

UNIVERSIDAD AUTONOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS Y CIENCIAS DE LOS
MATERIALES



**“EVALUACIÓN DEL PROCESO DE FISURACIÓN EN VIGAS
SOMETIDAS A FLEXIÓN CON VARIACIÓN DE LA CARGA
UTILIZANDO EL ULTRASONIDO”**

Por:

LEMA SORUCO DANIEL

SEMESTRE - I - 2021

TARIJA - BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTONOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS Y CIENCIAS DE LOS
MATERIALES

“EVALUACIÓN DEL PROCESO DE FISURACIÓN EN VIGAS
SOMETIDAS A FLEXIÓN CON VARIACIÓN DE LA CARGA
UTILIZANDO EL ULTRASONIDO”

Por:

LEMA SORUCO DANIEL

SEMESTRE - I - 2021

TARIJA - BOLIVIA

El docente y tribunal evaluador del Proyecto de Ingeniería Civil, no se solidarizan con los términos, la forma, los modos y las expresiones empleados en la elaboración del presente, siendo los mismos únicamente responsabilidad del autor.

El presente trabajo está dedicado a mi familia por haber sido mi apoyo a lo largo de toda mi carrera universitaria y a lo largo de mi vida. A todas las personas especiales que me acompañaron en esta etapa, aportando a mi formación tanto profesional y como ser humano.

Dicen que la mejor herencia que nos pueden dejar los padres son los estudios, sin embargo, no creo que sea el único legado del cual yo particularmente me siento muy agradecido, mis padres me han permitido trazar mi camino y caminar con mis propios pies. Ellos son mis pilares de la vida, les dedico este trabajo de titulación.

INDICE

CAPÍTULO I.- GENERALIDADES	1
1.1 Introducción	1
1.2 El problema	1
1.2.1 Planteamiento	1
1.2.2 Formulación	1
1.3 Justificación.....	2
1.4 Objetivos	2
1.4.1 General	2
1.4.2 Específico.....	2
1.5 Hipótesis.....	3
1.6 Limitantes.....	3
CAPÍTULO II.- MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 Generalidades del hormigón	4
2.1.1 Definición de hormigón	4
2.1.2 Cemento Portland.....	4
2.1.2.1 Definición.....	4
2.1.2.2 Composición química.....	4
2.1.2.3 Características físicas y mecánicas del cemento Portland	5
2.1.2.3.1 Fraguado.....	5
2.1.2.3.2 Expansión.....	5
2.1.2.3.3 Finura de molido	5
2.1.2.3.4 Resistencia mecánica a la comprensión.	6
2.1.3 Agregados	6

2.1.3.1 Grava	6
2.1.3.2 Arena	7
2.1.4 Agua	7
2.2 Generalidades del hormigón armado	7
2.2.1 Definición del hormigón armado	7
2.2.2 Ventajas y desventajas del hormigón armado	8
2.2.2.1 Ventajas	8
2.2.2.2 Desventajas	8
2.2.3 Comportamiento del hormigón armado a la flexión	8
2.2.3.1 Deducción de la fórmula de la flexión	9
2.2.4 Tipología de daños	12
2.2.4.1 Fisuras	12
2.2.5 El estado límite de fisuración	13
2.2.5.1 Momento de fisuración	14
2.2.5.2 Determinación de armadura	15
2.2.5.3 Determinación de la carga máxima	15
2.3 Aplicación del ensayo y normas usadas	15
2.4 El método de ultrasonido	18
2.4.1 Fundamento y descripción del método	18
2.4.1.1 Definición de la onda emitida	20
2.4.1.1.1 Teoría de la onda ultrasónica	20
2.4.1.1.2 Energía de la onda	22
2.4.1.1.3 Profundidad efectiva Z de penetración de las ondas	22
2.4.1.1.4 Características de un haz ultrasónico	23

2.4.1.1.5 Elección de la frecuencia de emisión	25
2.4.1.2 Diferentes tipos de onda.....	25
2.4.1.2.1 La onda longitudinal	26
2.4.1.2.2 La onda transversal	26
2.4.1.3 Posición relativa de los dos transductores.....	26
2.4.2 Factores de influencia de las medidas	28
2.4.2.1 Compuestos del hormigón.	29
2.4.2.2 Tipo y dimensiones del elemento que se ensaya.....	29
2.4.2.3 Temperatura del hormigón.....	29
2.4.2.4 Estado tensional del hormigón.....	30
2.4.2.5 Edad del hormigón.....	30
2.4.2.6 Longitud de recorrido.....	31
2.4.2.7 Contenido de humedad.....	31
2.4.2.8 Acoplamiento superficie de ensayo	32
2.4.2.9 Presencia de armadura.....	32
2.4.3 Usos del ultrasonido como método de ensayo no destructivo	33
2.4.3.1 Evaluación de la uniformidad y microfisuración del hormigón.....	33
2.4.3.2 Estimación de la resistencia	34
2.4.3.3 Detección de coqueras.....	35
2.4.3.4 Estimación de la profundidad de fisuras superficiales.....	36
2.4.3.5 Estimación del espesor de una capa de hormigón de inferior calidad	37
2.4.3.6 Estimación del módulo elástico	38
2.4.4 Uso del ultrasonido para detectar la fisuración.....	38
CAPÍTULO III.- MARCO PRÁCTICO	41

3.1 Cálculo de la armadura	41
3.2 Momento de fisuración	44
3.3 Determinación de la carga máxima.....	45
3.4 Calibración de equipo	47
3.5 Análisis de resultados.....	48
3.5.1 Análisis de fisuración en la viga	48
3.5.2 Análisis de fisuración en la parte de contacto de la armadura-hormigón	53
3.6 Mapa de fisuración	58
3.7 Contrastaciones	78
3.7.1 Contrastación de hipótesis	78
3.7.2 Contrastación de los momentos aplicados	78
CONCLUSIONES	79
BIBLIOGRAFÍA	81
ANEXOS	83

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Viga en estado inicial.....	9
Figura 2.2. Deformación en viga	9
Figura 2.3. Fisuras de flexión.....	13
Figura 2.4. Ensayo de flexion pura	16
Figura 2.5. Aparato para realizar el ensayo en dos puntos, en el tercio central	17
Figura 2.6. y 2.7. Condiciones para formar flexión pura	17
Figura 2.8. Esquema de principio de ensayo del método ultrasónico.....	19
Figura 2.9. Principio de funcionamiento del aparato de ensayo	19
Figura 2.10. Haz ultrasónico; definición de las diferentes zonas.....	24
Figura 2.11. Diferentes posiciones de los transductores	28
Figura 2.12. Curvas de isovelocidad (km/s) en una viga de hormigón.....	33
Figura 2.13. Detección de una coquera mediante una medida directa.....	36
Figura 2.14. Equipo del ultrasonido.....	41
Figura 3.1. Puntos analizados (longitudinal), distancias en cm	47
Figura 3.2. Curva de calibración 21 MPa. Elaboración conjunta	47
Figura 3.3. Curva de calibración 25 MPa. Elaboración conjunta	48
Figura 3.4. Fisuración 21 MPa Ø10 mm.....	49
Figura 3.5. Fisuración 21 MPa Ø12 mm.....	49
Figura 3.6. Fisuración 25 MPa Ø10 mm.....	50
Figura 3.7. Fisuración 25 MPa Ø12 mm.....	52
Figura 3.8. Fisuración viga de 21 MPa Ø 10 mm en la parte de la armadura.....	50
Figura 3.9. Fisuración viga de 21 MPa Ø 12 mm en la parte de la armadura.....	51
Figura 3.10. Fisuración viga de 25 MPa Ø 10 mm en la parte de la armadura.....	52

Figura 3.11. Fisuración viga de 25 MPa Ø 12 mm en la parte de la armadura.....	53
Figura 3.12. Isolineas en viga de 21 MPa Ø 10 mm sin carga.....	58
Figura 3.13. Isolineas en viga de 21 MPa Ø 10 mm primera carga.....	59
Figura 3.14. Isolineas en viga de 21 MPa Ø 10 mm segunda carga	60
Figura 3.15. Isolineas en viga de 21 MPa Ø 10 mm tercera carga	60
Figura 3.16. Isolineas en viga de 21 MPa Ø 10 mm cuarta carga	61
Figura 3.17. Isolineas en viga de 21 MPa Ø 12 mm sin carga.....	62
Figura 3.18. Isolineas en viga de 21 MPa Ø 12 mm primera carga.....	60
Figura 3.19. Isolineas en viga de 21 MPa Ø 12 mm segunda carga	61
Figura 3.20. Isolineas en viga de 21 MPa Ø 12 mm tercera carga	62
Figura 3.21. Isolineas en viga de 21 MPa Ø 12 mm cuarta carga	63
Figura 3.22. Isolineas en viga de 25 MPa Ø 10 mm sin carga.....	68
Figura 3.23. Isolineas en viga de 25 MPa Ø 10 mm primera carga.....	69
Figura 3.24. Isolineas en viga de 25 MPa Ø 10 mm segunda carga	70
Figura 3.25. Isolineas en viga de 25 MPa Ø 10 mm tercera carga	71
Figura 3.26. Isolineas en viga de 25 MPa Ø 10 mm cuarta carga	72
Figura 3.27. Isolineas en viga de 25 MPa Ø 12 mm sin carga.....	73
Figura 3.28. Isolineas en viga de 25 MPa Ø 12 mm primera carga.....	70
Figura 3.29. Isolineas en viga de 25 MPa Ø 12 mm segunda carga	71
Figura 3.30. Isolineas en viga de 25 MPa Ø 12 mm tercera carga	72
Figura 3.31. Isolineas en viga de 25 MPa Ø 12 mm cuarta carga	73

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Compuestos principales del cemento portland.....	4
Tabla 3.1. Valores determinados para la carga	45
Tabla 3.2. Valores optados para la carga	46
Tabla 3.3. Microfisuración de la viga de 21 MPa con fierro de 10 mm	48
Tabla 3.4. Microfisuración de la viga de 21 MPa con fierro de 12 mm	49
Tabla 3.5. Microfisuración de la viga de 25 MPa con fierro de 10 mm	50
Tabla 3.6. Microfisuración de la viga de 25 MPa con fierro de 12 mm	51
Tabla 3.7. Microfisuración de la viga de 21 MPa con fierro de 10 mm en la parte de contacto de la armadura con el hormigón	50
Tabla 3.8. Microfisuración de la viga de 21 MPa con fierro de 12 mm en la parte de contacto de la armadura con el hormigón	51
Tabla 3.9. Microfisuración de la viga de 25 MPa con fierro de 10 mm en la parte de contacto de la armadura con el hormigón	52
Tabla 3.10. Microfisuración de la viga de 25 MPa con fierro de 10 mm en la parte de contacto de la armadura con el hormigón	53
Tabla 3.11. Valores de 21 MPa 10 mm sin carga	58
Tabla 3.12. Valores de 21 MPa 10 mm primera carga.....	59
Tabla 3.13. Valores de 21 MPa 10 mm segunda carga.....	60
Tabla 3.14. Valores de 21 MPa 10 mm tercera carga	60
Tabla 3.15. Valores de 21 MPa 10 mm cuarta carga	61
Tabla 3.16. Valores de 21 MPa 12 mm sin carga	62
Tabla 3.17. Valores de 21 MPa 12 mm primera carga.....	60
Tabla 3.18. Valores de 21 MPa 12 mm segunda carga.....	61
Tabla 3.19. Valores de 21 MPa 12 mm tercera carga	62

Tabla 3.20. Valores de 21 MPa 12 mm cuarta carga	63
Tabla 3.21. Valores de 25 MPa 10 mm sin carga	64
Tabla 3.22. Valores de 25 MPa 10 mm primera carga.....	65
Tabla 3.23. Valores de 25 MPa 10 mm segunda carga.....	66
Tabla 3.24. Valores de 25 MPa 10 mm tercera carga	71
Tabla 3.25. Valores de 25 MPa 10 mm cuarta carga	72
Tabla 3.26. Valores de 25 MPa 12 mm sin carga	73
Tabla 3.27. Valores de 25 MPa 12 mm primera carga.....	70
Tabla 3.28. Valores de 25 MPa 12 mm segunda carga.....	71
Tabla 3.29. Valores de 25 MPa 12 mm tercera carga	72
Tabla 3.30. Valores de 25 MPa 12 mm cuarta carga	73