la vista del hombre; y en segundo lugar que si es posible medir esta variación mediante el ultrasonido.

La resistencia no es un factor determinante en la variación de la velocidad de ultrasonido, es por ello que directamente no se les asocia en la literatura, pues no mide el grado de cohesión de la pasta/agregado solo la facilidad de paso por entre estos componentes.

Usualmente se acepta que en los primeros estadios de carga el concreto prácticamente inalterado, en general hasta el 30% de la carga final, pero las mediciones con deformación controlada indican que ello no es todo cierto, as i mismo se indica que en el 70% de carga las micro fisuras se generalizan, los ensayos indican que hasta el 80% de la carga se mantiene cuasi lineal a partir del 80% hay tendencia de incremento. Es posible establecer una correlación de evolución de micro fisuras en función de porcentaje de carga aplicada desde los primeros

estadios de carga, en esta correlación se aplica la estadística cuyo coeficiente de determinación sea consistente.

La mayor interacción como es de esperar se produce en la zona en media o tercios en donde se aplica la carga y lecturas de velocidad confirman dicha interacción, así como la redirección de las ondas de ultrasonido, que indican lecturas que escapan de la dirección de medición.

A continuación, se discute los resultados par resistencia y por tipo de apoyo al medio a los tercios, unas medidas en los lados de las vigas prismáticas de ensayo.

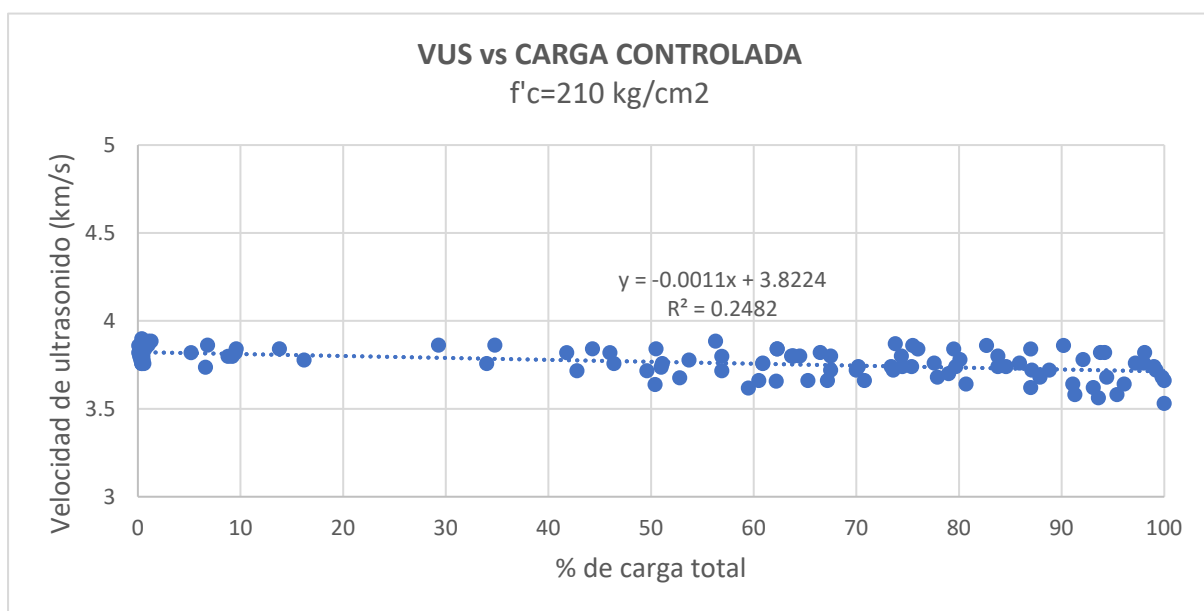
4.3.1 Discusión de micro fisuras con carga en el centro

Dado los resultados en los cuales se observa la progresión de las micro fisuras mediante la variabilidad de la velocidad de ultrasonido.

Se observa que hasta el 80 % de la aplicación de la carga presenta un comportamiento cuasi lineal, posterior a este porcentaje la pendiente sufre un ligero aumento y/o presenta tendencia cuadrática, no está claramente definido.

Debido a la evaluación en tiempo real y en forma continua los coeficientes de determinación para estas correlaciones no son óptimos, pero si se aprecia la disminución de la velocidad de ultrasonido, como se indica esta variabilidad puede deberse a la interacción y reacomodo interno de los componentes del concreto.

Figura 41. *F'c: 210Kg/cm2, ensayo carga vs velocidad de ultrasonido*

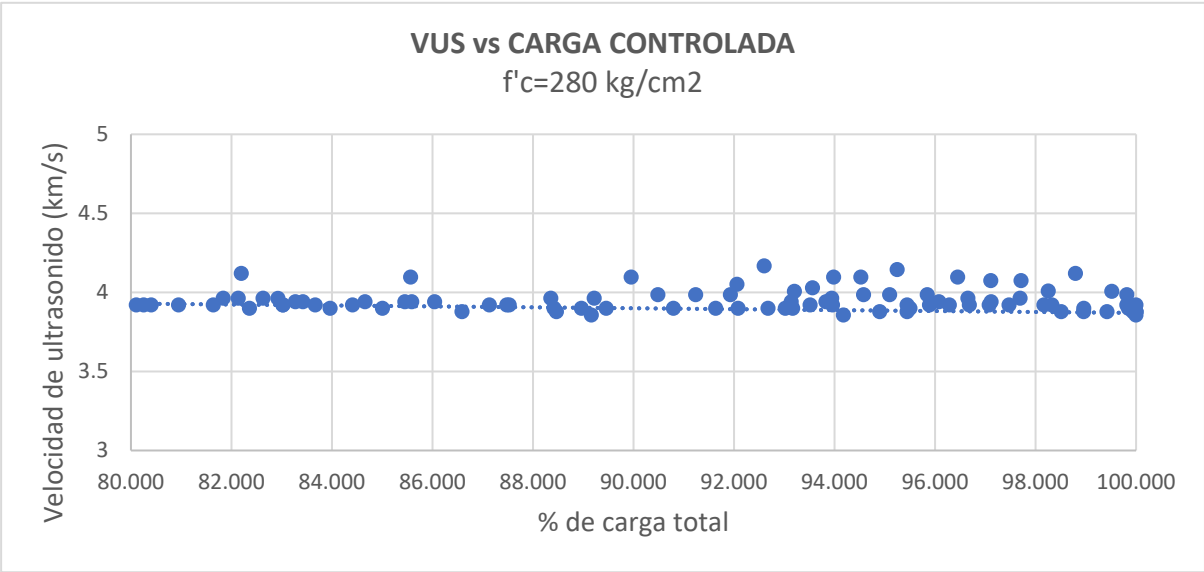


Fuente: Elaboración propia, 2023.

Ecuación 4 Velocidad de los pulsos de ultrasonido

Tramo:	Ecuación
0 – 100 %	$y = -0.0011x + 3.8224$

Figura 42. *F'c: 280Kg/cm2, ensayo carga vs velocidad de ultrasonido*

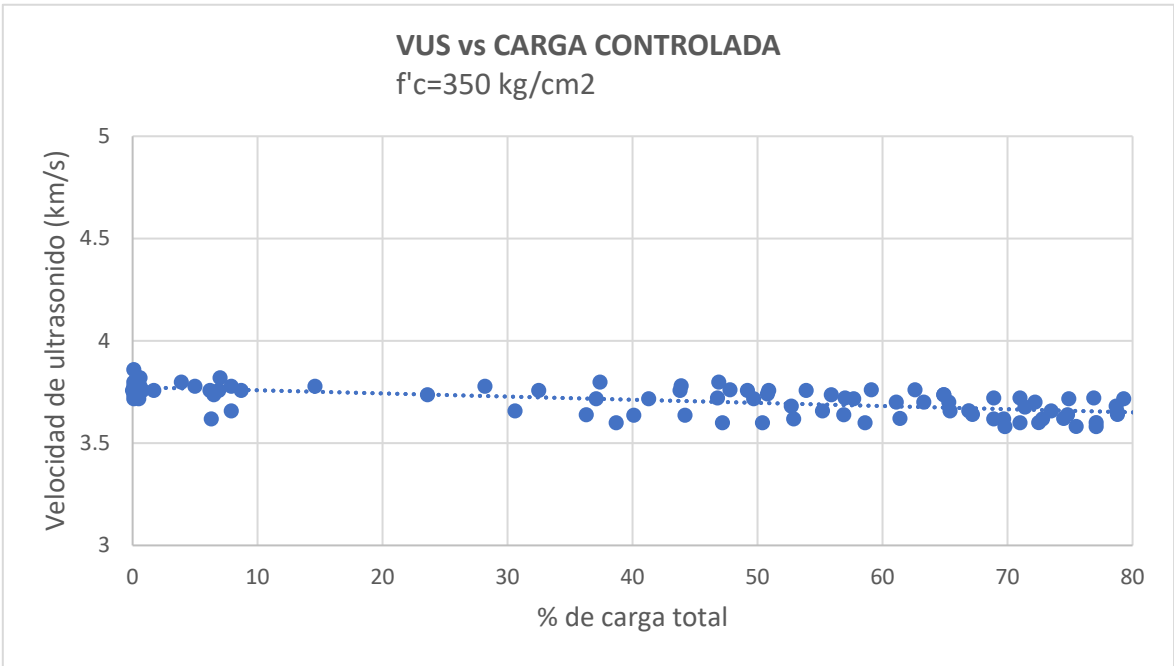


Fuente: Elaboración propia, 2023.

Ecuación 5 Velocidad de los pulsos de ultrasonido

Tramo:	Ecuación
0 – 100 %	$y = -0.0029x + 4.1651$

Figura 43. *F'c: 350Kg/cm2, ensayo carga vs velocidad de ultrasonido*



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Ecuación 6 Velocidad de los pulsos de ultrasonido

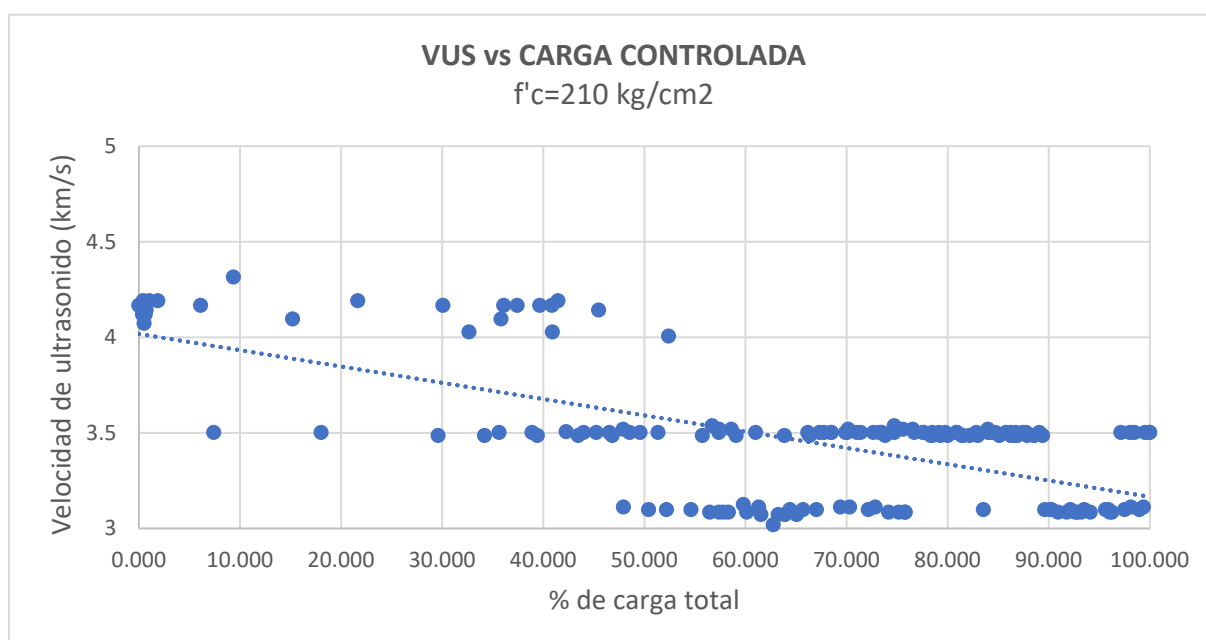
Tramo:	Ecuación
0 – 100 %	$y = -0.0015x + 3.7738$

En la zona inferior de cada gráfico se dan las ecuaciones de correlación buscando el mayor coeficiente de determinación, las vigas de la resistencia de 350 kg/cm² muestra un comportamiento lineal, atribuible a la mayor fragilidad por mayor relación agua/cemento, se confirma que la interacción de los primeros estadios de carga.

4.3.2 Evolución de micro fisuras con carga a dos tercios

El comportamiento individual es diferenciado y se aprecia la variación de velocidad con variaciones abruptas para las resistencia de 210 y 280 kg/cm², en la resistencia de 350 kg/cm² presenta mayor linealidad, las relaciones agua/cemento bajas usualmente tienen menor cantidad de vacíos y al tener una mayor zona de interacción debido a los dos puntos de aplicación de carga es aceptable la forma respuesta en la velocidad de ultrasonido, las figuras N° 44, 45 y 46 muestran los resultados de correlación para cada resistencia de estudio.

Figura 44. *F'c: 210Kg/cm2, ensayo carga vs velocidad de ultrasonid*

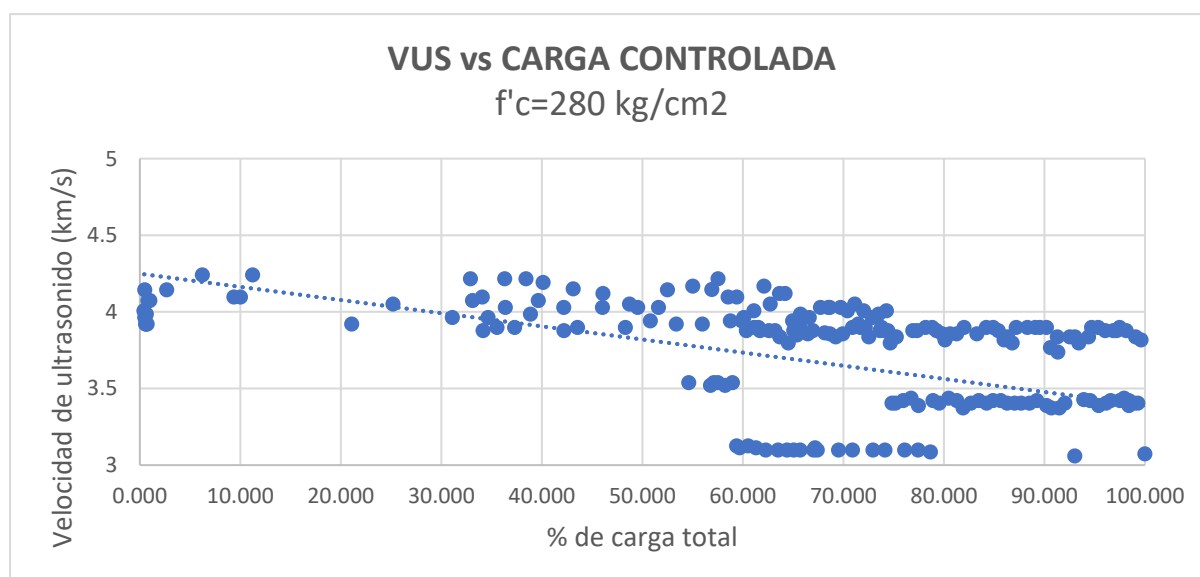


Fuente: Elaboración propia, 2023.

Ecuación 7 Velocidad de los pulsos de ultrasonido

Tramo:	Ecuación
0 – 100 %	$y = -0.0085x + 4.0179$

Figura 45. $f'c$: 280Kg/cm², ensayo carga vs velocidad de ultrasonido

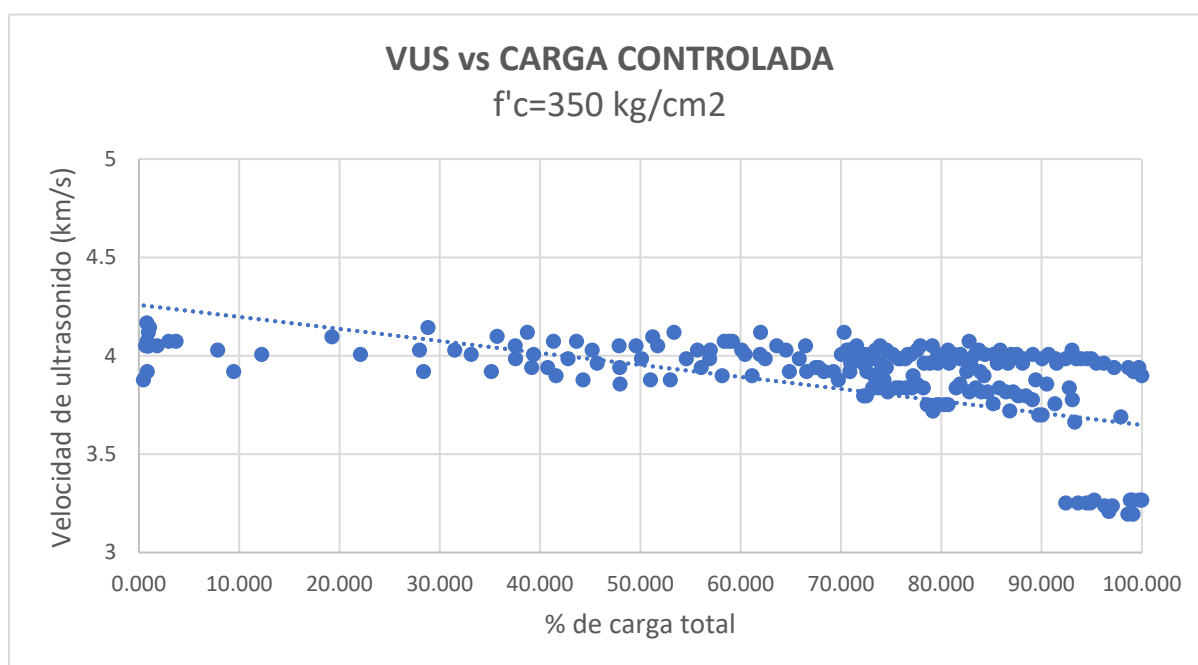


Fuente: Elaboración propia, 2023.

Ecuación 8 Velocidad de los pulsos de ultrasonido

Tramo:	Ecuación
0 – 100 %	$y = -0.0086x + 4.2488$

Figura 46. $f'c$: 350Kg/cm², ensayo carga vs velocidad de ultrasonido



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Ecuación 9 Velocidad de los pulsos de ultrasonido

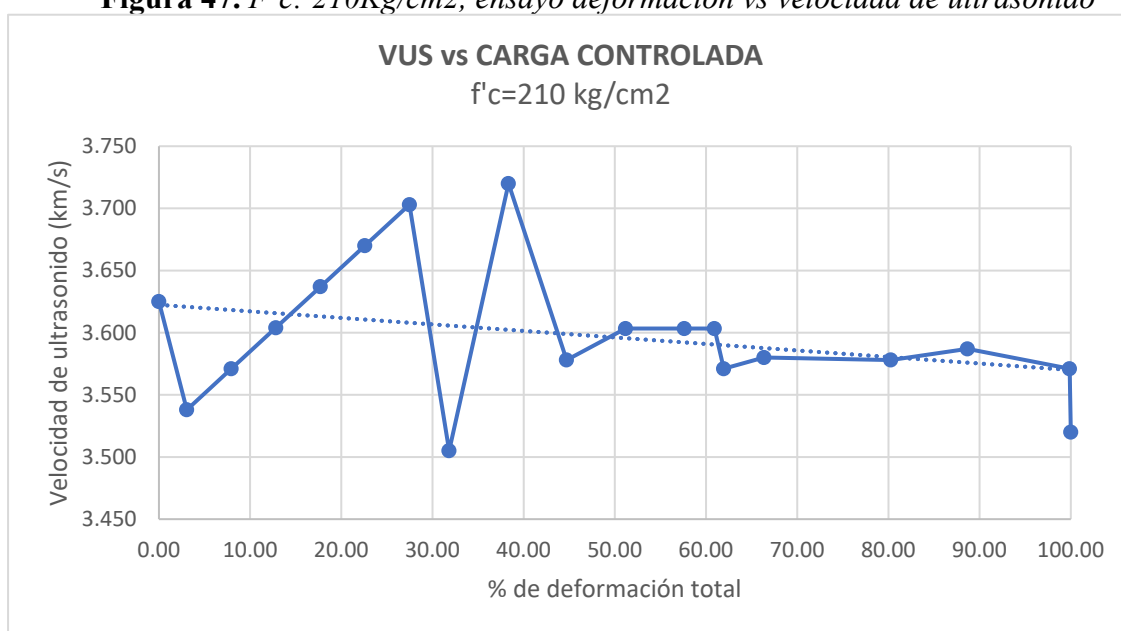
Tramo:	Ecuación
0 – 100 %	$y = -0.0061x + 4.2586$

En los primeros gráficos se observa mucha dispersión, quizá la medida mas apropiada es la que se mide en las caras laterales al tener mayor zona de interacción.

4.3.3 Evolución de microfisuras con carga controlada medida en los extremos laterales

Esta disposición de evaluación de la velocidad constituye una manera directa de medición, para apoyo en los tercios, con aplicación en el medio es difícil de ubicar la zona de fractura, sin embargo, los resultados parecen ser más alentadores por que la medida es directa en la zona de interacción, nuevas evaluaciones quedan latentes en esta zona para futuras investigaciones.

Figura 47. F'_c : 210Kg/cm², ensayo deformación vs velocidad de ultrasonido

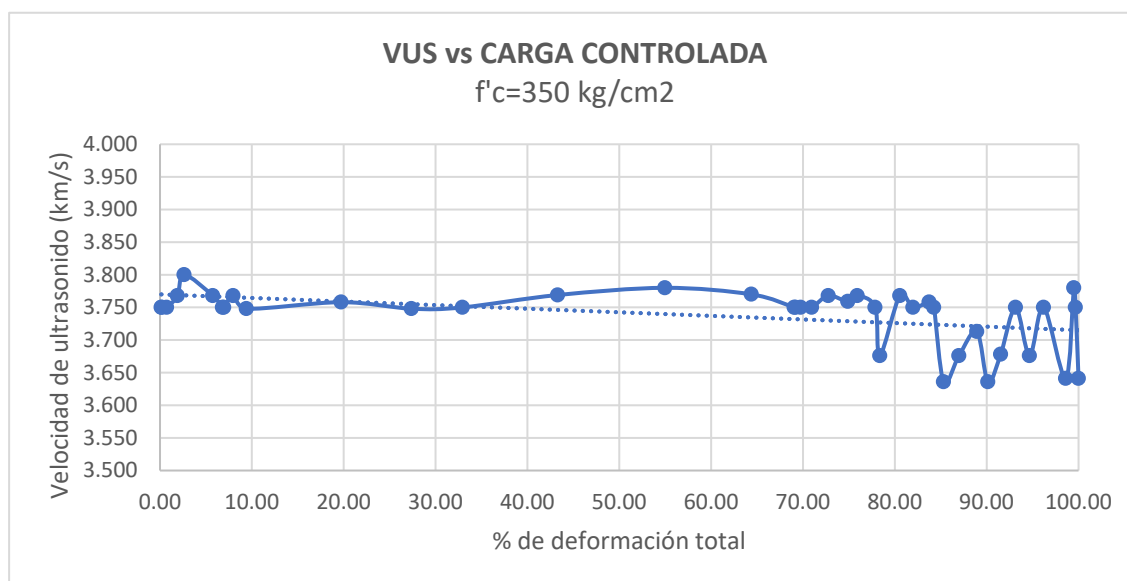


Fuente: Elaboración propia, 2023.

Ecuación 10 Velocidad de los pulsos de ultrasonido

Tramo:	Ecuación
0 – 100 %	$y = -0.0005x + 3.6224$

Figura 48. F'_c : 350Kg/cm², ensayo deformación vs velocidad de ultrasonido



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Ecuación 11 Velocidad de los pulsos de ultrasonido

Tramo:	Ecuación
0 – 100 %	$y = -0.0005x + 3.77$

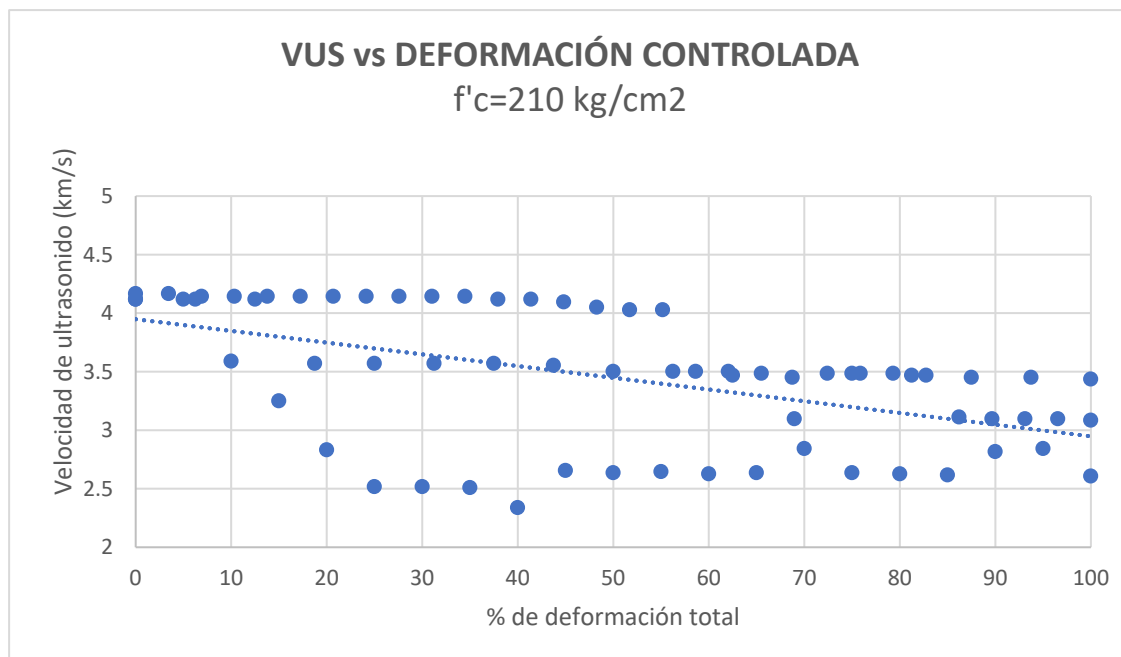
En esta opción de medición el comportamiento, tiende a las mediciones efectuadas en los extremos, pero presenta mayor consistencia sobre todo cerca de la falla, la correlación lineal en todo el proceso es lo que mejor se ajusta y se confirma que la interacción y desarrollo de microfisuras se da desde las fases iniciales de carga.

4.3.4 Evolución de microfisuras con aplicación de deformación en el centro

Como se indicó, con fines de mejorar las lecturas de velocidad, se mide la velocidad con control de deformación, independientemente de la cantidad de carga, aunque se es posible correlacionar la deformación, se optó por medir respecto a la deformación total, ello en base al horizonte que es medir la evolución de las microfisuras.

Las figuras N° 49, 50 y 51 muestran las correlaciones efectuadas.

Figura 49. F'_c : 210Kg/cm², ensayo deformación vs velocidad de ultrasonido

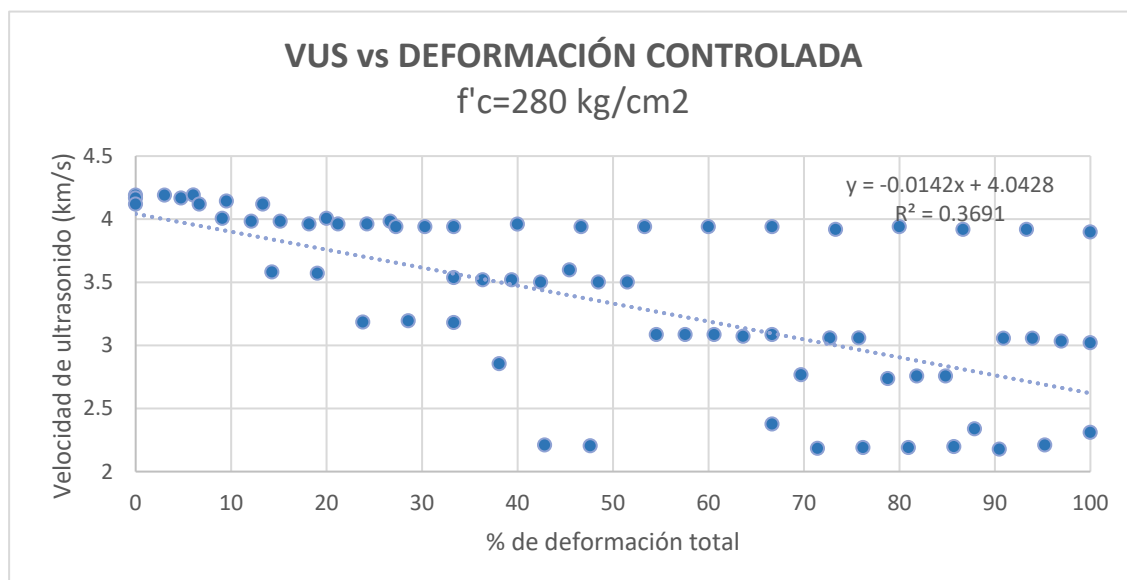


Fuente: Elaboración propia, 2023.

Ecuación 12 Velocidad de los pulsos de ultrasonido

Tramo:	Ecuación
0 – 100 %	$y = -0.01x + 3.9482$

Figura 50. F'_c : 280Kg/cm², ensayo deformación vs velocidad de ultrasonido

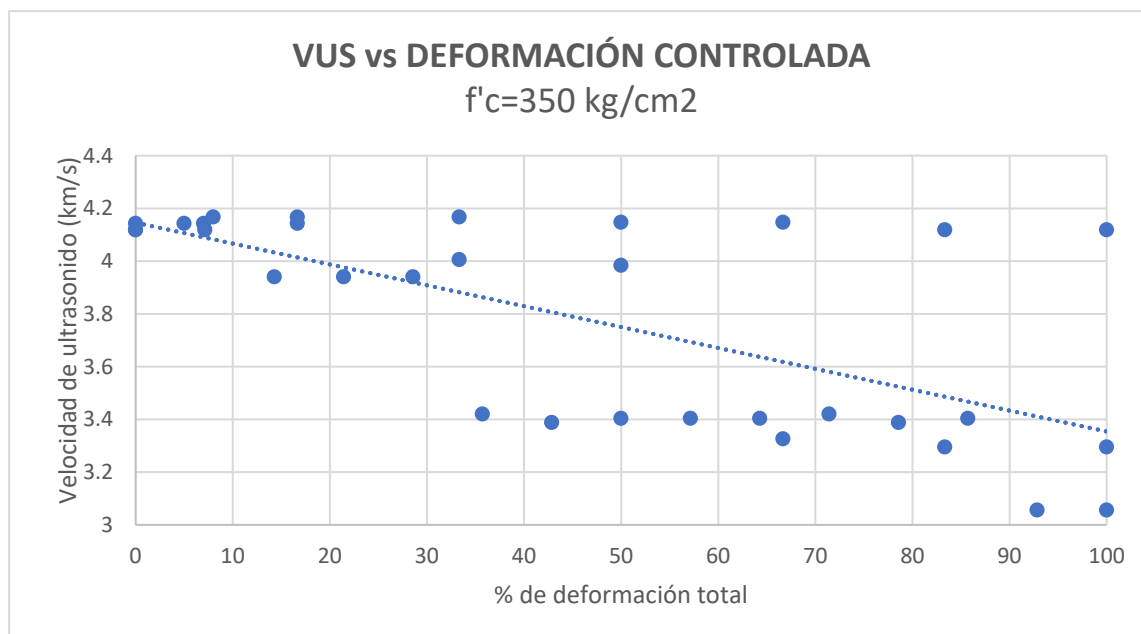


Fuente: Elaboración propia, 2023.

Ecuación 13 Velocidad de los pulsos de ultrasonido

Tramo:	Ecuación
0 – 100 %	$y = -0.0142x + 4.0428$

Figura 51. $F'c$: 350Kg/cm², ensayo deformación vs velocidad de ultrasonido



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Ecuación 14 Velocidad de los pulsos de ultrasonido

Tramo:	Ecuación
0 – 100 %	$y = -0.0079x + 4.1459$

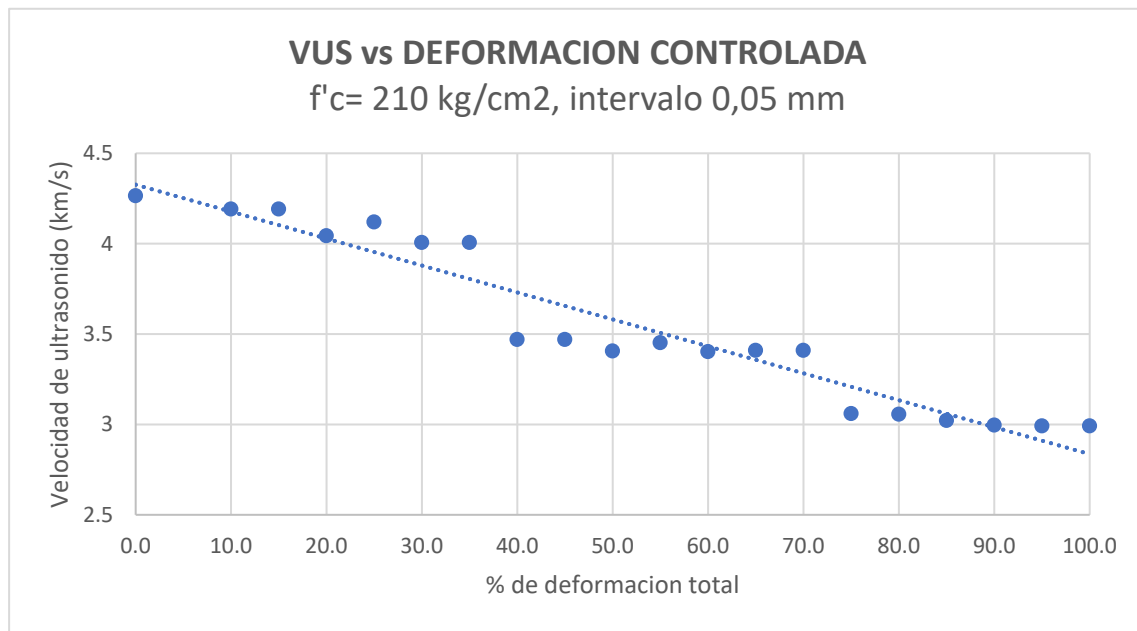
En esta opción de evaluación las dispersiones de datos son notoria y se atribuye a que al dejar la deformación por un tiempo aproximado de 5 minutos las interacciones internas se desarrollan y el redireccionamiento de las ondas de ultrasonidos son más notorias, toda vez que las medidas son continuas.

4.3.5 Evolución de microfisuras con aplicación de deformación a dos tercios

En esta evaluación se observa mejor la tendencia al decrecimiento de la velocidad de ultrasonido, el ajuste lineal es el que más adapta a este comportamiento, el tiempo que permanece con deformación fija permite que las microfisuras se desarrollen, no es así en el caso de carga controlada donde la carga es continua y quizá no se permite el desarrollo total de las microfisuras.

La figura N° 52,53 y 54 nos muestran los resultados.

Figura 52. $F'c$: 210Kg/cm2, ensayo deformación vs velocidad de ultrasonido

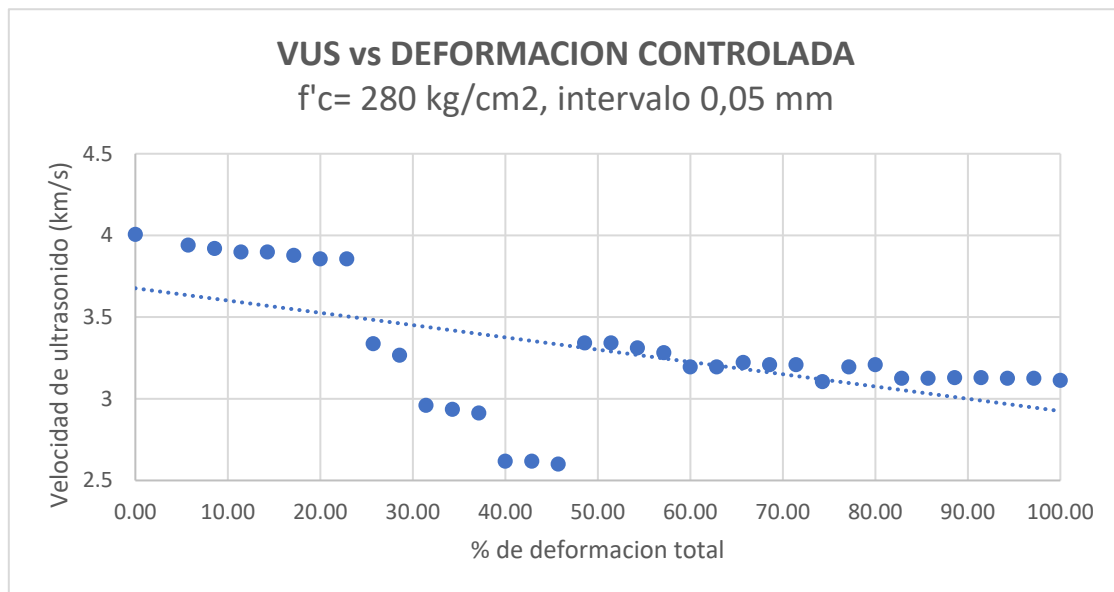


Fuente: Elaboración propia, 2023.

Ecuación 15 Velocidad de los pulsos de ultrasonido

Tramo:	Ecuación
0 – 100 %	$y = -0.0149x + 4.3264$

Figura 53. $F'c = 280 \text{ kg/cm}^2$, Ensayo deformación vs Velocidad de ultrasonido

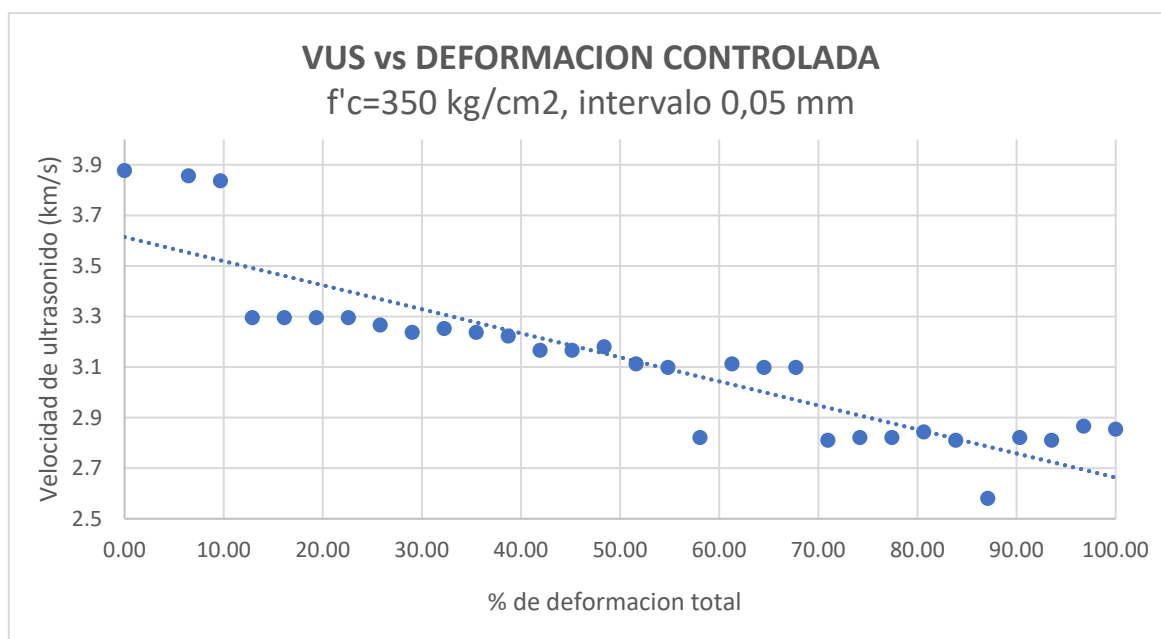


Fuente: Elaboración propia, 2023.

Ecuación 16 Velocidad de los pulsos de ultrasonido

Tramo:	Ecuación
0 – 100 %	$y = -0.0075x + 3.6765$

Figura 54. $f'c= 350 \text{ kg/cm}^2$, Ensayo deformación vs Velocidad de ultrasonido



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Ecuación 17 Velocidad de los pulsos de ultrasonido

Tramo:	Ecuación
0 – 100 %	$y = -0.0095x + 3.614$

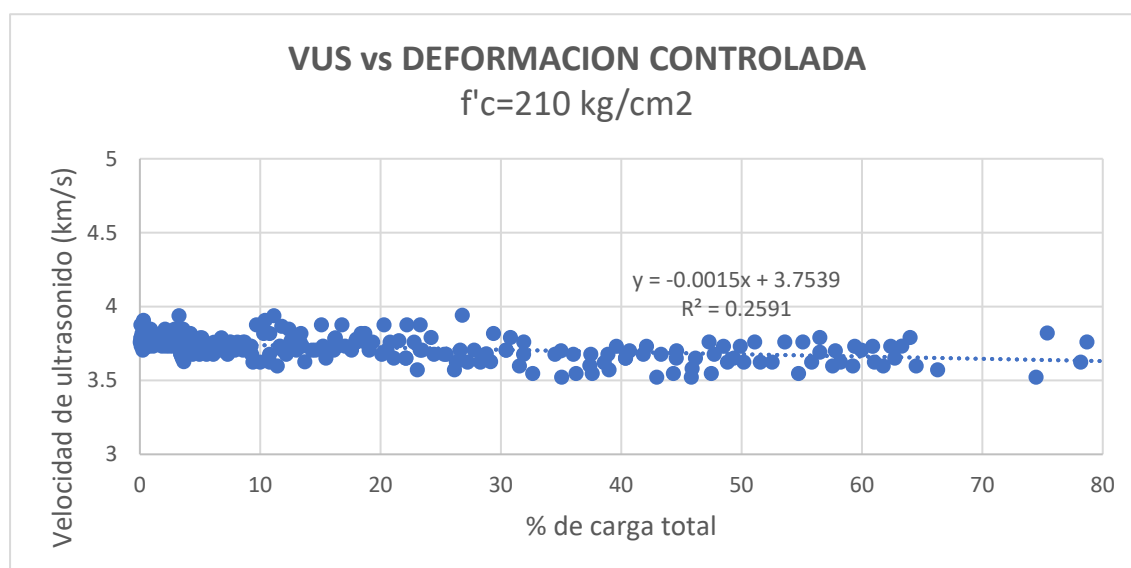
En general, la tendencia es a mostrar un comportamiento lineal, en donde no está bien definida la transición entre el inicio de las micro fisuras y la generalización de las mismas, es de entender este comportamiento por la falla tiene una sola superficie o fisura, contrario a de compresión en donde es una ramificación de superficies.

4.3.6 Evolución de microfisuras con aplicación de deformación 0.02 mm/min

En el objetivo de mejorar cada vez más la obtención de la evolución de las micro fisuras, en un equipo de carga/deformación se somete vigas de $10 \times 10 \times 35$, en este caso la tendencia general se ajusta a la linealidad, el nivel bajo de deformación permite el desarrollo de las micro fisuras y a la vez la obtención de la carga.

Las figuras N° 55 y 56 muestran las correlaciones obtenidas.

Figura 55. $F'c= 210 \text{ kg/cm}^2$, Ensayo deformación vs Velocidad de ultrasonido

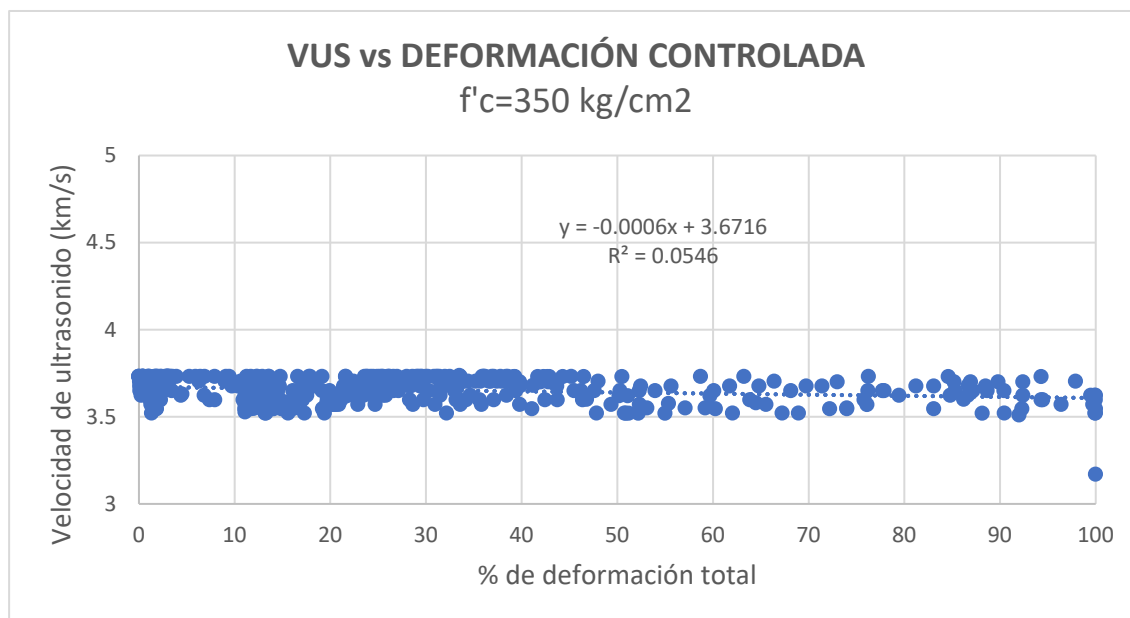


Fuente: Elaboración propia, 2023.

Ecuación 18 Velocidad de los pulsos de ultrasonido

Tramo:	Ecuación
0 – 100 %	$y = -0.0015x + 3.7539$

Figura 56. $F'c= 350 \text{ kg/cm}^2$, Ensayo deformación vs Velocidad de ultrasonido



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Ecuación 19 Velocidad de los pulsos de ultrasonido

Tramo:	Ecuación
0 – 100 %	$y = -0.0006x + 3.6716$

Y = Velocidad de ultrasonido

4.3.7 Análisis integral de los resultados y discusión

La evaluación del estado de un pavimento si es factible mediante la utilización de la tecnología del ultrasonido, los resultados de laboratorio indican que existe una disminución de la velocidad de ultrasonido conforme se aplica la carga, esto puede trasladarse a los pavimentos en el estado avanzado de fatiga por aplicación cíclica de los ejes de los vehículos, una evaluación inicial en tiempo de servicio cero es necesario para este historial.

Por otro lado, se puede concluir que las micro fisuras si se desarrollan desde los primeros estadios de aplicación de carga con tendencia al comportamiento lineal, aunque en algunos casos se avanzan en un rango del 80 % en promedio de aplicación de carga, en el resto de aplicación se observa un decrecimiento de la pendiente o con tendencia a la correlación cuadrática, en ambos casos se observa el aumento de micro fisuras hasta la falla abrupta.

En general se observa una tendencia lineal de evolución de las micro fisuras en forma independiente de la forma de aplicación de la carga o deformación y de la resistencia, en todo caso como referencia y aplicación a pavimentos rígidos se propone un cuadro comparativo para la resistencia de 350 kg/cm^2 .

CAPITULO V:

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5. CONCLUSIONES

- 5.1.1 La tecnología de ultrasonido es factible para determinar la evolución de las microfisuras en la resistencia a la tracción del concreto de pavimentos rígidos. Los resultados muestran que la transición de micro a macrofisura se produce posterior al 80% de la aplicación de la carga.
- 5.1.2 Las microfisuras son de desarrollo constante, es decir no hay un intervalo muerto en donde ellas no se desarrollen, incluso en los primeros estadios de aplicación de la carga, hasta el 80% de la aplicación esta se desarrolla en forma lineal magnitud y ello debido a la interacción interna en el concreto que redistribuye los esfuerzos para evitar la falla.
- 5.1.3 Se establece correlación lineal, aunque se observa dos zonas ligeramente diferenciables, una de variación lineal entre hasta el 80% de la carga y otra tendencia lineal una poco más pronunciada y/o polinómica en la zona final. En concordancia con la resistencia requerida en pavimentos rígidos se tiene para una resistencia de 350 kg/cm^2 :

	Ecuación
Carga controlada	$y = -0.0061x + 4.2586$
Deformación controlada	$y = -0.0095x + 3.614$

- 5.1.4 El umbral en el cual una microfisura se propaga y pasa al rango de macrofisura, no es muy claro en los resultados, pero pasado el 80% de aplicación de carga se observa un decaimiento notorio por lo cual podemos establecer que ese cambio de estado se da posterior a el 80% de la aplicación de la carga de falla.

6. RECOMENDACIONES

- 6.1.1 Continuar la investigación en ensayos no destructivos, utilizando otros métodos como las emisiones acústicas o rayos x para corroborar los resultados
- 6.1.2 Evaluar el desarrollo de las microfisuras con muy bajas velocidades de aplicación de carga para obtener resultados más consistentes en la evolución de las microfisuras
- 6.1.3 Evaluar el desarrollo de las microfisuras con muy bajas tasas de deformación controladas de aplicación de carga para obtener resultados más consistentes en la evolución de las microfisuras
- 6.1.4 Intensificar la investigación en el rango de microfisura con una velocidad de aplicación de carga menor lo cual podría ayudar a reducir el impacto de fuerzas externas en el desarrollo de las fisuras

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

- Alhosseini A., De Borst R., & Van Mier J. (2022). Multiscale simulation of concrete fracture: A review. *Cement and Concrete Composites*, 125, 103968.
- Bazant, Z., & Oliverio, F. (Eds.). (2019). *Fracture mechanics of concrete*. In *Mechanics of concrete structures* (Vol. 38). Springer, Cham.
- Malhotra, V. M. (2022). *Fracture mechanics of concrete*. In *Mechanics of concrete structures*. Cham, Suiza: Springer Nature.
- Cifuentes H., & Medina F. (2013). *Mecánica de la fractura aplicada al hormigón*. Editorial Universidad Católica de Chile.
- Nogueira C. (2009). Ultrasonic wave propagation in concrete. In *Ultrasonic non-destructive testing* (pp. 189-220). Springer, Cham.
- Montejo A. (2013). *Tecnología y patología del concreto armado*. Editorial Universidad Católica de Colombia.
- Crespo S. (Ed) (2016), *Análisis del agrietamiento del concreto a través de la técnica de emisiones acústicas*. Instituto mexicano del transporte. Publicación técnica 479.
- Romero Nieves, M. J., et al. (2022). *Manual de tecnología del concreto tomo 1, 2,3 y 4*. Limusa-UNAM, México, D.F.
- American Concrete Institute (2022). *Resistencia del concreto al ataque químico (ACI 201.2R-2022)*. Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Cemento (CIDETEC).
- Lorenzi, A., Stein, K., Reginatto, L. A., & Pinto da Silva Filho, L. C. (2020). Concrete structures monitoring using ultrasonic tests. *Revista de la construcción*, 19(3), 246–257. <https://doi.org/10.7764/rdlc.19.3>.
- Rivva E (2014), *Ataques al concreto*, Lima, Perú, Editorial ICG
- Peña M (2015), *Viviendo la metrología*, Instituto mexicano de normas técnicas y certificación, México, Editorial ICONTEC
- Toriac J (2004), *Patología de la construcción Grietas y fisuras en obras de hormigón*, Santo Domingo Republica Dominicana, Artículo Ciencia y sociedad
- Cspedes M (2003), *Resistencia del concreto a través de la velocidad de pulso de ultrasonido*, Tesis Universidad de Piura
- Arana J (2002), *Mecánica de fractura*, Servicio Editorial de la universidad del país Vasco.

- Balankin A (2000), Mecánica de la Fractura: Pasado, Presente y Futuro, Congreso nacional de ingeniería electromecánica y de sistemas, ESIME IPN México
- American Concrete Institute. (2020). Recomendaciones para el control de grietas en el hormigón (ACI 234.2R-2020). American Concrete Institute.
- American Concrete Institute. (2022). Recomendaciones para el control de la contracción plástica en el hormigón (ACI 207.1R-2022). American Concrete Institute.
- American Concrete Institute. (2022). Causas, evaluación y reparación de grietas en estructuras de hormigón (ACI 224.1R-2022). American Concrete Institute.
- American Concrete Institute. (2019). Diseño estructural de edificios de hormigón (ACI 318-19). American Concrete Institute.
- Ohtsu, M. (2017). Acoustic emission and related non-destructive evaluation techniques in the fracture mechanics of concrete: fundamentals and applications. Woodhead Publishing.
- Shah, S. S., & Carpinteri, A. (2019). Fracture mechanics test methods for concrete. (2nd ed.). CRC Press.
- Mohamed Sutan, N. y Jaafar, M. S. (2012), Effectiveness of NDTs for the Detection of Concrete Deterioration: Ultrasonic Pulse Velocity Test and Impact-Echo Method. LAP LAMBERT Academic Publishing.
- Instituto Nacional de Estándares Peruanos (2008). NTP 339.034:2008 (Norma técnica peruana). Lima, Perú: Instituto Nacional de Estándares Peruanos.

ANEXOS

Anexo 1 Especificaciones de detector ultrasónico



PIONEERING AND
INNOVATION



ZBL-U5100/U5200 Ultrasonic Detector

The ZBL- U5100 / U5200 is a tool for ultrasound investigations of new generation that allows you to perform different types of tests on concrete structures and on foundation piles through the Cross-Hole methodology.



Applications

- Structural concrete compressive strength, crack depth and defect detection
- Ultrasonic transmission method for rapid detection of pile foundation, continuous wall integrity
- Geological prospecting, rock integrity, weathering evaluation test
- Rock, concrete and other non-metallic materials mechanical properties testing

Features

- Cross-Hole 2 or 3 channels, manual
- Measure the concrete resistance (25/50KHz)
- Localization and Mapping of defects inside the concrete component
- Measuring the depth of the crack

Technical Specification

Item	U5100	U5200
Control mode	Built-in AB industrial control board	
Monitor	5.7 inch, semi inverse semi penetration, TFT	
Operating mode	Touch screen & Keys	
Data storage	Built in electronic hard disk(≥4GB)+ U disk	
Acquisition mode	Single channel manual point by point acquisition	Single and double channel manual point by point acquisition
Number of channels	1 emitter+1 receiver	1 emitter+2 receiver
Trigger	Signal	
Sampling interval(μs)	0.025~1638.4 optional multiple levels	
Acoustic time accuracy(μs)	0.025	
Acoustic time range(μs)	±1677700	
Dynamic range(dB)	154	
Bandwidth(kHz)	3~450	
Receiving sensitivity(μV)	≤10	
Gain accuracy(dB)	0.5	
Transmitting voltage(V)	65, 250,500,1000 optional four levels	
Port	USB, MiniUsb, Wi-Fi, Bluetooth	
Work time(h)	≥5	
Power	Internal	Built-in Lithium Battery
	External	220VAC/DC
Operational environment	Temperature(°C)	-10°C ~ +40°C
	Humidity(RH)	<90%

Figura 57. Equipo de medición ultrasonido para la investigación

Anexo 2 Máquina de compresión

CONSTRUCTION MATERIALS TESTING SOLUTIONS www.controls-group.com

PILOT PRO

Versatile automatic compression machines for standard failure tests

Pilot Pro is the best choice for Quality Control laboratories to carry out a high throughput of routine failure tests including compression, flexure and indirect tensile tests.

Flexible optional second and third frame connection facility via manual selector.

Variable speed with permanent magnet DC motor for superior performances at low load rates and low load value. Soft platen-to-specimen contact for more accurate speed control from the very beginning of the ramp.

Fast approach with dual stage pump and automatic switch to high pressure for loading improving productivity and efficiency.



User-friendly wide graphic color 5.1" display (800 x 480 pixel)

Dual user interface via console display or PC with Datamanager software.

Easy data download to internal printer (optional), PC or USB memory stick.

Optimum accuracy is obtained with 19-bit effective resolution (524,000 datapoint) and extended class-1 range.

Automatic and seamless reporting to all major US LIMS systems via our Data Manager software.

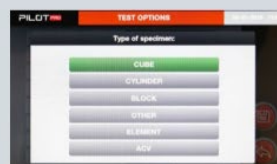
INTUITIVE GRAPHICAL DISPLAY



Intuitive, quick and simple operation – The graphical interface is very intuitive and will guide you through each phase giving you consistency across testing procedures.



Multilingual functionality – The system is available in multiple languages and is fully compatible with non-Latin characters for Chinese, Cyrillic (and more) versions.



Handy test options – Navigate through test options such as type of specimen, type of test, Standards, units of measurements, etc.

Anexo 3 Certificado de calibración pag 1-4



Certificado de Calibración

LFP - 085 - 2022

Laboratorio de Fuerza y Presión

Página 1 de 4

Expediente	1046298	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI) La Dirección de Metrología custodia, conserva y mantiene los patrones nacionales de las unidades de medida, calibra patrones secundarios, realiza mediciones y certificaciones metrológicas a solicitud de los interesados, promueve el desarrollo de la metrología en el país y contribuye a la difusión del Sistema Legal de Unidades de Medida del Perú. (SLUMP). La Dirección de Metrología es miembro del Sistema Interamericano de Metrología (SIM) y participa activamente en las Intercomparaciones que éste realiza en la región. Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones el usuario está obligado a recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.
Solicitante	ROBERTO CACERES FLORES SRL	
Dirección	Calle El Palomar 107b-3b	
Instrumento de Medición	MAQUINA DE ENSAYO UNIAXIAL	
Intervalo de Indicaciones	0 kN a 2 000 kN (*)	
Resolución	0,01 kN	
Marca	CONTROLS	
Modelo	A22P02	
Número de Serie	20005021	
Procedencia	ITALIA	
Clase de Exactitud	NO INDICA	
Fecha de Calibración	2022-03-24	

Este certificado de calibración sólo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Los extractos o modificaciones requieren la autorización de la Dirección de Metrología del INACAL. Certificados sin firma digital y sello carecen de validez.

		Responsable del área	Responsable del laboratorio
		 Firmado digitalmente por DE LA CRUZ GARCIA Leonardo FAU 20600283015 soft Fecha: 2022-03-28 08:49:32	 Firmado digitalmente por SANCHEZ AVILES Ricardo Alfonso FAU 20600283015 soft Fecha: 2022-03-25 10:37:46
Dirección de Metrología		Dirección de Metrología	Dirección de Metrología

Instituto Nacional de Calidad - INACAL
Dirección de Metrología
Calle Las Camelias N° 817, San Isidro, Lima – Perú
Telf.: (01) 640-8820 Anexo 1501
Email: metrologia@inacal.gob.pe
Web: www.inacal.gob.pe

Puede verificar el número de certificado en la página:
<https://aplicaciones.inacal.gob.pe/dm/verificar/>



INACAL

Instituto Nacional
de Calidad

Metrología

Laboratorio de Fuerza y Presión

Certificado de Calibración LFP – 085 – 2022

Página 2 de 4

Método de Calibración

Método de comparación tomando como referencia la Norma ISO 7500-1 "Metallic materials-Verification of static uniaxial testing machines"

Lugar de Calibración

LABORATORIO RCF S.R.L.
Calle El Palomar 107b - 3b - Arequipa

Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	26,6°C	27,7°C

Patrones de referencia

Trazabilidad metrológica	Patrón de medición	Documento de calibración
Patrón de referencia del Centro Nacional de Metrología de México (CENAM)	Transductor de Fuerza LFP 02 038 Clase 0,5	CNM-CC-720-355/2021 DE :2021-08-27
Patrón de referencia del Centro Nacional de Metrología de México (CENAM)	Transductor de Fuerza LFP 02 038 Clase 0,5	CNM-CC-720-356/2021 DE: 2021-08-27

Observaciones

Con fines de identificación se ha colocado una etiqueta autoadhesiva de color verde INACAL-DM.
(*) A solicitud del usuario, la máquina de ensayo se calibró en el intervalo de indicaciones de 100 kN a 1 800 kN .



INACAL
Instituto Nacional
de Calidad

Metrología

Laboratorio de Fuerza y Presión

Certificado de Calibración LFP – 085 – 2022

Página 3 de 4

Resultados de Medición

Dirección de Carga : Compresión

Indicación de Fuerza de la Máquina de Ensayo		Indicación en el transductor de fuerza patrón						Error de medición
		1ª Serie Ascenso	2ª Serie Ascenso	3ª Serie Ascenso	3ª Serie Descenso	4ª Serie - Accesorios Ascenso	Promedio	
(%)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)
5	100,00	99,13	99,35	99,37	-----	-----	99,28	0,72
10	200,00	198,37	198,85	198,41	-----	-----	198,54	1,46
20	400,00	397,38	398,19	396,93	-----	-----	397,50	2,50
30	600,00	596,65	594,82	595,20	-----	-----	595,56	4,44
40	800,00	797,56	795,91	794,77	-----	-----	796,08	3,92
50	1 000,00	995,89	996,34	995,38	-----	-----	995,87	4,13
60	1 200,00	1 195,37	1 194,18	1 194,36	-----	-----	1 194,64	5,36
70	1 400,00	1 396,25	1 396,37	1 394,46	-----	-----	1 395,69	4,31
80	1 600,00	1 595,14	1 598,08	1 596,73	-----	-----	1 596,65	3,35
90	1 800,00	1 795,76	1 797,51	1 795,46	-----	-----	1 796,24	3,76

Errores Encontrados del Sistema de Medición de Fuerza

Valor Nominal		Errores de medición relativos encontrados en %					Incertidumbre del error de medición U (%) k=2
		Indicación g	Repetibilidad b	Reversibilidad v	Resolución Relativa a	Error con Accesorios	
(%)	(kN)						
5	100,00	0,72	0,24	-----	0,10	-----	0,34
10	200,00	0,73	0,24	-----	0,05	-----	0,33
20	400,00	0,63	0,32	-----	0,03	-----	0,24
30	600,00	0,75	0,31	-----	0,02	-----	0,24
40	800,00	0,49	0,35	-----	0,01	-----	0,25
50	1 000,00	0,41	0,10	-----	0,01	-----	0,16
60	1 200,00	0,45	0,10	-----	0,01	-----	0,16
70	1 400,00	0,31	0,14	-----	0,01	-----	0,17
80	1 600,00	0,21	0,18	-----	0,01	-----	0,18
90	1 800,00	0,21	0,11	-----	0,01	-----	0,16
Error relativo de cero f_0		0,06					

Clase de la escala de la máquina	Valor máximo permitido % Según la Norma ISO 7500-1				
	Indicación g	Repetibilidad b	Reversibilidad v	Resolución Relativa a	Cero f_0
0,5	±0,5	0,5	±0,75	0,25	±0,05
1	±1,0	1,0	±1,5	0,5	±0,1
2	±2,0	2,0	±3,0	1,0	±0,2
3	±3,0	3,0	±4,5	1,5	±0,3

kN = kilonewton

La estimación de la incertidumbre fue realizada según el anexo C de la ISO 7500-1.

Instituto Nacional de Calidad - INACAL

Dirección de Metrología

Calle Las Camelias N° 817, San Isidro, Lima – Perú

Tel.: (01) 640-8820 Anexo 1501

email: metrologia@inacal.gob.pe

WEB: www.inacal.gob.pe



INACAL
Instituto Nacional
de Calidad

Metrología

Laboratorio de Fuerza y Presión

Certificado de Calibración **LFP – 085 – 2022**

Página 4 de 4

Incertidumbre

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar combinada por el factor de cobertura $k=2$. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la Incertidumbre en la Medición", segunda edición, julio del 2001 (Traducción al castellano efectuada por Indecopi, con autorización de ISO, de la GUM, "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement", corrected and reprinted in 1995, equivalente a la publicación del BIPM JCGM:100 2008, GUM 1995 with minor corrections "Evaluation of Measurement Data - Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement").

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

Recalibración

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

DIRECCION DE METROLOGIA

El Servicio Nacional de Metrología (actualmente la Dirección de Metrología del INACAL), fue creado mediante Ley N° 23560 el 6 enero de 1983 y fue encomendado al INDECOPÍ mediante Decreto Supremo DS-024-93 ITINCI.

El 11 de julio 2014 fue aprobada la Ley N° 30224 la cual crea el Sistema Nacional de Calidad, y tiene como objetivo promover y garantizar el cumplimiento de la Política Nacional de Calidad para el desarrollo y la competitividad de las actividades económicas y la protección del consumidor.

El Instituto Nacional de Calidad (INACAL) es un organismo público técnico especializado adscrito al Ministerio de Producción, es el cuerpo rector y autoridad técnica máxima en la normativa del Sistema Nacional de la Calidad y el responsable de la operación del sistema bajo las disposiciones de la ley, y tiene en el ámbito de sus competencias: Metrología, Normalización y Acreditación.

La Dirección de Metrología del INACAL cuenta con diversos Laboratorios Metrológicos debidamente acondicionados, instrumentos de medición de alta exactitud y personal calificado. Cuenta con un Sistema de Gestión de la Calidad que cumple con las siguientes Normas internacionales vigentes ISO/IEC 17025; ISO 17034; ISO 27001 e ISO 37001; con lo cual se constituye en una entidad capaz de brindar un servicio integral, confiable y eficaz de aseguramiento metrológico para la industria, la ciencia y el comercio brindando trazabilidad metrológicamente válida al Sistema Internacional de Unidades SI y al Sistema Legal de Unidades de Medida del Perú (SLUMP).

La Dirección de Metrología del INACAL cuenta con la cooperación técnica de organismos metrológicos internacionales de alto prestigio tales como: el Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) de Alemania; el Centro Nacional de Metrología (CENAM) de México; el National Institute of Standards and Technology (NIST) de USA; el Centro Español de Metrología (CEM) de España; el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) de Argentina; el Instituto Nacional de Metrología (INMETRO) de Brasil; entre otros.

SISTEMA INTERAMERICANO DE METROLOGIA- SIM

El Sistema Interamericano de Metrología (SIM) es una organización regional auspiciado por la Organización de Estados Americanos (OEA), cuya finalidad es promover y fomentar el desarrollo de la metrología en los países americanos. La Dirección de Metrología del INACAL es miembro del SIM a través de la subregión ANDIMET (Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela) y participa activamente en las Intercomparaciones realizadas por el SIM.

Anexo 7 Certificado de cumplimiento

شهادة – Certificat – 증명서 – 證明書 – Сертификат – Certificate of Compliance

Certificate of Compliance

No. 2W170829.BZSDN12

Certificate's Holder:

Beijing ZBL Science and Technology Co., Ltd.
75-A Dewai Street, Xicheng District, Beijing, China



Certification ECM Mark:



®
Type
Approved

Product:
Model(s):

Ultrasonic Detector
ZBL-U5100

Verification to:

Standard:
EN 61326-1:2013, EN 61010-1:2010
UNE-EN 12668-1
related to CE Directive(s):
2014/35/EU (Low Voltage)
2014/30/EU (Electromagnetic Compatibility)

Remark: The product(s) has been verified on a voluntary basis. The product(s) satisfies the requirements of the Certification Mark of ECM, in reference to the above listed Standard(s). The above Compliance Mark can be affixed on the product(s) accordingly to the ECM regulation about its release and its use. The regulation can be found at www.entecerma.it. This Certificate of Compliance can be checked for validity at www.entecerma.it.
 This verification doesn't imply assessment of the production of the product(s).

Additional information, clarification about the CE Marking:
 We attest that a TCF for the CE Marking process is in place. Whereas the Manufacturer is Responsible to start the **CE Marking Certification Procedure** and to perform all the necessary activities, as required by the Directive before placing the CE Mark on the product(s).



Date of issue 29 August 2017

Chief Manager
Marta Morita




截图(Alt + A)

Expiry date 28 August 2022

Deputy Manager
Amanda Payne




Ente Certificazione Macchine Srl

Via Ca' Bella, 243 – Loc. Castello di Serravalle – 40053 Valsamoggia (BO) – ITALY

+39 051 6705141 +39 051 6705156 info@entecerma.it www.entecerma.it

Anexo 8 Certificado de calibración - laboratorio



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LC - 002



Certificado de Calibración

CALIBRATION CERTIFICATE

Laboratorio
Laboratory

Masa
Mass

Código N° E546-920B-2022-3
Code N°

ISO / IEC 17025

Estos resultados están relacionados únicamente con el ítem descrito en este certificado. [These results are only related to the item described in this certificate.]

Es responsabilidad del cliente establecer la frecuencia de calibración de su instrumento, de acuerdo a sus propios usos y exigencias. [It is the customer's responsibility to establish the calibration frequency of their instrument, according to their own uses and requirements.]

LO JUSTO SAC, no se hace responsable por los perjuicios que pueda ocasionar el uso incorrecto o inadecuado del instrumento aquí o de este documento. [LO JUSTO S.A.C. is not responsible for any damage that may be caused by the incorrect or inappropriate use of the instrument described here or of this document.]

Este certificado se emite de manera electrónica. Si existe alguna duda, en la veracidad del presente certificado podrá consultarlo directamente a través de su dispositivo electrónico con el código QR. También puede consultar en el E-mail lojusto@lojusto.com

This certificate is issued electronically. If there is any doubt, the veracity of this certificate can be consulted directly through your electronic device with the QR code. You can also consult in the E-mail lojusto@lojusto.com

a. Solicitante: ROBERTO CACERES FLORES S.R.L.
Applicant

b. Dirección solicitante: CAL.EL PALOMAR 107 LOTE. B-3B,
Applicant address AREQUIPA - AREQUIPA - AREQUIPA

c. Instrumento de medida: Instrumento de pesaje de
Measuring instrument funcionamiento no automático

d. Marca: T-Scale
Manufacturer / Brand

e. Modelo: PRW-30++
Model:

f. Numero de serie: 105120120003
Serial Number:

g. Identificación: Eq-557
Internal code

h. Lugar de calibración: Laboratorio de Masa de LO JUSTO
Calibration Place S.A.C.

i. Fecha de calibración: 2022-03-15
Calibration Date

j. Supervisor de Laboratorio: Gian Carlos, Malca Correa
Laboratory Supervisor Supervisor de Laboratorio
Laboratory Supervisor

k. Signatario autorizado:
Authorized signatory



Jose Luis Rosales Saavedra
LO JUSTO S.A.C.
CONTROL OPERACIONES
controloperaciones@lojusto.com
Fecha: 16/03/2022 10:08
Firmado con www.tocapu.pe



Este certificado de calibración sólo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Los extractos o modificaciones requieren la autorización de la Dirección de LO JUSTO S.A.C.
Certificados sin firma digital carecen de validez.

FT00-INRE-Edición digital 00

Anexo 9 Certificado de calibración - laboratorio



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LC - 002



Laboratorio Masa Código N° E546-920B-2022-3
Laboratory Mass Code N°

ISO / IEC 17025

1 Información del instrumento

Instrument Information

Instrumento calibrado

Calibrated instrument

Capacidad máxima <i>Maximum capacity</i>	Tipo <i>Type</i>	Clase de exactitud <i>Accuracy class</i>	Calibrado hasta <i>Calibrated to</i>	División de escala <i>Scale division</i>	División escala verificación <i>Verification scale division</i>
30000 g	Electrónica	No indica	30000,0 g	0,1 g	No indica

2 Trazabilidad :

Traceability :

Patrón utilizado <i>Pattern used</i>	Identificación <i>Identification</i>	Valor nominal <i>Nominal value</i>	Documento de calibración <i>Calibration document</i>
Juego de pesas	LM-I-005	10 mg a 500 g	INTERNO-2021-115
Juego de pesas	LM-I-005	1 kg a 5 kg	LM-C-348-2021
Pesa de trabajo	LM-I-019	10 kg	INTERNO-2021-105
Pesa de trabajo	LM-I-015	20 kg	INTERNO-2021-52
--	--	--	--
--	--	--	--

3 Instrumentos auxiliares :

Instruments auxiliary :

Instrumentos auxiliares: termómetro e higrómetro con certificados de calibración: INTERNO-2021-53.

Auxiliary instruments: thermometer and hygrometer with calibration certificates: INTERNO-2021-53.

4 Procedimiento de calibración:

Calibration procedure:

PC-011. Procedimiento de Calibración de Balanzas de Funcionamiento No Automático Clase I y Clase II. Método de Comparación Directa Contra Cargas Aplicadas de Valor Conocido (Pesas Patrón). Ed. 4. 2010. INDECOPI-SNM. Lima - Perú.

PC-011. Calibration Procedure for Non-Automatic Class I and Class II Balances. Direct Comparison Method Against Applied Loads of Known Value (Standard Weights). Ed. 4. 2010. INDECOPI-SNM. Lima Peru.

5 Condiciones Ambientales

Environmental conditions

Mínima <i>Minimum</i>		Máxima <i>Maximum</i>	
Temperatura <i>Temperature</i>	Humedad relativa <i>Relative humidity</i>	Temperatura <i>Temperature</i>	Humedad relativa <i>Relative humidity</i>
21,6 °C	57 %	22,0 °C	61 %

Anexo 10 Certificado de calibración - laboratorio 2



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LC - 002



Laboratorio Masa
Laboratory Mass

Código N° E546-920B-2022-3
Code N°

6 Resultados de Calibración

Results of Calibration

Diagrama de Resultados:

Results Diagram

RESULTADOS ANTES DEL AJUSTE

Results before adjustment

Masa convencional Mass conventional (g)	Indicación del instrumento Instrument indication (g)	Error inicial Initial error (g)	Error inicial Initial error (%)	Tipo de ajuste realizado Type of adjustment made	Ajuste se realizó con pesa Adjustment was performed with weight
5000,0	4997,1	-2,9	-0,058	Excentricidad	Interno del instrumento
10000,0	9995,2	-4,8	-0,048	Linealidad	Del solicitante
20000,0	19994,2	-5,8	-0,029	Span X	Externa al cliente* X
30000,0	29992,5	-7,5	-0,025	Ninguno	Ninguno

* Propiedad de LO JUSTO S.A.C.

* Property of LO JUSTO S.A.C.

INSPECCION VISUAL

Visual inspection

Prueba Test	Resultado Result	Prueba Test	Resultado Result	Prueba Test	Resultado Result	Prueba Test	Resultado Result
Ajuste de cero	Tiene	Plataforma	Tiene	Escala	No tiene ☐	Nivelación	Tiene
Oscilación libre	Tiene	Sistema de traba	No tiene ☐	Cursor	No tiene ☐		

RESULTADOS DE LA CALIBRACION

Calibration results

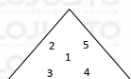
ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

Eccentricity test

Posición de las cargas / Position of the loads



Si
Yes



No
No



No
No

Inicial Initial	Final Final
21,6 °C	61 %
21,9 °C	59 %

Posición de la carga Load position	Determinación de E_0 Determination of E_0				Determinación de error corregido E_c Determination of Corrected Error E_c					emp (± g)
	Carga mínima* Minimum load	I (g)	ΔL (g)	E ₀ (g)	Carga L Load L	I (g)	ΔL (g)	E (g)	E _c (g)	
1	1,0 g	1,0	0,07	-0,02	10000,0 g	10000,2	0,05	0,20	0,22	2,00
2		1,0	0,07	-0,02		10000,6	0,08	0,57	0,59	2,00
3		1,0	0,06	-0,01		10000,4	0,05	0,40	0,41	2,00
4		1,0	0,08	-0,03		10000,2	0,05	0,20	0,23	2,00
5		1,0	0,08	-0,03		10000,5	0,05	0,50	0,53	2,00

* Valor entre 0e y 10e

Value between 0e and 10e

$E = I + \frac{1}{2} \Delta L - L$

$E_c = E - E_0$

Anexo 11 Certificado de calibración - laboratorio 3



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LC - 002



Laboratorio Masa Código N° E546-920B-2022-3
Laboratory Mass Code N°

ENSAYO DE REPETIBILIDAD Repeatability test

Initial	Final
21,9 °C	21,9 °C
57 %	58 %

Medición Measurement N°	Carga L ₁ : 15000,0 g Load L ₁			Carga L ₂ : 30000,0 g Load L ₂		
	I (g)	ΔL (g)	E (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)
1	15000,8	0,05	0,80	30000,5	0,07	0,48
2	15000,7	0,06	0,69	30000,4	0,07	0,38
3	15000,5	0,08	0,47	30000,7	0,08	0,67
4	15000,4	0,05	0,40	30000,6	0,08	0,57
5	15000,4	0,05	0,40	30000,5	0,08	0,47
6	15000,5	0,08	0,47	30000,4	0,07	0,38
7	15000,5	0,06	0,49	30000,4	0,05	0,40
8	15000,6	0,05	0,60	30000,6	0,05	0,60
9	15000,6	0,05	0,60	30000,8	0,04	0,81
10	15000,4	0,06	0,39	30000,7	0,04	0,71

$$E = I + \frac{1}{2}d - \Delta L - L$$

Carga / Load (g)	Emax-Emin (g)	emp (± g)
15000,0	0,41	2,00
30000,0	0,43	3,00

ENSAYO DE PESAJE Weighing test

Initial	Final
21,9 °C	22,0 °C
58 %	58 %

Carga / Load L (g)	Carga creciente / Increasing load				Carga decreciente / Decreasing load				emp (± g)
	I (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)	
0	* 1,0	1,0	0,07	-0,02					
1	5,0	5,0	0,07	-0,02	5,0	0,05	0,00	0,02	1,00
2	200,0	200,0	0,07	-0,02	200,0	0,05	0,00	0,02	1,00
3	500,0	500,1	0,08	0,07	500,0	0,06	-0,01	0,01	1,00
4	1000,0	1000,1	0,08	0,07	1000,3	0,07	0,28	0,30	1,00
5	2000,0	2000,1	0,08	0,07	2000,2	0,08	0,17	0,19	1,00
6	5000,0	5000,2	0,07	0,18	5000,3	0,06	0,29	0,31	1,00
7	10000,0	10000,4	0,07	0,38	10000,2	0,07	0,18	0,20	2,00
8	15000,0	15000,1	0,08	0,07	15000,1	0,08	0,07	0,09	2,00
9	20000,0	20000,5	0,07	0,49	20000,1	0,08	0,08	0,10	2,00
10	30000,0	30000,1	0,08	0,08	30000,1	0,08	0,08	0,10	3,00

* Carga para determinar E₀
Load to determine E₀

$$E = I + \frac{1}{2}d - \Delta L - L$$

$$Ec = E - E_0$$

Anexo 12 Certificado de calibración - laboratorio 4



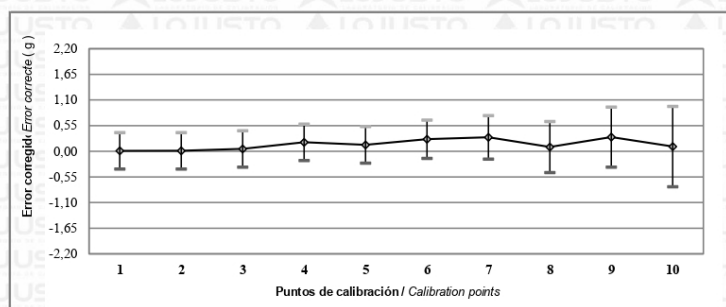
LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LC - 002



Laboratorio Masa
Laboratory Mass

Código N° E546-920B-2022-3
Code N°

Gráfico de errores con su incertidumbre para cada punto de medición en el ensayo de pesaje
Graph of errors with their uncertainty for each measurement point in the weighing test



Fórmula para corregir la lectura indicada por el instrumento:
Formula to correct the reading indicated by the instrument:

$$R_{\text{corregida}} = R - 0,000015791 \cdot R ; [R] = g$$

Fórmula para encontrar la incertidumbre expandida
con un nivel de confianza aproximado del 95 %.
Formula to find expanded uncertainty with a level of confidence of approximately 95%:

$$U_R = 2 \cdot (0,0381205556 + 0,000000000164045 \cdot R^2)^{1/2} ; [UR] = g$$

I : Indicación del instrumento / Instrument indication
E : Error encontrado / Error found
E₀ : Error en cero / Error in zero
Ec : Error Corregido / Error corrected
L : Carga / Load
AL : Carga adicional / Additional load
d : División de escala real / Real scale division
emp : Error máximo permitido / Maximum permissible error
R : Lectura en uso de la balanza / In-use reading of the balance
U_R : Incertidumbre expandida del resultado de una pesada / Expanded uncertainty of weighing result

7 Notas y aclaraciones:

Notes and clarifications:

La incertidumbre expandida de medición reportada en el presente certificado de calibración resulta de multiplicar la incertidumbre estándar combinada por el factor de cobertura k=2 de modo que la probabilidad de cobertura corresponde aproximadamente a un nivel de confianza del 95%. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la expresión de la incertidumbre en la medición".

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre estimada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

The expanded measurement uncertainty reported in this calibration certificate results from multiplying the combined standard uncertainty by the coverage factor k = 2 so that the coverage probability corresponds approximately to a 95% confidence level. Uncertainty was determined according to the "Guide for the expression of uncertainty in measurement". The expanded measurement uncertainty was calculated from the uncertainty components of the influencing factors in the calibration. The estimated uncertainty does not include an estimate of long-term variations.

Se ha colocado etiquetas de color blanco brillante: N° 92627 y N° 016114 con logotipo de LO JUSTO S.A.C. en señal de haber realizado la calibración.

Bright white labels have been placed: N° 92627 and N° 016114 with the logo of LO JUSTO S.A.C. as a sign of having carried out the calibration.

Se ha asumido un valor de $1,0 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ como coeficiente de deriva de la balanza por variación de temperatura para la calibración.

A value of $1,0 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ has been assumed as the drift coefficient of the balance for temperature variation for calibration.

El intervalo de variación de temperatura en el lugar de ubicación de la balanza fue considerado de acuerdo a la variación de temperatura registrada durante la calibración.

The temperature variation interval at the location of the balance was considered according to the temperature variation registered during the calibration.

8 Observaciones y comentarios:

Observations and comments

Solo para efectos de cálculo el valor de división de escala de verificación (e = 1 g) fue considerado de acuerdo a las especificaciones técnicas de los puntos 3.1.2, 3.2 y 3.4.2 de la Norma Metrología Peruana: NMP 003 2009 2ª Edición.

For calculation purposes only the verification scale division value (e = 1 g) it was considered according to the technical specifications of points 3.1.2, 3.2 and 3.4.2 of the Peruvian Metrological Standard: NMP 003 2009 2nd Edition.

Antes de la calibración se realizó ajustes respectivos al instrumento de pesaje hecho por el personal encargado.

** FIN DEL DOCUMENTO **

Figura 58. Equipo de comprensión para la investigación

Anexo 13 Certificado de Laboratorio Acreditado

Certificado



INACAL
Instituto Nacional
de Calidad
Acreditación

La Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad - INACAL, en el marco de la Ley N° 30224, **OTORGA** el presente Certificado de Renovación de la Acreditación a:

ROBERTO CÁCERES FLORES S.R.L.

Laboratorio de Ensayo

En su sede ubicada en: Calle el Palomar N° 107, Lote B - 3B, distrito de Arequipa, provincia de Arequipa y departamento de Arequipa.

Con base en la norma

NTP-ISO/IEC 17025:2017 Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración

Facultándolo a emitir Informes de Ensayo con Símbolo de Acreditación. En el alcance de la acreditación otorgada que se detalla en el DA-acr-06P-21F que forma parte integral del presente certificado llevando el mismo número del registro indicado líneas abajo.

Fecha de Renovación: 20 de abril de 2023
Fecha de Vencimiento: 19 de abril de 2027



Firmado digitalmente por AGUILAR RODRIGUEZ Lidia Patricia FAU
20600283015 soft
Fecha: 2023-05-26 20:07:47
Motivo: Soy el Autor del Documento

PATRICIA AGUILAR RODRIGUEZ
Directora (d.t.), Dirección de Acreditación - INACAL

Fecha de emisión: 16 de mayo de 2023



Cédula N° : 107-2023-INACAL/DA
Adenda N° 02 al Contrato N° 016-2015/INACAL-DA
Registro N° : LE-091

El presente certificado tiene validez con su correspondiente Acta de Acreditación y código de notificación, dado que el alcance puede estar sujeto a modificaciones, reducciones, actualizaciones y suspensiones temporales. El alcance y vigencia debe confirmarse en la página web: www.inacal.gob.pe/acreditacion/categoria/acreditados y/o a través del código QR al momento de hacer uso del presente certificado.

La Dirección de Acreditación del INACAL es firmante del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo (ARM) de los American Accreditation Co-operators (A2LA) e International Accreditation Forum (IAF) y del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo (ARM) de los International Laboratory Accreditation Co-operators (ILAC).

DA-acr-06P-02M Ver. 03

Anexo 14 Cuadro de datos individuales

Cuadro 6. 1° Ensayo de carga en el centro $f'c:210$

TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%	TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%
0.097	3.526	1.34	10.200	0.105	3.508	9.20	69.700
0.097	3.526	0.03	0.200	0.106	3.472	9.65	73.100
0.097	3.526	0.07	0.500	0.106	3.508	9.80	74.200
0.097	3.526	0.05	0.400	0.106	3.490	10.17	77.000
0.098	3.526	0.05	0.400	0.106	3.455	10.48	79.400
0.098	3.526	0.09	0.700	0.107	3.472	10.64	80.600
0.099	3.508	0.07	0.500	0.107	3.455	10.98	83.200
0.100	3.526	0.04	0.300	0.107	3.490	11.31	85.700
0.100	3.508	0.03	0.200	0.107	3.490	11.83	89.600
0.100	3.526	0.04	0.300	0.108	3.337	12.01	91.000
0.100	3.508	0.03	0.200	0.108	3.562	12.35	93.600
0.101	3.526	0.05	0.400	0.108	3.420	12.53	94.900
0.101	3.526	0.03	0.200	0.109	3.472	12.95	98.100
0.101	3.544	0.04	0.300	0.109	3.420	13.20	100.00
0.101	3.508	0.06	0.500	0.109	3.403	13.11	99.300
0.102	3.544	0.03	0.200	0.109	2.750	10.62	80.500
0.102	3.526	0.04	0.300	0.109	2.739	4.78	36.200
0.102	3.526	0.05	0.400	0.110	2.338	1.62	12.300
0.102	3.508	0.03	0.200	0.110	2.102	0.98	7.400
0.102	3.508	0.06	0.500	0.111	2.102	0.98	7.400
0.102	3.526	0.52	3.900	0.111	1.942	0.62	4.700
0.102	3.387	0.67	5.100	0.111	1.800	0.51	3.900
0.103	3.438	1.21	9.200	0.112	1.948	0.42	3.200
0.103	3.906	1.85	14.000	0.112	1.824	0.39	3.000
0.103	3.526	2.57	19.500	0.112	1.828	0.35	2.700
0.103	3.455	3.39	25.700	0.112	1.828	0.38	2.900
0.103	3.544	4.16	31.500	0.113	1.022	0.31	2.300
0.103	3.638	4.88	37.000	0.113	1.848	0.28	2.100
0.103	3.526	6.62	50.200	0.113	1.843	0.29	2.200
0.104	3.581	6.31	47.800	0.114	1.727	0.27	2.000
0.104	3.638	6.65	50.400	0.113	1.727	0.25	1.900
0.103	3.321	7.16	54.200	0.114	1.838	0.27	2.000
0.104	3.526	7.69	58.300	0.114	1.727	0.23	1.700
0.104	3.508	8.04	60.900	0.114	1.723	0.25	1.900
0.104	3.508	8.29	62.800	0.115	0.930	0.23	1.700
0.104	3.472	8.47	64.200	0.115	0.970	0.28	2.100
0.105	3.455	8.74	66.200				

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Cuadro 7.*2° Ensayo de carga en el centro $f'c:210$*

TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%	TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%
0.007	3.819	1.45	9.500	0.015	3.660	9.23	60.500
0.007	3.798	1.34	8.800	0.015	4.090	9.58	62.800
0.007	3.798	1.40	9.200	0.016	3.800	9.71	63.700
0.008	3.798	0.03	0.200	0.016	3.800	9.84	64.500
0.008	3.819	0.07	0.500	0.016	3.660	9.96	65.300
0.008	3.819	0.06	0.400	0.016	3.660	10.25	67.200
0.009	3.819	0.03	0.200	0.016	3.740	10.71	70.200
0.009	3.819	0.04	0.300	0.017	4.120	11.02	72.300
0.010	3.819	0.06	0.400	0.017	3.740	11.19	73.400
0.010	3.798	0.05	0.300	0.017	3.800	11.34	74.400
0.010	3.798	0.04	0.300	0.017	4.170	11.50	75.400
0.010	3.819	0.06	0.400	0.018	3.760	11.83	77.600
0.011	3.819	0.03	0.200	0.018	3.740	12.15	79.700
0.011	3.798	0.03	0.200	0.018	3.640	12.31	80.700
0.011	3.819	0.02	0.100	0.018	3.800	12.78	83.800
0.011	3.898	0.06	0.400	0.019	3.760	13.10	85.900
0.012	3.859	0.02	0.100	0.019	3.620	13.26	87.000
0.012	3.862	0.13	0.900	0.019	3.680	13.41	87.900
0.012	3.819	0.79	5.200	0.019	3.860	13.75	90.200
0.012	3.777	2.47	16.200	0.019	3.640	13.90	91.100
0.013	3.657	4.22	27.700	0.020	3.620	14.20	93.100
0.013	3.757	5.18	34.000	0.020	3.820	14.36	94.200
0.013	3.819	7.01	46.000	0.020	4.120	14.52	95.200
0.014	3.757	7.80	51.100	0.020	3.640	14.65	96.100
0.014	4.351	8.29	54.400	0.021	3.760	14.95	98.000
0.014	3.798	8.68	56.900	0.020	3.740	15.10	99.000
0.014	3.929	8.80	57.700	0.021	3.660	15.25	100.00
0.015	4.407	9.09	59.600	0.021	3.150	15.25	100.00

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Cuadro 8.*3° Ensayo de carga en el centro $f'c:210$*

TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%	TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%
0.004	3.841	1.29	9.600	0.012	3.760	8.21	60.900
0.004	3.906	1.30	9.600	0.012	3.840	8.40	62.300
0.005	3.906	0.03	0.200	0.012	3.800	8.60	63.800
0.005	3.841	0.10	0.700	0.013	3.950	9.01	66.800
0.005	3.906	0.13	1.000	0.013	3.800	9.11	67.500
0.006	3.884	0.14	1.000	0.014	3.930	9.23	68.400
0.006	3.862	0.14	1.000	0.014	3.950	9.42	69.800
0.007	3.929	0.13	1.000	0.014	3.660	9.55	70.800
0.007	3.906	0.16	1.200	0.014	3.870	9.96	73.800
0.008	3.929	0.14	1.000	0.015	3.860	10.18	75.500
0.008	3.906	0.16	1.200	0.015	3.680	10.51	77.900
0.008	3.951	0.16	1.200	0.015	3.840	10.72	79.500
0.009	3.951	0.15	1.100	0.016	3.780	10.81	80.100
0.009	3.929	0.16	1.200	0.015	3.840	10.25	76.000
0.009	3.906	0.19	1.400	0.016	3.020	10.76	79.800
0.009	3.884	0.17	1.300	0.016	3.860	11.15	82.700
0.009	3.929	0.17	1.300	0.016	4.000	11.45	84.900
0.010	3.929	0.18	1.300	0.017	3.840	11.74	87.000
0.010	3.906	0.46	3.400	0.017	4.170	11.97	88.700
0.010	3.862	0.92	6.800	0.018	3.930	12.31	91.300
0.010	3.841	1.86	13.800	0.018	3.820	12.65	93.800
0.011	3.929	2.32	17.200	0.018	4.090	12.93	95.800
0.011	3.997	3.33	24.700	0.019	3.820	13.23	98.100
0.011	3.862	3.95	29.300	0.019	3.820	13.44	99.600
0.011	3.862	4.70	34.800	0.019	3.530	13.49	100.00
0.011	3.841	6.81	50.500	0.020	3.440	11.86	87.900
0.012	4.02	6.90	51.100	0.020	4.580	9.42	69.800
0.012	3.884	7.60	56.300	0.020	3.720	5.24	38.800
0.012	4.117	8.21	60.900	0.020	3.720	2.44	18.100
0.012	3.757	8.21	60.900	0.021	3.950	1.27	9.400
0.012	3.841	8.40	62.300	0.021	3.950	1.27	9.400

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Cuadro 9.*4° Ensayo de carga en el centro $f'c:210$*

TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%	TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%
0.008	3.777	0.05	0.300	0.016	3.800	12.24	63.900
0.008	3.777	0.09	0.500	0.016	3.820	12.72	66.500
0.008	3.757	0.11	0.600	0.017	3.720	12.91	67.500
0.009	3.757	0.08	0.400	0.017	3.720	13.40	70.000
0.009	3.798	0.10	0.500	0.018	3.720	14.09	73.600
0.010	3.757	0.08	0.400	0.018	3.740	14.26	74.500
0.010	3.777	0.10	0.500	0.018	3.740	14.44	75.400
0.011	3.736	1.27	6.600	0.019	3.700	15.12	79.000
0.012	3.618	6.76	35.300	0.019	3.930	15.54	81.200
0.012	3.929	7.71	40.300	0.019	3.740	16.04	83.800
0.012	3.819	8.00	41.800	0.020	3.740	16.19	84.600
0.012	3.716	8.20	42.800	0.020	3.720	16.67	87.100
0.013	3.841	8.47	44.300	0.020	3.720	16.99	88.800
0.013	3.757	8.88	46.400	0.021	3.580	17.47	91.300
0.014	3.599	9.21	48.100	0.021	3.780	17.62	92.100
0.014	3.716	9.50	49.600	0.021	3.680	18.07	94.400
0.014	3.736	9.77	51.000	0.021	3.580	18.25	95.400
0.014	3.676	10.11	52.800	0.022	3.760	18.60	97.200
0.014	3.777	10.27	53.700	0.022	3.720	18.99	99.200
0.015	3.716	10.89	56.900	0.023	3.680	19.10	99.800
0.015	3.618	11.39	59.500	0.023	3.970	19.14	100.00
0.016	3.657	11.90	62.200				

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Cuadro 10.*5° Ensayo de carga en el centro $f'c:210$*

TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%	TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%
0	4.006	0.03	0.17	25.29	3.94	15.67	89.80
2.29	4.028	0.13	0.74	26.09	3.984	15.8	90.54
3.09	3.98	0.17	0.97	26.9	3.919	15.85	90.83
3.99	4.05	0.17	0.97	27.59	3.94	15.92	91.23
5.29	4.006	0.18	1.03	28.09	3.94	15.97	91.52
6.29	4.028	0.17	0.97	29.09	3.919	16.06	92.03
7.19	4.006	0.26	1.49	30.09	3.919	16.22	92.95
8.99	4.028	0.61	3.50	31.09	3.94	16.33	93.58
9.49	4.006	1.79	10.26	32.19	3.94	16.4	93.98
10.29	4.006	7.24	41.49	33.09	3.919	16.48	94.44
10.99	4.006	8.12	46.53	33.49	3.962	16.52	94.67
12.19	4.028	8.88	50.89	34.39	3.898	16.61	95.19
12.99	4.006	9.5	54.44	35.09	3.919	16.67	95.53
14.19	4.006	10.25	58.74	36.19	3.919	16.79	96.22
14.99	3.904	10.88	62.35	37.09	3.919	16.83	96.45
15.79	4.028	11.51	65.96	38.09	3.898	16.96	97.19
16.79	4.088	12.31	70.54	39.09	3.898	17.04	97.65
17.69	4.073	12.95	74.21	39.9	3.898	17.07	97.82
18.59	3.962	13.78	78.97	40.19	3.898	17.17	98.40
19.39	3.984	14.39	82.46	41.09	3.877	17.27	98.97
20.89	3.94	15.09	86.48	41.89	3.856	17.33	99.31
21.39	3.984	15.25	87.39	41.99	3.877	17.44	99.94
22.29	3.94	15.4	88.25	42.29	3.856	17.44	99.94
23.09	3.984	15.46	88.60	43	3.836	17.44	99.94
23.79	3.962	15.52	88.94	43.89	1.049	17.45	100.00
24.59	3.94	15.61	89.46				

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Cuadro 11.*6° Ensayo de carga en el centro $f'c:210$*

TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%	TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%
0	4.096	0.02	0.13	16.1	4.098	14.18	89.92
1.4	4.058	0.11	0.70	17.3	4.028	15.04	95.37
2	4.073	0.14	0.89	18.1	3.962	15.21	96.45
3.1	4.065	0.16	1.01	18.3	3.962	15.25	96.70
5.1	4.167	2.59	16.42	19.1	3.94	15.31	97.08
6	4.167	6.8	43.12	20.1	4.028	15.48	98.16
7.1	4.073	7.72	48.95	21.2	4.073	15.51	98.35
8	4.028	8.22	52.12	21.8	3.984	15.56	98.67
8.8	4.29	8.76	55.55	22.9	4.09	15.61	98.99
9.3	4.028	9.06	57.45	23.2	4.096	15.66	99.30
10.1	4.073	9.67	61.32	23.5	3.919	15.7	99.56
11.2	4.028	10.4	65.95	23.9	3.962	15.7	99.56
12	4.167	11.17	70.83	24.2	3.962	15.74	99.81
13.2	4.028	11.94	75.71	24.5	3.919	15.77	100.00
14.5	4.006	12.87	81.61	24.8	1.052	15.77	100.00
15.1	4.006	13.34	84.59				

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Cuadro 12.*7° Ensayo de carga en el centro $f'c:210$*

TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%	TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%
0	4.29	0.28	1.74	11.9	4.073	13.44	83.74
0.4	4.167	2.08	12.96	12.3	4.006	13.73	85.55
1.2	4.29	5.57	34.70	12.9	4.028	14.03	87.41
1.5	4.05	6.54	40.75	13.4	4.073	14.5	90.34
1.9	4.191	7.29	45.42	14.2	4.028	15.12	94.21
2.5	4.143	7.6	47.35	15.2	4.096	15.27	95.14
3.4	4.143	8.29	51.65	16.3	4.073	15.47	96.39
3.7	4.028	8.58	53.46	17.4	4.05	15.51	96.64
4.4	4.143	8.71	54.27	17.7	4.028	15.55	96.88
5.4	4.119	9.29	57.88	18.1	4.073	15.6	97.20
6.3	4.096	9.79	61.00	18.4	4.028	15.65	97.51
7.3	4.119	10.69	66.60	19.2	4.028	15.67	97.63
9	4.05	11.43	71.21	20.9	4.028	15.82	98.57
9.9	4.05	11.99	74.70	22	4.096	15.94	99.31
11	4.167	12.69	79.07	23.1	4.05	16.01	99.75
11.5	4.119	13.14	81.87	24.3	2.788	16.05	100.00

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Cuadro 13.*1° Ensayo de carga a dos tercios $f'c:210$*

TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%	TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%
0	4.191	0.1	0.43	23.2	3.085	17.18	73.83
0.8	4.143	0.17	0.73	24.2	3.085	17.39	74.73
2	4.191	0.24	1.03	24.9	3.098	17.49	75.16
2.7	4.096	3.54	15.21	25.7	3.085	17.64	75.81
3.2	4.191	5.04	21.66	26.7	3.085	17.85	76.71
3.6	4.167	7	30.08	27.8	3.085	18.06	77.61
3.99	4.167	8.4	36.10	28.7	3.098	18.26	78.47
4.2	4.167	8.71	37.43	29.9	3.085	18.45	79.29
4.9	4.167	9.23	39.66	30.8	3.098	18.62	80.02
5.2	4.167	9.51	40.87	32	3.098	18.82	80.88
4.7	4.191	9.65	41.47	32.8	3.085	18.98	81.56
5.8	3.502	10.24	44.01	34	3.085	19.28	82.85
6.8	3.502	10.53	45.25	35	3.085	19.44	83.54
7	3.502	10.83	46.54	35.9	3.085	19.61	84.27
7.6	3.519	11.15	47.92	36.8	3.085	19.81	85.13
7.9	3.502	11.3	48.56	37.9	3.072	20.07	86.25
8.2	3.502	11.54	49.59	38.6	3.059	20.18	86.72
8.7	3.502	11.95	51.35	39.2	3.072	20.34	87.41
9.8	3.486	12.97	55.74	40	3.072	20.45	87.88
10.2	3.502	13.35	57.37	40.9	3.085	20.61	88.57
10.8	3.486	13.75	59.09	42	3.085	20.85	89.60
11.4	3.502	14.2	61.02	42.8	3.085	21.01	90.29
12.1	3.486	14.86	63.86	44.8	3.085	21.44	92.14
13.6	3.502	15.4	66.18	45.9	3.085	21.69	93.21
14	3.486	15.44	66.35	47.1	3.072	21.9	94.11
15.2	3.502	15.67	67.34	48.8	3.072	22.25	95.62
15.8	3.502	15.77	67.77	49.8	3.072	22.4	96.26
16.8	3.486	15.94	68.50	50.7	3.072	22.69	97.51
18	3.486	16.15	69.40	51.8	3.059	22.81	98.02
18.8	3.486	16.3	70.05	52.9	3.059	23.03	98.97
19.1	3.502	16.36	70.31	53.8	3.059	23.16	99.53
20	3.486	16.53	71.04	54.8	3.046	23.26	99.96
21.4	3.098	16.79	72.15	55	3.033	23.26	99.96
22	3.098	16.91	72.67	3.877	2.309	23.27	100.00
22.9	3.098	17.1	73.49	55.6	1.285	23.27	100.00

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Cuadro 14.*2° Ensayo de carga a dos tercios $f'c$: 210*

TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%	TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%
0	4.167	0.059	0.22	25.2	3.019	16.89	62.76
1.6	4.119	0.1	0.37	27.2	3.098	17.33	64.40
3.2	4.167	0.13	0.48	28.1	3.098	17.68	65.70
4.1	4.073	0.14	0.52	30.9	3.098	18.04	67.04
5.8	4.119	0.17	0.63	33.4	3.098	18.88	70.16
7.4	4.315	2.52	9.36	35.5	3.085	19.71	73.24
8.6	4.028	8.79	32.66	37.2	3.098	20.4	75.81
9.89	4.096	9.64	35.82	38.9	2.81	21.08	78.34
12	4.028	11.01	40.91	40.6	2.799	21.78	80.94
13.2	4.143	12.24	45.48	42.8	2.788	22.6	83.98
14.2	4.006	14.1	52.40	44.6	2.788	23.33	86.70
16.6	3.537	15.26	56.71	46.1	2.788	23.97	89.07
17.2	3.519	15.45	57.41	48.6	2.788	24.98	92.83
19.6	3.519	15.77	58.60	50.6	2.788	25.81	95.91
21.6	3.125	16.09	59.79	52.3	2.788	26.41	98.14
23.2	3.112	16.5	61.32	54.4	3.072	26.91	100.00

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Cuadro 15.*3° Ensayo de carga a dos tercios f'_c : 210*

TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%	TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%
0	4.191	0.51	1.89	40.5	2.757	19.66	72.84
0.7	4.167	1.65	6.11	44	2.746	20.02	74.18
7.2	3.502	2	7.41	45.5	2.746	20.17	74.73
7.6	3.502	4.87	18.04	47.4	2.746	20.4	75.58
8	3.486	7.99	29.60	49.8	2.316	20.66	76.55
9.2	3.486	9.23	34.20	52	2.309	20.94	77.58
9.8	3.502	9.62	35.64	54	2.316	21.19	78.51
10.4	3.502	10.5	38.90	55.5	2.309	21.36	79.14
11.2	3.486	10.64	39.42	56.9	2.316	21.53	79.77
12.3	3.506	11.41	42.27	60.3	2.309	21.97	81.40
12.8	3.486	11.73	43.46	61.8	2.309	22.18	82.18
13.6	3.486	12.64	46.83	63.54	2.302	22.4	82.99
14.4	3.112	12.94	47.94	65.8	2.309	22.67	83.99
15.2	3.098	13.61	50.43	66.6	2.302	22.87	84.74
15.8	3.098	14.09	52.20	69.2	2.309	23.15	85.77
16.6	3.098	14.74	54.61	70.3	2.309	23.28	86.25
18.2	3.085	15.24	56.47	71.8	2.309	23.45	86.88
19	3.085	15.49	57.39	73.6	2.309	23.69	87.77
19.7	3.085	15.61	57.84	75	2.309	23.9	88.55
20.49	3.085	15.74	58.32	77.4	2.309	24.13	89.40
23	3.085	16.23	60.13	78.5	2.309	24.33	90.14
25.3	3.072	16.61	61.54	80	2.309	24.54	90.92
27.7	3.072	17.07	63.25	81.8	2.309	24.78	91.81
28.6	3.072	17.25	63.91	84.2	2.316	25	92.63
30.4	3.072	17.56	65.06	85.6	2.316	25.24	93.52
32.5	2.757	17.97	66.58	90.54	2.324	25.92	96.04
33.51	2.757	18.22	67.51	93	2.316	26.22	97.15
35.2	2.757	18.48	68.47	96	2.316	26.58	98.48
37.4	2.757	18.87	69.91	98	2.308	26.82	99.37
39.4	2.757	19.27	71.40	100.5	2.309	26.99	100.00

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Cuadro 16.

1° Ensayo de carga en el centro $f'c:280$

TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%	TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%
0	4.028	0.08	0.44	25.5	3.94	14.85	85.59
1	3.962	0.12	0.69	26.6	3.962	18.18	104.78
1.7	4.05	0.15	0.86	27.5	3.962	15.33	88.36
6.41	4.05	0.19	1.10	28.4	3.962	15.48	89.22
7.6	4.167	0.58	3.34	29.4	3.984	15.7	90.49
8.4	4.096	1.54	8.88	30.5	3.984	15.83	91.24
8.8	4.05	3.46	19.94	31.4	3.984	15.95	91.93
9.21	4.119	4.5	25.94	32.4	3.898	16.08	92.68
9.5	4.141	6.83	39.37	33.1	3.94	16.16	93.14
10.71	4.028	7.67	44.21	33.9	3.94	16.28	93.83
10.9	4.006	7.95	45.82	34.4	3.962	16.3	93.95
12	4.119	8.14	46.92	34.8	3.856	16.34	94.18
12.1	4.05	8.38	48.30	35.4	3.984	16.41	94.58
12.7	4.096	8.45	48.70	35.8	3.984	16.5	95.10
13.1	4.028	8.68	50.03	36.71	3.898	16.57	95.50
14.5	4.05	9.12	52.56	37.16	3.984	16.63	95.85
14.9	4.05	9.26	53.37	37.61	3.94	16.67	96.08
15.8	4.119	9.58	55.22	38.41	3.962	16.77	96.66
16.4	4.05	9.62	55.45	39.01	3.94	16.85	97.12
17.71	4.073	10.42	60.06	39.8	3.962	16.95	97.69
17.8	4.096	10.52	60.63	40.6	3.919	17.06	98.33
18.3	4.028	10.73	61.84	41.8	3.898	17.17	98.96
19.3	4.006	11.12	64.09	42.6	3.877	17.25	99.42
19.6	3.94	11.32	65.24	44	3.877	17.34	99.94
19.8	4.05	11.42	65.82	44.21	3.877	17.35	100.00
20.71	4.05	11.86	68.36	44.5	3.919	17.35	100.00
21.41	4.096	12.33	71.07	44.7	3.8556	17.35	100.00
22.31	4.05	12.82	73.89	45.1	3.326	17.36	100.06
23.41	3.984	13.46	77.58	45.3	2.81	17.35	100.00
24.61	3.898	14.29	82.36				

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Cuadro 17.*2° Ensayo de carga en el centro $f'c:280$*

TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%	TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%
0	4.015	0.64	3.17	32.2	3.961	16.76	82.93
0.4	4.191	0.82	4.06	32.5	3.919	16.78	83.03
0.9	4.006	0.93	4.60	32.71	3.919	16.78	83.03
2.9	4.05	0.99	4.90	32.9	3.94	16.83	83.28
6	4.028	0.97	4.80	34	3.919	16.91	83.67
8.1	4.006	1.04	5.15	35.4	3.919	17.06	84.41
9.1	3.919	3.32	16.43	36.2	3.94	17.11	84.66
9.7	4.143	7.43	36.76	37	3.898	17.18	85.01
10	3.962	8.07	39.93	37.8	3.94	17.27	85.45
12.6	4.073	10.58	52.35	38.8	3.94	17.39	86.05
12.9	4.05	10.89	53.88	39.6	3.877	17.5	86.59
13.8	4.006	11.45	56.66	40.9	3.919	17.68	87.48
14.7	4.026	11.79	58.34	41.8	3.919	17.69	87.53
14.9	3.962	12.36	61.16	42.9	3.898	17.87	88.42
15.6	3.94	12.91	63.88	44	3.877	17.88	88.47
16	3.919	13.32	65.91	44.8	3.898	17.98	88.97
17.4	3.984	14.65	72.49	45.6	3.856	18.02	89.16
18	3.962	15.22	75.31	46.1	3.898	18.08	89.46
18.4	3.984	15.25	75.46	49.1	3.898	18.35	90.80
18.6	3.962	15.28	75.61	50.6	3.898	18.52	91.64
19.3	3.919	15.36	76.00	51.5	3.898	18.61	92.08
19.6	3.919	15.44	76.40	52.6	3.898	18.8	93.02
20.4	3.919	15.47	76.55	3.877	3.898	18.83	93.17
22	3.962	15.69	77.63	54	3.919	18.9	93.52
22.81	3.919	15.74	77.88	55	3.919	18.99	93.96
24.1	3.984	15.91	78.72	56.4	3.877	19.18	94.90
25.1	3.919	15.97	79.02	57.7	3.877	19.29	95.45
25.69	3.94	16.02	79.27	57.9	3.919	19.29	95.45
26	3.894	16.02	79.27	58.9	3.919	19.38	95.89
26.9	3.984	16.11	79.71	60.3	3.919	19.54	96.68
27.1	3.962	16.15	79.91	61.4	3.919	19.62	97.08
27.6	3.919	16.19	80.11	62.21	3.919	19.7	97.48
28.4	3.919	16.25	80.41	63.9	3.877	19.91	98.52
29.4	3.919	16.36	80.95	65	3.877	20	98.96
30.2	3.919	16.5	81.64	66.71	3.898	20.18	99.85
30.71	3.962	16.54	81.84	67.4	3.877	20.21	100.00
30.9	3.962	16.6	82.14	66.9	1.065	20.21	100.00
31.9	3.962	16.7	82.63				

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Cuadro 18.*3° Ensayo de carga en el centro $f'c:280$*

TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%	TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%
0	4.073	0.08	0.48	19.5	4.096	14.96	89.96
0.9	4.167	0.13	0.78	20.5	4.05	15.31	92.06
1	4.24	0.13	0.78	22	4.167	15.4	92.60
1.8	4.167	0.15	0.90	23	4.006	15.5	93.21
9	4.265	8.13	48.89	23.7	4.028	15.56	93.57
9.4	4.119	8.38	50.39	24.6	4.096	15.63	93.99
9.8	4.028	8.83	53.10	25.5	4.096	15.72	94.53
10	4.143	8.91	53.58	26.2	4.143	15.84	95.25
10.5	4.167	9	54.12	27.6	4.096	16.04	96.45
11.3	4.119	9.53	57.31	29.1	4.073	16.15	97.11
12.1	4.147	9.8	58.93	29.5	4.073	16.25	97.71
12.9	4.05	10.8	64.94	30.5	4.008	16.34	98.26
13.7	4.167	11.03	66.33	31.5	4.119	16.43	98.80
14.6	4.265	11.21	67.41	33.1	4.006	16.55	99.52
15.5	4.143	12.28	73.84	33.8	3.984	16.6	99.82
16.4	4.05	12.97	77.99	34	3.919	16.6	99.82
17.5	4.119	13.67	82.20	34.1	3.877	16.63	100.00
18.4	4.096	14.23	85.57	34.12	1.618	16.63	100.00

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Cuadro 19.*1° Ensayo de carga a dos tercios f'_c : 280*

TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%	TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%
0	4.006	0.11	0.43	40.6	3.877	19.04	73.66
0.9	4.143	0.13	0.50	40.8	3.898	19.08	73.81
1.7	3.962	0.13	0.50	41.1	3.877	19.17	74.16
6.2	3.984	0.17	0.66	43.9	3.877	19.88	76.91
7.1	3.919	0.17	0.66	45.8	3.877	19.99	77.33
8.9	4.096	2.59	10.02	47.8	3.898	20.38	78.84
9.4	3.919	5.45	21.08	48.2	3.877	20.49	79.26
10	3.962	8.04	31.10	49	3.856	20.64	79.85
10.6	3.877	8.83	34.16	49.6	3.816	20.71	80.12
11	3.962	8.96	34.66	50.6	3.856	20.84	80.62
11.5	3.898	9.19	35.55	51	3.856	21.01	81.28
12	3.898	9.64	37.29	52.1	3.898	21.2	82.01
12.8	3.984	10.05	38.88	53.8	3.856	21.53	83.29
13.9	3.877	10.91	42.21	55.2	3.898	21.77	84.22
14.6	3.898	11.26	43.56	56.6	3.898	21.95	84.91
15.8	3.898	12.49	48.32	56.8	3.877	22.08	85.42
16.9	3.94	13.13	50.79	57.6	3.816	22.23	86.00
18.6	3.919	14.47	55.98	58.7	3.796	22.44	86.81
21.2	3.94	15.48	59.88	60.8	3.898	22.83	88.32
22.89	3.898	15.8	61.12	62.7	3.898	23.15	89.56
23.8	3.877	15.95	61.70	63.6	3.898	23.32	90.21
25.2	3.877	16.18	62.59	64	3.766	23.42	90.60
26	3.877	16.34	63.21	65	3.836	23.6	91.30
26.8	3.836	16.46	63.68	65.9	3.737	23.61	91.33
27.9	3.796	16.68	64.53	66.7	3.836	23.92	92.53
28.7	3.877	16.82	65.07	67.4	3.836	24.05	93.04
29.1	3.849	16.9	65.38	68	3.796	24.15	93.42
29.6	3.898	16.98	65.69	69.6	3.836	24.4	94.39
30.6	3.856	17.18	66.46	69.7	3.898	24.48	94.70
31.2	3.877	17.31	66.96	70.6	3.898	24.65	95.36
32.2	3.862	17.62	68.16	71.4	3.877	24.83	96.05
32.7	3.856	17.75	68.67	72.6	3.877	25.04	96.87
34.5	3.836	17.9	69.25	73	3.877	25.12	97.18
34.8	3.856	18.08	69.94	73.6	3.898	25.2	97.49
36.7	3.898	18.33	70.91	74.2	3.877	25.37	98.14
37.6	3.919	18.48	71.49	75.8	3.836	25.61	99.07
37.8	3.898	18.53	71.68	76.6	3.816	25.75	99.61
39	3.836	18.75	72.53	77.6	1.058	25.85	100.00

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Cuadro 20.*2° Ensayo de carga a dos tercios f'_c : 280*

TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%	TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%
0	4.073	0.22	0.82	22.2	3.098	17.51	65.07
0.6	4.073	0.27	1.00	23.2	3.098	17.68	65.70
1	4.143	0.72	2.68	24.9	3.098	18.04	67.04
1.4	4.096	2.52	9.36	25.6	3.098	18.14	67.41
2.2	4.05	6.78	25.20	26.8	3.098	18.71	69.53
3	4.073	8.91	33.11	27.89	3.098	19.08	70.90
3.4	4.096	9.17	34.08	29.2	3.098	19.63	72.95
4.2	4.028	9.79	36.38	30.1	3.098	19.95	74.14
5.2	4.073	10.67	39.65	31.3	3.098	20.48	76.11
6.1	4.028	11.35	42.18	32.3	3.098	20.84	77.44
7.3	4.028	12.39	46.04	33.2	3.085	21.17	78.67
8.2	4.028	13.33	49.54	34.1	2.799	21.52	79.97
9.2	4.028	13.89	51.62	35.2	2.799	21.97	81.64
9.8	3.537	14.7	54.63	36.3	2.799	22.44	83.39
10.6	3.519	15.28	56.78	37.4	2.799	22.87	84.99
11.3	3.537	15.37	57.12	38.3	2.799	23.24	86.36
12.2	3.537	15.48	57.53	39.3	2.788	23.6	87.70
13.2	3.519	15.67	58.23	40.3	2.799	24.08	89.48
14.2	3.537	15.87	58.97	41.4	2.799	24.62	91.49
14.8	3.125	15.98	59.38	42.5	2.799	24.89	92.49
15.4	3.112	16.06	59.68	43.4	2.788	25.27	93.91
16.4	3.125	16.29	60.54	44.6	2.788	25.81	95.91
17.5	3.112	16.5	61.32	45.6	2.788	26.17	97.25
18.6	3.098	16.76	62.28	46.5	2.788	26.5	98.48
19.6	3.112	18.08	67.19	47.6	2.799	26.91	100.00
20.1	3.098	17.09	63.51	48.2	3.072	26.91	100.00
21.2	3.098	17.33	64.40				

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Cuadro 21.*3° Ensayo de carga a dos tercios f'_c : 280*

TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%	TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%
0	4.24	1.68	6.22	36.8	3.404	20.29	75.18
0.7	4.24	3.03	11.23	37.7	3.42	20.5	75.95
1.4	4.215	8.88	32.90	39	3.436	20.71	76.73
2	4.215	9.8	36.31	40	3.388	20.91	77.47
2.8	4.215	10.37	38.42	42	3.42	21.3	78.92
3.6	4.191	10.83	40.13	43	3.404	21.47	79.55
4.4	4.149	11.64	43.13	44.3	3.436	21.72	80.47
5.6	4.119	12.44	46.09	45.6	3.42	21.94	81.29
6.4	4.05	13.15	48.72	46.2	3.372	22.11	81.92
7.6	4.143	14.17	52.50	47.4	3.404	22.32	82.70
8.6	4.167	14.85	55.02	48.5	3.42	22.53	83.48
10.1	4.145	15.36	56.91	48.7	3.404	22.74	84.25
11.1	4.215	15.53	57.54	50.7	3.42	22.91	84.88
12.6	4.096	15.8	58.54	51.8	3.42	23.12	85.66
13.8	4.096	16.03	59.39	52.8	3.404	23.29	86.29
14.9	3.962	16.22	60.10	53.9	3.404	23.49	87.03
16	4.006	16.49	61.10	54.8	3.404	23.67	87.70
16.9	3.898	16.61	61.54	55.8	3.404	23.89	88.51
17.9	4.167	16.76	62.10	57	3.42	24.09	89.26
18.8	4.05	16.93	62.73	58.2	3.388	24.35	90.22
19.8	4.119	17.18	63.65	59.1	3.372	24.48	90.70
21	4.119	17.33	64.21	60.1	3.372	24.69	91.48
21.9	3.94	17.53	64.95	61.1	3.404	24.84	92.03
23.1	3.984	17.74	65.73	62.2	3.059	25.11	93.03
24.2	3.962	17.98	66.62	63.9	3.426	25.35	93.92
25.8	4.028	18.28	67.73	64.9	3.42	25.52	94.55
27	4.028	18.49	68.51	65.9	3.388	25.75	95.41
27.8	4.028	18.53	68.66	66.9	3.404	25.95	96.15
28.8	4.028	18.82	69.73	67.7	3.42	26.07	96.59
29.9	4.006	19	70.40	68.9	3.42	26.32	97.52
30.9	4.05	19.2	71.14	69.6	3.436	26.43	97.93
32.2	4.006	19.44	72.03	70.2	3.42	26.56	98.41
33.2	3.962	19.67	72.88	70.7	3.388	26.56	98.41
34.2	3.984	19.84	73.51	71	3.404	26.7	98.93
35.2	4.006	20.05	74.29	72.99	3.404	26.8	99.30
36	3.404	20.2	74.84	72.9	1.506	26.99	100.00

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Cuadro 22.*1° Ensayo de carga en el centro $f'c:350$*

TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%	TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%
0.004	3.777	1.41	7.900	0.012	3.736	11.56	64.900
0.004	3.798	0.08	0.400	0.012	3.736	11.56	64.900
0.004	3.819	0.07	0.400	0.013	3.862	12.53	70.300
0.005	3.777	0.08	0.400	0.014	3.676	12.72	71.400
0.006	3.819	0.09	0.500	0.014	3.716	13.34	74.900
0.006	3.819	0.10	0.600	0.014	3.757	13.75	77.200
0.006	3.798	0.70	3.900	0.014	3.716	14.14	79.300
0.008	3.777	0.10	0.600	0.015	3.798	14.52	81.500
0.009	3.777	2.60	14.600	0.015	3.757	15.18	85.200
0.009	3.777	5.03	28.200	0.015	3.777	15.55	87.300
0.009	3.798	6.67	37.400	0.015	3.798	15.88	89.100
0.009	3.757	7.81	43.800	0.016	3.696	16.18	90.800
0.010	3.798	8.35	46.900	0.016	3.696	16.66	93.500
0.010	3.757	8.76	49.200	0.017	3.929	16.97	95.200
0.011	3.757	9.07	50.900	0.017	3.111	17.52	98.300
0.011	3.757	9.60	53.900	0.018	3.111	17.78	99.800
0.011	3.736	9.97	55.900	0.018	1.915	17.82	100.000

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Cuadro 23.*2° Ensayo de carga en el centro $f'c:350$*

TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%	TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%
0.005	3.676	0.08	0.300	0.016	3.600	18.13	77.100
0.006	3.696	0.08	0.300	0.017	3.640	18.54	78.800
0.007	3.657	1.87	7.900	0.017	3.700	19.03	80.900
0.008	3.657	7.19	30.600	0.017	3.620	19.34	82.200
0.009	3.638	8.54	36.300	0.018	3.620	19.68	83.600
0.009	3.716	8.74	37.100	0.018	3.620	20.19	85.800
0.009	3.636	9.43	40.100	0.018	3.680	20.50	87.100
0.012	3.716	13.57	57.700	0.019	3.600	20.97	89.100
0.014	3.657	15.39	65.400	0.019	3.620	21.15	89.900
0.014	3.658	15.74	66.900	0.020	3.620	21.64	92.000
0.014	3.618	16.22	68.900	0.020	3.620	21.97	93.400
0.015	3.618	16.39	69.700	0.020	3.780	22.30	94.800
0.015	3.599	16.70	71.000	0.020	3.560	22.79	96.900
0.015	3.618	17.12	72.800	0.021	3.530	23.13	98.300
0.016	3.657	17.29	73.500	0.021	3.560	23.41	99.500
0.016	3.638	17.61	74.800	0.021	3.540	23.53	100.00
0.016	3.581	17.77	75.500				

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Cuadro 24.*3° Ensayo de carga en el centro $f'c:350$*

TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%	TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%
0.007	3.757	0.34	1.700	0.014	3.780	8.84	43.900
0.007	3.757	0.16	0.800	0.014	3.720	9.43	46.800
0.007	3.777	1.00	5.000	0.015	3.760	9.62	47.800
0.007	3.757	1.76	8.700	0.015	3.740	10.22	50.800
0.007	3.757	1.38	6.900	0.015	3.680	10.61	52.700
0.008	3.736	1.31	6.500	0.015	3.720	11.47	57.000
0.008	3.819	1.41	7.000	0.016	3.760	11.89	59.100
0.008	3.716	0.03	0.100	0.016	3.700	12.30	61.100
0.009	3.798	0.07	0.300	0.017	3.700	12.74	63.300
0.009	3.859	0.03	0.100	0.017	3.780	13.41	66.600
0.009	3.798	0.04	0.200	0.017	3.720	13.86	68.900
0.009	3.757	0.02	0.100	0.018	3.700	14.54	72.200
0.010	3.757	0.05	0.200	0.018	3.620	14.99	74.500
0.010	3.798	0.03	0.100	0.018	3.720	15.47	76.900
0.010	3.777	0.03	0.100	0.018	3.680	15.84	78.700
0.011	3.736	0.03	0.100	0.019	3.740	16.32	81.100
0.011	3.757	0.01	0.000	0.019	3.740	16.46	81.800
0.011	3.757	0.04	0.200	0.020	3.740	17.09	84.900
0.012	3.777	0.01	0.000	0.020	3.740	17.25	85.700
0.012	3.716	0.10	0.500	0.021	3.740	18.03	89.600
0.013	3.757	1.25	6.200	0.021	3.740	18.68	92.800
0.013	3.736	4.76	23.600	0.022	3.740	19.45	96.600
0.013	3.757	6.54	32.500	0.023	0.800	20.13	100.00
0.013	3.716	8.31	41.300				

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Cuadro 25.*4° Ensayo de carga en el centro $f'c:350$*

TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%	TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%
0.010	3.638	0.02	0.100	0.021	3.760	13.24	62.600
0.011	3.618	0.42	2.000	0.021	3.620	13.00	61.400
0.012	3.618	-0.01	0.000	0.022	3.700	13.82	65.300
0.012	3.618	0.04	0.200	0.022	3.640	14.21	67.200
0.013	3.618	0.13	0.600	0.022	3.580	14.76	69.800
0.013	3.618	0.12	0.600	0.023	3.600	15.35	72.500
0.014	3.599	0.10	0.500	0.023	3.720	15.03	71.000
0.015	3.638	0.08	0.400	0.024	3.740	15.35	72.500
0.015	3.618	1.33	6.300	0.024	3.580	16.32	77.100
0.016	3.581	3.34	15.800	0.024	3.650	16.67	78.800
0.017	3.599	5.41	25.600	0.025	3.600	17.12	80.900
0.017	3.599	8.18	38.700	0.025	3.640	17.27	81.600
0.018	3.599	8.95	42.300	0.025	3.540	17.66	83.500
0.018	3.636	9.36	44.200	0.026	3.740	18.19	86.000
0.018	3.599	9.98	47.200	0.026	3.640	18.59	87.900
0.019	3.716	10.51	49.700	0.027	3.640	19.07	90.100
0.019	3.599	10.66	50.400	0.027	3.520	19.33	91.400
0.019	3.618	11.19	52.900	0.027	3.440	19.71	93.100
0.020	3.657	11.69	55.200	0.027	3.490	20.17	95.300
0.020	3.638	12.04	56.900	0.028	3.580	20.50	96.900
0.020	3.599	12.39	58.600	0.028	3.540	20.81	98.300
0.021	3.544	12.72	60.100	0.029	3.560	21.16	100.00

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Cuadro 26.*5° Ensayo de carga en el centro $f'c:350$*

TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%	TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%
0	4.191	0.14	0.78	20.59	4.143	15.82	87.79
0.39	4.191	0.14	0.78	21.29	4.119	15.9	88.24
0.79	4.191	0.14	0.78	22.29	4.143	16.06	89.12
1.29	4.215	0.15	0.83	23.69	4.143	16.25	90.18
1.79	4.191	0.15	0.83	24.29	4.143	16.3	90.46
2.89	4.191	0.22	1.22	24.1	4.191	16.43	91.18
3.59	4.167	0.42	2.33	25.79	4.167	16.51	91.62
4.39	4.167	0.85	4.72	26.19	4.167	16.56	91.90
5.19	4.191	4.6	25.53	26.89	4.143	16.66	92.45
6.79	4.191	8.39	46.56	27.39	4.167	16.68	92.56
7.79	4.191	8.68	48.17	28	4.143	16.77	93.06
7.59	4.167	9	49.94	28.39	4.096	16.84	93.45
7.8	4.028	9.17	50.89	28.89	4.119	16.91	93.84
8.4	4.191	9.5	52.72	30.29	4.143	17.09	94.84
8.59	4.167	9.79	54.33	30.89	3.984	17.15	95.17
9.2	4.167	10.12	56.16	31.89	4.143	17.25	95.73
10.19	4.167	11.01	61.10	32.6	4.096	17.37	96.39
10.99	4.167	11.69	64.87	33.5	4.167	17.46	96.89
11.99	4.191	12.33	68.42	33.59	4.143	17.48	97.00
12.09	4.143	12.75	70.75	34.39	4.119	17.57	97.50
12.69	4.073	13.29	73.75	35.29	4.119	17.72	98.34
14.09	4.167	14.42	80.02	35.79	4.073	17.78	98.67
14.98	4.167	14.61	81.08	36.19	4.119	17.81	98.83
15.59	4.167	15.26	84.68	36.59	4.119	17.88	99.22
16.69	4.191	15.37	85.29	36.89	4.119	17.94	99.56
17.29	4.167	15.44	85.68	37.39	4.096	17.96	99.67
18	4.143	15.53	86.18	38	4.096	18	99.89
18.2	4.191	15.58	86.46	38.39	4.119	18.02	100.00
19.29	4.191	15.67	86.96	38.89	3.836	18.02	100.00
20	4.143	15.78	87.57				

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Cuadro 27.*6° Ensayo de carga en el centro $f'c:350$*

TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%	TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%
0	4.073	0.07	0.48	12.4	4.119	10.2	70.44
0.8	4.096	0.1	0.69	13.6	4.143	10.95	75.62
2	4.096	0.12	0.83	14.6	4.028	11.93	82.39
2.8	4.096	0.13	0.90	15.5	4.096	12.25	84.60
5.4	4.073	0.15	1.04	15.6	4.073	12.78	88.26
6.7	4.096	0.24	1.66	16.4	4.096	13.43	92.75
7.4	4.096	0.26	1.80	17	4.05	13.77	95.10
8	4.096	2.66	18.37	17.6	4.038	14.25	98.41
8.6	4.096	5.8	40.06	18	4.073	14.45	99.79
8.8	4.119	7.43	51.31	18.7	4.006	14.49	100.07
9.4	4.05	8.14	56.22	18.72	4.006	14.48	100.00
9.9	4.143	8.4	58.01	18.8	3.984	14.48	100.00
10.6	4.073	8.91	61.53	18.9	3.625	14.48	100.00
11.9	4.028	9.72	67.13				

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Cuadro 28.*7° Ensayo de carga en el centro $f'c:350$*

TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%	TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%
0	3.962	0.75	4.50	16.6	3.94	15.4	92.49
1.1	3.919	0.83	4.98	17.21	3.962	15.49	93.03
2.5	3.94	0.86	5.17	17.81	3.919	15.56	93.45
4	3.94	0.86	5.17	19	3.94	15.7	94.29
5.6	3.962	0.86	5.17	19.5	3.94	15.75	94.59
6.21	3.962	0.86	5.17	20.1	3.94	15.82	95.02
6.6	3.984	0.92	5.53	21	3.962	15.91	95.56
7	3.962	2.1	12.61	21.71	3.919	15.96	95.86
7.6	3.94	6.56	39.40	22	3.94	16.03	96.28
7.8	3.984	7.58	45.53	22.8	3.94	16.11	96.76
7.9	4.05	7.58	45.53	23.3	3.94	16.18	97.18
8.6	3.919	8.82	52.97	23.8	3.919	16.21	97.36
9	4.119	9.26	55.62	24.2	3.919	16.24	97.54
9.3	3.962	9.46	56.82	25	3.877	16.36	98.26
9.5	3.962	10	60.06	25.6	3.919	16.39	98.44
11.2	3.94	11.2	67.27	25.9	3.919	16.4	98.50
11.8	3.962	11.61	69.73	26.4	3.919	16.49	99.04
13	3.919	13.12	78.80	27	3.919	16.52	99.22
13.7	3.94	13.75	82.58	27.8	3.898	16.65	100.00
14.1	3.898	14.19	85.23	28.3	3.796	16.65	100.00
15	3.962	15.12	90.81	28.6	3.877	16.65	100.00
15.6	3.962	15.32	92.01	28.8	2.114	16.65	100.00
16.2	3.962	15.39	92.43				

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Cuadro 29.*1° Ensayo de carga a dos tercios $f'c:350$*

TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%	TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%
0.000	4.073	0.18	0.83	33.190	3.984	16.50	75.90
1.190	4.05	0.19	0.87	33.990	4.006	16.67	76.68
2.300	4.05	0.2	0.92	34.490	4.006	16.74	77.00
4.490	4.05	0.21	0.97	35.100	4.028	16.87	77.60
6.200	4.119	0.21	0.97	35.900	4.050	16.94	77.92
7.500	4.05	0.22	1.01	36.900	4.050	17.2	79.12
8.000	4.05	0.4	1.84	37.500	4.006	17.32	79.67
10.100	4.073	0.65	2.99	38.190	3.984	17.45	80.27
12.100	4.028	1.71	7.87	39.400	4.006	17.67	81.28
12.700	4.096	4.19	19.27	40.100	4.006	17.81	81.92
13.100	4.143	6.27	28.84	41.190	4.073	18	82.80
13.800	4.098	7.77	35.74	41.790	4.006	18.13	83.39
14.200	4.05	8.16	37.53	42.290	4.028	18.21	83.76
15.690	4.073	8.99	41.35	44.200	4.006	18.53	85.23
16.800	4.073	9.49	43.65	44.700	4.028	18.67	85.88
17.300	4.028	9.83	45.22	45.500	3.984	18.83	86.61
18.290	4.05	10.41	47.88	46.000	4.006	18.91	86.98
19.000	4.05	10.78	49.59	46.900	4.006	19.03	87.53
19.700	4.096	11.14	51.24	47.49	3.984	19.17	88.18
20.39	4.119	11.6	53.36	48.19	4.006	19.38	89.14
20.8	3.984	11.87	54.60	49.1	3.984	19.58	90.06
21.3	4.028	12.11	55.70	50	4.006	19.72	90.71
21.69	4.028	12.39	56.99	51.3	3.984	19.87	91.40
22.3	4.073	12.79	58.83	52.4	3.984	20.09	92.41
22.8	4.028	13.07	60.12	53.2	4.028	20.23	93.05
23.4	4.119	13.48	62.01	3.877	3.984	20.32	93.47
23.99	4.028	14.03	64.54	54.19	3.984	20.42	93.93
24.99	3.94	14.67	67.48	54.9	3.984	20.55	94.53
26.1	4.006	15.23	70.06	55.9	3.984	20.65	94.99
26.8	4.028	15.35	70.61	56	3.962	20.76	95.49
27.19	4.028	15.41	70.88	56.29	3.962	20.92	96.23
28.1	4.05	15.56	71.57	57	3.94	21.14	97.24
29.1	4.006	15.76	72.49	58.19	3.94	21.45	98.67
29.5	3.984	15.87	73.00	58.49	3.919	21.56	99.17
30.19	4.028	15.97	73.46	59.3	3.94	21.68	99.72
30.69	4.05	16.07	73.92	60.1	3.898	21.74	100.00
31.6	4.028	16.21	74.56	60.3	1.986	21.74	100.00
32.3	4.006	16.34	75.16				

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Cuadro 30.*2° Ensayo de carga a dos tercios f'_c :350*

TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%	TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%
0.000	3.877	0.1	0.47	20.300	3.751	17.05	80.69
0.800	3.919	0.18	0.85	21.100	3.836	17.22	81.50
1.500	3.919	2	9.47	21.600	3.856	17.3	81.87
1.810	3.919	6	28.40	22.700	3.816	17.5	82.82
2.300	3.919	7.43	35.16	23.410	3.836	17.63	83.44
3.000	3.94	8.28	39.19	23.910	3.816	17.75	84.00
3.500	3.898	8.79	41.60	24.600	3.816	17.88	84.62
4.100	3.877	9.36	44.30	25.200	3.756	18	85.19
5.000	3.856	10.14	47.99	26.000	3.836	18.13	85.80
5.600	3.877	10.78	51.02	26.700	3.816	18.27	86.46
6.100	3.877	11.2	53.01	27.300	3.719	18.35	86.84
6.700	3.94	11.85	56.08	27.600	3.816	18.42	87.17
7.200	3.898	12.29	58.16	28.300	3.796	18.53	87.70
7.600	3.898	12.92	61.15	29.100	3.796	18.69	88.45
8.700	3.919	14.07	66.59	29.710	3.776	18.83	89.12
9.510	3.919	14.98	70.89	30.300	3.699	18.96	89.73
10.300	3.796	15.27	72.27	30.900	3.699	19.03	90.06
10.600	3.796	15.33	72.55	32.200	3.756	19.3	91.34
11.000	3.836	15.46	73.17	33.710	3.251	19.53	92.43
11.610	3.836	15.49	73.31	34.410	3.662	19.72	93.33
12.100	3.836	15.59	73.78	35.01	3.251	19.79	93.66
12.6	3.877	15.7	74.30	35.8	3.251	19.97	94.51
13.3	3.816	15.78	74.68	36.3	3.251	20.05	94.89
14	3.836	15.95	75.49	36.8	3.266	20.13	95.27
14.7	3.836	16.04	75.91	38	3.237	20.35	96.31
15.4	3.836	16.16	76.48	38.7	3.237	20.51	97.07
15.8	3.836	16.29	77.09	39.7	3.689	20.69	97.92
16.7	3.856	16.39	77.57	40.3	2.959	20.76	98.25
17.3	3.836	16.53	78.23	40.7	3.266	20.89	98.86
17.9	3.751	16.61	78.61	41	3.266	20.93	99.05
18.5	3.718	16.73	79.18	41.8	3.266	21.08	99.76
18.9	3.751	16.82	79.60	42.4	3.266	21.13	100.00
19.2	3.751	16.85	79.74	42.8	1.051	21.13	100.00
19.7	3.751	16.97	80.31				

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Cuadro 31.*3° Ensayo de carga a dos tercios $f'c:350$*

TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%	TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%
0.000	4.05	0.18	0.69	28.700	3.898	19.20	73.31
0.400	4.167	0.21	0.80	29.400	3.962	19.37	73.96
1.300	4.143	0.28	1.07	30.400	3.940	19.52	74.53
2.300	4.006	3.21	12.26	31.300	3.984	19.84	75.75
2.700	4.006	5.79	22.11	32.200	3.984	20.02	76.44
3.000	4.028	7.33	27.99	33.000	3.898	20.22	77.21
3.700	4.028	8.25	31.50	34.500	3.962	20.51	78.31
4.400	4.006	8.68	33.14	35.300	3.962	20.66	78.89
6.090	3.984	9.84	37.57	36.110	3.962	20.86	79.65
6.200	4.119	10.15	38.76	37.400	3.962	21.16	80.79
6.800	3.94	10.68	40.78	38.500	3.984	21.45	81.90
7.300	3.984	11.21	42.80	39.400	3.919	21.62	82.55
8.300	3.962	11.97	45.70	40.200	3.962	21.72	82.93
8.800	3.94	12.56	47.96	41.000	3.919	21.97	83.89
9.400	3.984	13.13	50.13	41.800	3.898	22.07	84.27
9.900	4.05	13.55	51.74	43.300	3.962	22.42	85.61
11.200	3.984	14.91	56.93	44.400	3.962	22.7	86.67
12.000	4.073	15.29	58.38	46.400	3.962	23.08	88.13
13.110	4.073	15.5	59.18	48.000	3.877	23.42	89.42
14.200	4.006	15.83	60.44	49.400	3.856	23.71	90.53
15.900	4.006	16.22	61.93	50.4	3.962	23.97	91.52
16.4	3.984	16.36	62.47	52	3.836	24.3	92.78
18.1	4.05	16.66	63.61	52.4	3.776	24.38	93.09
19.1	3.919	16.99	64.87	52.5	2.959	24.38	93.09
20	3.984	17.25	65.86	53.21	2.923	24.52	93.62
20.8	4.05	17.41	66.48	54.4	2.923	24.73	94.43
22.3	3.94	17.76	67.81	54.21	2.939	24.88	95.00
23	3.919	17.89	68.31	56.21	2.923	25.16	96.07
23.8	3.919	18.14	69.26	57.11	3.208	25.33	96.72
24.5	3.877	18.27	69.76	57.71	2.935	25.52	97.44
25.11	4.119	18.42	70.33	58.4	2.935	25.65	97.94
26.2	3.962	18.59	70.98	59.4	3.194	25.83	98.63
26.7	3.984	18.79	71.74	60.3	3.194	25.96	99.12
27.4	3.962	18.91	72.20	3.877	2.923	26.19	100.00
28	3.919	19.01	72.58	61.7	1.054	26.19	100.00

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Cuadro 32.*1º Ensayo de carga en el centro f'c:210 evaluado en extremos*

TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%	TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%
0.00	3.625	0	0.00	0.23	3.603	7.54	51.18
0.02	3.538	0.45	3.05	0.23	3.603	8.49	57.62
0.03	3.571	1.17	7.94	0.23	3.603	8.98	60.92
0.03	3.604	1.89	12.82	0.20	3.571	9.13	61.94
0.18	3.637	2.61	17.71	0.22	3.580	9.78	66.35
0.18	3.67	3.33	22.59	0.22	3.578	11.83	80.26
0.20	3.703	4.05	27.48	0.23	3.587	13.07	88.67
0.20	3.505	4.69	31.82	0.23	3.571	14.72	99.86
0.22	3.72	5.65	38.33	0.23	3.520	14.74	100.00
0.22	3.578	6.59	44.71				

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Cuadro 33.*1º Ensayo de carga en el centro f'c:350 evaluado en extremos*

TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%	TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%
0.000	3.75	0.03	0.14	0.217	3.759	16.17	74.90
0.017	3.75	0.04	0.19	0.217	3.768	16.39	75.91
0.017	3.75	0.16	0.74	0.233	3.750	16.81	77.86
0.033	3.768	0.41	1.90	0.233	3.676	16.92	78.37
0.033	3.8	0.57	2.64	0.250	3.768	17.39	80.55
0.050	3.768	1.24	5.74	0.267	3.750	17.7	81.98
0.050	3.75	1.47	6.81	0.267	3.758	18.08	83.74
0.067	3.75	1.5	6.95	0.283	3.750	18.19	84.25
0.083	3.768	1.72	7.97	0.283	3.636	18.42	85.32
0.083	3.748	2.03	9.40	0.300	3.676	18.78	86.98
0.100	3.758	4.26	19.73	0.300	3.713	19.2	88.93
0.100	3.748	5.91	27.37	0.317	3.636	19.46	90.13
0.100	3.75	7.11	32.93	0.333	3.678	19.76	91.52
0.100	3.769	9.35	43.31	0.333	3.75	20.11	93.14
0.117	3.78	11.87	54.98	0.350	3.676	20.44	94.67
0.117	3.77	13.9	64.38	0.367	3.75	20.77	96.20
0.133	3.75	14.91	69.06	0.383	3.641	21.29	98.61
0.150	3.75	14.94	69.20	0.383	3.78	21.48	99.49
0.167	3.75	15.06	69.75	0.400	3.75	21.52	99.68
0.184	3.75	15.32	70.96	0.417	3.641	21.59	100.00
0.200	3.768	15.71	72.77				

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Cuadro 34.*1° Ensayo de deformación en el centro f°c:210*

DEFORMACIÓN	VELOCIDAD	%	DEFORMACIÓN	VELOCIDAD	%
0.00	4.12	0.00	0.45	3.50	56.25
0.05	4.12	6.25	0.50	3.47	62.50
0.10	4.12	12.50	0.55	3.45	68.75
0.15	3.57	18.75	0.60	3.49	75.00
0.20	3.57	25.00	0.65	3.47	81.25
0.25	3.57	31.25	0.70	3.45	87.50
0.30	3.57	37.50	0.75	3.45	93.75
0.35	3.55	43.75	0.80	3.44	100.00
0.40	3.50	50.00			

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Cuadro 35.*2° Ensayo de deformación en el centro f°c:210*

DEFORMACIÓN	VELOCIDAD	%	DEFORMACIÓN	VELOCIDAD	%
0.00	4.17	0.00	0.75	4.03	51.72
0.05	4.17	3.45	0.80	4.03	55.17
0.10	4.14	6.90	0.85	3.50	58.62
0.15	4.14	10.34	0.90	3.50	62.07
0.20	4.14	13.79	0.95	3.49	65.52
0.25	4.14	17.24	1.00	3.10	68.97
0.30	4.14	20.69	1.05	3.49	72.41
0.35	4.14	24.14	1.10	3.49	75.86
0.40	4.14	27.59	1.15	3.49	79.31
0.45	4.14	31.03	1.20	3.47	82.76
0.50	4.14	34.48	1.25	3.11	86.21
0.55	4.12	37.93	1.30	3.10	89.66
0.60	4.12	41.38	1.35	3.10	93.10
0.65	4.10	44.83	1.40	3.10	96.55
0.70	4.05	48.28	1.45	3.09	100.00

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Cuadro 36.*3° Ensayo de deformación en el centro f'c:210*

DEFORMACIÓN	VELOCIDAD	%	DEFORMACIÓN	VELOCIDAD	%
0.00	4.12	-	0.55	2.64	55.00
0.05	4.12	5.00	0.60	2.65	60.00
0.10	3.59	10.00	0.65	2.63	65.00
0.15	3.25	15.00	0.70	2.64	70.00
0.20	2.83	20.00	0.75	2.84	75.00
0.25	2.52	25.00	0.80	2.64	80.00
0.30	2.52	30.00	0.85	2.63	85.00
0.35	2.51	35.00	0.90	2.62	90.00
0.40	2.34	40.00	0.95	2.82	95.00
0.45	2.66	45.00	1.00	2.84	100.00
0.50	2.64	50.00			

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Cuadro 37.*1° Ensayo de deformación en el centro f'c:280*

DEFORMACIÓN	VELOCIDAD	%	DEFORMACIÓN	VELOCIDAD	%
0.05	4.19	3.03	0.90	3.09	54.55
0.10	4.19	6.06	0.95	3.09	57.58
0.15	4.01	9.09	1.00	3.09	60.61
0.20	3.98	12.12	1.05	3.07	63.64
0.25	3.98	15.15	1.10	3.09	66.67
0.30	3.96	18.18	1.15	2.77	69.70
0.35	3.96	21.21	1.20	3.06	72.73
0.40	3.96	24.24	1.25	3.06	75.76
0.45	3.94	27.27	1.30	2.74	78.79
0.50	3.94	30.30	1.35	2.76	81.82
0.55	3.54	33.33	1.40	2.76	84.85
0.60	3.52	36.36	1.45	2.34	87.88
0.65	3.52	39.39	1.50	3.06	90.91
0.70	3.50	42.42	1.55	3.06	93.94
0.75	3.60	45.45	1.60	3.03	96.97
0.80	3.50	48.48	1.65	3.02	100.00
0.85	3.50	51.52			

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Cuadro 38.*2° Ensayo de deformación en el centro f°c:280*

DEFORMACIÓN	VELOCIDAD	%	DEFORMACIÓN	VELOCIDAD	%
0.00	4.17	-	0.55	1.98	52.38
0.05	4.17	4.76	0.60	1.98	57.14
0.10	4.14	9.52	0.65	1.98	61.90
0.15	3.58	14.29	0.70	2.38	66.67
0.20	3.57	19.05	0.75	2.18	71.43
0.25	3.18	23.81	0.80	2.19	76.19
0.30	3.19	28.57	0.85	2.19	80.95
0.35	3.18	33.33	0.90	2.20	85.71
0.40	2.85	38.10	0.95	2.18	90.48
0.45	2.21	42.86	1.00	2.21	95.24
0.50	2.20	47.62	1.05	2.31	100.00

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Cuadro 39.*3° Ensayo de deformación en el centro f°c:280*

DEFORMACIÓN	VELOCIDAD	%	DEFORMACIÓN	VELOCIDAD	%
0.00	4.12	0.00	0.40	3.94	53.33
0.05	4.12	6.67	0.45	3.94	60.00
0.10	4.12	13.33	0.50	3.94	66.67
0.15	4.01	20.00	0.55	3.92	73.33
0.20	3.98	26.67	0.60	3.94	80.00
0.25	3.94	33.33	0.65	3.92	86.67
0.30	3.96	40.00	0.70	3.92	93.33
0.35	3.94	46.67	0.75	3.90	100.00
0.00	4.12	0.00	0.40	3.94	53.33
0.05	4.12	6.67	0.45	3.94	60.00
0.10	4.12	13.33	0.50	3.94	66.67
0.15	4.01	20.00	0.55	3.92	73.33
0.20	3.98	26.67	0.60	3.94	80.00
0.25	3.94	33.33	0.65	3.92	86.67
0.30	3.96	40.00	0.70	3.92	93.33
0.35	3.94	46.67	0.75	3.90	100.00

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Cuadro 40.*1° Ensayo de deformación en el centro $f^{\circ}c:350$*

DEFORMACIÓN	VELOCIDAD	%	DEFORMACIÓN	VELOCIDAD	%
0.00	4.12	-	0.35	3.40	50.00
0.04	3.94	5.00	0.40	3.40	57.14
0.05	4.12	7.14	0.45	3.40	64.29
0.10	3.94	14.29	0.50	3.42	71.43
0.15	3.94	21.43	0.55	3.39	78.57
0.20	3.94	28.57	0.60	3.40	85.71
0.25	3.42	35.71	0.65	3.06	92.86
0.30	3.39	42.86	0.70	3.06	100.00

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Cuadro 41.*2° Ensayo de deformación en el centro $f^{\circ}c:350$*

DEFORMACIÓN	VELOCIDAD	%	DEFORMACIÓN	VELOCIDAD	%
0.00	4.14	-	0.15	3.98	50.00
0.02	4.01	8.00	0.20	3.33	66.67
0.05	4.14	16.67	0.25	3.30	83.33
0.10	4.01	33.33	0.30	3.30	100.00

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Cuadro 42.*3° Ensayo de deformación en el centro $f^{\circ}c:350$*

DEFORMACIÓN	VELOCIDAD	%	DEFORMACIÓN	VELOCIDAD	%
0.00	4.17	-	0.15	4.15	50.00
0.02	4.17	7.00	0.20	4.15	66.67
0.05	4.17	16.67	0.25	4.12	83.33
0.10	4.17	33.33	0.30	4.12	100.00

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Cuadro 43.*1° Ensayo de deformación a dos tercios $f'c:210$*

DEFORMACIÓN	VELOCIDAD	%	DEFORMACIÓN	VELOCIDAD	%
0.00	4.27	0.00	0.55	3.45	55.00
0.05	4.27	5.00	0.60	3.40	60.00
0.10	4.19	10.00	0.65	3.41	65.00
0.15	4.19	15.00	0.70	3.41	70.00
0.20	4.04	20.00	0.75	3.06	75.00
0.25	4.12	25.00	0.80	3.06	80.00
0.30	4.01	30.00	0.85	3.02	85.00
0.35	4.01	35.00	0.90	3.00	90.00
0.40	3.47	40.00	0.95	2.99	95.00
0.45	3.47	45.00	1.00	2.99	100.00

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Cuadro 44.*1° Ensayo de deformación a dos tercios $f'c:280$*

DEFORMACIÓN	VELOCIDAD	%	DEFORMACIÓN	VELOCIDAD	%
0.00	4.01	-	0.90	3.34	51.43
0.05	4.01	2.86	0.95	3.31	54.29
0.10	3.94	5.71	1.00	3.28	57.14
0.15	3.92	8.57	1.05	3.19	60.00
0.20	3.90	11.43	1.10	3.19	62.86
0.25	3.90	14.29	1.15	3.22	65.71
0.30	3.88	17.14	1.20	3.21	68.57
0.35	3.86	20.00	1.25	3.21	71.43
0.40	3.86	22.86	1.30	3.10	74.29
0.45	3.34	25.71	1.35	3.19	77.14
0.50	3.27	28.57	1.40	3.21	80.00
0.55	2.96	31.43	1.45	3.13	82.86
0.60	2.94	34.29	1.50	3.13	85.71
0.65	2.91	37.14	1.55	3.13	88.57
0.70	2.62	40.00	1.60	3.13	91.43
0.75	2.62	42.86	1.65	3.13	94.29
0.80	2.60	45.71	1.70	3.13	97.14
0.85	3.34	48.57	1.75	3.11	100.00

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Cuadro 45.*1° Ensayo de deformación a dos tercios $f'c:350$*

DEFORMACIÓN	VELOCIDAD	%	DEFORMACIÓN	VELOCIDAD	%
0.00	3.88	-	0.80	3.11	51.61
0.05	3.88	3.23	0.85	3.10	54.84
0.10	3.86	6.45	0.90	2.82	58.06
0.15	3.84	9.68	0.95	3.11	61.29
0.20	3.30	12.90	1.00	3.10	64.52
0.25	3.30	16.13	1.05	3.10	67.74
0.30	3.30	19.35	1.10	2.81	70.97
0.35	3.30	22.58	1.15	2.82	74.19
0.40	3.27	25.81	1.20	2.82	77.42
0.45	3.24	29.03	1.25	2.84	80.65
0.50	3.25	32.26	1.30	2.81	83.87
0.55	3.24	35.48	1.35	2.58	87.10
0.60	3.22	38.71	1.40	2.82	90.32
0.65	3.17	41.94	1.45	2.81	93.55
0.70	3.17	45.16	1.50	2.87	96.77
0.75	3.18	48.39	1.55	2.85	100.00

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Cuadro 46. 1° Ensayo de deformación 0.02 mm/min en el centro $f'c:210$

TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%	TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%
0.000	3.759	0.009	0.08	8.517	3.226	4.47	37.43
0.183	3.731	0.048	0.40	8.683	2.793	4.62	38.70
0.683	3.759	0.179	1.50	9.183	3.106	5.133	42.95
1.017	3.731	0.262	2.19	9.517	2.941	5.445	45.57
1.183	3.731	0.297	2.49	9.683	2.747	5.64	47.20
1.334	3.731	0.332	2.78	9.850	2.941	5.821	48.71
1.517	3.937	0.39	3.26	10.017	3.145	6	50.21
1.683	3.758	0.445	3.72	10.183	2.907	6.198	51.87
1.850	3.759	0.506	4.23	10.334	2.747	6.395	53.52
2.017	3.704	0.561	4.70	10.517	2.717	6.574	55.01
2.183	3.788	0.617	5.16	10.683	2.762	6.777	56.71
2.334	4.505	0.665	5.57	10.850	2.016	6.972	58.34
2.517	3.758	0.737	6.17	11.017	2.392	7.173	60.03
2.850	3.759	0.895	7.49	11.334	2.89	7.636	63.90
3.183	3.759	1.027	8.59	11.683	2.809	8.081	67.62
3.517	5.952	1.161	9.72	12.017	2.075	8.564	71.67
3.85	3.937	1.332	11.15	12.334	2.793	9.052	75.75
4.017	3.704	1.419	11.87	12.517	0.782	9.326	78.04
4.517	4.202	1.686	14.11	13.017	0.782	10.047	84.08
4.683	0.731	1.767	14.79	13.183	0.782	10.284	86.06
4.85	4.274	1.867	15.62	13.334	0.541	10.512	87.97
5.017	3.731	1.962	16.42	13.517	0.215	10.831	90.64
5.183	3.049	2.06	17.24	13.683	2.294	11.098	92.87
5.334	3.759	2.15	17.99	13.85	2.674	11.376	95.20
5.517	3.759	2.241	18.75	14.017	3.012	11.621	97.25
5.683	4.032	2.351	19.67	14.167	2.604	11.856	99.21
5.85	3.704	2.456	20.55	14.183	2.605	11.877	99.39
6.017	3.768	2.573	21.53	14.183	3.049	11.884	99.45
6.334	3.704	2.802	23.45	14.2	1.825	11.905	99.62
6.517	2.924	2.91	24.35	14.2	2.591	11.91	99.67
6.683	3.676	3.023	25.30	14.2	1.792	11.916	99.72
6.85	3.623	3.143	26.30	14.217	1.812	11.923	99.77
7.017	3.425	3.273	27.39	14.217	2.688	11.934	99.87
7.183	3.009	3.393	28.39	14.233	2.703	11.941	99.93
7.334	3.817	3.513	29.40	14.233	2.273	11.95	100.00
7.517	2.874	3.625	30.34	14.233	2.608	11.95	100.00
8.017	3.086	3.996	33.44	14.25	2.564	11.842	99.10
8.183	2.941	4.165	34.85	14.25	0	11.95	100.00
8.334	2.793	4.317	36.13				

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Cuadro 47.*2° Ensayo de deformación 0.02 mm/min en el centro $f'c:210$*

TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%	TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%
0.000	3.731	0.048	0.36	1.767	3.731	0.40	2.97
0.017	3.759	0.048	0.36	1.783	3.759	0.41	3.01
0.083	3.759	0	0.00	1.883	3.731	0.436	3.23
0.100	3.731	0	0.00	1.900	3.788	0.441	3.27
0.117	3.759	-0.001	0.01	1.917	3.759	0.445	3.30
0.200	3.676	0.012	0.09	2.450	3.63	0.609	4.51
0.317	3.623	0.033	0.24	3.617	3.731	1.07	7.92
0.333	3.759	0.04	0.30	3.783	3.788	1.147	8.49
0.483	3.788	0.079	0.59	5.283	3.731	1.832	13.56
0.5	3.704	0.087	0.64	5.45	3.817	1.916	14.19
0.517	3.704	0.091	0.67	5.617	3.731	1.997	14.79
0.533	3.704	0.094	0.70	5.783	4.902	2.093	15.50
0.55	3.759	0.1	0.74	5.95	3.759	2.186	16.18
0.567	3.656	0.104	0.77	6.117	3.756	2.275	16.84
0.583	3.759	0.105	0.78	6.283	3.65	2.372	17.56
0.6	3.623	0.113	0.84	6.45	3.759	2.479	18.35
0.617	3.623	0.118	0.87	6.617	3.731	2.587	19.15
0.633	3.731	0.123	0.91	6.783	3.759	2.703	20.01
0.75	3.623	0.147	1.09	7.95	3.731	3.53	26.14
0.850	3.704	0.167	1.24	8.950	3.759	4.391	32.51
0.883	3.676	0.176	1.30	9.283	4.587	4.72	34.95
0.950	3.759	0.195	1.44	9.950	3.676	5.369	39.75
0.967	3.704	0.197	1.46	10.117	3.817	5.547	41.07
0.983	3.676	0.202	1.50	10.283	4.808	5.729	42.42
1.000	3.701	0.205	1.52	10.450	3.676	5.90	43.68
1.167	3.546	0.243	1.80	12.117	3.731	7.929	58.70
1.233	3.731	0.258	1.91	12.783	3.676	8.76	64.82
1.333	3.623	0.286	2.12	13.783	3.788	10.082	74.64
1.350	3.704	0.291	2.15	13.950	3.731	10.30	76.25
1.467	3.65	0.324	2.40	15.117	3.676	11.95	88.50
1.567	3.788	0.352	2.61	16.117	3.623	13.438	99.49
1.650	3.704	0.378	2.80	16.200	3.546	13.505	99.99
1.667	3.731	0.384	2.84	16.217	3.623	13.505	99.99
1.683	3.768	0.39	2.89	16.233	3.521	13.498	99.93
1.700	3.759	0.393	2.91	16.250	3.650	13.46	99.67
1.717	3.731	0.399	2.95	16.267	0.772	13.29	98.36
1.733	3.731	0.402	2.98	16.267	0.772	13.507	100.00
1.750	3.731	0.402	2.98				

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Cuadro 48.*3° Ensayo de deformación 0.02 mm/min en el centro f°c:210*

TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%	TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%
0.000	3.676	0.465	3.40	6.661	3.676	5.92	43.32
0.000	3.676	0.467	3.42	6.828	3.650	6.09	44.58
0.008	3.69	0.468	3.43	6.994	3.650	6.309	46.17
0.014	3.676	0.472	3.45	7.161	3.676	6.522	47.73
0.025	3.676	0.475	3.48	7.328	3.650	6.744	49.36
0.036	3.676	0.481	3.52	7.494	3.106	6.966	50.98
0.056	3.65	0.483	3.54	7.661	3.623	7.18	52.55
0.058	3.65	0.488	3.57	7.828	3.067	7.402	54.17
0.069	3.676	0.493	3.61	7.994	3.623	7.628	55.83
0.089	3.626	0.5	3.66	8.161	3.597	7.867	57.58
0.100	3.65	0.505	3.70	8.328	3.597	8.095	59.24
0.119	3.704	0.036	0.26	8.494	3.623	8.34	61.04
0.136	3.676	0.518	3.79	8.661	3.65	8.571	62.73
0.161	3.676	0.526	3.85	8.828	3.597	8.815	64.51
0.328	3.676	0.601	4.40	8.994	3.571	9.059	66.30
2.328	3.731	1.719	12.58	10.994	3.597	12.15	88.92
2.494	3.731	1.844	13.50	11.161	3.65	12.405	90.79
2.661	3.704	1.956	14.32	11.328	3.676	12.673	92.75
2.828	3.731	2.081	15.23	11.494	3.623	12.945	94.74
2.994	3.704	2.202	16.12	11.661	3.597	13.214	96.71
3.161	3.731	2.33	17.05	11.828	3.597	13.462	98.52
3.328	3.759	2.448	17.92	11.9	3.597	13.559	99.23
3.494	3.704	2.605	19.07	11.9	3.623	13.568	99.30
3.661	3.676	2.748	20.11	11.922	3.597	13.593	99.48
4.328	3.676	3.34	24.44	11.972	3.049	13.641	99.83
4.494	3.676	3.48	25.47	11.972	3.03	13.644	99.85
4.661	3.704	3.639	26.63	11.986	3.03	13.655	99.93
4.828	3.704	3.796	27.78	11.983	3.012	13.66	99.97
4.994	3.626	3.983	29.15	11.992	3.012	13.664	100.00
5.161	3.704	4.161	30.45	12.006	3.012	13.664	100.00
5.328	3.676	4.357	31.89	12	2.994	13.662	99.99
5.494	3.125	4.528	33.14	12.011	2.994	13.662	99.99
5.661	3.676	4.713	34.49	12.017	2.994	13.662	99.99
5.828	3.676	4.922	36.02	12.017	2.976	13.659	99.96
5.994	3.676	5.12	37.47	12.028	2.959	13.64	99.85
6.161	3.676	5.316	38.91	12.033	2.907	13.61	99.62
6.328	3.65	5.516	40.37	12.036	2.907	13.561	99.25
6.494	3.676	5.716	41.83	12.036	0.000	13.664	100.00

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Cuadro 49.*4° Ensayo de deformación 0.02 mm/min en el centro f°c:210*

TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%	TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%
0.000	3.759	0.006	0.04	5.833	3.759	2.67	19.36
0.017	4.348	0.011	0.08	6.000	3.497	2.81	20.34
0.033	3.788	0.013	0.09	6.167	2.941	2.931	21.24
0.033	3.788	0.015	0.11	6.333	3.650	3.052	22.12
0.088	3.817	0.027	0.20	7.000	3.571	3.609	26.15
0.088	3.759	0.029	0.21	7.167	3.623	3.758	27.23
0.100	3.731	0.032	0.23	7.333	3.623	3.906	28.31
0.115	3.759	0.034	0.25	7.500	3.497	4.054	29.38
0.117	3.788	0.035	0.25	7.667	3.704	4.199	30.43
0.128	3.788	0.038	0.28	7.833	3.597	4.353	31.55
0.139	3.906	0.042	0.30	8.000	3.546	4.506	32.66
0.154	3.759	0.042	0.30	8.167	3.448	4.668	33.83
0.156	3.759	0.044	0.32	8.333	3.521	4.838	35.06
0.268	3.788	0.077	0.56	10.167	3.623	6.925	50.19
0.288	3.759	0.08	0.58	10.333	3.623	7.114	51.55
0.293	3.846	0.081	0.59	10.5	2.747	7.317	53.03
0.309	3.731	0.087	0.63	10.667	3.546	7.553	54.74
0.319	3.731	0.089	0.65	10.833	3.69	7.797	56.50
0.333	3.731	0.093	0.67	11	3.623	8.034	58.22
0.5	3.768	0.133	0.96	11.167	3.704	8.274	59.96
0.667	3.759	0.174	1.26	11.333	3.597	8.523	61.77
0.833	3.788	0.224	1.62	11.5	3.731	8.737	63.32
1	3.731	0.256	1.86	11.667	3.472	8.932	64.73
1.167	3.759	0.256	1.86	11.833	3.333	9.158	66.37
2.667	4.854	0.819	5.94	13.333	3.571	11.511	83.42
2.833	3.731	0.982	7.12	13.5	3.497	11.779	85.36
3	3.759	0.972	7.04	13.667	3.401	12.029	87.17
3.167	3.759	1.044	7.57	13.833	3.697	12.30	89.12
3.333	3.759	1.12	8.12	14.000	4.000	12.54	90.84
3.500	3.759	1.203	8.72	14.167	3.378	12.79	92.69
3.667	3.623	1.298	9.41	14.333	4.098	13.039	94.49
3.833	2.941	1.398	10.13	14.500	3.378	13.301	96.39
4.000	3.623	1.491	10.81	14.667	3.333	13.562	98.28
4.167	3.597	1.577	11.43	14.686	3.356	13.587	98.46
4.333	3.676	1.68	12.18	14.700	3.226	13.61	98.66
4.500	3.704	1.795	13.01	14.719	3.268	13.63	98.78
5.500	3.704	2.428	17.60	14.814	3.242	13.80	100.00
5.667	2.994	2.549	18.47				

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Cuadro 50.*1° Ensayo de deformación 0.02 mm/min en el centro $f'c:350$*

TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%	TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%
0.000	3.731	0.048	0.36	1.767	3.731	0.40	2.97
0.017	3.788	0.048	0.36	1.817	3.731	0.415	3.07
0.033	3.759	0.048	0.36	1.833	3.731	0.42	3.11
0.100	3.731	0	0.00	1.900	3.788	0.441	3.26
0.6	3.623	0.113	0.84	6.45	3.759	2.479	18.35
0.817	3.597	0.159	1.18	8.617	3.650	4.093	30.30
0.833	3.676	0.164	1.21	8.783	3.731	4.244	31.42
0.967	3.704	0.197	1.46	10.117	3.817	5.547	41.07
0.983	3.676	0.202	1.50	10.283	4.808	5.729	42.42
1.000	3.701	0.205	1.52	10.450	3.676	5.90	43.68
1.017	3.704	0.211	1.56	10.617	3.731	6.10	45.19
1.033	3.704	0.215	1.59	10.783	4.386	6.298	46.63
1.050	3.759	0.22	1.63	10.950	3.704	6.483	48.00
1.067	3.731	0.224	1.66	11.117	3.788	6.678	49.44
1.300	3.676	0.278	2.06	13.450	3.676	9.644	71.40
1.317	3.676	0.282	2.09	13.617	3.700	9.859	72.99
1.333	3.623	0.286	2.12	13.783	3.788	10.082	74.64
1.350	3.704	0.291	2.15	13.950	3.731	10.30	76.25
1.367	3.704	0.296	2.19	14.117	3.650	10.52	77.89
1.383	3.65	0.301	2.23	14.283	3.422	10.735	79.48
1.400	3.597	0.306	2.27	14.450	3.676	10.971	81.22
1.417	3.731	0.31	2.30	14.617	3.676	11.222	83.08
1.433	3.731	0.314	2.32	14.783	3.623	11.455	84.81
1.450	3.704	0.319	2.36	14.950	3.623	11.702	86.64
1.467	3.65	0.324	2.40	15.117	3.676	11.95	88.49
1.483	3.704	0.33	2.44	15.283	3.650	12.21	90.42
1.500	3.65	0.331	2.45	15.450	3.623	12.481	92.40
1.517	3.676	0.335	2.48	15.617	3.597	12.761	94.48
1.533	3.676	0.339	2.51	15.783	3.571	13.02	96.39
1.550	3.788	0.345	2.55	15.950	3.704	13.223	97.90
1.567	3.788	0.352	2.61	16.117	3.623	13.438	99.49
1.650	3.704	0.378	2.80	16.200	3.546	13.505	99.99
1.667	3.731	0.384	2.84	16.217	3.623	13.505	99.99
1.683	3.768	0.39	2.89	16.233	3.521	13.498	99.93
1.700	3.759	0.393	2.91	16.250	3.650	13.46	99.67
1.717	3.731	0.399	2.95	16.267	0.772	13.29	98.36
1.733	3.731	0.402	2.98	16.267	0.772	13.507	100.00
1.750	3.731	0.402	2.98				

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Cuadro 51.*2° Ensayo de deformación 0.02 mm/min en el centro $f'c:350$*

TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%	TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%
0.220	3.597	1.796	10.90	0.450	3.700	6.40	39.00
0.220	3.546	1.821	11.10	0.450	3.790	6.42	39.10
0.294	3.106	2.894	17.60	0.548	2.920	9.53	58.00
0.295	3.731	2.921	17.80	0.548	2.940	9.56	58.20
0.296	3.704	2.937	17.90	0.549	3.380	9.586	58.40
0.367	3.759	4.336	26.40	0.627	3.760	12.55	76.40
0.368	3.704	4.345	26.40	0.629	3.050	12.62	76.80
0.369	3.65	4.364	26.60	0.629	3.110	12.647	77.00
0.369	3.731	4.377	26.60	0.631	3.010	12.687	77.20
0.370	3.759	4.391	26.70	0.631	2.980	12.72	77.50
0.371	3.759	4.414	26.90	0.632	3.030	12.75	0.10
0.372	3.759	4.431	27.00	0.633	3.470	12.783	77.80
0.372	3.731	4.443	27.00	0.633	3.010	12.815	78.00
0.374	3.704	4.464	27.20	0.634	3.470	12.84	0.10
0.425	3.759	5.747	35.00	0.694	2.990	15.41	93.80
0.427	3.704	5.782	35.20	0.694	4.240	15.46	94.10
0.428	3.876	5.805	35.30	0.695	3.730	15.499	94.30
0.430	3.755	5.876	35.80	0.699	3.790	15.674	95.40
0.431	3.731	5.898	35.90	0.700	3.790	15.723	95.70
0.432	3.731	5.916	36.00	0.700	3.250	15.74	95.80
0.432	3.731	5.931	36.10	0.701	3.270	15.78	96.10
0.434	3.731	5.954	36.20	0.702	3.770	15.824	96.30
0.434	3.759	5.972	36.40	0.703	1.950	15.856	96.50
0.435	3.751	5.986	36.40	0.703	3.430	15.88	0.10
0.436	3.704	6.016	36.60	0.705	3.190	15.97	97.20
0.437	3.959	6.029	36.70	0.706	2.960	16.006	97.40
0.437	3.704	6.049	36.80	0.707	3.050	16.058	97.70
0.438	3.731	6.068	36.90	0.707	3.150	16.08	97.90
0.439	3.731	6.088	37.10	0.708	2.170	16.11	98.10
0.439	3.902	6.106	37.20	0.709	3.090	16.152	98.30
0.440	3.731	6.14	0.00	0.710	3.030	16.189	98.50
0.441	4.386	6.162	37.50	0.710	3.050	16.21	98.70
0.445	3.755	6.271	38.20	0.715	2.210	16.37	99.70
0.446	3.704	6.289	38.30	0.716	2.210	16.398	99.80
0.446	3.731	6.305	38.40	0.717	2.180	16.413	99.90
0.447	4.902	6.343	38.60	0.717	2.170	16.42	100.00
0.448	3.759	6.361	38.70	0.719	0.770	16.33	99.40
0.449	3.759	6.379	38.80	0.720	0.770	16.428	100.00

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Cuadro 52.*3° Ensayo de deformación 0.02 mm/min en el centro f°c:350*

TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%	TIEMPO (s)	VELOCIDAD	CARGA (kN)	%
0.017	3.876	0.01	0.10	0.414	4.430	2.86	23.70
0.024	3.786	0.08	0.70	0.421	3.790	2.92	24.20
0.031	3.846	0.11	0.90	0.428	3.270	2.99	24.70
0.038	3.817	0.15	1.20	0.435	4.240	3.13	25.80
0.045	3.788	0.18	1.50	0.442	3.940	3.24	26.80
0.052	3.817	0.22	1.80	0.449	4.270	3.36	27.80
0.059	3.846	0.26	2.10	0.456	3.680	3.48	28.80
0.066	4.098	0.29	2.40	0.463	4.030	3.61	29.90
0.073	3.826	0.32	2.60	0.470	3.790	3.72	30.80
0.177	4	0.96	7.90	0.574	3.73	5.86	48.50
0.184	4	1.01	8.40	0.581	3.73	6.03	49.90
0.191	3.049	1.06	8.80	0.588	3.76	6.18	51.10
0.198	3.401	1.12	9.20	0.595	3.05	6.32	52.30
0.205	3.876	1.18	9.70	0.602	3.76	6.49	53.60
0.212	3.817	1.24	10.30	0.609	3.76	6.66	55.10
0.219	3.817	1.3	10.80	0.615	3.79	6.83	56.50
0.226	3.049	1.35	11.10	0.622	3.7	6.99	57.80
0.233	4.167	1.36	11.30	0.629	3.73	7.18	59.40
0.24	3.866	1.43	11.80	0.636	3.73	7.36	60.90
0.247	3.846	1.49	12.40	0.643	3.73	7.55	62.40
0.254	3.788	1.56	12.90	0.65	3.79	7.73	64.00
0.261	3.817	1.62	13.40	0.657	3.4	7.93	65.60
0.268	4.032	1.67	13.80	0.664	3.19	8.11	67.10
0.275	4.032	1.74	14.40	0.671	3.17	8.31	68.70
0.281	4	1.77	14.70	0.678	2.94	8.5	70.30
0.288	3.876	1.83	15.10	0.685	3.17	8.72	72.10
0.295	4.202	1.9	15.70	0.692	3.15	8.93	73.90
0.302	3.782	1.96	16.20	0.699	3.82	9.12	75.40
0.344	3.817	2.26	18.70	0.74	3.7	10.35	85.60
0.352	3.289	2.32	19.20	0.747	3.650	10.59	87.60
0.359	3.049	2.4	19.80	0.754	3.570	10.80	89.40
0.365	3.876	2.46	20.30	0.761	3.200	11.03	91.20
0.372	3.759	2.51	20.80	0.768	3.620	11.24	93.00
0.379	4	2.56	21.20	0.775	3.570	11.44	94.60
0.386	4.098	2.62	21.70	0.782	4.000	11.61	96.00
0.393	3.876	2.69	22.20	0.789	4.170	11.85	98.00
0.400	3.759	2.75	22.80	0.796	0.790	12.09	100.00
0.407	3.876	2.82	23.30				

Fuente: Elaboración propia, 2023.