



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**INFLUENCIA DE ABERTURAS POR TUBERÍAS INSERTAS
VERTICALMENTE EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE
VIGAS DE CONCRETO ARMADO EN JULIACA, 2023**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. GAYDY GIOVAN LANZA CHOQUEMALLCO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO – PERÚ

2024



NOMBRE DEL TRABAJO

**INFLUENCIA DE ABERTURAS POR
TUBERÍAS INSERTAS VERTICALMENTE
EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE
VIGAS DE CONCRETO ARMADO
ENJULIACA,2023**

AUTOR

Gaydy Giovan L anza Choquemallco

RECUENTO DE PALABRAS

73675 Words

RECUENTO DE CARACTERES

340055 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

305 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

11.9MB

FECHA DE ENTREGA

Nov 19, 2024 6:56 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Nov 19, 2024 7:03 AM GMT-5

● **5% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 5% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 3% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 12 palabras)

Mgtr. Ing. Nicolas Luza Flores
DIRECTOR / ASESOR

VºBº
19/11/2024

Ing. Jaime Medina Leiva
DOCENTE UNIVERSITARIO
COD. UNA N° 910545
COORDINADOR INU-EPIC

Resumen



DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia, quienes han sido mi fuente constante de amor, apoyo y comprensión. Su inquebrantable aliento y sacrificio han sido fundamentales para alcanzar este logro académico. A mis amigos y seres queridos, quienes han compartido risas y lágrimas a lo largo de este viaje, les agradezco por estar siempre a mi lado. También, dedico esta tesis a mis profesores y mentores, cuya sabiduría y guía han sido fundamentales en mi formación. Por último, pero no menos importante, dedico este trabajo a todos aquellos que anhelan el conocimiento y la superación personal, recordándoles que, con dedicación y esfuerzo, los sueños pueden convertirse en realidad. Gracias a todos por ser parte de este capítulo de mi vida.

Gaydy Giovan, Lanza Choquemallco



AGRADECIMIENTOS

A mis queridos padres, Juan y Lara; por su amor incondicional, apoyo constante y sacrificio incansable a lo largo de mi vida. Su fe en mí y su aliento constante han sido la fuerza impulsora detrás de cada logro, incluyendo esta tesis. Gracias por creer en mí y por ser la base sólida sobre la cual he construido mis logros.

A mis respetados asesores, docentes y mentores; por su orientación experta, sabiduría compartida y paciencia inagotable. Cada lección que he aprendido de ustedes ha sido un faro en mi camino hacia la excelencia académica y profesional.

A mis hermanos por su paciencia, comprensión y constante presencia en cada fase de mi vida. Su aliento, compañía y respaldo incondicional han sido esenciales en este viaje, y estoy agradecido por la profunda complicidad que hemos compartido.

A mis amigos y seres queridos; por su apoyo inquebrantable, comprensión y ánimo en los momentos más desafiantes. Sus risas, conversaciones y apoyo moral han hecho que este viaje sea inolvidable.

A mi amada novia Luz Delia; tu amor, paciencia y comprensión han sido un faro de luz en medio de las tormentas, tu apoyo inquebrantable ha sido mi mayor bendición. Tú eres mi inspiración constante.

A todos los que en manera contribuyeron a este logro, sus esfuerzos y apoyo no han pasado desapercibidos. Esta tesis es un esfuerzo colectivo que refleja el apoyo de muchos.

Este trabajo está dedicado a todos ustedes con profundo agradecimiento. Su influencia en mi vida y en este proyecto es innegable. Gracias por ser parte de este emocionante viaje.

Gaydy Giovan, Lanza Choquemallico



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ACRÓNIMOS Y NOTACIÓN	
RESUMEN	21
ABSTRACT.....	22
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	25
1.1.1. Identificación del problema.....	25
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	26
1.2.1. Pregunta general.....	26
1.2.2. Preguntas específicas.....	27
1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	27
1.3.1. Hipótesis general	27
1.3.2. Hipótesis específicas	27
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	28
1.4.1. Justificación metodológica.....	28
1.4.2. Importancia del estudio	30
1.4.3. Relevancia del estudio.....	31



1.4.3.1. Credibilidad.....	31
1.4.3.2. Transferibilidad.....	32
1.4.3.3. Fidelidad.....	32
1.4.3.4. Confirmabilidad.....	33
1.4.4. Consecuencias del estudio.....	33
1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	34
1.5.1. Objetivo general.....	34
1.5.2. Objetivos específicos.....	34
CAPÍTULO II	
REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1. ANTECEDENTES.....	35
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	35
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	39
2.2. MARCO TEÓRICO.....	43
2.2.1. Propiedades mecánicas de vigas de concreto armado.....	43
2.2.1.1. Resistencia a la flexión y cortante.....	43
2.2.1.2. Rigidez a la flexión.....	45
2.2.1.3. Deflexión flexional.....	46
2.2.2. Aberturas por tuberías insertas verticalmente.....	52
2.2.2.1. Tuberías PVC-U.....	53
2.3. MARCO NORMATIVO LEGAL.....	53
2.3.1. Reglamento nacional de edificaciones E.060 (RNE, 2020).....	53
2.3.2. Consideraciones del ACI IPS-1 (International Publication Series).....	55
2.3.3. American Concrete Institute (ACI 318-19).....	56



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	57
3.1.1. Tipo de investigación	57
3.1.2. Enfoque de investigación	57
3.1.3. Nivel de investigación.....	57
3.1.4. Diseño de la investigación.....	58
3.1.5. Matriz de consistencia.....	60
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA DE ESTUDIO	62
3.2.1. Población.....	62
3.2.2. Muestra.....	62
3.2.2.1. Muestreo no probabilístico.....	63
3.3. MATERIALES.....	65
3.3.1. Cemento Portland.....	65
3.3.2. Agregado fino.....	66
3.3.3. Agregado grueso	67
3.3.4. Acero de refuerzo corrugado.....	67
3.3.5. Tuberías PVC-U.....	68
3.3.6. Agua	68
3.4. RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS	69
3.4.1. Fuentes, estrategias y herramientas para la recopilación de datos.	69
3.4.2. Análisis y presentación de datos	70
3.4.2.1. Análisis de datos.....	70
3.4.3. Fuentes de información primaria y el programa experimental sugerido. 70	
3.4.3.1. Proceso de selección de la muestra	70



3.4.3.2. Dimensiones de las vigas	71
3.4.3.3. Criterios de ubicación de Tuberías PVC-U	71
3.5. DISEÑO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO	75
3.5.1. Descripción y procedimiento de diseño de vigas de concreto armado ...	75
3.5.2. Diseño de vigas	75
3.5.2.1. Composición de la mezcla para vigas	75
3.5.2.2. Predimensionamiento	93
3.5.2.3. Cuantificación de cargas	93
3.5.2.4. Cálculo del acero longitudinal.....	97
3.5.2.5. Determinación del acero transversal	101
3.5.2.6. Deflexiones estimadas.....	105
3.6. PROCESO CONSTRUCTIVO Y ENSAYO DE VIGAS EN ESTUDIO ..	114
3.6.1. Preparación del laboratorio	114
3.6.2. Proceso constructivo de las 14 vigas.....	115
3.6.3. Encofrado de las vigas.....	115
3.6.4. Refuerzo longitudinal y transversal.....	117
3.6.5. Incorporación de tuberías de PVC-U en las vigas.....	119
3.6.6. Vertido del concreto $f'c=210$ kg/cm ²	120
3.6.7. Instrumentos y equipos de medición.....	125
3.6.8. Ensayo de vigas de concreto armado	127
3.6.8.1. Descripción del ensayo aplicado a las vigas en estudio	127
3.6.8.2. Registro de ensayos de vigas de concreto armado	130

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE BRIQUETAS CILÍNDRICAS	133
--	------------



4.2.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	135
4.2.1.	Relación carga total y deflexión en el centro de la viga.....	135
4.2.2.	Resistencia a la flexión de vigas de concreto armado	157
4.2.2.1.	Eficiencia en relación con la carga de fluencia	157
4.2.2.2.	Eficiencia en relación con la carga del agrietamiento	161
4.2.3.	Rigidez de las vigas de concreto armado en análisis	165
4.2.3.1.	Eficiencia de la rigidez, empleando el criterio de “ k_1 ”	179
4.2.3.2.	Eficiencia de la rigidez, empleando el criterio de “ k_2 ”	182
4.2.3.3.	Eficiencia de la rigidez, empleando el criterio de “ P_T ”	185
4.2.4.	Momento de inercia efectivo en las vigas analizadas	188
4.2.4.1.	Eficiencia del momento inercia, empleando el criterio “ k_1 ”	202
4.2.4.2.	Eficiencia del momento inercia, empleando el criterio “ k_2 ”	205
4.2.4.3.	Eficiencia del momento de inercia, basado en el criterio de P_T 208	
4.2.5.	Deflexión bajo cargas de servicio	212
4.2.5.1.	Eficiencia de la deflexión en relación con la carga de servicio	212
4.2.6.	Agrietamiento.....	216
4.2.6.1.	Eficiencia en relación con la carga de agrietamiento P_{cr}	218
4.2.6.2.	Eficiencia en relación con la deflexión del agrietamiento δ_{cr}	219
4.2.7.	Deflexión elástica de las vigas, en cada momento de carga.....	223
4.2.8.	Patrón de fisuras en las vigas de concreto armado.....	232
4.3.	RESUMEN DE RESULTADOS	240
4.3.1.	Resistencia a la flexión y corte de vigas de concreto armado	242
4.3.1.1.	Comparación de los casos estudiados	245
4.3.2.	Rigidez de las vigas de concreto armado en estudio.....	250
4.3.2.1.	Comparación de los casos estudiados	254



4.3.3. Momento de inercia para los casos de las vigas en estudio	258
4.3.3.1. Comparación de los casos estudiados	262
4.3.4. Deflexión bajo cargas de servicio	266
4.3.4.1. Comparación de los casos estudiados	269
4.3.5. Agrietamiento.....	273
4.3.5.1. Comparación de los casos estudiados	275
4.3.6. Deflexión elástica de vigas, en cada momento de carga	279
4.3.7. Patrón de fisuras en las vigas de concreto armado.....	280
4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	281
4.5. CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS	284
4.5.1. Cumplimiento de objetivo específico Nro. 01	284
4.5.2. Cumplimiento de objetivo específico Nro. 02	286
4.5.3. Cumplimiento de objetivo específico Nro. 03	287
4.5.4. Cumplimiento del objetivo general	289
V. CONCLUSIONES.....	292
VI. RECOMENDACIONES	295
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	298
ANEXOS.....	303

Área: Estructuras

Tema: Propiedades mecánicas de vigas de concreto armado por la inserción vertical de tuberías PVC.

Línea de investigación: Análisis y diseño estructural.

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 29 de noviembre del 2024.



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1	Valores de ξ en relación con el tiempo..... 51
Tabla 2	Matriz de consistencia 60
Tabla 3	Características técnicas del cemento utilizado 65
Tabla 4	Propiedades geométricas y caracterización de vigas de concreto armado . 74
Tabla 5	Análisis de partículas del agregado grueso, cantera Isla 77
Tabla 6	Peso unitario suelto del agregado grueso 78
Tabla 7	Peso unitario compactado del agregado grueso..... 79
Tabla 8	Peso específico del agregado grueso 79
Tabla 9	Absorción del agregado grueso 80
Tabla 10	Contenido de humedad del agregado grueso 80
Tabla 11	Módulo de fineza del agregado fino, cantera Isla..... 82
Tabla 12	Peso específico del agregado fino 83
Tabla 13	Absorción del agregado fino 84
Tabla 14	Contenido de humedad del agregado fino 84
Tabla 15	Resumen de características de los agregados 85
Tabla 16	Resistencia promedio necesaria para la compresión 86
Tabla 17	Requerimientos aproximados de agua en litros por cada m ³ de concreto .. 87
Tabla 18	Contenido del aire atrapado..... 88
Tabla 19	Relación agua – cemento de acuerdo con la resistencia..... 88
Tabla 20	Peso del agregado grueso por m ³ de concreto 89
Tabla 21	Cálculo de volúmenes absolutos 90
Tabla 22	Materiales utilizados en la mezcladora para $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ 92
Tabla 23	Valores y metrados de la viga evaluada 93
Tabla 24	Pesos unitarios de losa aligerada armada en una sola dirección..... 94
Tabla 25	Metrado y Peso propio de losa aligerada..... 94
Tabla 26	Metrado y peso propio de tabiquería 95
Tabla 27	Metrado y propio de los acabados 95
Tabla 28	Resistencia a compresión de las briquetas de las dos fases realizadas 133
Tabla 29	Carga total P_T en todos los casos de estudio en relación con la deflexión 137
Tabla 30	Carga de fluencia de los casos estudiados 158



Tabla 31	Determinación de la eficiencia basada en la carga de fluencia	159
Tabla 32	Carga de agrietamiento de los casos estudiados.....	162
Tabla 33	Determinación de la eficiencia basado en la carga de agrietamiento	162
Tabla 34	Rigidez de las vigas de estudio en diferentes instantes de carga.....	169
Tabla 35	Pendientes de regresiones lineales (P_T vs δ) para cada caso de estudio ..	179
Tabla 36	Eficiencia de casos basada en la pérdida de rigidez, según criterio k_1	180
Tabla 37	Eficiencia de casos basada en la pérdida de rigidez, según criterio k_2	183
Tabla 38	Rigidez de las vigas en estudio, para una carga de servicio P_T	185
Tabla 39	Eficiencias en base a la pérdida de rigidez en condiciones de P_T	186
Tabla 40	Momento de Inercia para los casos, en cada etapa de carga P_T	192
Tabla 41	Cálculo del momento de inercia mediante enfoque de la constante " k_1 ".	203
Tabla 42	Eficiencia del momento de inercia por el enfoque de la constante " k_1 " ...	203
Tabla 43	Cálculo del momento de inercia por el enfoque de la constante " k_2 "	206
Tabla 44	Eficiencia del momento de inercia por el enfoque de la constante " k_2 " ...	206
Tabla 45	Momento de inercia efectivo en las vigas, para la carga de servicio P_T ...	209
Tabla 46	Eficiencia respecto al momento de inercia para la carga de servicio P_T ..	210
Tabla 47	Deflexión en el centro de luz de cada viga para la carga de servicio P_T ..	213
Tabla 48	Eficiencia de la deflexión en el centro de luz bajo carga de servicio	214
Tabla 49	Regresiones lineales P_T y δ , y puntos de agrietamiento en las vigas	217
Tabla 50	Determinación de la eficiencia, basado en la carga de agrietamiento	218
Tabla 51	Determinación de la eficiencia, basado en deflexión por agrietamiento ..	220
Tabla 52	Eficiencia en relación de la carga y deflexión por agrietamiento	222
Tabla 53	Relación de casos de acuerdo con el diámetro y ubicación de tuberías ...	241
Tabla 54	Resumen de reducción resistencia a flexión y corte de vigas en estudio .	245
Tabla 55	Resumen de reducción en la rigidez de vigas en estudio	254
Tabla 56	Resumen de reducción en el momento de inercia efectivo de los casos ..	262
Tabla 57	Resumen del incremento de la deflexión bajo cargas de servicio	268
Tabla 58	Resumen del incremento de la deflexión bajo cargas de servicio	275
Tabla 59	Resumen de los casos de estudio.....	282
Tabla 60	Resumen de reducción en las propiedades mecánicas de las vigas.....	283



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1	Relación momento curvatura, para el ensayo experimental 44
Figura 2	Viga con fisuras por flexión y corte 47
Figura 3	Viga con carga uniforme distribuida 49
Figura 4	Viga con cargas puntuales en los tercios centrales..... 50
Figura 5	Factor multiplicador para deflexiones a largo plazo 52
Figura 1	Esquema del proceso de la investigación 59
Figura 2	Curva granulométrica del agregado grueso, cantera Isla..... 78
Figura 3	Agregado grueso de tamaño máximo nominal a 3/4" 81
Figura 4	Curva granulométrica del agregado fino, cantera Isla..... 83
Figura 5	Corte de la sección transversal de la viga..... 101
Figura 6	Diagrama de esfuerzo por cortante de la viga 102
Figura 7	Refuerzo longitudinal y transversal de la viga 105
Figura 8	Corte de la sección transversal de la viga..... 108
Figura 9	Diagrama de fuerza cortante y momento flector de la viga..... 111
Figura 10	Representación de la deflexión en función de P y P_T 113
Figura 11	Encofrado e instalación de tubos PVC-U en vigas de casos en estudio... 116
Figura 12	Refuerzo e instalación de tubos PVC-U en vigas de casos en estudio..... 117
Figura 13	Refuerzo y colocación de tubos PVC-U en vigas de casos en estudio..... 118
Figura 14	Refuerzo longitudinal y transversal en las vigas de casos en estudio 118
Figura 15	Instalación de tubos PVC-U en vigas de acuerdo con el caso de estudio 119
Figura 16	Instalación de tubos PVC-U en las vigas de los casos de estudio 120
Figura 17	Vertido del concreto en las vigas de los distintos casos de estudio..... 121
Figura 18	Vertido del concreto en las vigas para los casos de estudio 121
Figura 19	Culminación del vertido de concreto en las vigas 122
Figura 20	Determinación del slump del concreto de acuerdo a NTP 339.035 123
Figura 21	Preparación de muestras de probetas de concreto, NTP 339.033..... 123
Figura 22	Curado de vigas de concreto con lonas o mantas sumergidas en agua..... 124
Figura 23	Calibrador vernier digital 125
Figura 24	Marco de carga o prensa hidráulica con capacidad de 25 Tn..... 126
Figura 25	Marco de carga o prensa hidráulica ensamblado para los ensayos 129



Figura 26	Personal involucrado en los ensayos de las vigas	130
Figura 27	Diagrama de cajas y bigotes de resistencia a compresión	134
Figura 28	Resistencia a la compresión de briquetas de concreto.....	134
Figura 29	Esquema de la deflexión, al centro de la luz de la viga.....	136
Figura 30	Relación de carga y deflexión para la viga patrón V-01, C-I.....	141
Figura 31	Regresión lineal (P_T vs δ) para la viga patrón V-02, C-I	141
Figura 32	Relación de carga y deflexión para la viga patrón V-02, C-I.....	142
Figura 33	Regresión lineal (P_T vs δ) para la viga patrón V-02, C-I	142
Figura 34	Relación de carga y deflexión para la viga V-01, C-II.....	143
Figura 35	Regresión lineal (P_T vs δ) para la viga V-01, C-II	143
Figura 36	Relación de carga y deflexión para la viga V-02, C-II.....	144
Figura 37	Regresión lineal (P_T vs δ) para la viga V-02, C-II	144
Figura 38	Relación de carga y deflexión para la viga V-01, C-III.....	145
Figura 39	Regresión lineal (P_T vs δ) para la viga V-01, C-III.....	145
Figura 40	Relación de carga y deflexión para la viga V-02, C-III.....	146
Figura 41	Regresión lineal (P_T vs δ) para la viga V-02, C-III.....	146
Figura 42	Relación de carga y deflexión para la viga V-01, C-IV	147
Figura 43	Regresión lineal (P_T vs δ) para la viga V-01, C-IV	147
Figura 44	Relación de carga y deflexión para la viga V-02, C-IV	148
Figura 45	Regresión lineal (P_T vs δ) para la viga V-02, C-IV	148
Figura 46	Relación de carga y deflexión para la viga V-01, C-V.....	149
Figura 47	Regresión lineal (P_T vs δ) para la viga V-01, C-V	149
Figura 48	Relación de carga y deflexión para la viga V-02, C-V.....	150
Figura 49	Regresión lineal (P_T vs δ) para la viga V-02, C-V	150
Figura 50	Relación de carga y deflexión para la viga V-01, C-VI	151
Figura 51	Regresión lineal (P_T vs δ) para la viga V-01, C-VI.....	151
Figura 52	Relación de carga y deflexión para la viga V-02, C-VI	152
Figura 53	Regresión lineal (P_T vs δ) para la viga V-02, C-VI.....	152
Figura 54	Relación de carga y deflexión para la viga V-01, C-VII.....	153
Figura 55	Regresión lineal (P_T vs δ) para la viga V-01, C-VII	153
Figura 56	Relación de carga vs deflexión para la viga V-02, C-VII	154
Figura 57	Regresión lineal (P_T vs δ) para la viga V-02, C-VII	154
Figura 58	Comparación de carga vs deflexión para vigas menos favorables	155



Figura 59	Comparación entre carga y deflexión para vigas más favorables	155
Figura 60	Comparación de regresión lineal (P_T y δ) para vigas menos favorables..	156
Figura 61	Comparación de regresión lineal (P_T vs δ) para vigas más favorables	156
Figura 62	Eficiencia, basado en la carga de fluencia.....	159
Figura 63	Eficiencia, basado en la carga de agrietamiento.....	163
Figura 64	Ilustración grafica de los resultados empíricos	165
Figura 65	Relación rigidez vs carga P_T , para la viga patrón V-01, C-I	171
Figura 66	Relación rigidez vs carga P_T , para la viga patrón V-02, C-I	171
Figura 67	Relación rigidez vs carga P_T , para la viga V-01, C-II	172
Figura 68	Relación rigidez vs carga P_T , para la viga V-02, C-II	172
Figura 69	Relación rigidez vs carga P_T , para la viga V-01, C-III.....	173
Figura 70	Relación rigidez vs carga P_T , para la viga V-02, C-III.....	173
Figura 71	Relación rigidez vs carga P_T , para la viga V-01, C-IV.....	174
Figura 72	Relación rigidez vs carga P_T , para la viga V-02, C-IV.....	174
Figura 73	Relación rigidez vs carga P_T , para la viga V-01, C-V	175
Figura 74	Relación rigidez vs carga P_T , para la viga V-02, C-V	175
Figura 75	Relación rigidez vs carga P_T , para la viga V-01, C-VI.....	176
Figura 76	Relación rigidez vs carga P_T , para la viga V-02, C-VI.....	176
Figura 77	Relación rigidez vs carga P_T , para la viga V-01, C-VII	177
Figura 78	Relación rigidez vs carga P_T , para la viga V-02, C-VII	177
Figura 79	Comparación de la rigidez vs carga P_T , para vigas menos favorables	178
Figura 80	Comparación rigidez vs carga P_T , considerando vigas más favorables....	178
Figura 81	Eficiencia de la pérdida de rigidez por el criterio de la constante “ k_I ”	181
Figura 82	Eficiencia de la pérdida de rigidez por el criterio de la constante “ k_1 ” ...	183
Figura 83	Eficiencia en base a la pérdida de rigidez bajo condiciones de P_T	186
Figura 84	Esquema de deflexión, sujeta a dos cargas puntuales a tercios centrales.	189
Figura 85	Relación carga P_T vs momento inercia, en viga de control V-01, C-I.....	194
Figura 86	Relación carga P_T vs momento inercia, en viga de control V-02, C-I.....	194
Figura 87	Relación carga P_T vs momento inercia, para la viga V-01, C-II	195
Figura 88	Relación carga P_T vs momento inercia, para viga V-02, C-II	195
Figura 89	Relación carga P_T vs momento inercia, para viga V-01, C-III.....	196
Figura 90	Relación carga P_T vs momento inercia, para viga V-02, C-III	196
Figura 91	Relación carga P_T vs momento inercia, para viga V-01, C-IV.....	197
Figura 92	Relación carga P_T vs momento inercia, para viga V-02, C-IV	197



Figura 93	Relación carga P_T vs momento inercia, para viga V-01, C-V	198
Figura 94	Relación carga P_T vs momento inercia, para viga V-02, C-V	198
Figura 95	Relación carga P_T vs momento inercia, para viga V-01, C-VI.....	199
Figura 96	Relación carga P_T vs momento inercia, para viga V-02, C-VI.....	199
Figura 97	Relación carga P_T vs momento inercia, para viga V-01, C-VII	200
Figura 98	Relación carga P_T vs momento inercia, para viga V-02, C-VII	200
Figura 99	Comparación de los casos estudiados menos favorables de P_T vs I.....	201
Figura 100	Comparación de los casos estudiados más favorables de P_T vs I.....	201
Figura 101	Eficiencia del momento de inercia por el criterio de la constante " k_1 "	204
Figura 102	Eficiencia del momento de inercia por el criterio de la constante " k_2 "	207
Figura 103	Eficiencia del momento de inercia bajo la carga de servicio P_T	210
Figura 104	Eficiencia de la deflexión en el centro de la luz bajo la carga de servicio	214
Figura 105	Eficiencia, basado en la carga de agrietamiento.....	219
Figura 106	Eficiencia, basado en la deflexión de agrietamiento	221
Figura 107	Deformación elástica para la viga patrón V-01, C-I.....	224
Figura 108	Deformación elástica para la viga patrón V-02, C-I.....	225
Figura 109	Deformación elástica para la viga V-01, caso C-II	225
Figura 110	Deformación elástica para la viga V-02, caso C-II	226
Figura 111	Deformación elástica para la viga V-01, caso C-III.....	226
Figura 112	Deformación elástica para la viga V-02, caso C-III.....	227
Figura 113	Deformación elástica para la viga V-01, caso C-IV	227
Figura 114	Deformación elástica para la viga V-02, caso C-IV.....	228
Figura 115	Deformación elástica para la viga V-01, caso C-V	228
Figura 116	Deformación elástica para la viga V-02, caso C-V	229
Figura 117	Deformación elástica para la viga V-01, caso C-VI.....	229
Figura 118	Deformación elástica para la viga V-02, caso C-VI.....	230
Figura 119	Deformación elástica para la viga V-01, caso C-VII.....	230
Figura 120	Deformación elástica para la viga V-02, caso C-VII.....	231
Figura 121	Fotografía de la viga de control y patrón de fisuras V-01, C-I.....	233
Figura 122	Fotografía de la viga de control y patrón de fisuras V-02, C-I.....	234
Figura 123	Fotografía de la viga V-01, C-II y el patrón de fisuras	234
Figura 124	Fotografía de la viga V-02, C-II y el patrón de fisuras	235
Figura 125	Fotografía de la viga V-01, C-III y el patrón de fisuras	235
Figura 126	Fotografía de la viga V-02, C-III y el patrón de fisuras	236



Figura 127	Fotografía de la viga V-01, C-IV y el patrón de fisuras.....	236
Figura 128	Fotografía de la viga V-02, C-IV y el patrón de fisuras.....	237
Figura 129	Fotografía de la viga V-01, C-V y el patrón de fisuras	237
Figura 130	Fotografía de la viga V-02, C-V y el patrón de fisuras	238
Figura 131	Fotografía de la viga V-01, C-VI y el patrón de fisuras.....	238
Figura 132	Fotografía de la viga V-02, C-VI y el patrón de fisuras.....	239
Figura 133	Fotografía de la viga V-01, C-VII y el patrón de fisuras.....	239
Figura 134	Fotografía de la viga V-02, C-VII y el patrón de fisuras.....	240
Figura 135	Ilustración de resultados empíricos obtenidos por criterios adoptados	241



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1 Matriz de consistencia	306
ANEXO 2 Panel fotográfico.....	308
ANEXO 3 Certificado de caracterización de los materiales.....	315
ANEXO 4 Certificado de diseño de mezcla de concreto $f'c=210$ kgf/cm ²	319
ANEXO 5 Certificado de ensayo de resistencia a la compresión de probetas	321
ANEXO 6 Certificado de ensayo a la flexión de viga de concreto armado	324
ANEXO 7 Hoja de cálculo, predimensionamiento de vigas	353
ANEXO 8 Hoja de cálculo, metrados, diseño y dimensionamiento de viga	355
ANEXO 9 Esquema y detalle de vigas de concreto armado en casos estudiados	361
ANEXO 10 Resultados y cálculo de los ensayos a flexión en vigas estudiadas	363
ANEXO 11 Certificado de calibración de equipos de laboratorio	392



ACRÓNIMOS Y NOTACIÓN

ACI	:American Concrete Institute.
ASTM	:American Society for Testing and Materials.
C/E	:Cada Extremo
CAPECO	:Cámara Peruana de la Construcción.
CM	:Carga Muerta
CV	:Carga Viva
IPS	:International Publication Series.
ITINTEC	:Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y de Normas Técnicas.
NTP	:Norma Técnica Peruana.
p.p.m.	:Partes por millón.
PCV	:Policloruro de Vinilo.
PCV SAP	:Policloruro de Vinilo Clase Pesada.
pH	:Potencial de Hidrogeno.
PVC-U	:Policloruro de Vinilo no Plastificado
PVC-U DS-CL	:Policloruro de Vinilo no Plastificado para Instalaciones Domiciliarias de Desagüe.
RC	:Reinforced Concrete (Concreto Reforzado).
RNE	:Reglamento Nacional de Edificaciones.
TMN	:Tamaño Máximo Nominal.
a/c	:Relación de agua-cemento en la preparación de concreto.
a/mc	:Relación de agua-material cementante en la preparación de concreto.
A'_s	:Área del refuerzo longitudinal a compresión, mm ²
A_s	:Área de refuerzo longitudinal no preesforzado a tracción, mm ²
Av_{min}/s	:Área mínima de refuerzo para cortante con un espaciamiento s , mm ²
b	:Ancho de la cara en compresión del elemento.
c	:Distancia medida de la fibra extrema en compresión al el eje neutro, mm
d	:Distancia desde la fibra extrema en compresión hasta el centroide del refuerzo longitudinal en tracción, mm
d'	:Distancia desde la fibra extrema en compresión hasta el centroide del refuerzo longitudinal en compresión, mm
d_b	:Diámetro nominal de una barra de refuerzo, mm
E_c	:Módulo de elasticidad del concreto, (kg/cm ²).
E_s	:Módulo de elasticidad del refuerzo.
f'_c	:Resistencia especificada a la compresión del concreto (kg/cm ²).
f'_{cr}	:Resistencia promedio a la compresión requerida del concreto, empleada como base para la dosificación del concreto (kg/cm ²).
f_r	:Módulo de ruptura del refuerzo en la zona de endurecimiento (kg/cm ²).
f_u	:Resistencia última del refuerzo (kg/cm ²).
f_y	:Resistencia especificada a la fluencia del refuerzo (kg/cm ²).



h	:Espesor total o altura de un elemento.
I_{cr}	:Momento de inercia, de la sección de la viga, fisurada transformada.
I_e	:Momento de inercia efectivo para el cálculo de las deflexiones.
I_g	:Momento de inercia, de la sección bruta de la viga.
l	:Luz de la viga en una dirección.
M_a	:Momento máximo en el elemento para el nivel de carga que se está evaluando.
M_{cr}	:Momento de fisuración.
M_u	:Momento ultimo amplificado
P	:Cargas puntuales aplicados a los tercios centrales de la viga, (kgf)
P_T	:Carga puntual total imprimida hacia la viga, (kgf)
P_T	:Carga Puntual aplicado al elemento, kgf
s	Espaciamiento de centro a centro del refuerzo longitudinal y refuerzo transversal, mm
V_c	Resistencia nominal al cortante proporcionada por el concreto, kgf
V_u	Fuerza cortante amplificada en la sección, kgf
w	:Carga distribuida por unidad de longitud en la viga.
w_c	Peso unitario del concreto, kg/m ³
W_u	:Carga Ultima repartida, kg/m
y_t	:Distancia medida desde el eje centroidal de la sección total, sin considerar el refuerzo, hasta la fibra extrema a tracción, mm
δ	:Deflexión medida al centro de la luz del elemento, mm
δ_{max}	:Deflexión máxima en la parte central del elemento sometido a flexión.
ε_s	:Alargamiento o deformación unitaria del refuerzo.
ξ	:Factor que depende del tiempo para cargas sostenidas.
ρ	:Cuantía del refuerzo A_s evaluada sobre el área $b \cdot d$
ρ_b	:Cuantía de refuerzo A_s evaluada sobre el área $b \cdot d$ que produce condiciones balanceadas de deformación unitaria.
ρ'	:Cuantía del refuerzo A'_s en compresión.
ϕ	:Factor de reducción de resistencia.
σ_s	:Esfuerzo o tensión en la zona elástica del refuerzo.
$\lambda\Delta$:Factor para deflexiones adicionales debidas a efectos de largo plazo.



RESUMEN

Esta investigación evalúa el impacto de insertar tuberías verticales de PVC-U en vigas de concreto armado, analizando su efecto en la resistencia a la flexión y al corte, rigidez y deflexión. Se realizaron pruebas experimentales comparando vigas con tuberías de diámetros nominales de 2" y 4" (Casos II al VII) frente a una viga patrón sin inserciones (Caso I). Las vigas, con una luz libre de 3.30 m y sección transversal de 0.25 m x 0.40 m, fueron diseñadas para soportar una carga de 8590 kgf utilizando concreto de 210 kgf/cm² y acero de 4200 kgf/cm². Los resultados evidencian que las tuberías reducen significativamente la resistencia estructural, especialmente en diámetros mayores y ubicaciones críticas. Las vigas con tuberías de 4" en zonas de momento flector mostraron hasta un 31% menos de resistencia, mientras que en zonas de corte la reducción alcanzó un 24%. La rigidez también disminuyó, siendo más pronunciada en tuberías de mayor diámetro y localizadas en zonas de corte, con pérdidas de hasta un 19%. Las deflexiones aumentaron considerablemente, alcanzando un 26% más en vigas con tuberías de 4" en zonas de corte. Configuraciones combinadas en zonas críticas produjeron efectos acumulativos, registrándose un incremento máximo del 42% en el Caso VII, con inserciones en dichas zonas. Sin embargo, una distribución estratégica de las tuberías, alternando diámetros y posiciones, permitió mitigar parcialmente estos efectos. Por lo que las inserciones de tuberías en vigas de concreto armado impactan negativamente en sus propiedades mecánicas, siendo determinantes el diámetro y la ubicación de las mismas. Estos hallazgos aportan información clave para optimizar diseños estructurales que contemplen aberturas funcionales, minimizando su efecto en el desempeño global.

Palabras Clave: Elemento estructural, Deflexión, Fisuración, Flexión, Instalaciones, Resistencia a corte, Rigidez.



ABSTRACT

This research evaluates the impact of vertically embedded PVC-U pipes on the structural integrity of reinforced concrete beams, focusing on flexural and shear strength, stiffness, and deflection. Experimental tests were conducted comparing beams with embedded pipes of nominal diameters 2" and 4" (Cases II to VII) against a reference beam without pipes (Case I). The beams, with a clear span of 3.30 m and a cross-sectional area of 0.25 m x 0.40 m, were designed to withstand a load of 8590 kgf using concrete with a compressive strength of 210 kgf/cm² and steel with a yield strength of 4200 kgf/cm². The results show that the embedded pipes significantly reduce structural resistance, particularly with larger diameters and critical locations. Beams with 4" pipes in flexural moment zones exhibited up to 31% lower strength, while reductions of up to 24% were observed in shear zones. Stiffness also decreased, with losses of up to 19% for larger pipes in shear zones. Deflections increased significantly, reaching 26% higher values for beams with 4" pipes in shear zones. Combined configurations in critical areas produced cumulative effects, with the highest deflection increase of 42% recorded in Case VII, involving pipes in shear zones. However, a strategic distribution of pipes, alternating diameters and positions, partially mitigated these effects. In conclusion, the inclusion of pipes in reinforced concrete beams negatively affects their mechanical properties, with diameter and location being critical factors. These findings provide valuable insights for optimizing structural designs that incorporate functional openings while minimizing their impact on overall performance.

Keywords: Structural element, Deflection, Cracking, Bending, Installations, Shear strength, Stiffness.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El crecimiento en la construcción de edificaciones en los últimos años ha sido notable; sin embargo, este desarrollo muchas veces ha omitido procesos constructivos que establece el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE, 2020). Esta investigación surge ante la necesidad de explorar la influencia que pueden tener las tuberías insertas en las vigas de concreto, un aspecto clave, pero a menudo pasado por alto en el proceso de construcción.

El tendido de tuberías es una necesidad inevitable en cualquier proyecto de construcción. Idealmente, estas tuberías no deberían estar incrustadas en el concreto, ya que ello facilitaría el mantenimiento de las instalaciones de manera rápida y sin complicaciones. A su vez, evitar la inserción de tuberías en las vigas es recomendable para no comprometer la rigidez de los elementos estructurales y, por ende, la seguridad de la estructura en su conjunto.

Dentro de la especialidad de estructuras en la edificación, el dimensionamiento, análisis y diseño de elementos estructurales son fundamentales para garantizar la estabilidad. No obstante, durante la ejecución de la obra, estos procesos a menudo se ven alterados, lo que puede modificar las secciones originalmente definidas en el diseño y análisis. Estos cambios en las secciones de los elementos estructurales pueden impactar significativamente el comportamiento estructural previsto, representando un problema serio, especialmente en contextos donde la dirección técnica es limitada y prevalece el conocimiento empírico de la mano de obra.



Aunque existe la norma E.060 del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE, 2020) que advierte sobre las implicaciones de insertar tuberías en elementos estructurales, esta normativa no proporciona una metodología cuantitativa para evaluar este tipo de estructuras con tuberías insertas. Entre los elementos estructurales más afectados por esta práctica se encuentran las vigas, cuyo funcionamiento estructural depende directamente de la integridad de su sección transversal. La inserción de tuberías puede comprometer tanto el comportamiento del concreto como el del acero de refuerzo, que funcionan como un material compuesto.

Este estudio se propone abordar esta problemática mediante seis casos de estudio, manteniendo un dimensionamiento constante de las vigas de concreto armado, pero variando la ubicación, cantidad y diámetro de las tuberías que atraviesan la viga.

La presente investigación busca cuantificar la influencia que tiene la inserción vertical de tuberías PVC-U en resistencia al corte y flexión para los elementos de vigas de concreto armado, específicamente en el caso de vigas simplemente apoyadas con carga uniforme. Se adoptó un enfoque experimental mediante ensayos en vigas de concreto armado, con una sección transversal de 0.40 m x 0.25 m de alto y ancho respectivamente, y con una longitud de luz de 3.30 m. En cada viga, se estudió el comportamiento bajo cargas de servicio y de resistencia, registrando la distribución de fisuras y controlando la deflexión en el centro de la luz.

El dimensionamiento y análisis de las cargas se realizaron siguiendo los principios establecidos en el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE, 2020) y los Requisitos del Reglamento para Concreto Estructural preparado por el comité de American Concrete Institute (ACI 18-19), utilizando un concreto con una resistencia a la compresión de 210 kg/cm² y refuerzo con una resistencia a la fluencia de 4200 kg/cm².



Finalmente, con base en el análisis de los resultados obtenidos, se establecieron conclusiones y se formularon recomendaciones referentes a la práctica de incorporar tuberías PVC-U en vigas de concreto armado.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1. Identificación del problema

En el ámbito de la ingeniería estructural y la construcción de edificaciones en el Perú, se enfrenta un desafío significativo relacionado con la inserción de tuberías verticalmente en vigas de concreto armado. Aunque la colocación de tuberías es una necesidad inherente en la construcción, su inserción en las vigas de concreto puede comprometer la integridad estructural de estas y, por consiguiente, la seguridad de la estructura en su conjunto.

El problema central radica en la falta de una metodología adecuada para evaluar el impacto de las aberturas provocadas por tuberías embebidas en las propiedades mecánicas de las vigas de concreto armado. Si bien normativas como la E.060 del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE, 2020), específicamente en su capítulo 6, apartado 6.3, abordan la cuestión de tuberías y ductos embebidos en el concreto y advierten sobre las implicaciones de insertar tuberías en elementos estructurales, estas normativas no proporcionan información precisa ni un marco metodológico claro para evaluar de manera rigurosa el efecto de dicha inserción en las propiedades mecánicas de los elementos estructurales de concreto armado, en especial en las vigas de concreto armado, que son el foco de nuestro estudio.

La falta de comprensión sobre cómo las aberturas por tuberías afectan las propiedades mecánicas de las vigas de concreto armado conlleva riesgos



significativos en términos de seguridad estructural. La presencia de tuberías incrustadas puede reducir la sección transversal efectiva de las vigas, comprometiendo su capacidad de carga y resistencia. Además, la escasez de investigaciones específicas sobre este tema dificulta la toma de decisiones informadas en la planificación, diseño y ejecución de proyectos de construcción.

En esta investigación se estudia la influencia de tuberías insertas verticalmente en las propiedades mecánicas de vigas de concreto armado, con especial énfasis en la influencia sobre la resistencia al corte y a la flexión, la rigidez a la flexión y la deflexión flexional. Este tema es relevante debido a la creciente incorporación de instalaciones en elementos estructurales que, aunque necesarias para la funcionalidad de una edificación, pueden alterar el desempeño estructural de las vigas.

Por tanto, es crucial abordar esta problemática para mejorar las prácticas de diseño y construcción de estructuras de concreto armado y garantizar la seguridad y durabilidad de las edificaciones en la región. Se requiere el desarrollo de un enfoque sistemático y cuantitativo para evaluar el impacto de las aberturas por tuberías en las propiedades mecánicas de las vigas de concreto armado, lo que permitirá tomar decisiones informadas durante todo el proceso de diseño y construcción de las estructuras.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Pregunta general

¿Cuál es la influencia de aberturas por tuberías PVC-U, insertas verticalmente en las propiedades mecánicas de vigas de concreto armado en Juliaca, 2023?



1.2.2. Preguntas específicas

- ¿Cómo influye la presencia aberturas por tuberías PVC-U insertas verticalmente en la resistencia a la flexión y cortante de las vigas de concreto armado?
- ¿Cómo influye la presencia de aberturas por tuberías PVC-U insertas verticalmente en la rigidez a la flexión de las vigas de concreto armado?
- ¿Cómo influye la presencia de aberturas por tuberías PVC-U insertas verticalmente en la deflexión flexional de vigas de concreto armado?

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Hipótesis general

Las aberturas por tuberías PVC-U insertas verticalmente tendrán influencia significativa en las propiedades mecánicas de vigas de concreto armado en Juliaca, 2023, disminuyendo su resistencia a capacidad de carga.

1.3.2. Hipótesis específicas

- La presencia de aberturas por tuberías PVC-U insertas verticalmente en vigas de concreto armado tendrá un efecto significativo en la resistencia a la flexión y resistencia a cortante en vigas de concreto armado, se espera que la magnitud de esta disminución esté relacionada con factores como el tamaño y ubicación de las aberturas.
- La presencia de aberturas por tuberías PVC-U insertas verticalmente en las vigas de concreto armado afecta significativamente su rigidez a la flexión, debido a la interrupción en la continuidad del material y la redistribución de esfuerzos.



- La presencia de aberturas por tuberías PVC-U insertas verticalmente en vigas de concreto armado afecta de manera significativa en la deflexión flexional de estas vigas, debido a la disminución de la capacidad de carga y la rigidez de la sección transversal.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Justificación metodológica

En diversas regiones de Perú, la industria de la construcción ha experimentado un crecimiento significativo, y aproximadamente el 80% de las viviendas se consideran construcciones informales, que no fueron erigidas siguiendo las prácticas adecuadas de construcción (CAPECO, 2018). Es relevante destacar que estas edificaciones informales incorporan sistemas de tuberías insertas en vigas de concreto armado. Esta práctica moderna a menudo requiere la instalación de numerosas tuberías y conductos para servicios esenciales como agua, desagüe, aire acondicionado, electricidad y comunicaciones (Nishitha & Kavitha, 2016).

Dado el actual contexto de la industria de la construcción y la búsqueda constante de estructuras más eficientes, se espera que la práctica de incorporar tuberías insertas en vigas de concreto armado continúe en aumento. A pesar de esta creciente tendencia, existe una notable falta de comprensión y documentación sobre cómo la presencia de las aberturas afecta las propiedades mecánicas de las vigas de concreto armado, como menciona Vivek & Madhavi (2016) en su investigación de que esta carencia genera una preocupación significativa en la industria de la construcción centrada en la innovación.



Con el fin de proporcionar directrices a los profesionales de la construcción acerca de la ubicación y el proceso adecuado para la incorporación de aberturas en vigas de concreto armado, se recomienda una investigación exhaustiva sobre el impacto de dichas aberturas (Hafiz et al., 2014). Habiendo identificado el problema, los efectos ocasionados por aberturas de tuberías insertas verticalmente en las propiedades mecánicas de vigas de concreto armado, la importancia de este estudio radica en su capacidad para llenar una brecha de conocimiento crítico al abordar desafíos de diseño y construcción.

El empleo de tuberías PVC-U insertas o integrados que atraviesan las vigas de concreto armado se está volviendo cada vez más común, especialmente para las instalaciones eléctricas, sanitarias o los suministros de gas. Por esta razón, es crucial realizar más investigaciones en esta área y disponer de estudios experimentales que evalúen si su inclusión afecta de manera considerable la resistencia de los elementos estructurales.

La presente tesis de investigación busca analizar la influencia de las aberturas por tuberías insertas verticalmente en vigas de concreto armado, con el objetivo de preservar la integridad estructural. Esto implica una planificación detallada, coordinación entre equipos, tecnología adecuada y capacitación del personal. Los resultados mejorarán prácticas de construcción, normativas, formación profesional y conciencia en la industria. Impactará la economía al diversificar productos y servicios, mejorando la gestión de construcción y reduciendo costos. El estudio beneficiará socialmente al mejorar conocimientos sobre defectos constructivos, garantizando calidad, seguridad y satisfacción del cliente; además, tendrá un impacto positivo para el medio ambiente al prevenir problemas en etapas tempranas.



Un importante aporte de este estudio consiste en la evaluación de la distribución de fisuras en las proximidades de las tuberías y su relación con la eventual rotura del elemento estructural. Esta información podría servir como una guía de patología estructural, tanto para evaluar los daños presentes en la estructura como para analizar las causas subyacentes de estos problemas.

Por tanto, la investigación desarrollará la "Influencia de aberturas por tuberías insertas verticalmente en las propiedades mecánicas de vigas de concreto armado en Juliaca, 2023". Es imperativo llevar a cabo investigaciones más exhaustivas acerca del impacto de las aberturas en las vigas de concreto armado, dada la insuficiencia de datos empíricos específicos disponibles en este contexto (Al-Gasham, 2015), lo que sustenta la importancia de abordar este vacío a través de una investigación como la propuesta.

1.4.2. Importancia del estudio

Este estudio es fundamental para comprender y evaluar el impacto que tiene la inserción de tuberías en las vigas de concreto armado, un tema de relevancia tanto en el diseño estructural como en la ejecución de obras. En el contexto de la construcción actual, es común que las instalaciones de servicios, como tuberías de agua, electricidad y otros sistemas, se integren dentro de los elementos estructurales. Sin embargo, esta práctica puede comprometer la integridad y capacidad de las vigas, afectando directamente su comportamiento mecánico.

El análisis de la influencia de las tuberías insertas en la resistencia al corte y a la flexión, la rigidez y la deflexión de las vigas de concreto es esencial para garantizar la seguridad estructural de las edificaciones. Una comprensión



inadecuada o la subestimación de estos efectos podría resultar en el diseño de estructuras con deficiencias en su integridad.

Este estudio, al proporcionar datos experimentales y conclusiones fundamentadas, contribuirá a mejorar las prácticas constructivas y de diseño, promoviendo estructuras más seguras y eficientes. Además, el estudio llenará un vacío existente en las normativas actuales, las cuales no detallan de manera cuantitativa los efectos de estas intervenciones en las vigas de concreto armado, especialmente cuando se trata de tuberías insertas verticalmente.

1.4.3. Relevancia del estudio

La relevancia de este estudio radica en su capacidad para abordar el tema común, pero a menudo subestimado en la construcción actual: la inserción de tuberías verticales en las vigas de concreto armado. Esta práctica, que responde a la necesidad de integrar instalaciones dentro de los elementos estructurales, puede afectar de manera significativa las propiedades mecánicas de las vigas. Este estudio, por lo tanto, es relevante tanto en el ámbito académico como en el profesional, al proporcionar valores que ayudaran en la problemática sobre un tema crítico para el diseño y construcción de edificaciones.

1.4.3.1. Credibilidad

La credibilidad del estudio se respalda en el enfoque científico y metodológico utilizado para abordar la problemática planteada. El análisis de la influencia de las tuberías insertas en las vigas de concreto armado se basa en datos experimentales obtenidos a través de ensayos controlados en condiciones representativas. Además, se sigue una metodología reconocida, alineada con los principios establecidos en el Reglamento



Nacional de Edificaciones (RNE, 2020) y los Requisitos del Reglamento para Concreto Estructural del American Concrete Institute (ACI 18-19). Estos marcos normativos proporcionan un estándar técnico confiable que asegura la validez y la precisión de los resultados obtenidos, además de basarse en investigaciones previas que sirven como antecedentes representativos para la problemática planteada.

1.4.3.2. Transferibilidad

La transferibilidad de este estudio está garantizada por la aplicabilidad de sus resultados tanto en el ámbito académico como en la práctica profesional. Los hallazgos no solo serán útiles para investigadores y estudiantes interesados en la ingeniería estructural, sino que también ofrecerán un valor práctico significativo para ingenieros civiles y profesionales del sector de la construcción. Las conclusiones de este estudio se podrán aplicar directamente en proyectos de construcción, especialmente en la adecuación y desarrollo de normativas que puedan complementar en su desarrollo.

1.4.3.3. Fidelidad

La fidelidad de este estudio se garantiza mediante el empleo de métodos de investigación consistentes y transparentes. Los procedimientos experimentales, el análisis de los resultados y la interpretación de los datos se realizan siguiendo un protocolo que permite replicar el estudio en diferentes contextos y condiciones. Al documentar cada etapa del proceso, se asegura que los resultados obtenidos sean confiables y que el estudio pueda ser validado por otros investigadores en el futuro, lo que refuerza su



aplicabilidad y fiabilidad en cuanto a la influencia de tuberías insertas verticalmente en las vigas de concreto armado.

1.4.3.4. Confirmabilidad

La confirmabilidad de este estudio refiere a la capacidad de verificar sus resultados y conclusiones a través de la revisión de los procedimientos, los datos y los métodos utilizados. Para garantizar que las conclusiones son consistentes con los datos recolectados, el estudio se basa en un análisis de datos objetivamente medidos y documentados. Los resultados serán evaluados y comparados con estudios previos y, se proporcionarán detalles claros sobre el diseño experimental y la interpretación de los datos. Esto permitirá que otros investigadores confirmen los hallazgos y repliquen el estudio para validar la exactitud de los resultados.

1.4.4. Consecuencias del estudio

Las consecuencias de este estudio tienen un impacto directo en la práctica del diseño y construcción de edificaciones que integran instalaciones dentro de los elementos estructurales, como las vigas de concreto armado. Al cuantificar de manera precisa la influencia que tienen las tuberías insertas en las propiedades mecánicas de las vigas, como la resistencia a la flexión, el corte, la rigidez y la deflexión, este estudio proporcionará información valiosa para mejorar las decisiones de diseño y construcción. Los resultados de la investigación podrán influir en la elaboración o modificación de normativas que regulen la inserción de tuberías en elementos estructurales, garantizando una mayor seguridad y durabilidad en las edificaciones. Además, las conclusiones obtenidas podrían



ayudar a optimizar el uso de materiales, reducir el riesgo de fallos estructurales y mejorar la eficiencia en los procesos constructivos, lo que beneficiará tanto a ingenieros civiles como a arquitectos, contratistas y propietarios de proyectos. En última instancia, este estudio busca contribuir a la creación de estructuras más seguras y eficientes, promoviendo prácticas constructivas más responsables y fundamentadas en el conocimiento científico.

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo general

Evaluar la influencia de aberturas por tuberías PVC-U insertas verticalmente en las propiedades mecánicas de vigas de concreto armado en Juliaca, 2023.

1.5.2. Objetivos específicos

- Determinar la influencia de aberturas por tuberías PVC-U insertas verticalmente en la resistencia a la flexión y resistencia a cortante de vigas de concreto armado.
- Determinar la influencia de aberturas por tuberías PVC-U insertas verticalmente en la rigidez a la flexión de las vigas de concreto armado.
- Determinar la influencia de aberturas por tuberías PVC-U insertas verticalmente en la deflexión flexional de vigas de concreto armado.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. Antecedentes internacionales

A continuación, se destacan diversos aportes internacionales que se han reconocido como elementos fundamentales en el análisis y la comprensión de la situación actual. Estas valiosas contribuciones de investigadores han servido como una fuente clave de conocimiento y como referencia indispensable en el desarrollo de la presente investigación.

Özkılıç et al. (2023) en su investigación mencionan que el estudio se centra en los efectos de los diámetros de las aberturas transversales y las proporciones de refuerzo de corte en el comportamiento de corte y flexión de vigas de concreto reforzado (RC) con dos aberturas en el alma a lo largo de diferentes tramos; es decir, una abertura en cada mitad del tramo. En el estudio se probaron un total de 12 vigas de concreto reforzado con cinco diferentes proporciones de diámetro de abertura a profundidad de viga (0, 0.20, 0.27, 0.33, 0.40 y 0.47) y dos proporciones de refuerzo de corte, hasta la falla bajo flexión en cuatro puntos. Se compararon las capacidades de carga, ductilidades, rigideces y capacidades de disipación de energía en los rangos elástico y plástico del comportamiento de la viga. Además, se compararon las capacidades de carga de las vigas con las formulaciones analíticas existentes de resistencia al corte en la literatura. Los resultados de las pruebas indicaron que, ya sea que una viga de concreto reforzado con aberturas tenga cantidades adecuadas o inadecuadas de refuerzo de corte, la falla por corte



tipo marco se vuelve mucho más pronunciada con el aumento del diámetro de la abertura. Las reducciones en la capacidad de carga y el módulo de tenacidad con el aumento del diámetro de la abertura son más significativas en la presencia de cantidades inadecuadas de refuerzo de corte, mientras que la ductilidad de la viga se ve menos afectada en vigas de concreto reforzado con aberturas y deficiencia de corte en comparación con aquellas con refuerzo de corte adecuado.

Auta et al. (2021) en su investigación menciona que las técnicas modernas de construcción de edificios a veces implican el paso de tuberías o conductos para el suministro de agua, electrificación y telecomunicaciones a través de vigas de concreto reforzado para protegerlas contra daños mecánicos y agregar valor estético a los edificios. Este estudio analiza el efecto de las aberturas circulares verticales en la resistencia a la flexión de la viga de concreto reforzado. Se investigaron dos (2) conjuntos de muestras de vigas durante este estudio: una viga de concreto reforzado (RC) simulada por computadora utilizando ANSYS 19.1 y una viga fabricada en laboratorio. Los resultados de la prueba de resistencia a la flexión muestran lo siguiente: La viga de concreto reforzado con aberturas circulares verticales de diámetro superior al 33,3 % del ancho de la viga (B) reduce su resistencia a la flexión en al menos un 20 %; la máxima tensión de compresión del concreto ocurre en la región de las aberturas de la viga; la diferencia en la capacidad de carga última entre los modelos de viga de elementos finitos (FE) y las muestras experimentales de vigas es del 3,5 %. Se puede deducir que el software ANSYS es una herramienta adecuada de elementos finitos (FE) para predecir el comportamiento de las vigas de RC. Por lo tanto, se recomienda que el diámetro de la abertura circular vertical en una viga de RC no exceda el 33,3 %



del ancho de la viga y que su ubicación respecto al soporte de la viga no exceda $L/6$.

Hamzah & Ali (2020) en su investigación abordan la práctica común de proporcionar aberturas verticales en vigas de concreto armado en la construcción de edificios. Estas aberturas se utilizan para el paso de diversos servicios, especialmente en edificaciones de tamaño y altura limitados. En este estudio experimental se investiga el comportamiento a cortante de vigas de concreto armado con aberturas. El objetivo principal es analizar el efecto de las aberturas verticales en la resistencia y el comportamiento a cortante de vigas simplemente apoyadas. El estudio incluyó la prueba de cinco vigas de concreto armado, una de las cuales sin abertura sirvió como viga de referencia, mientras que las otras vigas tenían una abertura en el tramo medio del vano. Las variables evaluadas incluyeron la dirección y la forma de las aberturas, así como los detalles del reemplazo del refuerzo que obstruye la penetración de las aberturas. Los resultados experimentales mostraron que la presencia de una abertura vertical redujo ligeramente la capacidad de carga última de las vigas. Además, tuvo un efecto insignificante en el aumento de la deflexión máxima bajo cargas de servicio. Por otro lado, se observó que las aberturas circulares tuvieron un efecto menor en la reducción de la capacidad de carga última en comparación con las aberturas cuadradas. Respecto a los métodos utilizados para reemplazar las barras de refuerzo que obstruyen las aberturas, los resultados indicaron que el uso de estribos en cada lado de la abertura en dirección longitudinal es adecuado para mejorar el índice de ductilidad y recuperar la resistencia perdida. Además de lo anterior, se encontró que las aberturas transversales tienen un efecto significativo en la carga última en comparación con el efecto de las aberturas verticales.



El Ame et al. (2020) en su investigación abordan las aperturas transversales en vigas de concreto reforzado que se utilizan frecuentemente para acomodar ductos y tuberías. Esta técnica se adopta generalmente para evitar la creación de espacios muertos en las estructuras causados por falsos techos extendidos, lo que conlleva a un ahorro significativo de costos. Sin embargo, la inclusión de aperturas en una viga reduce su resistencia y afecta su servicio. En este estudio, se realizaron diez vigas de concreto reforzado utilizando concreto C30. Se llevaron a cabo pruebas de caracterización de materiales y propiedades de ingeniería para asegurar el cumplimiento con los requisitos establecidos por los códigos de práctica. Se investigó el efecto de la posición vertical y el tamaño de las aperturas sometiendo las vigas a una prueba de flexión a cuatro puntos después de 28 días de curado. Se registraron la capacidad de carga máxima; la carga de primera fisura y las deflexiones en el centro del vano, y se evaluaron el patrón de fisuras y el modo de falla. Los datos de las pruebas mostraron que las aperturas con una profundidad mayor a $0.4d$ afectan significativamente la resistencia de las vigas y conducen a fisuración temprana, mientras que el modo de falla sigue siendo esencialmente el mismo: una fisura diagonal por tensión a través de la apertura, excepto en aperturas de tamaño $0.5d$ donde la falla ocurrió por la formación repentina de dos fisuras de corte independientes por encima y por debajo de la apertura. Cuando los agujeros se ubicaron por encima del centroide de la sección, las vigas mostraron una menor deflexión caracterizada por la ausencia de deformación plástica. Además, se registró una reducción significativa en la resistencia en comparación con los casos donde las aperturas se posicionaron en los cordones de tensión. Esto se validó utilizando ecuaciones del código ACI de diseño de concreto reforzado.



En su investigación, Al-Gasham (2015) presenta los resultados de pruebas realizadas en seis vigas de concreto armado de mediana profundidad con tuberías de PVC embebidas. El estudio evaluó el efecto de la instalación de las tuberías de PVC en el comportamiento de las vigas. Los parámetros de prueba incluyeron los diámetros y ubicaciones de las tuberías. Las dimensiones de las vigas fueron de 1000 mm de longitud, 150 mm de ancho y 300 mm de profundidad. Una viga se construyó sin tubería como control, mientras que las otras cinco tenían tuberías embebidas. Se utilizaron cuatro diámetros de tubería: 25.4, 50.8, 76.2 y 101.6 mm, las cuales se insertaron longitudinalmente en el centro de las vigas o cerca del refuerzo de tracción. Las vigas se apoyaron simplemente y se sometieron a una carga concentrada central hasta el fallo. Los resultados de las pruebas indicaron que los diámetros de tubería menores a $1/3$ del ancho de la viga tuvieron un efecto limitado en la capacidad y rigidez de la viga. Para tuberías más grandes, la resistencia última de las vigas disminuyó entre un 16.7% y un 33.3%, y la rigidez de las vigas disminuyó entre un 103% y un 297%.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Por otro lado, en el ámbito nacional se destacan una serie de contribuciones significativas que han surgido como elementos clave para el análisis y la comprensión de la situación actual. Estos aportes, elaborados por diversos investigadores a través de estudios previos, no solo constituyen una base sólida de conocimiento técnico y especializado, sino que también proporcionan un marco de referencia esencial para contextualizar e interpretar los resultados de la presente investigación.



Ramos (2021) destaca que las aberturas transversales en vigas alteran su comportamiento, la reducción de la sección transversal generará concentraciones de esfuerzos, lo que conllevaría a un mayor grado de fisuramiento; además, la pérdida de rigidez puede conducir a excesivas deflexiones bajo cargas de servicio. El objetivo que plantea es evaluar tanto los impactos de las aberturas transversales en la resistencia, rigidez, ductilidad como el efecto de emplear dosificaciones de fibras de acero como refuerzo secundario en vigas que presentan aberturas transversales, es una evaluación experimental de vigas de concreto reforzada ensayadas en condiciones de flexión. Las 12 vigas, de sección de 0.25m x 0.40m y 3.0m de luz libre con una resistencia a la compresión de 28MPa. Se obtuvo que para las vigas con abertura transversal la capacidad resistente se redujo en un 11.9%, la ductilidad redujo en un 25%, la rigidez disminuye en un 7.1%, además al añadir fibras de acero en 50kg/m³ ha mostrado mayor capacidad resistente a la tracción. Concluyen que las vigas de concreto armado con aberturas transversales experimentan una disminución en las propiedades mecánicas.

Arroyo (2021) en su tesis "Efectos de tubos embebidos en vigas de concreto en edificaciones estructurales de la ciudad de Huancayo", aborda la problemática de los efectos que tienen los tubos embebidos en la resistencia de las vigas de concreto. El objetivo general fue evaluar estos efectos, formulando la hipótesis de que los tubos embebidos disminuyen la resistencia de las vigas en edificaciones estructurales en Huancayo. El estudio utilizó el método científico, con una investigación aplicada de nivel explicativo y un diseño experimental. La población y muestra constó de 24 especímenes con una dosificación de $f'c = 210$ kg/cm², divididos en nueve muestras cilíndricas de 4"x8" para verificar la resistencia a compresión y 15 muestras prismáticas de 50x15x15 cm para ensayos



de flexión. De estas, tres muestras fueron de control y 12 contenían tubos de PVC de diferentes diámetros ($\frac{3}{4}$ ", 1", 2" y 3"). Los resultados indicaron que los tubos de PVC embebidos disminuyen significativamente la resistencia a flexión de las vigas de concreto, con reducciones del 9.949% para tubos de $\frac{3}{4}$ ", 40.418% para tubos de 1", 66.244% para tubos de 2" y 80.557% para tubos de 3". En conclusión, la presencia de tuberías de PVC embebidas reduce la resistencia estructural de las vigas de concreto en edificaciones.

Anco & Mamani (2018) mencionan que, en algunos proyectos, el paso de tuberías a través de elementos estructurales es inevitable para asegurar el adecuado funcionamiento de los servicios. Por ello, es crucial que las tuberías se ubiquen de manera que no alteren drásticamente las propiedades mecánicas del concreto en las vigas. Esta investigación se centra en analizar cómo varían porcentualmente las propiedades mecánicas, como la fuerza cortante actuante, la resistencia a la fuerza cortante a lo largo del eje longitudinal y el modo de falla bajo flexión, en viguetas de concreto armado con una dosificación estándar ($f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$) comparadas con viguetas con tuberías embebidas de PVC SAP de 1" y 2", tanto con tratamiento como sin tratamiento superficial, evaluadas a los 14 y 28 días. Se prepararon y curaron probetas cilíndricas y prismáticas durante 14 y 28 días, sometiéndolas a ensayos de resistencia a la compresión (ASTM C39), resistencia a la flexión (ASTM C78) y resistencia a la fuerza cortante bajo flexión (RNE E0.60). Los resultados indican que las viguetas con tuberías embebidas presentan una reducción en sus propiedades mecánicas en comparación con las viguetas de control. Específicamente, se observó una disminución en la resistencia a la fuerza cortante bajo flexión de menos del 5.00% para las viguetas con tuberías de 1" y del 18.00% para las de 2", en comparación con las viguetas estándar. Estos



hallazgos son cruciales para el proceso constructivo de viguetas en losas aligeradas.

Angulo & Rodríguez (2017) en su investigación titulada "Influencia del empotramiento de tuberías sobre el comportamiento estructural de losas aligeradas" destacan la importancia de considerar cuidadosamente la presencia de tuberías de desagüe en losas aligeradas. El objetivo principal fue analizar el comportamiento estructural de las losas aligeradas sin y con tubería embebida en concreto. Para ello, realizaron ensayos utilizando probetas de losas aligeradas de dimensiones adecuadas para pruebas en una máquina artesanal, dado que no existen normativas específicas para estos ensayos. Se evaluaron los efectos de tuberías perpendiculares y paralelas a las viguetas, así como tuberías enrolladas con alambre N° 16. Todas las losas fueron elaboradas con concreto f'_c de 210 kg/cm², comúnmente utilizado en construcciones locales. Los resultados mostraron que las losas aligeradas con tuberías incorporadas perdieron significativamente rigidez estructural. Es crucial reforzar las tuberías embebidas con acero, lo cual mejora su comportamiento estructural. Comparativamente, las losas con tuberías perpendiculares a las viguetas perdieron un 28.64% de su rigidez a la flexión, mientras que las con tuberías paralelas perdieron un 12.43%. Además, se observó que el refuerzo con acero en espiral alrededor de las tuberías perpendiculares mejoró en un 2.62% su rigidez a la flexión.



2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Propiedades mecánicas de vigas de concreto armado

2.2.1.1. Resistencia a la flexión y cortante

Nilson et al. (2015) mencionan que la resistencia a la flexión de una viga de concreto armado es una propiedad determinante que define su capacidad para enfrentar las cargas aplicadas. Esta resistencia se logra mediante una combinación eficaz de concreto, que trabaja a compresión, y acero, que actúa a tracción, posibilitando que la viga resista deformaciones cuando está sometida a cargas transversales. Además, American Concrete Institute (2019) establece que la resistencia a la flexión depende de la interacción entre el concreto y el acero de refuerzo, donde las aberturas pueden alterar esta interacción debido a la reducción de la sección efectiva.

En estudios previos, Hafiz et al. (2014) demostraron que las perforaciones y aberturas en las vigas de concreto disminuyen la resistencia a la flexión debido a la redistribución de las tensiones internas y la reducción de la sección transversal

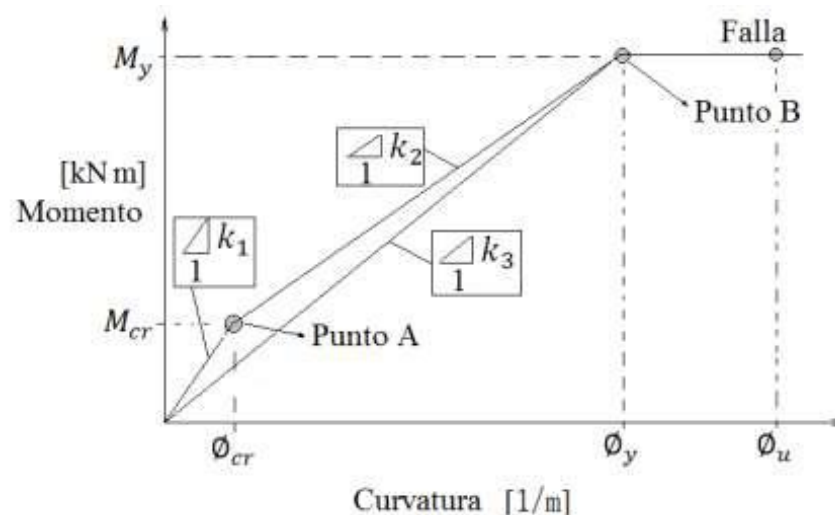
En cuanto a la resistencia a corte, EC-2: Eurocódigo 2 (2011) menciona que el cálculo de la resistencia a cortante se basa en el esfuerzo cortante máximo que la viga puede soportar antes de que se produzca una falla por deslizamiento en el concreto o por corte a través de las barras de refuerzo. Un diseño apropiado implica una distribución eficiente de barras de refuerzo y la calidad del concreto para garantizar una resistencia a cortante efectiva (McCormac & Brown, 2017).

Además, según Hafiz et al. (2014) la inserción de tuberías verticales puede concentrar los esfuerzos cortantes en puntos específicos, donde la viga pierde su capacidad para distribuir uniformemente las tensiones. Este fenómeno es crítico, ya que puede desencadenar fisuras diagonales en zonas cercanas a las aberturas.

Para realizar un análisis experimental del fenómeno de la flexión en vigas de concreto armado, se utilizó el modelo propuesto por MacGregor (1997), representado en la Figura 1. En este modelo, el punto A corresponde al momento en que ocurre la fisuración del concreto en la fibra inferior de la sección transversal de la viga, mientras que el punto B marca el inicio de la fluencia del acero de refuerzo.

Figura 1

Relación momento curvatura, para el ensayo experimental



Nota: Extraído de reinforced concrete mechanics and design, MacGregor (1997)

Un aspecto destacado del modelo de MacGregor (1997) es la hipótesis de trabajo que plantea: una vez iniciada la fluencia del acero de refuerzo, la relación momento-curvatura se mantiene prácticamente constante. Esta suposición permite estimar la curvatura en el momento de

fisuración a partir del conocimiento del momento último, que se asume igual al momento de fluencia. Los valores clave de la relación momento-curvatura relevantes para el ensayo experimental (ver Figura 1) son los siguientes: ϕ_{cr} , la curvatura de agrietamiento; ϕ_y , la curvatura de fluencia; ϕ_u , la curvatura última; M_{cr} , el momento de agrietamiento; M_y , el momento de fluencia.

Según se observa en la Figura 1, se define una constante para el rango comprendido entre cero y el punto en que ocurre la primera fisura en la fibra inferior de la sección transversal de la viga. Esta constante se expresa como: $k_1 = EI_g$, donde: k_1 representa la rigidez no fisurada, E es el módulo de elasticidad del concreto e I_g es el momento de inercia de la sección transversal no fisurada.

Por otro lado, la constante asociada al tramo comprendido entre el momento de fisuración y el inicio de la fluencia del acero en tensión se expresa como $k_3 = EI_{cr}$. En este caso k_3 representa la rigidez fisurada, E es el módulo de elasticidad del concreto e I_{cr} es el momento de inercia de la sección transversal fisurada.

2.2.1.2. Rigidez a la flexión

La rigidez a la flexión en vigas de concreto armado es la capacidad del elemento para resistir la deformación angular bajo cargas transversales. Este parámetro crucial en el diseño estructural se relaciona directamente con la capacidad de la viga para mantener su forma original y limitar la curvatura inducida por las cargas. La rigidez a la flexión es determinante en la evaluación de la eficiencia y seguridad de una viga de concreto

armado ante solicitaciones de flexión (McCormac & Brown, 2017). En términos simples, representa la capacidad de la viga para preservar su forma inicial cuando se le somete a un momento de flexión, y su magnitud está directamente relacionada con la capacidad de la viga para resistir cargas sin sufrir deformaciones excesivas.

2.2.1.2.1. Módulo de elasticidad

Es la relación entre el esfuerzo normal y la deformación unitaria correspondiente, aplicable en esfuerzos de tracción o compresión que se mantienen por debajo del límite de proporcionalidad del material (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2020b).

Además, el reglamento nacional de edificaciones (RNE, 2020), en la norma E060, específicamente en el ítem 8.5 correspondiente al módulo de elasticidad, recomienda utilizar la ecuación (1) para calcular el módulo de elasticidad de concretos con un peso unitario w_c que varía entre $1,450.00 \text{ kg/m}^3$ y $2,500.00 \text{ kg/m}^3$ y en el caso de concretos de densidad normal ($w_c \approx 2,300.00 \text{ kg/m}^3$) el módulo de elasticidad E_c del concreto puede ser estimado mediante la ecuación (2).

$$E_c = w_c^{1.5} \cdot 0.136 \cdot \sqrt{f'_c} \dots (\text{kgf/cm}^2) \quad (1)$$

$$E_c = 15,000 \cdot \sqrt{f'_c} \dots (\text{kgf/cm}^2) \quad (2)$$

2.2.1.3. Deflexión flexional

La deflexión flexional en vigas de concreto armado se refiere a la curvatura o flexión que experimenta la viga bajo cargas. Esta propiedad es

esencial para evaluar la capacidad de la viga para soportar cargas y mantener su integridad estructural con el tiempo. Es una medida crítica de la capacidad de la viga para resistir las cargas aplicadas, y una deflexión excesiva puede indicar debilidad estructural, comprometiendo la seguridad y la funcionalidad de la estructura (Neville, 1999).

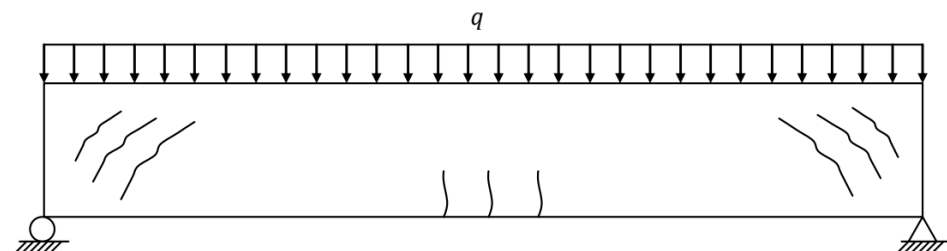
2.2.1.3.1. Agrietamiento

En la mayoría de los elementos de concreto armado, incluso cuando están bien diseñados, suelen aparecer grietas. Generalmente, estas fisuras son muy pequeñas y casi imperceptibles a simple vista. Las grietas pueden formarse incluso en ausencia de cargas aplicadas, ya que pueden ser provocadas por la retracción que ocurre durante el proceso de endurecimiento del concreto (Córdova Alvéstegui, 2015).

Las tensiones de tracción generadas por cargas axiales, fuerzas cortantes y momentos flectores originan diferentes configuraciones de fisuras, las cuales son fácilmente identificables en la mayoría de las estructuras (Córdova Alvéstegui, 2015).

Figura 2

Viga con fisuras por flexión y corte



Nota: Extraído de diseño de estructuras de hormigón armado, Córdova Alvéstegui (2015)

En una viga sometida a cargas gravitacionales, las fisuras verticales que se desarrollan en el centro de la luz, justo en la sección donde el

momento flector es máximo, surgen debido a los esfuerzos de flexión y suelen aparecer cuando no se cuenta con la armadura adecuada. Por otro lado, las fisuras inclinadas alrededor de 45° que frecuentemente se observan cerca de los apoyos de la viga son causadas por los esfuerzos de corte (tensión diagonal). Estas se generan principalmente por una sección de hormigón insuficiente en los apoyos y/o una cantidad inadecuada de estribos verticales o barras de acero dobladas (Córdova Alvéstegui, 2015).

2.2.1.3.2. Deflexión inmediata

La deflexión inmediata de una viga se refiere a la deformación que experimenta la viga justo después de la aplicación de una carga. Representa la flexión inmediata que se manifiesta en la viga en respuesta a la carga aplicada y se cuantifica generalmente mediante el desplazamiento vertical en algún punto a lo largo de la longitud de la viga.

Cuando una carga se aplica a una viga, esta tiende a deformarse, y la deflexión inmediata es la cantidad de deformación que ocurre de manera instantánea bajo la influencia de esa carga. Es crucial tener en cuenta la deflexión inmediata en el diseño de estructuras para asegurar que la deformación resultante sea aceptable y cumpla con los requisitos de seguridad y funcionalidad.

De acuerdo con las disposiciones del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE, 2020), específicamente en el apartado 9.6 de la norma E.060, se establece que el cálculo de las deflexiones se llevará a cabo considerando que la rigidez en flexión del elemento ($E_c I_e$) es constante a lo largo del tramo. Además, para elementos simplemente apoyados en

ambos extremos, se empleará el momento de inercia efectivo calculado para la sección central.

En el caso de una viga simplemente apoyada y sometida a una carga uniformemente distribuida, como se ilustra en la Figura 3, la máxima deflexión se puede calcularse utilizando la ecuación (3), ampliamente documentada en la literatura de mecánica de materiales, particularmente en el trabajo de Hibbeler (2011), Esta expresión es:

$$\delta_{max} = \frac{5 \cdot w \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} \quad (3)$$

Donde:

w = Carga uniformemente distribuida.

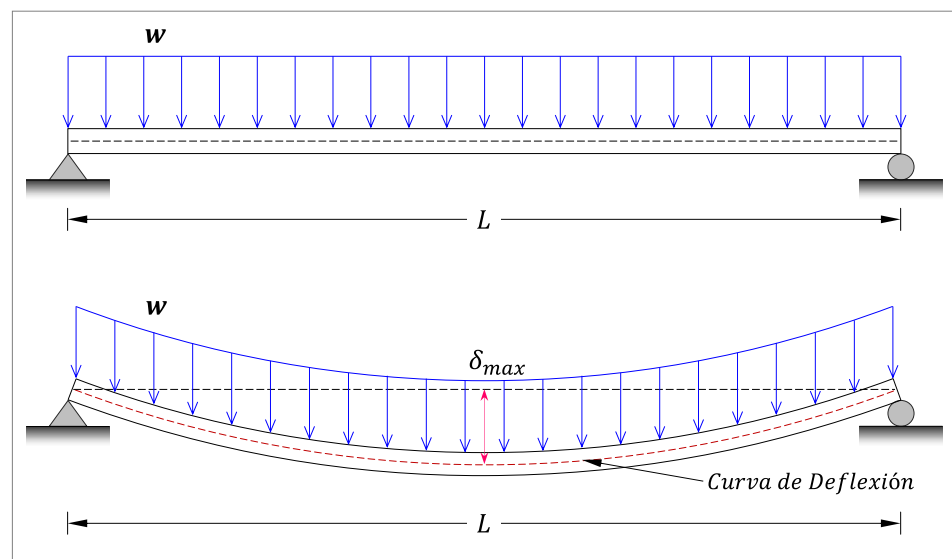
L = Longitud de la viga de concreto armado.

E = Módulo de elasticidad del material de la viga.

I = Segundo momento de área de la sección transversal.

Figura 3

Viga con carga uniforme distribuida



Nota: Deflexión de viga con carga uniforme distribuida, adaptado de Hibbeler (2011).

Para el cálculo de la deflexión máxima en vigas bajo cargas puntuales, se sigue el trabajo de Gere & Timoshenko (1984), quienes proporcionan un enfoque detallado para este tipo de análisis. Si la carga en la viga es simétrica respecto a la tercera parte de la luz (ver Figura 4), la deflexión máxima puede calcularse empleando la ecuación (4) presentada a continuación:

$$\delta_{max} = \frac{23 \cdot P \cdot L^3}{648 \cdot E_c \cdot I_e} \quad (4)$$

Donde:

P = Carga puntual aplicado a la viga.

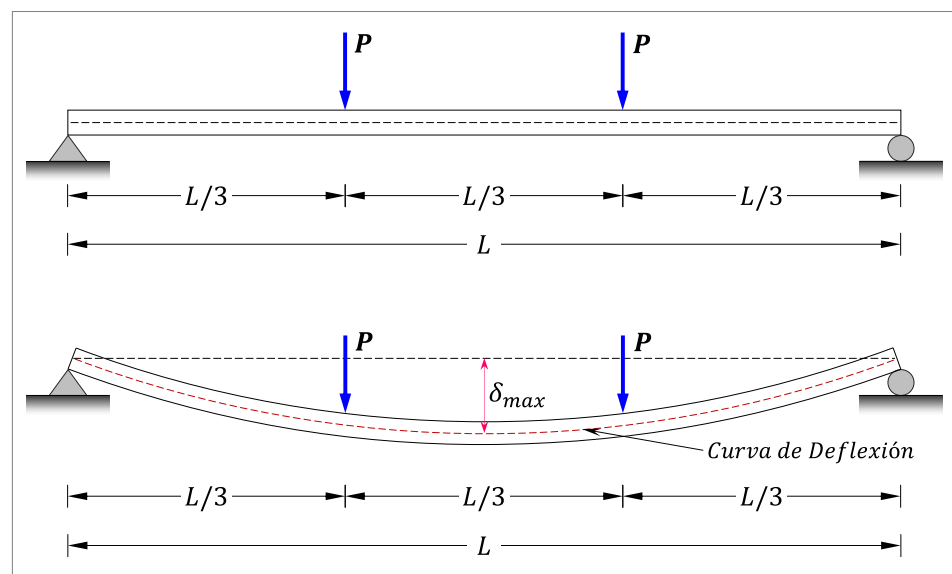
L = Longitud de la viga de concreto armado.

E_c = Módulo de elasticidad del material de la viga.

I_e = Segundo momento de área de la sección transversal de la viga.

Figura 4

Viga con cargas puntuales en los tercios centrales



Nota: Deflexión de viga cargada simétricamente a $L/3$, adaptado de Gere & Timoshenko (1984).

2.2.1.3.3. Deflexión diferida

Conforme al Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE, 2020) de la norma E.060, específicamente en el ítem 9.6; se establece que, a menos que se realice un análisis más detallado, la deflexión diferida o adicional en el tiempo, derivada del flujo plástico del concreto y de la retracción de los elementos en flexión, puede calcularse al multiplicar la deflexión inmediata ocasionada por las cargas sostenidas, que incluyen la carga muerta y la parte de la carga viva que se anticipa que actuará de forma permanente por el factor $\lambda\Delta$, como se muestra en la ecuación (5) del reglamento (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2020b).

$$\lambda\Delta = \frac{\xi}{1 + 50\rho'} \quad (5)$$

Donde ρ' es la cuantía de acero en compresión calculada en la mitad de la luz para tramos simples y continuos y en el punto de apoyo para voladizos. Puede considerar el factor ξ dependiente del tiempo para cargas sostenidas como se presenta en la Tabla 1. Además, se puede emplear el gráfico de la Figura 5 para otras duraciones de las cargas sostenidas (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2020b).

Tabla 1

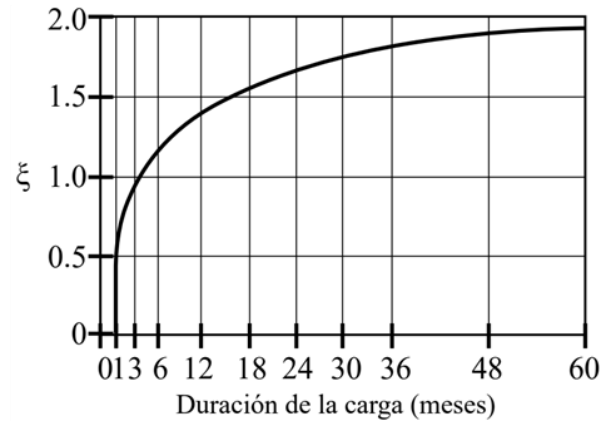
Valores de ξ en relación con el tiempo

Tiempo	ξ
5 o más años	2.00
12 meses	1.40
6 meses	1.20
3 meses	1.00

Nota: Extraído de la norma E.60 (Concreto armado), (RNE, 2020)

Figura 5

Factor multiplicador para deflexiones a largo plazo



Nota: Factor para cargas sostenidas, extraído de la norma E.60, (RNE, 2020).

2.2.2. Aberturas por tuberías insertas verticalmente

De acuerdo con Hamzah & Ali (2020), actualmente hay un déficit de conocimiento sobre cómo afectan las aberturas verticales a la resistencia y al comportamiento de vigas de concreto reforzado, especialmente en los casos donde la abertura atraviesa toda la profundidad de la viga e interfiere con las barras de refuerzo.

Anco & Mamani (2018), menciona que la inserción de tuberías verticales altera la distribución de tensiones dentro de la viga, lo que puede reducir su capacidad para resistir cargas aplicadas de manera eficiente, especialmente cuando las tuberías se insertan en zonas críticas como el centro de la viga.

Por otro lado, los códigos de diseño y las guías de construcción actuales presentan recomendaciones muy limitadas para el diseño de vigas con aberturas verticales. Este estudio se propone abordar esta carencia mediante la evaluación y mejora del conocimiento sobre el comportamiento de vigas de concreto reforzado



que incluyen una abertura vertical que atraviesa toda su altura, interrumpiendo el refuerzo longitudinal.

2.2.2.1. Tuberías PVC-U

En fontanería, el uso de PVC-U ha facilitado la solución de problemas asociados con las tuberías de plomo o hierro. Este tipo de tuberías es adecuado tanto para sistemas de agua caliente como fría y cuenta con una amplia gama de accesorios y complementos diseñados para adaptarse a estas aplicaciones. Las tuberías de PVC-U destacan por su facilidad de manipulación, mayor capacidad de caudal, alta resistencia (hasta PN 25 bar), y estabilidad química, además de ser inertes e inocuas. También ofrecen una alta resistencia al fuego, son fáciles de transportar, y pueden doblarse con herramientas específicas. Las uniones pueden realizarse mediante roscas o a presión; en el primer caso, se usa cinta de teflón para asegurar un sellado adecuado, mientras que para uniones a presión se emplea un adhesivo especial de PVC-U. Ambas opciones proporcionan conexiones duraderas y resistentes a presiones de hasta PN 25 bar. Además, el PVC-U es resistente a agentes corrosivos, presenta un índice de dilatación térmica razonable, y permite unir tramos de tubería fácilmente con adhesivos especializados (Angulo R & Rodriguez B, 2017)

2.3. MARCO NORMATIVO LEGAL

2.3.1. Reglamento nacional de edificaciones E.060 (RNE, 2020)

Es importante señalar, las precisiones conceptuales encontradas en la norma E.060 del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE, 2020), en el ítem 6.3, el cual se resume a continuación.



Bajo la aprobación previa de la supervisión, se autoriza la incorporación en el concreto de tuberías, ductos e insertos de cualquier material que no perjudique el concreto y además se encuentre dentro de los límites establecidos. Es crucial tener en cuenta que estos elementos no sustituyen estructuralmente al concreto desplazado. Además, el reglamento enfatiza claramente la resistencia de los elementos estructurales al señalar que los ductos, tuberías e insertos que atraviesan las vigas no deben afectar de manera significativa la resistencia global de la estructura (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2020b).

En conformidad con las directrices establecidas en el reglamento, se indica que las tuberías y conductos integrados en una losa, muro o viga (exceptuando aquellos que solo los atraviesan) deben cumplir con los siguientes requisitos, a menos que los planos correspondientes hayan sido aprobados previamente por el ingeniero estructural. (a) Las dimensiones exteriores de los elementos embebidos no deben exceder la tercera parte del espesor total de la losa, muro o viga en la que están incrustados, (b) Deben mantenerse a una distancia no menor de tres veces su diámetro o ancho, medida de centro a centro, (c) No deben tener un impacto considerable en la resistencia del elemento.

Ahora bien, en virtud del reglamento, se puede establecer que los conductos, tuberías e insertos pueden sustituir estructuralmente al concreto desplazado en compresión, siempre que se cumplan las siguientes condiciones: (a) Evitar la exposición a la corrosión u otros factores de deterioro, (b) Sean de acero o hierro, ya sea sin revestimiento o galvanizado, con un espesor igual o superior al del tubo de acero de calibre estándar número 40, (c) Su diámetro interior nominal no debe exceder los 50 mm y mantener una separación no menor a tres diámetros, medidos de centro a centro.



Asimismo, se indica la necesidad de instalar refuerzo en dirección normal a la tubería, con un área que no sea inferior al 0.002 veces el área de la sección de concreto. Finalmente, el reglamento estipula que las tuberías y ductos serán fabricados e instalados de manera que no se necesite cortar, doblar ni desplazar el refuerzo de su posición adecuada.

2.3.2. Consideraciones del ACI IPS-1 (International Publication Series)

En el capítulo dedicado a "ductos, aberturas y tuberías embebidas" de la publicación ACI IPS-01, se establece que no se puede incorporar tuberías o ductos en cualquier elemento estructural, cuando estas sean de aluminio. Además, se especifica que no es permitido empotrar ductos o tuberías en el interior de una columna.

La publicación del ACI IPS-1 proporciona directrices detalladas sobre la ubicación de conductos y tuberías que atraviesen elementos estructurales como vigas, vigas maestras y viguetas. Según estas directrices, cualquier conducto o tubería que cruce una viga, viga maestra o vigueta horizontalmente debe tener un diámetro exterior que no exceda $1/3$ de la altura del elemento, representada por " h ", y debe ser menor que $b/3$ si el cruce es transversal. Además, estos conductos o tuberías deben estar posicionados horizontalmente a una distancia que no sea menor de $L/4$ ni mayor de $L/3$ desde la cara del apoyo. Para los elementos que atraviesan horizontalmente, los conductos deben ubicarse en el tercio central de la altura del elemento, mientras que para los que atraviesan verticalmente, deben situarse en el tercio central del ancho, indicado como " b ". También es crucial que las tuberías y ductos mantengan una separación horizontal mínima de tres veces su diámetro, medida de centro a centro.

2.3.3. American Concrete Institute (ACI 318-19)

El comité de American Concrete Institute (ACI 318-19), en su código, propone emplear una inercia que denomina "efectiva" que representa la expresión de la ecuación (6), la cual representa una medida intermedia entre la inercia de la sección bruta y la inercia de la sección fisurada, además de las ecuaciones (7) y (8). Para calcular esta inercia efectiva, se establece lo siguiente:

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 \cdot I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right] \cdot I_{cr} < I_g \quad (6)$$

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_g}{y_t} \quad (7)$$

$$f_r = 2 \cdot \sqrt{f'_c} \quad (8)$$

Donde, M_{cr} corresponde al momento de fisuración, f_r es el módulo de ruptura del concreto (aplicable en el caso de concreto de peso normal), y_t representa la distancia en milímetros desde el eje centroidal de la sección total hasta la fibra más alejada en tracción (excluyendo el refuerzo), I_g es el momento de inercia de la viga correspondiente a la sección bruta, M_a representa el momento máximo que se experimenta en el elemento para el nivel de carga que se está analizando e I_{cr} es el momento de inercia de la sección de la viga transformada y fisurada.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Tipo de investigación

La presente propuesta del desarrollo investigativo, considerando las condiciones de exhaustivo, excluyente y parsimonia (Supo & Zacarías, 2020), entonces hace que la presente investigación sea de tipo: prospectiva según la planificación de las mediciones; transversal según el período temporal y el número de mediciones de la variable de estudio; analítico según el número de variables por analizar; pura, según su finalidad y el tipo de conocimientos a obtener, y cuantitativas según la naturaleza de la información y el tipo de datos a emplear.

3.1.2. Enfoque de investigación

De acuerdo con Hadi et al. (2023) la idea central del enfoque cuantitativo es que se pueden medir las variables y establecer relaciones causales entre ellas. Por lo que el enfoque de esta investigación es cuantitativa, basado en un diseño experimental que permite evaluar de manera objetiva la influencia de tuberías insertas verticalmente en las propiedades mecánicas de vigas de concreto armado.

3.1.3. Nivel de investigación

En estudios explicativos de causalidad se usan términos tales como “influir”, “provocar”, “causar”, “generar”, “producir”, “efectuar”; en este nivel se identifican contrastes de hipótesis causales, las cuales, se involucran una relación de causalidad entre variables dependientes e independientes (Antuna, 2015).

Para esta investigación “Influencia de Aberturas por Tuberías Insertas Verticalmente en las Propiedades Mecánicas de Vigas de Concreto Armado en Juliaca, 2023”, es de nivel explicativo, que serán las pautas por utilizar en el diseño metodológico e intensidad analítica del estudio, aspectos que se abordarán para analizar los datos.

3.1.4. Diseño de la investigación

La investigación utiliza un diseño experimental para evaluar la influencia de tuberías insertas verticalmente en las propiedades mecánicas de vigas de concreto armado. Se centra en analizar su impacto en la resistencia al corte y a la flexión, la rigidez flexional y la deflexión bajo carga, variables esenciales para comprender el comportamiento estructural de estas vigas.

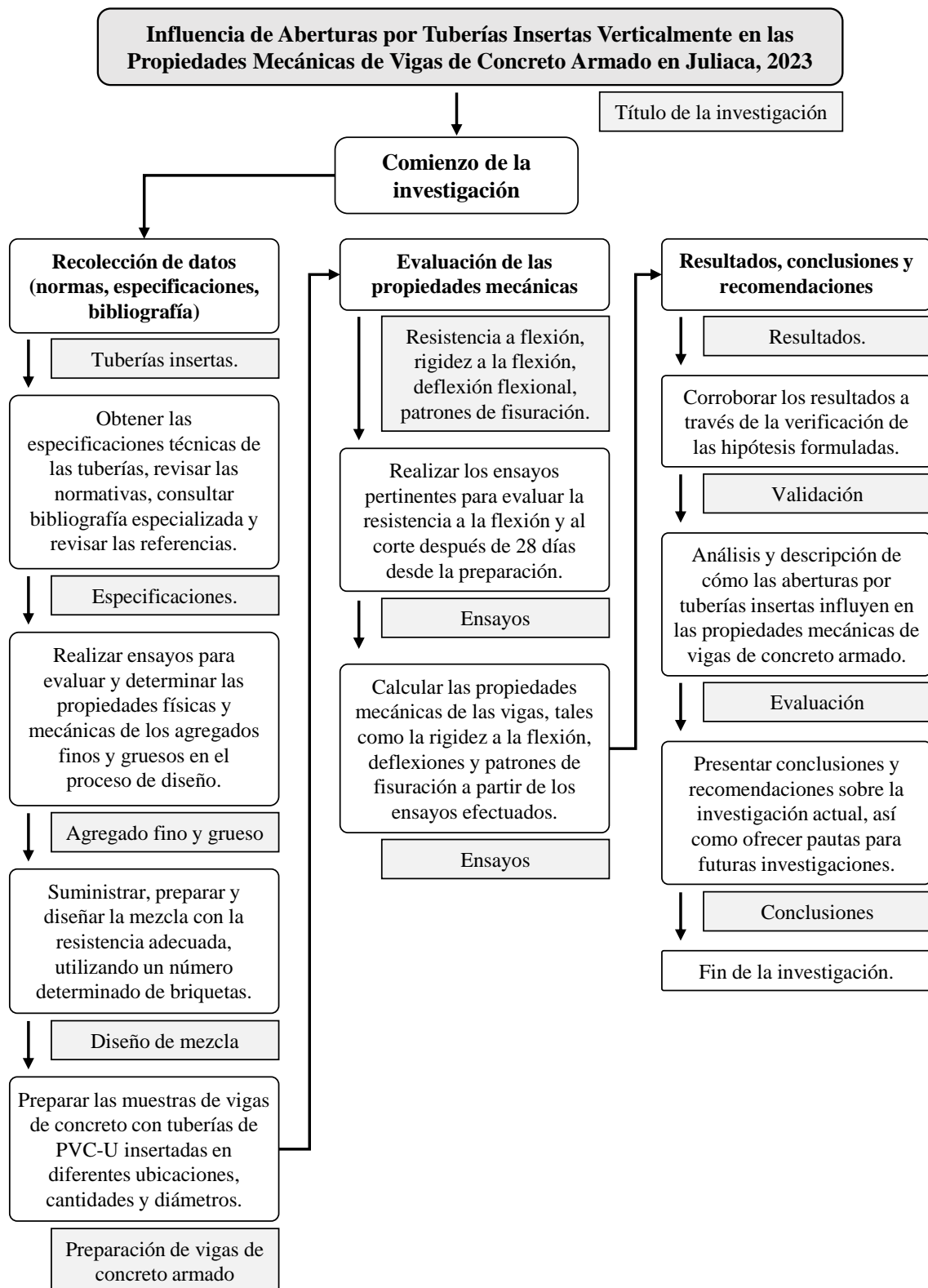
Para ello, se fabrican vigas de concreto armado con dimensiones y características homogéneas, pero con diferentes configuraciones en la disposición de las tuberías insertas. Los especímenes se agrupan en dos categorías: vigas con tuberías de distintos diámetros y ubicaciones en la sección transversal, y vigas patón sin tuberías, utilizadas para establecer comparaciones directas (ver Tabla 4).

Las pruebas experimentales se realizan en laboratorio, aplicando cargas progresivas hasta alcanzar la fisuración o la falla de las vigas, registrando los datos correspondientes en cada nivel de carga. Este enfoque permite analizar y cuantificar cómo la inserción vertical de tuberías afecta las propiedades mecánicas del concreto armado.

Finalmente, en la sección de anexos (Anexo 1: Matriz de consistencia) se incluye la matriz de consistencia, que detalla el diseño completo de la investigación.

Figura 1

Esquema del proceso de la investigación



Nota: Elaboración propia.

3.1.5. Matriz de consistencia

Tabla 2

Matriz de consistencia

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicadores	Escala	Métodos y Técnicas
<p><u>Pregunta general</u></p> <p>– ¿Cuál es la influencia de aberturas por tuberías insertas verticalmente en las propiedades mecánicas de vigas de concreto armado en Juliaca, 2023?</p>	<p><u>Objetivo general</u></p> <p>– Evaluar la influencia de aberturas por tuberías insertas verticalmente en las propiedades mecánicas de vigas de concreto armado en Juliaca, 2023.</p>	<p><u>Hipótesis general</u></p> <p>– Las aberturas por tuberías insertas verticalmente tendrán influencia significativa en las propiedades mecánicas de vigas de concreto armado en Juliaca, 2023, disminuyendo su resistencia a capacidad de carga.</p>	<p><u>Variable independiente</u></p> <p>– Aberturas por tuberías insertas verticalmente.</p> <p><u>Subvariables:</u></p> <p>– Tamaño de abertura</p> <p>– Ubicación de aberturas</p>	<p><u>De la variable independiente</u></p> <p>– Tubería inserta verticalmente de $D=2$ in.</p> <p>– Tubería inserta verticalmente de $D=4$ in.</p> <p>– Distancia desde el apoyo hasta la abertura (cm)</p>	<p>Nominal</p> <p>dicotómica</p>	<p><u>Población de estudio</u></p> <p>Vigas de concreto armado en edificaciones de albañilería.</p> <p><u>Muestra</u></p> <p>Método de cálculo no probabilístico por conveniencia: 14 vigas de concreto armado a escala real.</p> <p><u>Tipo de investigación</u></p> <p>Prospectiva, Transversal, Analítico, Pura y Cuantitativa.</p>
<p><u>Preguntas específicas</u></p> <p>– ¿Cómo influye la presencia de aberturas por tuberías insertas verticalmente en la resistencia a la flexión y cortante de las vigas de concreto armado?</p> <p>– ¿Cómo influye la presencia de aberturas por tuberías insertas verticalmente en la rigidez a la flexión de las vigas de concreto armado?</p>	<p><u>Objetivos específicos</u></p> <p>– Determinar la influencia de aberturas por tuberías insertas verticalmente en la resistencia a la flexión y cortante de las vigas de concreto armado.</p> <p>– Determinar la influencia de aberturas por tuberías insertas verticalmente en la rigidez a la flexión de las vigas de concreto armado.</p>	<p><u>Hipótesis específicas</u></p> <p>– La presencia de aberturas por tuberías insertas verticalmente en vigas de concreto armado tendrá un efecto significativo en la resistencia a la flexión y resistencia a cortante de concreto armado, se espera que la magnitud de esta disminución esté relacionada con factores como el tamaño y ubicación de las aberturas.</p>	<p><u>Variables dependientes</u></p> <p>– Propiedades mecánicas.</p> <p>– Subvariables:</p> <p>– Resistencia a la flexión y resistencia a cortante.</p>	<p><u>De las variables dependientes</u></p> <p>– Carga máxima soportada</p> <p>– Resistencia a la flexión en el límite elástico</p> <p>– Resistencia a cortante</p>	<p>Numérica</p> <p>continua</p>	<p>Investigación de nivel explicativa.</p> <p><u>Método:</u></p> <p>Racional y Prueba de hipótesis</p>

Problemas	Objetivos	Hipótesis	VARIABLES	Indicadores	Escala	Métodos y Técnicas
<p>– ¿Cómo influye la presencia de aberturas por tuberías insertas verticalmente en la deflexión flexional de vigas de concreto armado?</p>	<p>– Determinar la influencia de aberturas por tuberías insertas verticalmente en la deflexión flexional de vigas de concreto armado.</p>	<p>– La presencia de aberturas por tuberías insertas verticalmente en las vigas de concreto armado afecta significativamente su rigidez a la flexión, debido a la interrupción en la continuidad del material y la redistribución de esfuerzos.</p> <p>– La presencia de aberturas por tuberías insertas verticalmente en vigas de concreto armado afecta de manera significativa en la deflexión flexional de estas vigas, debido a la disminución de la capacidad de carga y la rigidez de la sección transversal.</p>	<p>– Rigidez a la flexión.</p> <p>– Deflexión flexional.</p>	<p>– Momento de inercia</p> <p>– Módulo de elasticidad.</p> <p>– Deformación máxima</p> <p>– Patrones de fisuración</p> <p>– Deflexión inmediata y diferida.</p>	<p>Numérica continua</p>	<p>Línea de investigación:</p> <p>Propiedades mecánicas de vigas de concreto armado con aberturas de tuberías insertas verticalmente.</p> <p>Técnicas:</p> <p>Las técnicas usadas serán: Medición física, observación, análisis de código y documentación.</p> <p>Instrumentos:</p> <p>Los instrumentos usados: calibrador, flexómetro, moldes de ensayo, normativas y equipos de ensayo.</p>

Nota: Elaboración propia.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA DE ESTUDIO

3.2.1. Población

La población es el grupo de individuos o elementos que tienen características específicas y sobre los cuales se quieren hacer inferencias o generalizaciones (Hadi et al., 2023). La población es un conjunto infinito o finito de sujetos con características similares y/o comunes entre sí (Arias, 2012).

Para esta investigación el universo de estudio comprende todas las unidades de vigas de concreto armado, con características de resistencia a la compresión del concreto $f'_c = 21 \text{ MPa}$ (210 kg/cm^2), límite de fluencia de acero corrugado ASTM A615-Grado 60 de $f_y = 420 \text{ MPa}$ ($4,200.00 \text{ kgf/cm}^2$).

3.2.2. Muestra

La muestra también se define como un subgrupo o un subconjunto de la población que recoge las características relevantes de la misma (Antuna, 2015). El muestreo no probabilístico es el procedimiento de selección en el que se desconoce la probabilidad que tienen los elementos de la población para integrar la muestra (Arias, 2012). Para nuestro análisis, utilizaremos una muestra compuesta por 14 vigas de concreto armado a escala real. Es fundamental que estas vigas sean elegidas de manera que ofrezcan una representación fiel del conjunto que estamos estudiando. La selección debe asegurar que los rasgos cruciales para nuestra investigación estén bien representados. Para que la muestra sea realmente útil, debe reflejar tanto las similitudes como las diferencias presentes en el universo de estudio.



3.2.2.1. Muestreo no probabilístico

Montesinos et al. (2009) explican que el muestreo no probabilístico implica seleccionar unidades de muestra de manera subjetiva o mediante procedimientos no aleatorios, lo que impide establecer una estructura probabilística para desarrollar una teoría de muestreo y evaluar cuantitativamente la precisión de las estimaciones muestrales. De hecho, la calidad de las estimaciones se evalúa principalmente a través de la intuición, la experiencia o argumentos subjetivos, ya que la única forma de cuantificar con precisión la bondad de los resultados sería disponer de datos de toda la población.

Aunque el muestreo no probabilístico resulta no adecuado para el desarrollo de la teoría, en ciertas ocasiones se convierte en la única alternativa viable (Bradburn & Sudman, 1991).

3.2.2.1.1. Muestreo por conveniencia

El investigador puede elegir una muestra que facilite la recopilación de información (Antuna, 2015). El muestreo por conveniencia es una metodología no probabilística donde se eligen las muestras de la población basándose únicamente en su accesibilidad y disponibilidad para el investigador.

El muestreo por conveniencia, una técnica no probabilística, es frecuentemente elegido por los investigadores debido a su rapidez, bajo costo y facilidad para acceder a las muestras. En este estudio, se elegirán 14 vigas de concreto armado utilizando criterios específicos para asegurar



una muestra representativa, incluyendo vigas diseñadas y construidas a escala real.

En esta investigación, se utilizará un tipo de muestreo no probabilístico, en particular el muestreo por conveniencia:

- **Caso I:** V-01, V-02, vigas de concreto armado a escala real reforzadas con la misma cuantía de acero ($\rho = 0.0055$) y una resistencia a la compresión del concreto de $21 \text{ MPa. (} 210 \text{ kg/cm}^2\text{)}$, estas serán también llamadas vigas patrón.
- **Caso II:** V-03, V-04, vigas de concreto armado a escala real reforzadas con la misma cuantía de acero ($\rho = 0.0055$) y una resistencia a la compresión del concreto de $21 \text{ MPa. (} 210 \text{ kg/cm}^2\text{)}$, estas tendrán tuberías PVC-U DS-CL insertas de 4" en la viga.
- **Caso III:** V-05, V-06, vigas de concreto armado a escala real reforzadas con la misma cuantía de acero ($\rho = 0.0055$) y una resistencia a la compresión del concreto de $21 \text{ MPa. (} 210 \text{ kg/cm}^2\text{)}$, estas tendrán tuberías PVC-U DS-CL insertas de 2" en la viga.
- **Caso IV:** V-07, V-08, vigas de concreto armado a escala real reforzadas con la misma cuantía de acero ($\rho = 0.0055$) y una resistencia a la compresión del concreto de $21 \text{ MPa. (} 210 \text{ kg/cm}^2\text{)}$, estas tendrán tuberías PVC-U DS-CL insertas de 4" en la viga.
- **Caso V:** V-09, V-10, vigas de concreto armado a escala real reforzadas con la misma cuantía de acero ($\rho = 0.0055$) y una resistencia a la compresión del concreto de $21 \text{ MPa. (} 210 \text{ kg/cm}^2\text{)}$, estas tendrán tuberías PVC-U DS-CL insertas de 2" en la viga.

- **Caso VI:** V-11, V-12, vigas de concreto armado a escala real reforzadas con la misma cuantía de acero ($\rho = 0.0055$) y una resistencia a la compresión del concreto de 21 MPa. (210 kg/cm^2), estas tendrán tuberías PVC-U DS-CL insertas de 4" y 2" en la viga.
- **Caso VII:** V-13, V-14, vigas de concreto armado a escala real reforzadas con la misma cuantía de acero ($\rho = 0.0055$) y una resistencia a la compresión del concreto de 21 MPa. (210 kg/cm^2), estas tendrán tuberías PVC-U DS-CL insertas de 4" y 2" en la viga.

3.3. MATERIALES

3.3.1. Cemento Portland

El Cemento Portland Tipo IP, conocido también como Cemento Portland Puzolánico, es un tipo de cemento hidráulico compuesto principalmente por clínker, yeso y una proporción significativa de materiales puzolánicos. El Cemento Portland IP es ampliamente utilizado en la construcción en el Perú debido a su desempeño eficiente en diversas condiciones ambientales, lo que lo convierte en una opción ideal para estructuras que requieren una alta resistencia y durabilidad a largo plazo (Asociación de Productores de Cemento, 2020).

Tabla 3

Características técnicas del cemento utilizado

Requisitos químicos	Cemento portland RUMI tipo IP	Requisitos norma NTP 334.090/ASTM C-595
MgO (%)	1.99	6.00 máx.
SO ₃ (%)	1.75	4.00 máx.
Perdida por ignición (%)	2.14	5.00 máx.

Requisitos físicos	Cemento portland RUMI tipo IP		Norma NTP 334.090 ASTM C-595	
Peso específico (gr/cm ³)	2.85		-	
Expansión en autoclave (%)	0		0.80 máx.	
Fraguado vicat inicial (minutos)	170		45 min.	
Fraguado vicat final (minutos)	270		420 máx.	

Resistencia a la compresión	Cemento portland RUMI tipo IP		Norma NTP 334.090 ASTM C-595	
	<i>kgf/cm²</i>	<i>Mpa</i>	<i>kgf/cm²</i>	<i>Mpa</i>
1 días	104	10	-	-
3 días	199	20	133 min.	13
7 días	247	24	204 min.	20
28 días	342	34	255 min.	25
60 días	397	39	-	-

Resistencia a los sulfatos	Cemento IP	
% Expansión a los 14 días	0.018	

Nota: Extraído de ficha técnica Cementos RUMI y NTP 334.090 (2020)

3.3.2. Agregado fino

El agregado fino es un componente esencial en la mezcla de concreto, compuesto por partículas pequeñas y finas que pasan por un tamiz de 4,75 mm (Tamiz #4). Generalmente, se compone de arena natural, arena manufacturada o una combinación de ambas. Su función principal es llenar los espacios entre los agregados gruesos, lo que mejora la trabajabilidad del concreto y su resistencia. La calidad y las propiedades del agregado fino, como su granulometría, forma, textura superficial y limpieza, son cruciales para lograr un concreto de alto desempeño y durabilidad. En la presente investigación, se analiza el impacto del agregado fino en la eficiencia estructural de vigas con tuberías insertadas,



considerando su influencia en la distribución de tensiones y la cohesión del material.

3.3.3. Agregado grueso

El agregado grueso es un componente esencial en la composición del concreto, formado por partículas de roca o grava de tamaño considerablemente mayor que el del agregado fino (arena). Generalmente, su tamaño varía entre 4.75 mm y 37.5 mm, aunque puede haber variaciones dependiendo de los requerimientos específicos del proyecto. Este material contribuye significativamente a la resistencia y durabilidad del concreto, proporcionando estabilidad estructural y reduciendo la contracción y el agrietamiento. Además, la calidad del agregado grueso, incluyendo su forma, textura superficial, densidad y absorción de agua, influye directamente en las propiedades mecánicas del concreto y en su comportamiento bajo carga.

3.3.4. Acero de refuerzo corrugado

El acero de refuerzo corrugado, también conocido como barra de refuerzo o rebar, es un componente esencial en la construcción de estructuras de concreto reforzado. Este material se fabrica a partir de acero de alta resistencia y presenta una superficie con nervaduras o corrugaciones que mejoran su adherencia al concreto. Las corrugaciones aumentan la fricción entre el acero y el concreto, lo que permite una transferencia de esfuerzos más eficiente y evita deslizamientos, garantizando la estabilidad y durabilidad de la estructura. Este tipo de acero se utiliza principalmente para resistir esfuerzos de tracción, ya que el concreto por sí solo es débil ante tales esfuerzos. El uso de acero de refuerzo corrugado es crucial



para garantizar la integridad estructural y la capacidad de carga de las construcciones de concreto.

3.3.5. Tuberías PVC-U

El Policloruro de Vinilo no Plastificado (PVC-U) es un polímero termoplástico ampliamente utilizado en la fabricación de tuberías debido a su resistencia, durabilidad y versatilidad en diversas aplicaciones industriales y civiles. Este material se caracteriza por su capacidad para resistir la corrosión química y biológica, además de ofrecer una buena resistencia mecánica y a la abrasión. Las tuberías de PVC-U son conocidas por su fácil instalación y mantenimiento, así como por su capacidad para transportar diversos fluidos, desde agua potable hasta productos químicos industriales, asegurando una larga vida útil y minimizando los costos de operación y mantenimiento en infraestructuras de servicios y construcción.

3.3.6. Agua

El agua utilizada en la construcción es un componente crucial en la mezcla de concreto, morteros y otros materiales, ya que interviene en las reacciones químicas responsables del fraguado y endurecimiento. Esta agua debe ser limpia y estar libre de impurezas, como aceites, ácidos, álcalis, sales y materia orgánica, que podrían comprometer la resistencia y durabilidad del concreto. La calidad del agua es de suma importancia, ya que el empleo de agua contaminada puede disminuir notablemente la integridad estructural y la vida útil de la edificación. Por ello, es esencial adherirse a las normas y especificaciones técnicas que aseguran el uso de agua adecuada en las construcciones.



3.4. RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS

Los enfoques de investigación, al ser procedimientos sistemáticos, posibilitan la organización de la actividad de forma estructurada, lo que conduce al cumplimiento de los objetivos establecidos. Por lo tanto, es fundamental el progreso de la investigación actual, que se centra en los métodos de recopilación de datos en un contexto amplio.

Por consiguiente, el propósito de este estudio es satisfacer los requisitos establecidos por la Norma American Society for Testing and Materials (ASTM C78) (Ensayo de carga en los tercios centrales) y el Capítulo 20 de la norma E.060 "Evaluación de la Resistencia de Estructuras Existentes" del reglamento nacional de edificaciones (RNE, 2020).

3.4.1. Fuentes, estrategias y herramientas para la recopilación de datos.

Los datos recopilados se organizarán y presentarán mediante técnicas estadísticas. Esto incluirá tablas de frecuencias para variables individuales, tablas de contingencia para dos o más variables, así como gráficos e indicadores. Las fuentes para la investigación se dividen en dos categorías:

- **Fuentes primarias:** Datos obtenidos directamente de los resultados de laboratorio.
- **Fuentes secundarias:** La información se ha obtenido de una variedad de fuentes, incluyendo libros, revistas, manuales, tesis, blogs, normas y recursos electrónicos. La selección de tablas o gráficos para la presentación de los datos se basará en los objetivos de la investigación y en la escala de medición de las variables involucradas.



3.4.2. Análisis y presentación de datos

3.4.2.1. Análisis de datos

Para esta fase del estudio, se procederá a revisar y analizar los datos recopilados en el campo para asegurar la fiabilidad de la investigación. Para ello, se utilizarán herramientas y software especializados de apoyo. Los datos obtenidos provendrán de las pruebas realizados en el laboratorio, que incluyen:

- Prueba de resistencia a la flexión en 14 vigas de concreto armado, todas diseñados con la misma cantidad de refuerzo, con el objetivo de someterlas a cargas de flexión hasta alcanzar su carga última.

3.4.3. Fuentes de información primaria y el programa experimental sugerido

En el ámbito de la construcción, las vigas a menudo soportan cargas a lo largo de toda su longitud, conocidas como cargas uniformemente distribuidas. No obstante, ensayar una viga bajo estas condiciones es complicado, costoso e incierto en cuanto a la aplicación de las cargas. Por ello, en la mayoría de los ensayos de vigas realizados en países de Latinoamérica, se idealiza una viga simplemente apoyada y cargada simétricamente a un tercio de la distancia entre los apoyos. Esta configuración es la que más tiene aproximación a la curva generado por las cargas distribuidas.

3.4.3.1. Proceso de selección de la muestra

Para nuestro estudio, la muestra constará de 14 vigas de concreto armado a escala real. Estas muestras deben ser seleccionadas de manera



que reflejen de manera precisa las características del universo que estamos investigando, capturando los rasgos esenciales relevantes para nuestro estudio. Es crucial que la muestra sea representativa y, por lo tanto, útil, lo que implica que debe reflejar tanto las similitudes como las diferencias encontradas dentro del universo de estudio. En esta investigación, se utilizará un método de muestreo no probabilístico, específicamente el muestreo por conveniencia.

3.4.3.2. Dimensiones de las vigas

Para establecer las dimensiones de nuestra muestra, utilizamos las medidas más frecuentes de vigas en diversos tipos de edificaciones, tales como viviendas, oficinas y tiendas. Este proceso incluyó la revisión de planos existentes y la realización de visitas a distintas construcciones. Siguiendo las regulaciones del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), hemos obtenido las siguientes medidas estándar: Ancho = 0.25 m, Peralte = 0.40 m y Largo = 3.60 m (ver Tabla 4).

3.4.3.3. Criterios de ubicación de Tuberías PVC-U

La disposición de las tuberías en cada caso sigue las recomendaciones del proceso constructivo y las normas de diseño estructural establecidas en la normativa E060 del Reglamento Nacional de Edificaciones, sin realizar cortes o desplazamientos de refuerzos. Estos criterios están alineados con estudios previos que forman parte de los antecedentes de la investigación, donde se ha demostrado que la ubicación y el diámetro de aberturas pueden influir de manera significativa en el comportamiento estructural de las vigas. La metodología experimental



asegura que los resultados obtenidos sean representativos y puedan aplicarse en la práctica sin comprometer la seguridad ni la integridad del refuerzo estructural.

- Caso I (C-I): Este caso actúa como el control en el experimento, permitiendo una comparación directa con las vigas que incluyen tuberías insertas. La viga patrón establece las propiedades mecánicas de referencia para las vigas sin modificaciones, de modo que los cambios en resistencia, rigidez y deflexión debido a las aberturas puedan cuantificarse en relación con esta configuración básica.
- Caso II (C-II): La tubería se ubica en el centro de la luz entre apoyos (1.80 m de cada borde), donde se genera el momento flector máximo en una viga simplemente apoyada. Colocar la abertura en esta zona permite evaluar el impacto directo en la resistencia a flexión y la rigidez a la flexión, ya que el debilitamiento de la sección transversal en la zona de momento máximo es crucial para el análisis de seguridad estructural y eficiencia de diseño.
- Caso III (C-III): Este caso utiliza un diámetro menor en la misma ubicación crítica de 1.80 m del borde. Al reducir el tamaño de la abertura, se busca evaluar cómo las dimensiones de las tuberías afectan el momento flector y la capacidad de flexión en la sección más comprometida de la viga. Esto permite establecer si el diámetro de la tubería puede modularse para minimizar la afectación estructural sin perder funcionalidad en el diseño.
- Caso IV (C-IV): Colocar la tubería cerca de los apoyos donde predomina el esfuerzo cortante, permite analizar el impacto de una



abertura en una zona menos afectada por el momento flector pero más influida por el esfuerzo cortante. Esta ubicación explora cómo las tuberías insertas afectan la resistencia a corte y la integridad estructural en proximidad a los apoyos, ayudando a determinar si estas zonas son menos vulnerables a las reducciones de resistencia.

- Caso V (C-V): La duplicación de este caso aumenta la fiabilidad de los resultados para esta ubicación específica. Permite obtener un promedio de los datos, reduciendo la variabilidad y mejorando la precisión en la evaluación de los efectos de las tuberías cerca de los apoyos en la resistencia a corte de las vigas.
- Caso VI (C-VI): Este caso incorpora dos tuberías en diferentes ubicaciones críticas (0.55 m y 1.80 m). La configuración mixta permite estudiar la influencia combinada de tuberías en zonas de corte y de momento máximo. La evaluación de los efectos en ambos puntos proporciona una visión completa de cómo múltiples aberturas afectan las propiedades mecánicas de las vigas, relevante para diseños complejos donde existen múltiples tuberías en distintas zonas de la estructura.
- Caso VII (C-VII): En este caso, se coloca una tubería cerca del otro extremo (3.05 m desde el borde), cubriendo así una mayor variedad de ubicaciones para estudiar los efectos de aberturas a lo largo de la viga. Evaluar el comportamiento estructural cuando una tubería se ubica en las zonas extremas de la luz entre apoyos permite conocer el impacto en deflexión y resistencia en un rango mayor de puntos críticos, ampliando la aplicabilidad de los resultados.

Tabla 4

Propiedades geométricas y caracterización de vigas de concreto armado

Caso	Elemento	Propiedades	Imagen de la viga de concreto armado
Caso C-I	V-01, V-02	$b = 0.25\text{m}$, $h = 0.40\text{m}$, $L = 3.60\text{m}$. Viga Patrón	
Caso C-II	V-01, V-02	$b = 0.25\text{m}$, $h = 0.40\text{m}$, $L = 3.60\text{m}$. Tubería inserta de $\text{Ø} = 4''$ a 1.80m del borde de la viga.	
Caso C-III	V-01, V-02	$b = 0.25\text{m}$, $h = 0.40\text{m}$, $L = 3.60\text{m}$. Tubería inserta de $\text{Ø} = 2''$ a 1.80m del borde de la viga.	
Caso C-IV	V-01, V-02	$b = 0.25\text{m}$, $h = 0.40\text{m}$, $L = 3.60\text{m}$. Tubería inserta de $\text{Ø} = 4''$ a 0.55m del borde de la viga.	
Caso C-V	V-01, V-02	$b = 0.25\text{m}$, $h = 0.40\text{m}$, $L = 3.60\text{m}$. Tubería inserta de $\text{Ø} = 4''$ a 0.55m del borde de la viga.	
Caso C-VI	V-01, V-02	$b = 0.25\text{m}$, $h = 0.40\text{m}$, $L = 3.60\text{m}$. Tubería inserta de $\text{Ø} = 4''$ a 0.55 m y $\text{Ø} = 2''$ a 1.80 m del borde de la viga.	
Caso C-VII	V-01, V-02	$b = 0.25\text{m}$, $h = 0.40\text{m}$, $L = 3.60\text{m}$. Tubería inserta de $\text{Ø} = 4''$ a 0.55 m y $\text{Ø} = 2''$ a 3.05 m del borde de la viga.	

Nota: Se detallan las propiedades geométricas y ubicación de las tuberías insertas verticalmente de las vigas a ejecutarse en esta investigación, además se usará un $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$.

3.5. DISEÑO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO

3.5.1. Descripción y procedimiento de diseño de vigas de concreto armado

Los especímenes son vigas de concreto armado que tienen 0.25 m de ancho, 0.40 m de altura y 3.60 m de longitud. Estas vigas serán diseñadas como simplemente apoyadas, con dos cargas concentradas en el tercio central y una separación entre ejes de apoyo de 3.30 m.

Este tipo de componente estructural es común en viviendas y será diseñado conforme a las regulaciones de las normas E.020 y E.060 del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE, 2020) y el American Concrete Institute (ACI 318-19). Para este propósito, se ha contemplado el uso de concreto con una resistencia característica a la compresión de $f'_c = 210.00 \text{ kg/cm}^2$, y para el refuerzo longitudinal y transversal, se ha considerado un límite de fluencia especificada de $f_y = 4,200.00 \text{ kg/cm}^2$.

Para alcanzar los objetivos de esta investigación, se construirán y ensayarán varias vigas a escala real. Estas vigas serán reforzadas e incluirán tuberías insertas verticalmente en su estructura. Los diferentes casos evaluados compartirán características similares, resultando en un diseño uniforme con una cuantía de refuerzo constante ($\rho = 0.0055$), cuyos cálculos se detallan en los anexos (Anexo 8: Hoja de cálculo, metrados, diseño y dimensionamiento de viga).

3.5.2. Diseño de vigas

3.5.2.1. Composición de la mezcla para vigas

Dado que todas las vigas se fabricarán utilizando la misma composición de mezcla. Este enfoque homogéneo simplifica el proceso de



producción y garantiza la uniformidad en las propiedades del concreto utilizado en todas las vigas.

3.5.2.1.1. Ensayo de agregados

Los agregados, tanto fino como grueso, proceden de la cantera denominada Isla, localizada en la ciudad de Juliaca, en la región de Puno. Estos materiales, extraídos de dicha cantera, desempeñaron un papel fundamental como componentes del concreto empleado en el presente estudio de investigación.

Para esto se llevó a cabo la prueba de agregados según lo estipulado en la Norma Técnica Peruana, NTP 400.037 (2018), la cual establece las especificaciones para la evaluación de agregados utilizados en la construcción. A continuación, se presentan en forma tabular los datos recolectados durante el ensayo en el laboratorio, así como los resultados obtenidos. Estos datos son fundamentales para determinar la calidad y características de los agregados, lo que permitirá su adecuado uso en las diferentes aplicaciones de construcción.

a) Agregado grueso

i) Tamaño máximo nominal (TMN)

Según lo establecido en la Norma Técnica Peruana, NTP 400.037 (2018), el concepto de tamaño máximo nominal del agregado grueso se define como el diámetro del menor tamiz de la serie estándar que retiene la primera partícula de agregado grueso. A partir de la Tabla 5, que presenta el análisis de las partículas de agregado grueso y considerando la

serie estándar de tamices, el tamaño máximo nominal de nuestro agregado grueso se establece en 3/4 de pulgadas (19.05 mm). Esta medida representa el límite superior del tamaño de las partículas de agregado grueso que se utilizarán en nuestro estudio o proyecto, lo que es fundamental para garantizar la calidad y las propiedades mecánicas deseadas del concreto armado en el proyecto.

Tabla 5

Análisis de partículas del agregado grueso, cantera Isla

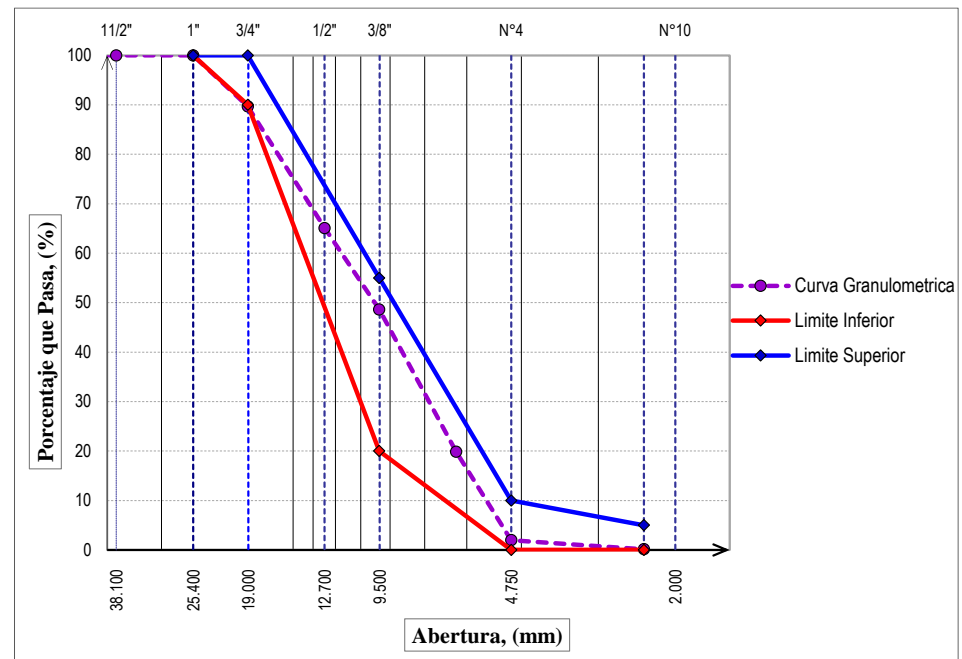
Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido	Porcentaje retenido	Retenido acumulado	Porcentaje que pasa
3"	76.2				
2 1/2"	63.5				
2"	50.6				
1 1/2"	38.1				
1"	25.4				100.00%
3/4"	19.05	140.70	10.31%	10.31%	89.69%
1/2"	12.7	336.00	24.61%	34.92%	65.08%
3/8"	9.525	224.60	16.45%	51.37%	48.63%
1/4"	6.35	393.20	28.80%	80.17%	19.83%
N° 4	4.75	243.50	17.84%	98.01%	1.99%
N° 8	2.36	25.20	1.85%	99.85%	0.15%
< N° 200	Fondo	2.00%	0.15%	100.00%	0.00%

Nota: Elaboración propia.

La Figura 2 muestra los límites inferior y superior que definen el rango y la curva granulométrica del agregado grueso, asegurando que estos parámetros se ajusten a los requisitos especificados por la Norma Técnica Peruana NTP 400.011 (2008).

Figura 2

Curva granulométrica del agregado grueso, cantera Isla



Nota: Elaboración propia.

ii) Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso

Tabla 6

Peso unitario suelto del agregado grueso

Peso unitario suelto del agregado grueso - ASTM C29			
Descripción	M-01	M-02	M-03
Masa del molde + muestra (g)	13,549.00	13,562.00	13,551.00
Masa del molde (g)	8,503.00	8,503.00	8,503.00
Volumen del molde (cm ³)	3,232.39	3,232.39	3,232.39
Peso unitario (g/cm ³)	1,561.07	1,565.09	1,561.69
Promedio del peso unitario (g/cm³)	1,562.62		

Nota: Elaboración propia.

Al calcular el promedio de los resultados de las tres muestras presentadas en la Tabla 7, determinó que el peso unitario suelto del material es 1,562.62 g/cm³ y el peso unitario compactado es 1,652.95 g/cm³.

Tabla 7*Peso unitario compactado del agregado grueso*

Peso unitario compactado del agregado grueso - ASTM C29			
Descripción	M-01	M-02	M-03
Masa del molde + muestra (g)	13,840.00	13,851.00	13,847.00
Masa del molde (g)	8,503.00	8,503.00	8,503.00
Volumen del molde (cm ³)	3,232.39	3,232.39	3,232.39
Peso unitario (g/cm ³)	1,651.10	1,654.50	1,653.26
Promedio del peso unitario (g/cm³)		1,652.95	

Nota: Elaboración propia.

*iii) Peso específico del agregado grueso***Tabla 8***Peso específico del agregado grueso*

Peso específico del agregado grueso - ASTM C127-15	
Descripción	M-01
Masa de muestra secada al horno (g)	828.00
Masa de muestra saturada seca (SSS) (g)	842.00
Masa de la muestra SSS en agua (g)	543.00
Volumen de la masa (cm ³)	285.00
Peso específico bulk (base saturada) (g/cm³)	2.82

Nota: Elaboración propia.

En la prueba para determinar el peso específico del agregado grueso, cuyos resultados se presentan en la Tabla 8 se aplicaron los principios formulados por Arquímedes. Según este principio, el peso del agua desplazada es igual al volumen de la piedra seca, ya que el agua actúa como un medio de medida. Como resultado, se obtuvo un peso específico de 2.82 gr/cm³, es decir a 2.82 ton/m³.



iv) Absorción del agregado grueso

Tabla 9

Absorción del agregado grueso

Absorción del agregado grueso - ASTM C127-15	
Descripción	M-01
Masa de muestra secada al horno (g)	828.00
Masa de muestra saturada seca (SSS) (g)	842.00
Masa de la muestra SSS en agua (g)	543.00
Volumen de la masa (cm ³)	285.00
Absorción (%)	1.69

Nota: Elaboración propia.

A partir de los datos previamente mencionados y presentados en la Tabla 9, se puede calcular el valor de la absorción del agregado grueso, el cual se determina en un 1.69%.

v) Contenido de humedad del agregado grueso

Tabla 10

Contenido de humedad del agregado grueso

Contenido de humedad del agregado grueso - ASTM C566-19	
Descripción	M-01
Masa del tarro + muestra húmeda (g)	577.80
Masa del tarro + muestra seca (g)	569.10
Masa del tarro (g)	107.70
Masa del agua (g)	8.70
Masa de la muestra seca (g)	461.40
Humedad (%)	1.89

Nota: Elaboración propia.

Es importante destacar que la humedad del agregado grueso es susceptible de cambiar con el tiempo debido a las variaciones de temperatura ambiente. Por este motivo, se llevó a cabo el ensayo poco después de la preparación de la mezcla de concreto. Según los resultados presentados en la Tabla 10, el contenido de humedad se determinó en un 1.89%.

En la siguiente figura (Figura 3) se presenta el agregado grueso, previamente clasificado y diferenciado del agregado fino. Este material, proveniente de la cantera Isla, se utilizará como uno de los componentes principales en la fabricación de las vigas de concreto para el proyecto. La clasificación adecuada de los agregados garantiza la calidad del concreto al mejorar sus propiedades mecánicas y resistencia.

Figura 3

Agregado grueso de tamaño máximo nominal a 3/4"



Nota: Elaboración propia.

b) Agregado fino

De acuerdo con los datos presentados en la Tabla 11, el módulo de finura se determina sumando los porcentajes retenidos acumulados en cada tamiz y dividiendo el total entre 100. En este caso, el cálculo da como resultado un valor de 3.02, el cual se encuentra dentro del rango recomendado de 2.30 a 3.10, según lo recomendado por Abanto (2009). Este valor indica que el agregado presenta una granulometría adecuada para el diseño de mezclas de concreto.

*i) Módulo de fineza del agregado fino***Tabla 11***Módulo de fineza del agregado fino, cantera Isla*

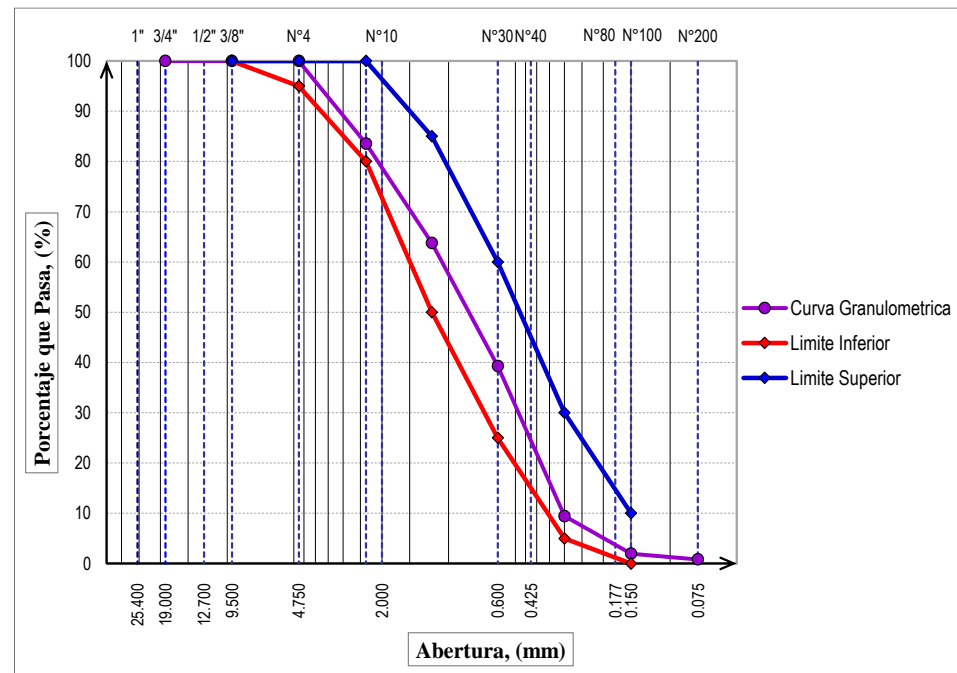
Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido	Porcentaje retenido	Retenido acumulado	Porcentaje que pasa
3/4"	19.05				
3/8"	9.525				100.00%
Nº 4	4.75	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
Nº 8	2.36	140.20%	16.47%	16.47%	83.53%
Nº 16	1.19	168.20%	19.76%	36.22%	63.78%
Nº 30	0.6	208.20%	24.45%	60.68%	39.32%
Nº 50	0.3	254.40%	29.88%	90.56%	9.44%
Nº 100	0.15	63.70%	7.48%	98.04%	1.96%
Nº 200	0.075	9.50%	1.12%	99.15%	0.85%
< Nº 200	Fondo	7.20%	0.85%	100.00%	0.00%

Nota: Elaboración propia.

Graficando los valores que se muestran en la Tabla 11 que además corresponde a la gráfica de la curva granulométrica del agregado fino, en donde además se muestra en la figura siguiente (Figura 4).

Figura 4

Curva granulométrica del agregado fino, cantera Isla



Nota: Elaboración propia.

ii) Peso específico del agregado fino

Tabla 12

Peso específico del agregado fino

Peso Específico del Agregado Grueso - ASTM C128-15	
Descripción	M-01
Masa de muestra secada al horno (g)	486.10
Masa de muestra saturada seca (SSS) (g)	500.00
Masa del picnómetro con agua (g)	655.50
Masa del picnómetro + muestra + agua (g)	957.20
Peso específico (g/cm³)	2.52

Nota: Elaboración propia.

Al calcular los resultados obtenidos en las muestras presentadas en la Tabla 12, se determina el peso específico del agregado fino de 2.52 g/cm³.

iii) Absorción del agregado fino

Tabla 13

Absorción del agregado fino

Absorción del agregado grueso - ASTM C128-15	
Descripción	M-01
Masa de muestra secada al horno (g)	486.10
Masa de muestra saturada seca (SSS) (g)	500.00
Masa del picnómetro con agua (g)	655.50
Masa del picnómetro + muestra + agua (g)	957.20
Absorción (%)	2.86

Nota: Elaboración propia.

iv) Contenido de humedad del agregado fino

Tabla 14

Contenido de humedad del agregado fino

Contenido de humedad del agregado fino - ASTM C566-19	
Descripción	M-02
Masa del tarro + muestra húmeda (g)	441.80
Masa del tarro + muestra seca (g)	427.00
Masa del tarro (g)	113.50
Masa del agua (g)	14.80
Masa de la muestra seca (g)	313.50
Humedad (%)	4.72

Nota: Elaboración propia.

Basándonos en la información proporcionada en la tabla precedente (Tabla 14), observamos que el nivel de humedad presente en la muestra de agregado fino es del 4.72%.

Tabla 15*Resumen de características de los agregados*

Características	Agregado grueso	Agregado fino
Tamaño máximo nominal (TMN)	3/4"	-
Peso unitario suelto (g/cm ³)	1,562.62	-
Peso unitario compactado (g/cm ³)	1,652.95	-
Peso específico (g/cm ³)	2.82	2.52
Absorción (%)	1.69%	2.86%
Contenido de humedad (%)	1.89%	4.72%
Módulo de fineza	-	3.02

Nota: Elaboración propia.

Después de haber identificado y analizado minuciosamente las propiedades de los agregados, procedemos a presentar un resumen detallado de cada uno de ellos (ver Tabla 15). Este análisis permitirá comprender mejor las características individuales de los agregados y su relevancia en el contexto de la investigación.

3.5.2.1.2. Determinación de la dosificación

i) Cálculo de resistencia promedio

Para nuestro diseño, proyectamos alcanzar una resistencia de 210.00 kgf/cm^2 , la cual será determinada utilizando la información proporcionada en la Tabla 16. De acuerdo con esta tabla, podemos calcular la resistencia característica f'_{cr} utilizando la fórmula $f'_{cr} = f'_c + 85.00 \text{ } kgf/cm^2$. Sustituyendo los valores, obtenemos una resistencia característica f'_{cr} de 295.00 kgf/cm^2 . Este valor será fundamental para garantizar la seguridad y la integridad estructural de nuestro diseño.

Tabla 16*Resistencia promedio necesaria para la compresión*

Resistencia especificada a compresión, kg/cm²	Resistencia promedio requerida a compresión, kg/cm²
$f'_c < 210$	$f'_{cr} = f'_c + 70$
$210 \leq f'_c \leq 350$	$f'_{cr} = f'_c + 85$
$f'_c > 350$	$f'_{cr} = 1.10 \cdot f'_c + 50$

Nota: Extraído del reglamento nacional de edificaciones norma E.060, Concreto Armado.

ii) Tamaño máximo nominal (TMN)

Según el ensayo granulométrico del agregado grueso, el tamaño máximo nominal es de 3/4".

iii) Consistencia

Se optará por una consistencia plástica que oscile en 3" - 4", de acuerdo con las recomendaciones de Abanto (2009).

iv) Volumen de agua

Se calculará el volumen unitario de agua necesario para la mezcla de concreto, basándose en la información proporcionada en la Tabla 17. De acuerdo con esta fuente, el volumen de agua requerido para lograr un asentamiento objetivo de 3" a 4" es de 205 litros por metro cúbico (lt/m³). Este valor es crucial para asegurar las propiedades deseadas en la mezcla de concreto, ya que permite alcanzar la trabajabilidad adecuada y la resistencia especificada en el diseño estructural. La correcta dosificación del agua contribuye a evitar problemas como el exceso de asentamiento o la segregación de la mezcla, lo que repercute en la calidad y durabilidad de la estructura final (Abanto, 2009).

Tabla 17

Requerimientos aproximados de agua en litros por cada m³ de concreto

Asentamiento o slump	Agua en lt/m ³ de concreto para los tamaños máximos de agregados gruesos y consistencia indicados.							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1.5"	2"	3"	6"
Concreto sin aire incorporado								
1" a 2"	205	200	185	180	160	155	145	125
3" a 4"	225	215	200	195	175	170	160	140
6" a 7"	240	230	210	205	185	180	170	-
Cant. aprox. de aire atrapado (%)	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incorporado								
1" a 2"	180	175	165	160	145	140	135	120
3" a 4"	200	190	180	175	160	155	150	135
6" a 7"	215	205	190	185	170	165	160	-
Prom. recom. de contenido total de aire (%)	8	7	6	5	4.5	4	3.5	3

Nota: Extraído de tecnología del concreto (teoría y problemas), Abanto (2009).

v) Contenido de aire

Según lo establecido en la Tabla 18, se establece que el agregado grueso con un tamaño máximo nominal (TMN) de 3/4 pulgadas (3/4") presenta un contenido de aire atrapado del 2%. Este valor es relevante para la calidad del concreto, ya que el aire atrapado puede afectar las propiedades mecánicas y la durabilidad del material (Rivva, 2014). Es fundamental tener en cuenta este porcentaje al seleccionar los agregados, ya que un contenido excesivo de aire atrapado puede influir negativamente en la resistencia y en la resistencia a la congelación-descongelación del concreto (Abanto, 2009).

Tabla 18*Contenido del aire atrapado*

Tamaño del agregado grueso		Aire atrapado (%)
3/8"	9.5 mm	3.00
1/2"	12.5 mm	2.50
3/4"	19.0 mm	2.00
1"	25.0 mm	1.50
1.5"	37.5 mm	1.00
2"	50.0 mm	0.50
3"	75.0 mm	0.30
6"	150.0 mm	0.20

Nota: Extraído de diseño de mezclas, Rivva (2014).

*vi) Relación de agua - cemento***Tabla 19***Relación agua – cemento de acuerdo con la resistencia*

f_c (kg/cm ²)	Relación agua / cemento en peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
210	0.68	0.59
250	0.62	0.53
280	0.57	0.48
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	-
420	0.41	-
450	0.38	-

Nota: Extraído de diseño de mezclas, Rivva (2014).

A partir de los datos proporcionados en la Tabla 19, se determina que, para alcanzar una resistencia de 295 kg/cm^2 , la relación entre agua y cemento es de 0.578.

vii) Factor cemento

El factor de cemento se calcula al dividir el volumen de agua unitario por la relación agua-cemento. Este cálculo nos proporciona la cantidad de cemento requerida en la mezcla de concreto en relación con la proporción de agua empleada en dicha mezcla (Rivva, 2014).

$$\text{Factor cemento} = \frac{205 \text{ lt/m}^3}{0.578} = 356 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Factor cemento} = 356 \text{ kg/m}^3 \approx 8.4 \text{ bls/m}^3$$

viii) Contenido de agregado grueso

Tabla 20

Peso del agregado grueso por m³ de concreto

Tamaño de agregado grueso		Módulo de finura del agregado fino			
		2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	9.5 mm	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	12.5 mm	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	19.0 mm	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	25.0 mm	0.71	0.69	0.67	0.65
1.5"	37.5 mm	0.76	0.74	0.72	0.70
2"	50.0 mm	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	75.0 mm	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	150.0 mm	0.87	0.85	0.83	0.81

Nota: Extraído de diseño de mezclas, Rivva (2014).

Basándonos en la información proporcionada en la Tabla 20, donde se registra un módulo de fineza de 3.02 para la arena gruesa y un tamaño nominal máximo del valor de 3/4", se obtiene un valor de 0.60 para la relación b/bo. Este valor indica la cantidad de agregado grueso seco compactado por unidad de volumen de concreto.

$$\text{Peso del agregado grueso} = 0.60 \cdot 1562.62 = 925.65 \text{ kg/m}^3$$

ix) Determinación de volúmenes absolutos

Una vez que contamos con los datos esenciales requeridos para determinar los volúmenes absolutos, procedemos a realizar los cálculos correspondientes de las cantidades de los materiales que conforman un concreto normal utilizando la información proporcionada en la Tabla 21 se desarrollan:

Tabla 21

Cálculo de volúmenes absolutos

Materiales	Cantidad	Unidad
Cemento	0.1244	m ³ /m ³
Agua	0.2050	m ³ /m ³
Aire	0.0200	m ³ /m ³
Agregado grueso	0.3287	m ³ /m ³
Total	0.6782	m³/m³

Nota: Elaboración propia

x) Contenido de agregado fino

$$\text{Volumen absoluto de agregado fino} = 1 - 0.6782 = 0.3218 \text{ m}^3.$$

$$\text{Peso del agregado fino} = (0.3218) \cdot (2.521) \cdot (1,000) = 811.52 \text{ kg/m}^3.$$



xi) Valores de diseño

$$\text{Cemento} = 354.67 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agua} = 205.00 \text{ lt/m}^3$$

$$\text{Agregado fino} = 811.52 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregado grueso} = 925.65 \text{ kg/m}^3$$

xii) Corrección por humedad del agregado

• ***Peso húmedo de:***

$$\text{Agregado fino} = (811.52) \cdot (1 + 0.04721) = 849.83 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregado grueso} = (925.65) \cdot (1 + 0.001886) = 943.11 \text{ kg/m}^3$$

• ***Humedad superficial de:***

$$\text{Agregado fino} = 4.72\% - 2.86\% = 1.86\%$$

$$\text{Agregado grueso} = 1.89\% - 1.69\% = 0.20\%$$

• ***Aporte de humedad de los agregados:***

$$\text{Agregado fino} = (849.83) \cdot (0.00186) = 15.11 \text{ lt/m}^3$$

$$\text{Agregado grueso} = (943.11) \cdot (0.0020) = 1.80 \text{ lt/m}^3$$

$$\text{Agua efectiva} = \text{Total} - \text{Aporte} = 205 - (15.11 + 1.80) = 188.1 \text{ lt/m}^3$$

xiii) Peso de componentes corregidos

Al final, los pesos ajustados de los materiales considerando la humedad son los siguientes:



$$\text{Cemento} = 354.67 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agua} = 188.09 \text{ lt/m}^3$$

$$\text{Agregado fino} = 849.83 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregado grueso} = 943.11 \text{ kg/m}^3$$

xiv) Proporción en peso

La proporción en pesos son:

$$\frac{354.67}{354.67} : \frac{849.83}{354.67} : \frac{943.11}{354.67} = 1 : 2.3 : 2.6 : 22.50 \text{ lt/bls}$$

3.5.2.1.3. Cantidad de material para el diseño

Para la preparación de la mezcla se utilizará una mezcladora tipo trompo, con capacidad para una bolsa de cemento. Esta mezcladora permitirá realizar mezclas uniformes y consistentes, adecuadas para alcanzar una resistencia a la compresión de $f'_c = 210.00 \text{ kgf/cm}^2$. Las cantidades de materiales utilizados en la mezcla de concreto se detallan en la Tabla 22.

Tabla 22

Materiales utilizados en la mezcladora para $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Materiales	Cantidad	Unidad
Cemento	42.50	kg
Agua	22.50	Lt
Agregado fino	101.80	kg
Agregado grueso	113.00	kg

Nota: Elaboración propia

3.5.2.2. Predimensionamiento

Para estimar las dimensiones preliminares de una viga, se suele aplicar una regla práctica que sugiere un peralte aproximado del décimo al doceavo de la mayor distancia de la viga (Blanco, 1994). Además, la norma E.60 del reglamento nacional de edificaciones (RNE, 2020) recomienda que el ancho o base de la viga sea al menos 0.25 veces el peralte, asegurando que no sea menor de 25 cm.

$$h = \frac{3.60}{10} = 0.36 \text{ m} \approx 0.40 \text{ m} \rightarrow b = 0.25 \text{ m}$$

En el escenario particular que estamos analizando, se ha decidido adoptar un peralte o altura de viga de 0.40 m y un ancho o base de esta de 0.25 m. Esta elección se basa en consideraciones específicas del proyecto y en las recomendaciones de las normativas pertinentes.

3.5.2.3. Cuantificación de cargas

3.5.2.3.1. Carga muerta (CM)

Tabla 23

Valores y metrados de la viga evaluada

Metrado de carga de viga		
Longitud (m)	<i>L</i>	3.30
Altura (m)	<i>h</i>	0.40
Base (m)	<i>b</i>	0.25
Peso específico concreto (kgf/m ³)	<i>γ_{concreto}</i>	2,400.00
Peso propio de la viga (kgf/m)	<i>PP_{viga}</i>	240.00

Nota: Elaboración propia.

A partir de la Tabla 23, el peso propio de la viga por unidad de longitud es de 240.00 kgf/m .

Tabla 24

Pesos unitarios de losa aligerada armada en una sola dirección

Espesor de aligerado (m)	Espesor de losa superior (m)	Peso propio (kgf/m^2)
0.17	0.05	280
0.2	0.05	300
0.25	0.05	350
0.3	0.05	420

Nota: Extraído de la norma E.020 (Cargas), (RNE, 2020).

Tabla 25

Metrado y Peso propio de losa aligerada

Metrado de carga losa aligerada		
Espesor de losa aligerada (m)	$h_{aligerado}$	0.20
Ancho tributario (m)	$B_{trib.}$	3.80
Peso unitario de losa aligerada (kgf/m^2)	$P_{aligerado}$	300.00
Peso propio de losa aligerada (kgf/m)	$PP_{aligerado}$	1,140.00

Nota: Elaboración propia.

Considerando el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), específicamente la Norma E030 publicada por el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (2020a) se hace referencia en la Tabla 24 al cálculo de cargas para una losa aligerada. Para una losa aligerada con un espesor de $h_{aligerado} = 0.20$ m, y un ancho tributario de 3.80 m, se determina que el peso propio de la losa aligerada es de aproximadamente 1,140.00 kgf/m .

Tabla 26*Metrado y peso propio de tabiquería*

Metrado de carga tabiquería		
Altura de la tabiquería (m)	h_{tabiq}	2.50
Longitud de la tabiquería (m)	L_{tabiq}	3.25
Área total de tabiquería (m ²)	A_{tabiq}	8.125
Ancho tributario (m)	B_{trib}	3.80
Peso de unidades de arcilla (kg/m ²)	$P_{ladrillo}$	110.00
Peso del mortero (kgf/m ²)	$P_{mortero}$	50.00
Peso propio de tabiquería (kgf/m)	$PP_{tabiquería}$	389.02

Nota: Elaboración propia.

En la Tabla 26 se presenta el cálculo del peso por metro lineal de la tabiquería, considerando el ancho tributario de la misma. Este cálculo tiene en cuenta tanto las dimensiones de la tabiquería como los materiales involucrados en su construcción. Como resultado, se obtiene que el peso propio de la tabiquería es de 389.02 *kgf/m*.

Tabla 27*Metrado y propio de los acabados*

Metrado de carga acabados		
Altura de la tabiquería (m)	h_{tabiq}	2.50
Longitud de la tabiquería (m)	L_{tabiq}	3.25
Peso de revoque tabiquería (kgf/m ²)	$P_{revoque_tabiq}$	50.00
Peso propio de revoque tabiquería (kgf/m)	$PP_{revoque_tabiq}$	123.11
Peso de revoque piso (kgf/m ²)	$P_{revoque_piso}$	50.00
Peso propio de revoque piso (kgf/m)	$PP_{revoque_piso}$	190.00
Peso propio de acabados (kgf/m)	$PP_{acabados}$	313.11

Nota: Elaboración propia.

En la Tabla 27 se muestra el cálculo del peso de los acabados de tabiquería y piso, considerando el ancho tributario correspondiente para cada elemento. Como resultado, se obtuvo que el peso propio de los acabados es de 313.11 kgf/m .

Con base en los cálculos previos realizados para cuantificar la carga muerta (CM), se obtiene su valor como: $CM = PP_{viga} + PP_{aligerado} + PP_{tabiquería} + PP_{acabados}$, lo que da como resultado una carga muerta total de $CM = 2,082.12 \text{ kgf/m}$.

3.5.2.3.2. Carga viva (CV)

De acuerdo con el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (2020a) de la norma E.020 del Reglamento Nacional de Edificaciones, la carga viva mínima repartida para viviendas es de 200 kgf/m^2 . Considerando un ancho tributario de 3.80 m , la carga por metro lineal sería de 760.00 kgf/m .

3.5.2.3.3. Carga última (Wu)

La carga última por metro lineal se calcula utilizando la ecuación (9), recomendadas por Morales (2006):

$$W_u = 1.4 \cdot CM + 1.7 \cdot CV \quad (9)$$

$$CM = 2,082.12 \frac{\text{kgf}}{\text{m}} \quad CV = 760.00 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

Sustituyendo los valores en la ecuación (9), se calcula que:

$$W_u = 4,206.97 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

3.5.2.4. Cálculo del acero longitudinal

Para calcular la cantidad de acero longitudinal necesaria en una viga de una estructura, es crucial tener en cuenta que esta viga debe soportar cargas a lo largo de su longitud completa, lo cual implica que está expuesta a una carga uniformemente distribuida. No obstante, analizar una viga bajo estas condiciones es complejo, costoso e incierto en cuanto a la aplicación real de las cargas. Al revisar investigaciones realizadas a nivel nacional e internacional, se observa que la práctica más común es modelar la viga como simplemente apoyada, con cargas distribuidas de manera simétrica a un tercio de la distancia desde los apoyos. Esta simplificación se ajusta adecuadamente a la forma de una curva generada por cargas distribuidas. En consecuencia, el cálculo del acero longitudinal se basará en el supuesto de que las cargas están uniformemente distribuidas.

3.5.2.4.1. Momento último

El valor máximo del momento en una viga sometida a una carga distribuida se determina utilizando la fórmula (10), donde esta fórmula es referenciada en la literatura técnica, como en el libro de análisis estructural de Hibbeler (2012).

$$M_{u(max)} = \frac{W_u \cdot L^2}{8} \quad (10)$$

Se presentan los siguientes datos:

$$W_u = 4,206.97 \frac{kgf}{m} \quad ; \quad L = 3.30 m$$

Donde: W_u es la carga última distribuida metro lineal y L la longitud entre los ejes de apoyo de la viga.

Sustituyendo los valores en la fórmula (10), se calcula que:

$$M_{u(max)} = 5,726.74 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

3.5.2.4.2. Área de acero

A continuación, se presentan las ecuaciones utilizadas para calcular el área de acero, estas son la ecuación (11) y la ecuación (12). Estas fórmulas son recomendadas por Morales (2006) para el cálculo del área de acero de vigas reforzadas.

$$A_s = \frac{M_u}{\phi \cdot f_y \cdot (d - a/2)} \quad (11)$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f'_c \cdot b} \quad (12)$$

Se presentan los siguientes datos:

$$M_u = 5,726.74 \text{ kgf} \cdot \text{m} ; \phi = 0.90 ; f_y = 4,200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} ; d = 34.405 \text{ cm}$$

$$f'_c = 210 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} ; b = 25.00 \text{ cm}$$

Sustituyendo los valores en las fórmulas (11) y (12), se calcula que:

$$A_s = 4.68 \text{ cm}^2$$

Para calcular el peralte efectivo " d ", se debe restar del peralte total el recubrimiento, el diámetro de estribo y la distancia correspondiente al radio del acero longitudinal. Este procedimiento está descrito en detalle en

una hoja anexa. Asimismo, se incluye el cálculo conforme a las especificaciones del código ACI 318-19.

3.5.2.4.3. Acero máximo

El refuerzo máximo permitido, de acuerdo con la cuantía balanceada, es del 75% del acero (ecuación (13)). Además, la ecuación(14) representa la expresión para calcular la cuantía balanceada. Estas ecuaciones son recomendadas por Morales (2006) en su libro diseño en concreto reforzado.

$$A_{max} = 0.75 \cdot (\rho_b \cdot b \cdot d) \quad (13)$$

$$\rho_b = \frac{0.85 \cdot \beta \cdot f'_c}{f_y} \cdot \frac{6,000}{f_y + 6,000} \quad (14)$$

Se presentan los siguientes datos:

$$b = 25 \text{ cm} ; d = 34.4 \text{ cm} ; f_y = 4,200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} ; f'_c = 210 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} ; \beta = 0.85$$

Sustituyendo los valores en la ecuación (13) y la ecuación (14), se calcula que:

$$A_{max} = 11.508 \text{ cm}^2$$

3.5.2.4.4. Acero mínimo

Morales (2006) recomienda usar la ecuación (15) para calcular la cantidad mínima de acero de refuerzo requerida para una viga de concreto.

$$A_{min} = 0.7 \cdot \frac{\sqrt{f'_c}}{f_y} \cdot b \cdot d \quad (15)$$

Se presentan los siguientes datos:



$$b = 25 \text{ cm} ; d = 34.405 \text{ cm} ; f_y = 4,200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} ; f'_c = 210 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Sustituyendo los valores en la ecuación (15), se calcula el valor del acero mínimo.

$$A_{min} = 2.8671 \text{ cm}^2$$

3.5.2.4.5. Verificaciones de refuerzo

Según la definición de Morales (2006), el acero requerido se encuentra dentro del rango definido por el acero mínimo y el acero máximo, los cuales se determinan mediante las ecuaciones previamente establecidas. Al calcular los valores correspondientes, y al comparar los resultados obtenidos, se puede concluir que:

$$A_{min} < A_s < A_{max}$$

$$2.8671 \text{ cm}^2 < 4.68 \text{ cm}^2 < 11.508 \text{ cm}^2 \dots \dots Ok!$$

3.5.2.4.6. Número de varillas

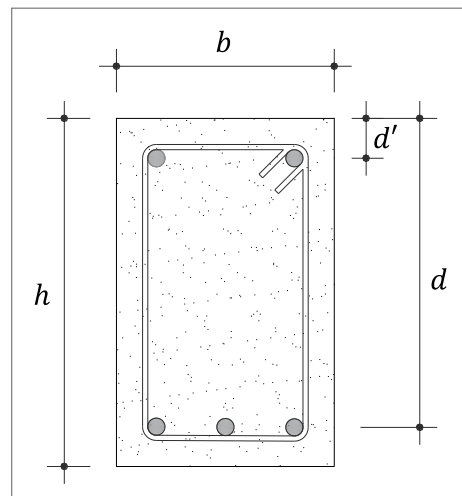
El procedimiento de cálculo consiste en transformar el área de acero necesaria en una cantidad determinada de barras de refuerzo. En este caso, se emplearán 2 barras de 5/8" y 1 barra de 3/8" de diámetro, lo que resulta en un área total de 4.69 cm².

3.5.2.4.7. Peralte efectivo (d)

Para determinar el peralte efectivo, se empleará la Figura 5 como referencia. La expresión utilizada para este cálculo se presenta en la ecuación (16).

Figura 5

Corte de la sección transversal de la viga



Nota: Elaboración propia.

$$d = h - (4 + d_{est} + \frac{d_b}{2}) \quad (16)$$

Se presentan los siguientes datos:

$$h = 40 \text{ cm} ; d_{est} = 0.8 \text{ cm} ; d_b = 1.59 \text{ cm}$$

Donde: h es la altura o peralte de la viga, d_{est} es el diámetro del refuerzo del estribo y d_b el diámetro del acero longitudinal.

Sustituyendo los valores en la ecuación (16), se calcula que:

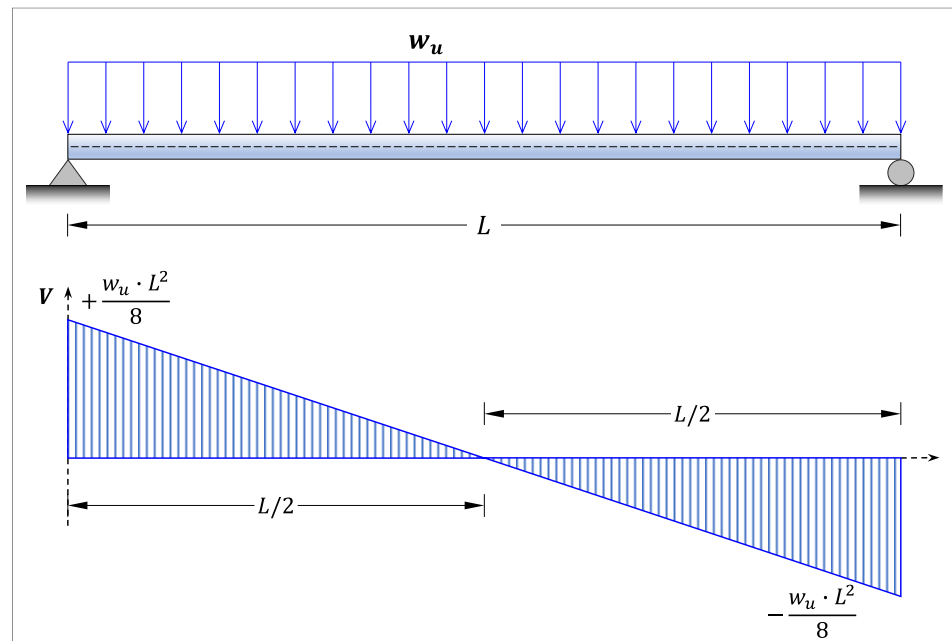
$$d = 34.405 \text{ cm}$$

3.5.2.5. Determinación del acero transversal

Para determinar el acero transversal, se deben aplicar las ecuaciones adecuadas, teniendo en cuenta tanto los parámetros de diseño como las condiciones particulares de la estructura. En la Figura 6) se presenta el diagrama de esfuerzos por cortante de una viga, lo cual permite visualizar la distribución de esfuerzos.

Figura 6

Diagrama de esfuerzo por cortante de la viga



Nota: Elaboración propia.

3.5.2.5.1. Aporte de resistencia del concreto

Para calcular la contribución de la resistencia del concreto, se emplea la ecuación (17), la cual está estipulada en el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), específicamente en su norma E060.

$$V_c = 0.53 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d \quad (17)$$

Se presentan los siguientes datos:

$$f'_c = 210 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}; \quad d = 34.405 \text{ cm}; \quad b = 25.00 \text{ cm}; \quad \phi = 0.85$$

Sustituyendo los valores en la fórmula (17), se calcula que:

$$V_c = 6,510.58 \text{ kgf}; \quad \phi = 0.85$$

$$\phi \cdot V_c = 5,534.00 \text{ kgf}$$

3.5.2.5.2. Cortante último

Para evaluar el cortante último a una distancia "d" desde el borde de apoyo, se utiliza la fórmula siguiente, que simplifica el proceso de determinación.

$$V_u = V_a - d \cdot W_u \quad (18)$$

Se presentan los siguientes datos:

$$V_a = 6,941.50 \text{ kgf} ; W_u = 3,932.08 \text{ kgf/m} ; d = 34.405 \text{ cm}$$

Sustituyendo los valores en la fórmula (18), se calcula que:

$$V_u = 5,594.09 \text{ kgf}$$

3.5.2.5.3. Refuerzo mínimo Av_{min}/s

El Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) establece, en su normativa, que para el cálculo del refuerzo mínimo se debe utilizar la ecuación (19). En este contexto, se evalúa la necesidad de refuerzo estructural verificando si se cumple la siguiente condición:

$$V_u > 0.5 \cdot \phi \cdot V_c \quad (19)$$

Reemplazando en la ecuación (19), se tiene:

$$5,594.09 \text{ kgf} > 2,766.996 \text{ kgf} \dots \text{ok!}$$

Calculamos el refuerzo:

$$\frac{Av_{min}}{s} = \text{maximo} \left(\begin{array}{l} \frac{0.2 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b}{f_y} \\ \frac{3.5 \cdot b}{f_y} \end{array} \right) \quad (20)$$

Reemplazando los valores en la ecuación (20) se tiene:

$$\frac{Av_{min}}{s} = 0.02083 \frac{cm^2}{cm} = \frac{Av}{s}$$

3.5.2.5.4. Fuerza cortante que resiste el refuerzo transversal

Para esto usaremos la siguiente ecuación:

$$V_s = \left(\frac{Av}{s}\right) \cdot f_y \cdot d \quad (21)$$

Reemplazando los valores en la ecuación (21) se obtiene:

$$V_s = 3,010.44 \text{ kgf} ; \phi = 0.85$$

$$\phi \cdot V_s = 2,558.87 \text{ kgf}$$

3.5.2.5.5. Espaciamiento máximo entre estribos

Para los espaciamientos máximos de estribos, apoyado con definiciones de Morales (2006), se cumple la condición:

$$V_s \leq 1.1 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d \quad (22)$$

$$S_{max} = \max \left(\begin{array}{l} S_1 = \min \left(\frac{d}{2}, 60 \text{ cm} \right) \\ S_2 = \min \left(\frac{d}{4}, 30 \text{ cm} \right) \end{array} \right) \quad (23)$$

Sustituyendo los valores en la ecuación (22) y la ecuación (23):

$$3,010.44 \text{ kgf} \leq 13,710.83 \text{ kgf} \dots \text{ok!}$$

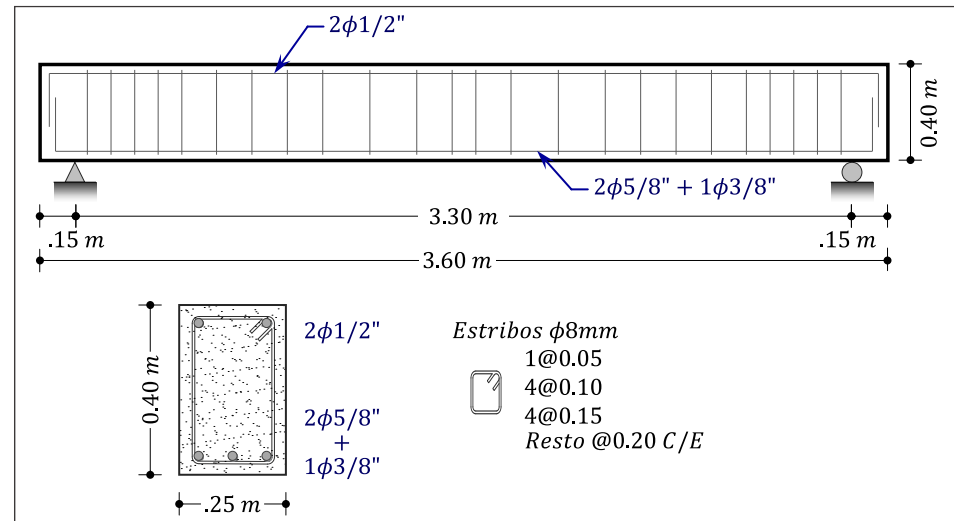
Por lo tanto, el espaciamiento máximo será:

$$S_{max} = 17.20 \text{ cm}$$

3.5.2.5.6. Resumen del diseño

Figura 7

Refuerzo longitudinal y transversal de la viga



Nota: Elaboración propia.

Se resume aquí la especificación del acero de refuerzo empleado en las secciones transversales de las vigas utilizadas en este estudio. Todas las 14 vigas tienen dimensiones idénticas y han sido diseñadas con la misma cantidad de refuerzo longitudinal y transversal, tal como se detalla en la Figura 7 correspondiente a las vigas empleadas en la investigación.

3.5.2.6. Deflexiones estimadas

El reglamento nacional de edificaciones del Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento en la norma E.060, en su sección 9.6, indica que los elementos de concreto armado sujetos a flexión deben ser diseñados de manera que posean una rigidez apropiada para limitar cualquier deformación que pueda afectar adversamente la resistencia o el desempeño de la estructura durante las condiciones de servicio. La normativa específica que las deflexiones, en particular las que se presentan

de manera inmediata tras la aplicación de la carga, deben ser determinadas utilizando métodos o fórmulas estándar para deflexiones elásticas. Es crucial considerar los efectos de la fisuración y del refuerzo en la rigidez del componente durante estos cálculos.

El reglamento nacional de edificaciones (RNE), en la norma E060, específicamente en el ítem 8.5 correspondiente al módulo de elasticidad, recomienda utilizar la ecuación (24) para calcular el módulo de elasticidad de concretos con un peso unitario w_c que varía entre $1,450.00 \text{ kgf/m}^3$ y $2,500.00 \text{ kgf/m}^3$ y en el caso de concretos de densidad normal ($w_c \approx 2,300.00 \text{ kgf/m}^3$) el módulo de elasticidad E_c del concreto puede ser estimado mediante la ecuación (25).

$$E_c = w_c^{1.5} \cdot 0.136 \cdot \sqrt{f'_c} \dots (\text{kgf/cm}^2) \quad (24)$$

$$E_c = 15,000 \cdot \sqrt{f'_c} \dots (\text{kgf/cm}^2) \quad (25)$$

Para calcular el momento de inercia efectivo I_e , el cual no debe exceder el momento de inercia I_g , se emplea la siguiente fórmula:

El comité del American Concrete Institute (ACI 318-19) propone para calcular el momento de inercia efectivo I_e , el cual no debe exceder el momento de inercia I_g a través de la ecuación (26). Además, se incluyen las ecuaciones (27) y (28) para su cálculo.

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 \cdot I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right] \cdot I_{cr} < I_g \quad (26)$$

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_g}{y_t} \quad (27)$$

$$f_r = 2 \cdot \sqrt{f'_c} \quad (28)$$

Donde, M_{cr} corresponde al momento de fisuración, f_r es el módulo de ruptura del concreto (aplicable en el caso de concreto de peso normal), y_t representa la distancia en milímetros desde el eje centroidal de la sección total hasta la fibra más alejada en tracción (excluyendo el refuerzo), I_g es el momento de inercia de la viga correspondiente a la sección bruta, M_a representa el momento máximo que se experimenta en el elemento para el nivel de carga que se está analizando e I_{cr} es el momento de inercia de la sección de la viga transformada y fisurada.

Para calcular las deflexiones adicionales a largo plazo, originadas por la retracción de los elementos en flexión y el flujo plástico, se debe multiplicar las deflexiones inmediatas generadas por la carga muerta y la parte de la carga viva que se considera permanente, por el coeficiente $\lambda\Delta$, el cual se define como:

$$\lambda\Delta = \frac{\xi}{1 + 50\rho'} \quad (29)$$

$$\rho' = \frac{A_s'}{b \cdot d} \quad (30)$$

Donde, ρ' es la cantidad de refuerzo requerida para la compresión, calculada en el centro de la luz para vigas simplemente apoyadas y continuas. En el caso de vigas en voladizo, el cálculo se realiza en el punto de apoyo. ξ es el factor que varía en función del tiempo para cargas permanentes (consultar Tabla 1).

En el análisis del caso de estudio, se examina una viga de concreto armado con una sección transversal de 0,25 m por 0,40 m., la cual estará

simplemente apoyada en una luz de 3.30 m. El concreto utilizado tiene una resistencia a la compresión de $f'_c = 210 \text{ kgf/cm}^2$, mientras que el acero de refuerzo posee una resistencia a la fluencia de $f_y = 4,200 \text{ kgf/cm}^2$.

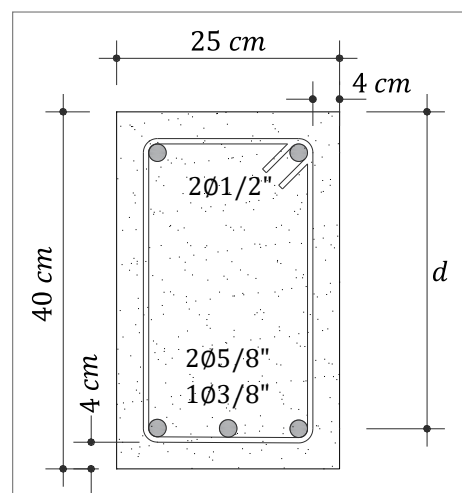
$$b = 0.25 \text{ m} ; h = 0.40 \text{ m} ; L = 3.30 \text{ m} ; f'_c = 210 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$f_y = 4,200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} ; CM = 2,082.12 \frac{\text{kgf}}{\text{m}} ; CV = 760.00 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

En el análisis del caso de estudio, se examina una viga de concreto reforzado con una sección transversal de 0,25 m x 0,40 m como se muestra la sección de la viga en la Figura 8. Esta viga se encuentra apoyada de manera simple y tiene una luz de 3,30 m.

Figura 8

Corte de la sección transversal de la viga



Nota: Elaboración propia.

$$d = h - r_{libre} - d_{est} - \frac{d_b}{2} = 34.405 \text{ cm} = 344.05 \text{ mm}$$

$$d' = h - d = 5.595 \text{ cm} = 55.95 \text{ mm}$$

Para calcular las deflexiones inmediatas, se emplearán las fórmulas de la teoría elástica, teniendo en cuenta tanto los efectos de la fisuración como la influencia del refuerzo en la rigidez de la viga. Para ello, se deberá determinar la profundidad del eje neutro sujeto a las cargas de servicio mediante el método de sección transformada. Este cálculo se realizará en milímetros.

$$A_s = 4.69 \text{ cm}^2 = 469 \text{ mm}^2 \text{ y además } A'_s = 2.58 \text{ cm}^2 = 258 \text{ mm}^2$$

$$E_s = 2'000,000 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$E_c = 217,370.651 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} = 0.005 ; \rho' = \frac{A'_s}{b \cdot d} = 0.003$$

$$\eta = \frac{E_s}{E_c} = \frac{2'000,000 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}}{217,370.65 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}} = 9.201$$

Para calcular la profundidad del eje neutro "y", utilizaremos la fórmula proporcionada por Segura (2011), adaptada para nuestro análisis en la ecuación (31).

$$\frac{b \cdot y^2}{2} + (2\eta - 1) \cdot A'_s \cdot (y - d') = \eta \cdot A_s \cdot (d - y) \quad (31)$$

Sustituyendo los valores conocidos en ecuación (31), obtenemos:

$$\frac{250y^2}{2} + (2 \cdot 9.201 - 1)(258)(y - 55.95) = 9.201(469)(344.05 - y)$$

$$y = 87.773 \text{ mm} = 8.77 \text{ cm}$$

Por consiguiente, el momento de inercia de la sección transformada fisurada y el momento de inercia de la sección total (I_g) se calcularán según lo proporcionado por Segura (2011), en la ecuación (32).

$$I_{cr} = \frac{b \cdot y^3}{3} + (2\eta - 1) \cdot A'_s \cdot (y - d')^2 + \eta \cdot A_s \cdot (d - y)^2 \quad (32)$$

$$I_{cr} = \frac{25 \cdot 8.77^3}{3} + 2.58(18.4 - 1)(8.77 - 5.59)^2 + 9.2(4.69)(34.4 - 8.77)^2$$

$$I_{cr} = 34,431.16 \text{ cm}^4$$

$$I_g = \frac{b \cdot h^3}{12} = 133,333.33 \text{ cm}^4$$

A continuación, determinamos la distancia desde el eje centroidal de la sección completa, excluyendo el refuerzo, hasta la fibra más alejada en tracción, denotada como " y_t ".

$$y_t = 40.00 - 8.77 = 31.23 \text{ cm}$$

Se calcula el módulo de ruptura del concreto f_r , el cual se aplica en el caso de un concreto de peso normal:

$$f_r = 2 \cdot \sqrt{f'_c} = 28.98 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

A continuación, empleando los valores obtenidos, se determina el momento de agrietamiento M_{cr} , utilizando la ecuación siguiente:

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_g}{y_t} = \frac{28.98 \cdot 133,333.33}{31.23} = 123,767.90 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

Dado que la carga de servicio, que incluye la Carga Viva (CV) y la Carga Muerta (CM) resulta de un valor de 2,842.12 kgf/m, se debe restar

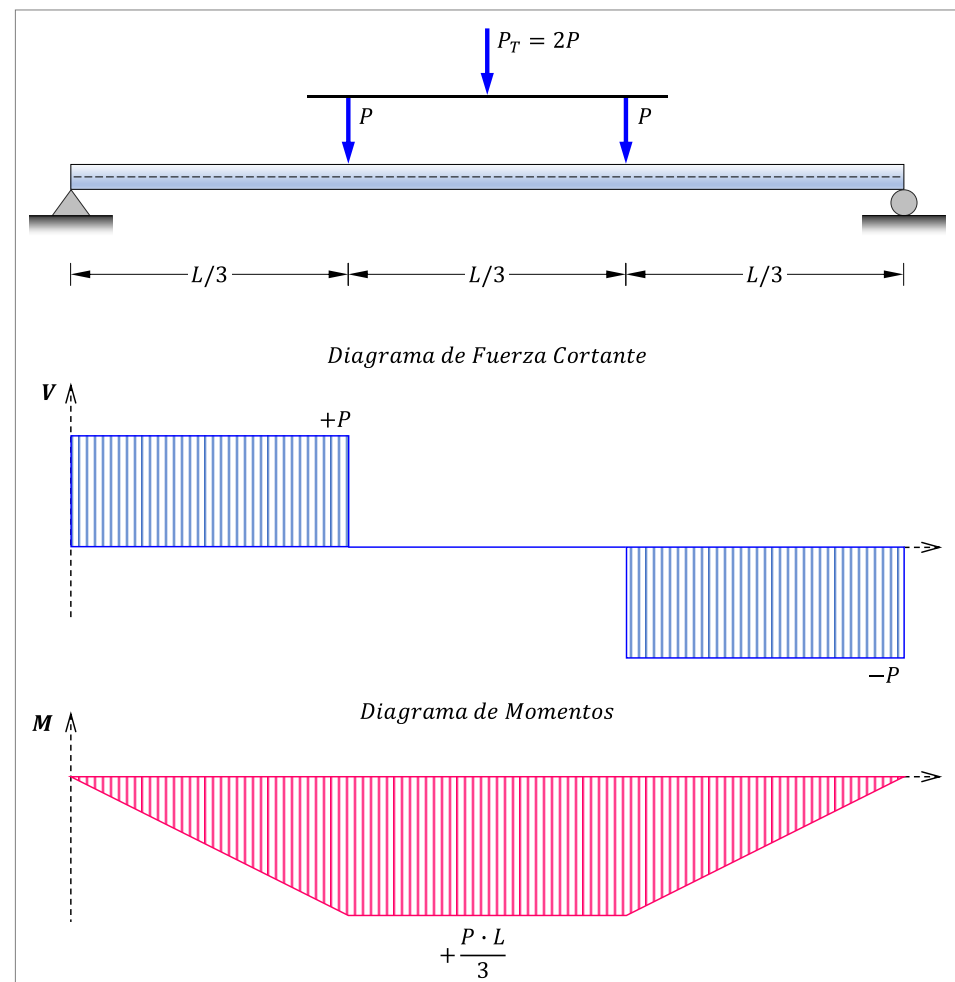
la carga correspondiente al peso propio de la viga ($0.25m \cdot 0.40m \cdot 2,400 = 240 \text{ kgf}/m$), dando una carga neta de:

$$2,842.12 \text{ kgf}/m - 240.00 \text{ kgf}/m = 2,602.12 \text{ kgf}/m$$

Es relevante mencionar que no se toma en cuenta el peso propio de las vigas, ya que los deformímetros mecánicos instalados en las vigas de concreto armado registran desde cero más el peso de las vigas incluido.

Figura 9

Diagrama de fuerza cortante y momento flector de la viga



La carga distribuida de $2,602.12 \text{ kgf}/m$ se convertirá en una carga puntual " P_T " (ver Figura 9) equivalente a:

$$P_T = 2,602.12 \frac{kgf}{m} \cdot 3.30 m = 8,586.99 kgf \approx 8,590.00 kgf$$

El momento máximo previsto, denotado como " M_a ", se encontrará dentro del rango entre las dos cargas puntuales tal como se ilustra en la Figura 9 y su cálculo se realizará de la siguiente manera:

$$M_a = \frac{P \cdot L}{3} = \frac{P_T \cdot L}{6} = 4,724.50 kgf \cdot m$$

Utilizando los valores calculados previamente, se procede a sustituirlos en la fórmula del momento de inercia efectivo, la cual se define de la siguiente manera:

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 \cdot I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right] \cdot I_{cr} < I_g \quad (33)$$

Reemplazando valores en la ecuación (33) se tiene:

$$I_e = 36,209.29 cm^4 < I_g$$

Basándonos en el cálculo previo, se obtiene un momento de inercia efectivo igual a:

$$I_e = 36,211.15 cm^4$$

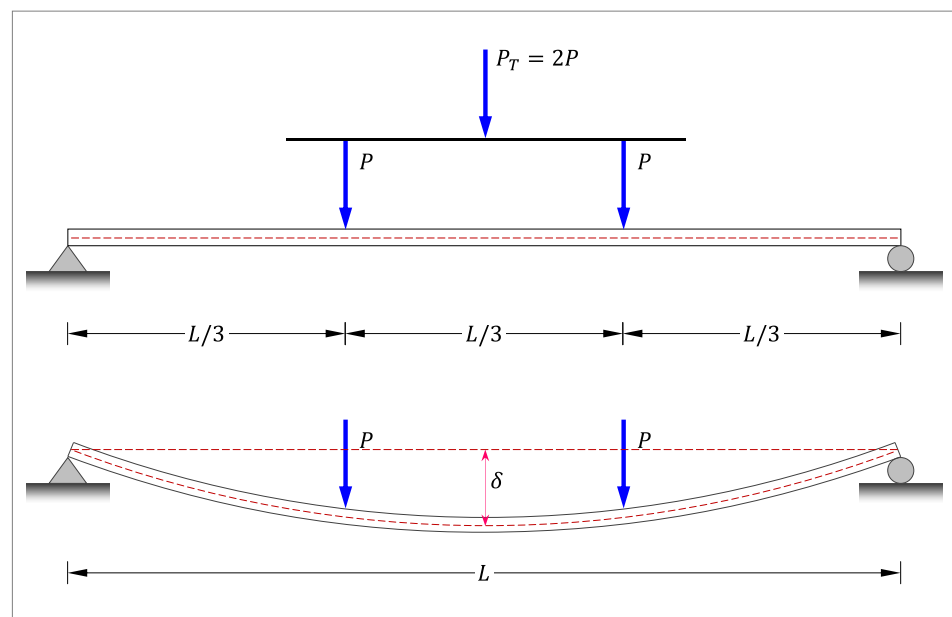
De acuerdo con el capítulo 8.5 de la norma E.060 del reglamento nacional de edificaciones, el módulo de elasticidad aplicable para concretos de peso normal puede ser determinado como:

$$E_c = 15,000 \cdot \sqrt{f'_c} = 224,545.83 \frac{kgf}{cm^2}$$

Se puede demostrar a través de diferentes procedimientos de análisis de deflexiones en vigas, tales como el método de la viga conjugada o métodos energéticos alternativos, que la deflexión en el centro de la luz de una viga simplemente apoyada, cuando se le aplican dos cargas puntuales "P" en los tercios de la viga, se describe con la siguiente fórmula:

Figura 10

Representación de la deflexión en función de P y P_T



Nota: Elaboración propia.

$$\delta = \frac{23 \cdot P \cdot L^3}{648 \cdot E_c \cdot I_e} = \frac{23 \cdot P_T \cdot L^3}{1,296 \cdot E_c \cdot I_e} \quad (34)$$

Usando la ecuación (34) de resistencia de materiales y los valores previamente calculados, obtenemos:

$$\delta = \frac{23 \cdot P_T \cdot L^3}{1,296 \cdot E_c \cdot I_e} = \frac{23 \cdot (8,586.99) \cdot (330)^3}{1,296 \cdot 217,370.65 \cdot 36,211.153} = 0.6738 \text{ cm}$$

$$\delta = 0.006738 \text{ m}$$



3.6. PROCESO CONSTRUCTIVO Y ENSAYO DE VIGAS EN ESTUDIO

3.6.1. Preparación del laboratorio

El acondicionamiento del laboratorio es un paso crucial para llevar a cabo con éxito un ensayo experimental. Es esencial que el laboratorio, así como los instrumentos y equipos a utilizar, estén en óptimas condiciones. Esto garantiza la fiabilidad de los resultados y ayuda a minimizar la influencia de variables externas que podrían afectar el experimento.

A continuación, se describe cada una de las actividades llevadas a cabo previo al inicio de la construcción de las vigas de concreto armado.

- Asegurarse de que la grúa de 25 toneladas del laboratorio donde se ensayara esté operativa y en óptimas condiciones para prevenir contratiempos.
- Adquisición de materiales (agregado fino y agregado grueso), herramientas y equipos necesarios (malla, palas, picos y herramientas manuales) para la elaboración del diseño de mezcla y estudios de propiedades de los agregados.
- Adquisición de materiales (cemento, tubos PVC-U DS-CL, acero de refuerzo corrugado, maderas, material fenólico, alambres, clavos y herramientas manuales) para la preparación de encofrado y mezcla de concreto.
- Adquisición de equipos (trompo mezclador de concreto, vibradora de concreto y buggy carretilla) para el colado o vaciado de las 14 vigas de concreto armado de dimensiones $0.25m \times 0.40m \times 3.60m$.
- Adquisición de vernier digital de seis pulgadas para mediciones precisas.
- Verificación y revisión de equipos como distanciómetros, fisurómetros, para la medición de deflexión, fisuración y grietas durante el ensayo.



- Instalación del marco de carga con capacidad para soportar hasta 25 toneladas.
- Realización de un ensayo preliminar de flexión en una viga y pruebas de rotura en probetas para evaluación inicial.

3.6.2. Proceso constructivo de las 14 vigas

Dado que estas vigas son parte de un proceso experimental, es crucial manejarlas con el cuidado adecuado y minimizar cualquier influencia de variables externas que puedan alterar los resultados.

Para la elaboración de vigas de concreto armado, se debe seguir un conjunto de pasos que comienza con la obtención de materiales como agregados, cemento, barras de refuerzo de acero y tubos PVC-U DS-CL. El proceso inicia con la evaluación de los agregados y el diseño de la mezcla adecuada. Posteriormente, se prepara el acero de refuerzo y se realiza el encofrado de las vigas. Es crucial realizar cada una de estas fases con exactitud para asegurar la calidad y la estabilidad estructural de las vigas finales.

3.6.3. Encofrado de las vigas

En el diseño y la construcción de encofrados, es vital priorizar tres aspectos clave: la seguridad, la exactitud en las mediciones y la eficiencia económica. La seguridad es primordial para evitar accidentes en el sitio de obra, los cuales pueden surgir si no se evalúa adecuadamente la magnitud de las cargas a las que están sometidos los encofrados, la exactitud en las mediciones asegura la calidad, el correcto alineamiento y el acabado del concreto. Además, una planificación meticulosa en el uso de los encofrados contribuye a la reducción de costos.

Los elementos principales del encofrado de las vigas incluyen un fondo de tablas de 1 ½", mientras que las caras laterales se componen de paneles fenólicos de 18.0 mm sobre barrotes de 2" × 3". El proceso de armado del encofrado se llevó a cabo meticulosamente, asegurando que no se presenten dificultades ni inconvenientes durante el vaciado del concreto.

La etapa de habilitación de la madera y la instalación de las caras y tapas del encofrado de las vigas fue supervisada cuidadosamente. Se llevaron a cabo controles de calidad para asegurar el correcto trazado, la alineación, la verticalidad y la nivelación del fondo del encofrado. Estos procedimientos fueron esenciales para asegurar un vaciado de concreto sin problemas. La Figura 11 y la Figura 12 que se adjunta, ilustran los trabajos efectuados durante la preparación del encofrado.

Figura 11

Encofrado e instalación de tubos PVC-U en vigas de casos en estudio



Nota: Elaboración propia.

Figura 12

Refuerzo e instalación de tubos PVC-U en vigas de casos en estudio



Nota: Elaboración propia.

3.6.4. Refuerzo longitudinal y transversal

En el proceso constructivo, se procedió a la distribución del refuerzo longitudinal y transversal de acuerdo con las especificaciones del diseño estructural. El refuerzo longitudinal se dispuso a lo largo de la longitud de la viga, siguiendo un patrón preestablecido para garantizar la resistencia requerida ante las cargas de flexión. Por otro lado, el refuerzo transversal se colocó perpendicularmente al refuerzo longitudinal para proporcionar confinamiento al concreto y mejorar su comportamiento ante esfuerzos de cortante y torsión. Este proceso se llevó a cabo con meticulosidad y siguiendo las indicaciones del plan de construcción para asegurar la integridad estructural de las vigas, tal como se muestra en las fotografías más adelante mostradas en esta sección (ver Figura 13 y la Figura 14).

Figura 13

Refuerzo y colocación de tubos PVC-U en vigas de casos en estudio



Nota: Elaboración propia.

Figura 14

Refuerzo longitudinal y transversal en las vigas de casos en estudio



Nota: Elaboración propia.

3.6.5. Incorporación de tuberías de PVC-U en las vigas.

Se procedió a instalar tuberías de Policloruro de Vinilo no Plastificado para Instalaciones Domiciliarias de Desagüe (PVC-U DS-CL) con requisitos y recomendaciones de la NTP 339.003, se procedió a instalar de forma vertical en las vigas, utilizando tuberías con diámetros de 2" y 4", de acuerdo con las especificaciones del diseño estructural planificado para los seis casos de estudio. Estas tuberías fueron colocadas estratégicamente, asegurando una alineación precisa y una fijación adecuada para garantizar mediciones precisas de las deformaciones durante las pruebas experimentales.

A continuación, como se puede ver en la Figura 15 y la Figura 16, se presenta el detalle de la inserción de las tuberías en las cajas del encofrado de las vigas.

Figura 15

Instalación de tubos PVC-U en vigas de acuerdo con el caso de estudio



Nota: Elaboración propia.

Figura 16

Instalación de tubos PVC-U en las vigas de los casos de estudio



Nota: Elaboración propia.

3.6.6. Vertido del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

Para la elaboración y vertido de la mezcla de concreto en cada viga, se siguió un procedimiento meticuloso para garantizar la calidad del material. Primero, se midieron cuidadosamente los ingredientes de la mezcla en proporciones precisas, de acuerdo con la dosificación previamente determinada. La secuencia para la adición de los materiales fue la siguiente: se incorporó el agua en la mezcladora tipo trompo, seguida de la adición del cemento tipo IP, luego se agregó el agregado fino y finalmente, el agregado grueso.

Para compactar adecuadamente la mezcla y eliminar posibles bolsas de aire, se utilizó una vibradora de inmersión con un diámetro de 1.5 pulgadas. Este proceso aseguró una correcta densidad del concreto, contribuyendo a obtener la resistencia esperada.

Figura 17

Vertido del concreto en las vigas de los distintos casos de estudio



Nota: Elaboración propia.

Figura 18

Vertido del concreto en las vigas para los casos de estudio



Nota: Elaboración propia.

Figura 19

Culminación del vertido de concreto en las vigas



Nota: Elaboración propia.

De las 14 vigas fabricadas durante el colado de concreto, se extrajeron seis probetas cilíndricas para llevar a cabo ensayos de control sobre la resistencia a compresión del concreto (ver Figura 21). Esta decisión se tomó considerando que el volumen total de concreto utilizado fue inferior a 50 m^3 , lo cual está dentro del rango que permite la extracción de un menor número de probetas según las normativas de ensayo. Las briquetas de concreto fueron adecuadamente curadas bajo condiciones controladas en el laboratorio, con el fin de asegurar que los resultados obtenidos de las pruebas de resistencia a compresión fueran representativos y fiables. Durante el proceso de colado del concreto, se realizaron pruebas de control de calidad mediante el slump test. Los resultados obtenidos estuvieron dentro de los parámetros, como se observa en la Figura 20. Según las recomendaciones de Abanto (2009), estos valores cumplen con los criterios especificados para garantizar la trabajabilidad y calidad del concreto fresco.

Figura 20

Determinación del slump del concreto de acuerdo a NTP 339.035



Nota: Elaboración propia.

Figura 21

Preparación de muestras de probetas de concreto, NTP 339.033



Nota: Elaboración propia.

Para el proceso de curado, se emplearon lonas húmedas, como se ilustra. Estas lonas poseen la capacidad de retener la humedad en las vigas por períodos prolongados, lo que evita la pérdida prematura de humedad del concreto.

Inicialmente, se llevó a cabo un curado constante durante siete días, con tres sesiones diarias de curado. Posteriormente, una vez transcurridos los siete días iniciales, se redujo la frecuencia de curado a una vez al día. Este ajuste en el proceso de curado se realizó considerando el carácter experimental del trabajo y con el objetivo de mantener las condiciones óptimas para el desarrollo adecuado de las propiedades del concreto en las vigas. El proceso de curado se llevó a cabo cubriendo las vigas de concreto armado con mantas o frazadas, las cuales se mantuvieron húmedas durante todo el proceso de curado, asegurando que permanecieran semimojadas en todo momento como se muestra en la Figura 22.

Figura 22

Curado de vigas de concreto con lonas o mantas sumergidas en agua



Nota: Elaboración propia.

3.6.7. Instrumentos y equipos de medición

a) Vernier digital

El vernier digital, una herramienta esencial en nuestro estudio, ha sido adaptado para satisfacer nuestras necesidades específicas. Este dispositivo se emplea para la medición precisa de pequeños desplazamientos, lo que lo convierte en un instrumento idóneo para nuestras investigaciones. Con un rango de medición de hasta seis pulgadas equivalente a 15 centímetros, además con una precisión a la centésima de milímetro, el vernier digital (Figura 23) nos brinda la capacidad de captar incluso las deflexiones más sutiles en nuestras vigas de concreto armado.

Figura 23

Calibrador vernier digital



Nota: Extraído de <https://mqaperu.com.pe/producto/calibrador-digital-0-a-200mm-8-500-197-mitutoyo/>

Para utilizar el vernier digital de manera efectiva en nuestras pruebas, es crucial mantenerlo en posición vertical. Esto nos permite obtener mediciones precisas de las deflexiones en las vigas de concreto. Al garantizar que el vernier esté correctamente alineado y perpendicular a

la superficie de la viga, podemos capturar con exactitud los pequeños cambios en la posición de la viga bajo carga, lo cual es esencial para evaluar su comportamiento estructural. La estabilidad y la precisión del vernier digital son elementos clave en nuestro proceso de medición, permitiéndonos obtener datos confiables y significativos para nuestro análisis experimental.

b) Marco de carga tipo prensa hidráulica

Este equipo está compuesto por una robusta estructura metálica con dimensiones de 2.30 m. de altura, 0.95 m de longitud y 0.30 m de ancho. Fabricado con platina y ángulos, su diseño garantiza una sólida base para llevar a cabo las pruebas necesarias. En su núcleo, cuenta con un gato hidráulico invertido con una capacidad máxima de 25 toneladas como se muestra en la Figura 24.

Figura 24

Marco de carga o prensa hidráulica con capacidad de 25 Tn



Nota: Elaboración propia.



El funcionamiento de esta prensa hidráulica implica el uso de una palanca para realizar movimientos ascendentes y descendentes de manera periódica. La carga aplicada se controla con precisión mediante el manómetro analógico situado en la parte superior del marco de carga. Este manómetro cuenta con una precisión de 100 kg y una capacidad máxima de 25 toneladas proporcionando datos fiables sobre la fuerza ejercida.

Es fundamental asegurar que el marco de carga esté firmemente sujeto al suelo durante el proceso de prueba para evitar cualquier levantamiento no deseado. Este aseguramiento garantiza la estabilidad y seguridad del equipo, permitiendo una aplicación precisa y controlada de las fuerzas necesarias para realizar las pruebas de manera efectiva.

3.6.8. Ensayo de vigas de concreto armado

3.6.8.1. Descripción del ensayo aplicado a las vigas en estudio

El ensayo realizado para evaluar la resistencia a la flexión y al corte de las vigas en estudio se llevó a cabo siguiendo un procedimiento cuidadosamente planificado. Este proceso involucró el uso de diversos componentes y equipos fundamentales en cada etapa de la prueba, tales como un marco o prensa hidráulica, un sistema de aplicación de fuerza controlada, instrumentos para medir desplazamientos y dispositivos para registrar las cargas aplicadas.

- **Marco de carga:** Este componente se encuentra anclado al suelo y se encarga de aplicar la carga sobre la viga de concreto. La transferencia de carga a la viga se realiza mediante una viga metálica y una prensa



hidráulica con un diámetro de 2.5 pulgadas, como se puede ver en la Figura 24 anteriormente mostrada.

- **Viga metálica de distribución de carga:** Se utiliza una viga metálica de 2.50 metros de longitud y 0.21 centímetros de altura, con un peso de 98.00 kg, para distribuir la carga puntual en dos ubicaciones situadas en los tercios centrales de la viga de concreto. En la parte inferior de esta viga, un eje de dos pulgadas de ancho asegurando una distribución uniforme de la carga. Tal como se puede evidenciar en la Figura 25.
- **Vigas de concreto armado:** Se realizaron pruebas con 14 vigas de concreto armado, cada una con dimensiones de 3.60 metros de largo, 0.25 metros de ancho y 0.40 metros de peralte. Para minimizar la concentración de esfuerzos y prevenir fallas por corte, se dejó un volado de 0.15 metros en cada extremo de la viga, resultando en una distancia de 3.30 metros entre los ejes, como se especifica para todos los casos estudiados de las vigas que se detallan anteriormente en la Tabla 4.
- **Calibradores o vernier digital:** Se utilizaron dos calibradores digitales, uno debajo y la otra sobre la viga, ambos colocados en el centro de esta para medir las deflexiones por la carga aplicada.
- **Apoyos:** Se emplearon soportes en cada extremo: uno fijo y otro móvil. El soporte fijo se compone de una plancha de 3/8 de pulgada con un rodillo sólido de 1.5 pulgadas soldado a la plancha, mientras que el soporte móvil tiene el rodillo sin soldar, y se puede observar en la Figura 25.

Figura 25

Marco de carga o prensa hidráulica ensamblado para los ensayos



Nota: Elaboración propia.

Durante el ensayo de resistencia a flexión llevado a cabo en las 14 vigas de concreto armado, se asignaron roles específicos al personal involucrado para garantizar un proceso eficiente y preciso.

- Una persona se encargó de registrar meticulosamente los datos obtenidos durante el ensayo.
- Otra persona fue designada para tomar nota de los registros del nanómetro digital, el cual proporciona mediciones precisas de las deformaciones de la viga en respuesta a las cargas aplicadas. Un personal fue responsable de aplicar la carga de manera uniforme en la prensa hidráulica, utilizando una palanca para este fin.
- Se asignó personal adicional para registrar las lecturas del vernier digital, el cual se utilizó para medir las deformaciones en la parte central de la viga. Este personal aseguró una documentación precisa de las deformaciones experimentadas por las vigas durante el ensayo.

- Además, se contó con una persona encargado de registrar y controlar las fisuras formadas durante el ensayo. Este equipo realizó mediciones, registros y marcaciones con tizas en diferentes etapas de carga, lo que permitió un seguimiento detallado de la evolución de las fisuras en las vigas.

Figura 26

Personal involucrado en los ensayos de las vigas



Nota: Elaboración propia.

- Finalmente, se designó personal para llevar a cabo la grabación y captura de fotos en cada uno de los ensayos. Esto garantizó un registro visual completo de los procedimientos y resultados del ensayo, proporcionando una documentación integral del proceso y sus hallazgos como se muestra en la Figura 26.

3.6.8.2. Registro de ensayos de vigas de concreto armado

Se realizaron los ensayos de resistencia a la flexión en 14 vigas de concreto armado que fueron fabricadas para este estudio. Dichas vigas se ensayaron a los 28 días de edad tras el proceso de colado, y fueron



identificadas desde el Caso I hasta el Caso VII, según su configuración particular.

Tal como se define en la sección 3.2, las dimensiones de las vigas de concreto armado son: una longitud total de 3.60 m, una longitud de luz libre de 3.30 m, un ancho de 0.25 m y una altura de 0.40 m. Además, el concreto utilizado en su fabricación presenta una resistencia promedio de 214.67 kg/cm², donde este resultado se obtuvo de la rotura de briquetas de concreto para la resistencia a compresión del concreto.

La deflexión inicial de las vigas, causada por su propio peso, fue de 0.61 mm. Adicionalmente, la viga metálica utilizada para distribuir la carga en los tercios centrales de la viga durante el ensayo tenía un peso de 98 kg. El peso propio de la viga, con las dimensiones indicadas, fue de 792 kgf lo que se considera parte de la carga muerta de la estructura.

En la sección de anexos (Anexo 10: Resultados y cálculo de los ensayos a flexión en vigas estudiadas) se presentan todas las tablas con los datos recopilados de los ensayos realizados en las 14 vigas de concreto armado. Para cada caso específico, se detalla tanto la carga aplicada como la deflexión medida en el centro de cada viga. En la primera columna, se muestra la numeración consecutiva de cada registro; en la segunda columna, se registran los valores de la carga aplicada mediante la prensa hidráulica; y en la tercera columna, se consigna la deflexión correspondiente, con un incremento de 1.00 mm. Las últimas dos columnas presentan los valores de la carga total aplicada, incluyendo el



peso propio de la viga, y la deflexión total, que incorpora tanto la deflexión medida como la deflexión instantánea.

Estos datos corresponden a los ensayos de flexión y serán utilizados para evaluar la influencia de la inserción de tuberías en las vigas de concreto armado en términos de rigidez, momento de inercia efectivo, deflexiones bajo cargas de trabajo, comportamiento de deformación de la viga con cada incremento de carga, capacidad de carga última y patrón de fisuras en los elementos evaluados.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se abordará el análisis de los datos recopilados a partir de los ensayos efectuados en vigas de concreto armado. Se examinarán los resultados relacionados con la resistencia a la compresión, la flexión y otros parámetros importantes; prestando especial atención a cómo las aberturas causadas por tuberías insertas verticalmente afectan las propiedades mecánicas de las vigas. Se discutirá en detalle cómo estos hallazgos influyen en rigidez, capacidad de carga y patrón de fisuración, entre otros aspectos críticos. Además, se contrastarán los resultados obtenidos con las predicciones teóricas y se investigarán posibles razones para cualquier discrepancia observada.

4.1. RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE BRIQUETAS CILÍNDRICAS

Se ofrece un resumen de los resultados de las resistencias a compresión del concreto, obtenidos a partir de muestras cilíndricas de 0,15 m de diámetro y 0,30 m de altura, correspondientes a las dos fases de vertido de concreto realizadas. Este resumen incluye las resistencias de seis probetas evaluadas a los 14 y 28 días en cada fase, así como el promedio de estas resistencias.

Tabla 28

Resistencia a compresión de las briquetas de las dos fases realizadas

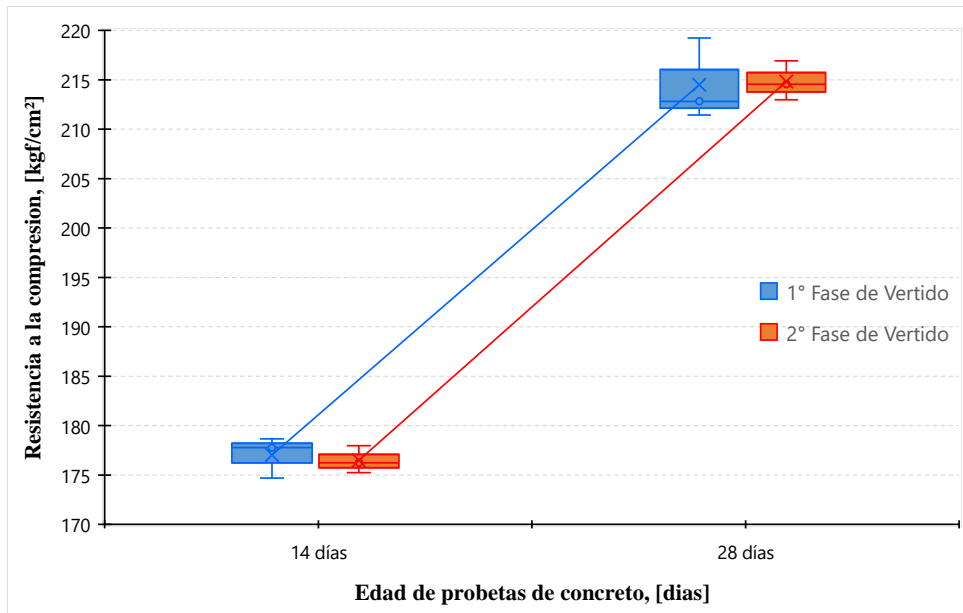
Fase	Días	Resistencia M1 (kg/cm ²)	Resistencia M2 (kg/cm ²)	Resistencia M3 (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
1° fase de vertido	14	177.77	174.69	178.67	177.04
	28	211.44	219.25	212.83	214.51
2° fase de vertido	14	176.24	177.96	175.25	176.48
	28	212.98	216.93	214.56	214.82

Nota: Elaboración propia.

Las probetas de concreto fueron sometidos a ensayos de resistencia a la compresión de acuerdo con el procedimiento indicado en la norma NTP 339.034 (2015), empleando una máquina con una capacidad de 200,000.00 kN.

Figura 27

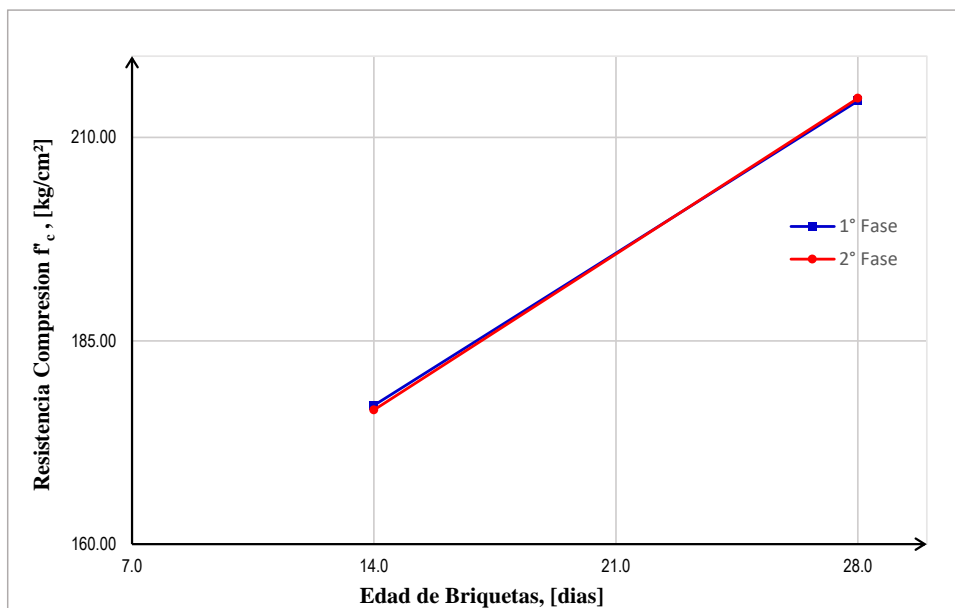
Diagrama de cajas y bigotes de resistencia a compresión



Nota: Elaboración propia.

Figura 28

Resistencia a la compresión de briquetas de concreto



Nota: Elaboración propia.

Los resultados se presentan en la Figura 27 mediante un diagrama de cajas y bigotes, donde se muestran los valores promedio obtenidos en función del día en que se realizó el respectivo ensayo de compresión además de que también se muestra la ilustración de la resistencia a la compresión de las muestras extraídas en probetas de concreto (Figura 28).

4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Después de realizar los ensayos en el laboratorio, se procedió a examinar diferentes aspectos relacionados con las propiedades mecánicas de las vigas. Este examen abarcó la resistencia a flexión y cortante, la rigidez, el momento de inercia efectivo, las deflexiones bajo cargas de trabajo, el comportamiento de la deformación de la viga con cada incremento de carga, la capacidad de carga última y el patrón de fisuras. Los resultados obtenidos se compararon con los valores correspondientes de la viga patrón para evaluar su desempeño. A continuación, se abordará cada uno de estos aspectos para ofrecer un análisis detallado y exhaustivo de los resultados.

4.2.1. Relación carga total y deflexión en el centro de la viga

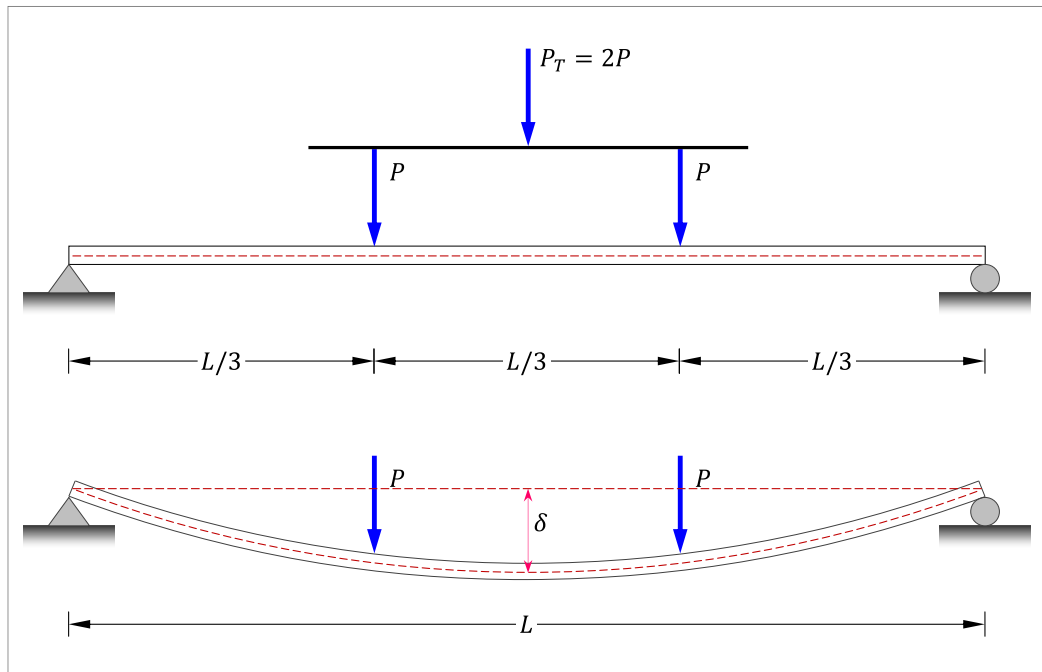
En el ámbito del análisis estructural, la rigidez se entiende como la proporción entre la carga externa aplicada y la deformación resultante de la estructura Hibbeler (2012) como se presenta en la ecuación (35). En el contexto específico de esta investigación, la rigidez (k) de la viga de concreto armado se define como la división entre la carga total aplicada (P_T) mediante una prensa hidráulica y la deflexión (δ) registrada en el punto medio de la viga. Esta relación se puede representar matemáticamente de la siguiente manera:

$$k = \frac{P_T}{\delta} \quad (35)$$

Donde: k representa la rigidez de la viga de concreto armado, P_T indica la carga total que se aplica a la viga, δ denota la deflexión en el punto central de la viga.

Figura 29

Esquema de la deflexión, al centro de la luz de la viga



Nota: Elaboración propia.

Los valores de la deflexión experimentales, medidos en el punto central de la viga, en relación con la carga total aplicada a través de la prensa hidráulica, se presentan en la Tabla 29, para todos los casos de estudio de las vigas de concreto armado. Es importante tener en cuenta que la carga de diseño (o carga de servicio) para estas vigas está establecida en $P_T = 8,590.00 \text{ kgf}$ utilizada aquí como referencia. Estos datos permiten analizar cómo responde la deflexión de las vigas de concreto armado frente a diferentes niveles de carga aplicados, lo cual es esencial para comprender el comportamiento estructural de las vigas bajo condiciones de servicio.

Tabla 29

Carga total P_T en todos los casos de estudio en relación con la deflexión

δ_{total} (mm)	CASO I (Patrón)		CASO II		CASO III		CASO IV		CASO V		CASO VI		CASO VII	
	Viga 01	Viga 02	Viga 01	Viga 02	Viga 01	Viga 02	Viga 01	Viga 02	Viga 01	Viga 02	Viga 01	Viga 02	Viga 01	Viga 02
0.61	890.00	890.00	890.00	890.00	890.00	890.00	890.00	890.00	890.00	890.00	890.00	890.00	890.00	890.00
1.61	1,847.00	1,777.00	1,684.00	1,619.00	1,736.00	1,760.00	1,722.00	1,780.00	1,739.00	1,808.00	1,619.00	1,646.00	1,761.00	1,738.00
2.61	2,770.00	2,786.00	2,414.00	2,341.00	2,514.00	2,568.00	2,604.00	2,556.00	2,652.00	2,627.00	2,373.00	2,487.00	2,495.00	2,490.00
3.61	3,632.00	3,680.00	3,211.00	3,040.00	3,268.00	3,353.00	3,356.00	3,410.00	3,576.00	3,577.00	3,135.00	3,225.00	3,322.00	3,341.00
4.61	4,547.00	4,650.00	3,950.00	3,805.00	4,145.00	4,195.00	4,286.00	4,285.00	4,457.00	4,377.00	3,885.00	3,985.00	4,165.00	4,212.00
5.61	5,553.00	5,524.00	4,536.00	4,411.00	4,783.00	4,975.00	5,075.00	4,798.00	5,290.00	5,306.00	4,411.00	4,501.00	4,612.00	4,985.00
6.61	6,385.00	6,505.00	5,172.00	5,006.00	5,434.00	5,580.00	5,549.00	5,346.00	5,787.00	6,185.00	4,908.00	5,052.00	4,998.00	5,391.00
7.61	6,999.00	7,015.00	5,659.00	5,654.00	6,097.00	6,161.00	5,977.00	5,854.00	6,309.00	6,613.00	5,473.00	5,527.00	5,432.00	5,816.00
8.61	7,649.00	7,598.00	6,218.00	6,237.00	6,661.00	6,785.00	6,544.00	6,358.00	6,818.00	7,077.00	6,005.00	6,034.00	5,935.00	6,161.00
9.61	8,258.00	8,178.00	6,894.00	6,838.00	7,328.00	7,459.00	7,001.00	6,809.00	7,281.00	7,471.00	6,537.00	6,521.00	6,379.00	6,675.00
10.61	8,989.00	8,804.00	7,501.00	7,384.00	7,898.00	8,027.00	7,440.00	7,364.00	7,737.00	7,864.00	7,026.00	7,101.00	6,872.00	7,075.00
11.61	9,560.00	9,478.00	8,089.00	8,084.00	8,586.00	8,655.00	7,970.00	7,845.00	8,222.00	8,303.00	7,526.00	7,635.00	7,351.00	7,355.00
12.61	10,152.00	10,039.00	8,624.00	8,518.00	9,226.00	9,281.00	8,429.00	8,414.00	8,759.00	8,709.00	8,074.00	8,133.00	7,779.00	7,807.00
13.61	10,806.00	10,747.00	9,201.00	9,227.00	9,928.00	9,770.00	8,851.00	8,925.00	9,306.00	9,200.00	8,603.00	8,650.00	8,179.00	8,303.00
14.61	11,382.00	11,308.00	9,764.00	9,815.00	10,538.00	10,464.00	9,350.00	9,377.00	9,772.00	9,589.00	9,184.00	9,119.00	8,578.00	8,642.00
15.61	12,054.00	11,853.00	10,303.00	10,452.00	10,977.00	11,088.00	9,796.00	9,877.00	10,277.00	10,019.00	9,713.00	9,632.00	9,090.00	9,103.00
16.61	12,558.00	12,399.00	10,920.00	11,004.00	11,650.00	11,567.00	10,293.00	10,416.00	10,752.00	10,458.00	10,164.00	10,191.00	9,536.00	9,411.00
17.61	13,287.00	13,146.00	11,423.00	11,603.00	12,142.00	12,210.00	10,784.00	10,932.00	11,290.00	10,930.00	10,747.00	10,692.00	9,974.00	9,875.00
18.61	13,923.00	13,795.00	12,021.00	12,177.00	12,639.00	12,777.00	11,203.00	11,504.00	11,768.00	11,351.00	11,241.00	11,195.00	10,497.00	10,277.00

δ_{total} (mm)	CASO I		CASO II		CASO III		CASO IV		CASO V		CASO VI		CASO VII	
	Viga 01	Viga 02	Viga 01	Viga 02	Viga 01	Viga 02	Viga 01	Viga 02	Viga 01	Viga 02	Viga 01	Viga 02	Viga 01	Viga 02
(...continúa)														
19.61	14,455.00	14,387.00	12,591.00	12,731.00	13,265.00	13,371.00	11,756.00	12,016.00	12,235.00	11,705.00	11,756.00	11,758.00	10,911.00	10,648.00
20.61	15,140.00	14,999.00	13,155.00	13,334.00	13,806.00	13,987.00	12,175.00	12,457.00	12,742.00	12,134.00	12,319.00	12,279.00	11,371.00	11,128.00
21.61	15,716.00	15,654.00	13,390.00	13,896.00	14,307.00	14,522.00	12,684.00	13,016.00	13,271.00	12,560.00	12,816.00	12,779.00	11,798.00	11,298.00
22.61	16,305.00	16,308.00	13,590.00	14,083.00	14,864.00	15,034.00	13,137.00	13,540.00	13,786.00	13,010.00	12,903.00	13,266.00	12,151.00	11,532.00
23.61	16,992.00	16,918.00	13,665.00	14,204.00	14,980.00	15,420.00	13,646.00	13,678.00	14,268.00	13,481.00	13,060.00	13,365.00	12,257.00	11,726.00
24.61	17,150.00	17,488.00	13,740.00	14,325.00	15,111.00	15,524.00	13,804.00	13,780.00	14,448.00	13,586.00	13,216.00	13,484.00	12,332.00	11,920.00
25.61	17,150.00	17,550.00	13,866.00	14,454.00	15,218.00	15,633.00	13,875.00	13,894.00	14,658.00	13,777.00	13,405.00	13,668.00	12,485.00	12,155.00
26.61	17,150.00	17,603.00	13,992.00	14,582.00	15,324.00	15,742.00	13,945.00	14,007.00	14,868.00	13,968.00	13,594.00	13,852.00	12,638.00	12,390.00
27.61	17,150.00	17,703.00	14,104.00	14,641.00	15,436.00	15,880.00	14,090.00	14,169.00	14,931.00	14,113.00	13,717.00	13,962.00	12,748.00	12,545.00
28.61	17,150.00	17,838.00	14,215.00	14,700.00	15,547.00	16,018.00	14,234.00	14,331.00	14,993.00	14,257.00	13,839.00	14,071.00	12,858.00	12,699.00
29.61	17,234.00	17,888.00	14,382.00	14,791.00	15,558.00	16,187.00	14,423.00	14,430.00	15,080.00	14,439.00	13,898.00	14,181.00	12,858.00	12,734.00
30.61	17,317.00	17,938.00	14,549.00	14,882.00	15,568.00	16,355.00	14,612.00	14,529.00	15,166.00	14,620.00	13,956.00	14,291.00	12,858.00	12,768.00
31.61	17,317.00	17,971.00	14,576.00	15,035.00	15,664.00	16,473.00	14,761.00	14,593.00	15,198.00	14,695.00	14,077.00	14,446.00	12,991.00	12,809.00
32.61	17,317.00	18,003.00	14,603.00	15,187.00	15,760.00	16,591.00	14,910.00	14,656.00	15,230.00	14,770.00	14,197.00	14,601.00	13,123.00	12,849.00
33.61	17,317.00	18,003.00	14,689.00	15,228.00	15,884.00	16,706.00	14,954.00	14,874.00	15,280.00	14,820.00	14,361.00	14,729.00	13,123.00	12,875.00
34.61	17,317.00	18,003.00	14,775.00	15,268.00	16,008.00	16,820.00	14,997.00	15,092.00	15,330.00	14,870.00	14,525.00	14,857.00	13,123.00	12,901.00
35.61	17,367.00	18,094.00	14,913.00	15,314.00	16,079.00	16,901.00	14,997.00	15,170.00	15,388.00	14,920.00	14,651.00	14,997.00	13,214.00	13,045.00
36.61	17,417.00	18,185.00	15,050.00	15,360.00	16,150.00	16,982.00	14,997.00	15,248.00	15,445.00	14,970.00	14,777.00	15,136.00	13,305.00	13,188.00
37.61	17,417.00	18,207.00	15,164.00	15,404.00	16,200.00	17,076.00	14,997.00	15,253.00	15,529.00	14,990.00	14,784.00	15,157.00	13,327.00	13,188.00
38.61	17,417.00	18,229.00	15,277.00	15,447.00	16,249.00	17,170.00	14,997.00	15,258.00	15,612.00	15,009.00	14,790.00	15,177.00	13,349.00	13,188.00
39.61	17,417.00	18,229.00	15,381.00	15,460.00	16,324.00	17,175.00	14,997.00	15,321.00	15,612.00	15,009.00	14,830.00	15,209.00	13,449.00	13,188.00

δ_{total} (mm)	CASO I		CASO II		CASO III		CASO IV		CASO V		CASO VI		CASO VII	
	Viga 01	Viga 02	Viga 01	Viga 02	Viga 01	Viga 02	Viga 01	Viga 02	Viga 01	Viga 02	Viga 01	Viga 02	Viga 01	Viga 02
(...continúa)														
40.61	17,417.00	18,229.00	15,484.00	15,472.00	16,399.00	17,180.00	14,997.00	15,384.00	15,612.00	15,009.00	14,869.00	15,241.00	13,549.00	13,188.00
41.61	17,444.00	18,301.00	15,534.00	15,557.00	16,399.00	17,180.00	14,997.00	15,420.00	15,633.00	15,009.00	14,869.00	15,253.00	13,621.00	13,249.00
42.61	17,471.00	18,372.00	15,584.00	15,641.00	16,399.00	17,180.00	14,997.00	15,455.00	15,653.00	15,009.00	14,869.00	15,264.00	13,692.00	13,310.00
43.61	17,564.00	18,387.00	15,605.00	15,697.00	16,408.00	17,180.00	14,997.00	15,495.00	15,662.00	15,059.00	14,869.00	15,264.00	13,707.00	13,366.00
44.61	17,657.00	18,402.00	15,626.00	15,752.00	16,417.00	17,180.00	14,997.00	15,534.00	15,670.00	15,109.00	14,869.00	15,264.00	13,722.00	13,421.00
45.61	17,712.00	18,402.00	15,708.00	15,752.00	16,417.00	17,180.00	15,111.00	15,568.00	15,778.00	15,113.00	14,869.00	15,364.00	13,722.00	13,495.00
46.61	17,767.00	18,402.00	15,789.00	15,752.00	16,417.00	17,180.00	15,224.00	15,602.00	15,886.00	15,117.00	14,869.00	15,464.00	13,722.00	13,569.00
47.61	17,767.00	18,447.00	15,843.00	15,752.00	16,417.00	17,180.00	15,239.00	15,615.00	15,952.00	15,150.00	14,921.00	15,464.00	13,767.00	13,569.00
48.61	17,767.00	18,491.00	15,897.00	15,752.00	16,417.00	17,180.00	15,254.00	15,627.00	16,018.00	15,182.00	14,973.00	15,464.00	13,811.00	13,569.00
49.61	17,767.00	18,491.00	15,908.00	15,752.00	16,417.00	17,180.00	15,254.00	15,627.00	16,012.00	15,215.00	15,008.00	15,464.00	13,811.00	13,569.00
50.61	17,767.00	18,491.00	15,918.00	15,752.00	16,417.00	17,180.00	15,254.00	15,627.00	16,005.00	15,247.00	15,042.00	15,464.00	13,811.00	13,569.00
51.61	17,767.00	18,532.00	15,920.00	15,752.00	16,417.00	17,180.00	15,382.00	15,627.00	16,028.00	15,311.00	15,131.00	15,464.00	13,852.00	13,569.00
52.61	17,767.00	18,572.00	15,922.00	15,752.00	16,417.00	17,180.00	15,509.00	15,627.00	16,050.00	15,374.00	15,220.00	15,464.00	13,892.00	13,569.00
53.61	17,767.00	18,597.00	15,922.00	15,753.00	16,417.00	17,180.00	15,598.00	15,627.00	16,067.00	15,381.00	15,220.00	15,464.00	13,917.00	13,569.00
54.61	17,767.00	18,622.00	15,922.00	15,754.00	16,417.00	17,180.00	15,687.00	15,627.00	16,083.00	15,387.00	15,220.00	15,464.00	13,942.00	13,569.00
55.61	17,767.00	18,622.00	15,922.00	15,772.00	16,417.00	17,180.00	15,687.00	15,627.00	16,083.00	15,387.00	15,220.00	15,464.00	13,942.00	13,569.00
56.61	17,767.00	18,622.00	15,922.00	15,790.00	16,417.00	17,180.00	15,687.00	15,627.00	16,083.00	15,387.00	15,220.00	15,464.00	13,942.00	13,569.00
57.61	17,767.00	18,622.00	15,922.00	15,816.00	16,417.00	17,180.00	15,687.00	15,627.00	16,083.00	15,387.00	15,220.00	15,464.00	13,942.00	13,569.00
58.61	17,767.00	18,622.00	15,922.00	15,841.00	16,417.00	17,180.00	15,687.00	15,627.00	16,083.00	15,387.00	15,220.00	15,464.00	13,942.00	13,569.00
59.61	17,767.00	18,622.00	15,922.00	15,841.00	16,417.00	17,180.00	15,687.00	15,627.00	16,083.00	15,387.00	15,220.00	15,464.00	13,942.00	13,569.00
60.61	17,767.00	18,622.00	15,922.00	15,841.00	16,417.00	17,180.00	15,687.00	15,627.00	16,083.00	15,387.00	15,220.00	15,464.00	13,942.00	13,569.00

Nota: Elaboración propia.

Al graficar los datos obtenidos en la Tabla 29 dentro del sistema de coordenadas, donde el eje "x" representa la deflexión en el centro de la viga (en milímetros) y el eje "y" para la carga total (en *kgf*) aplicada por la prensa hidráulica, se generan las gráficas presentadas desde la Figura 30 hasta la Figura 57.

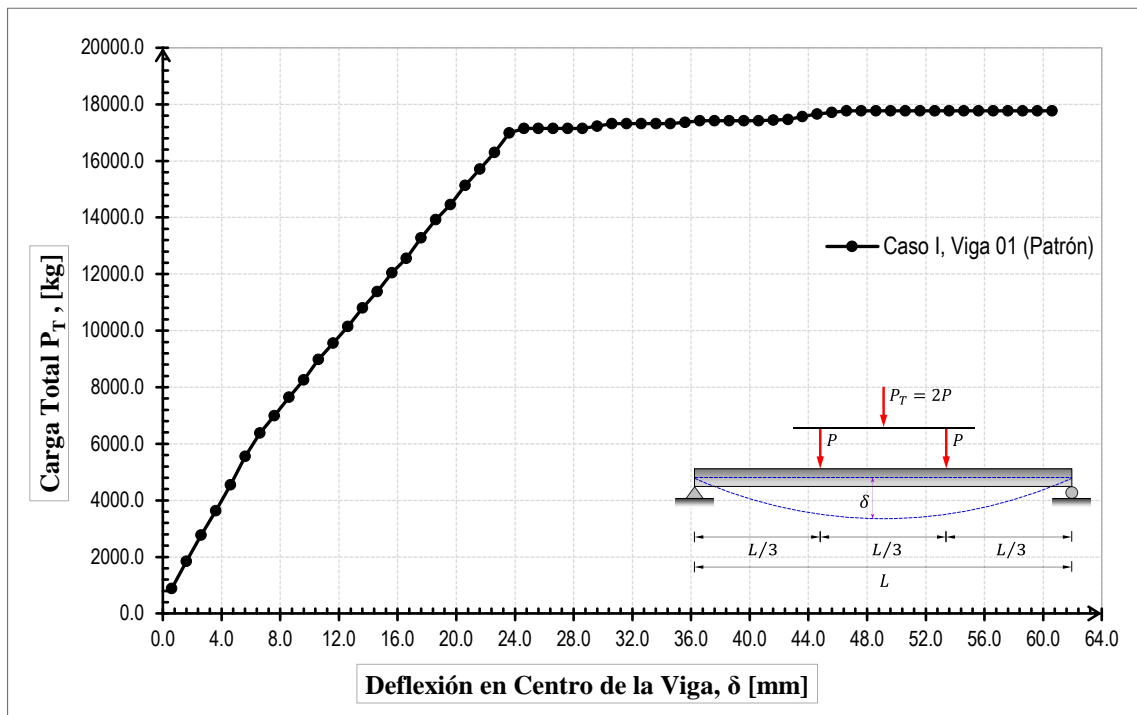
Es importante destacar que todas las gráficas (Figura 30 hasta la Figura 57) exhibieron un comportamiento lineal al principio. Sin embargo, a medida que aumentaba el valor de la carga, la pendiente de la curva se modificaba, mostrando un punto de quiebre. Teóricamente, este punto de quiebre corresponde al momento de fisuración de la viga de concreto armado, lo que indica un cambio en el comportamiento estructural de la viga bajo cargas crecientes.

El punto de quiebre nos permite dividir la gráfica en dos segmentos, cada uno representado por una línea recta. El primero, al inicio del proceso de carga, se puede expresar como $y = k_1 \cdot x + a_1$, mientras que el segundo, después del quiebre de la pendiente, se describe como $y = k_2 \cdot x + a_2$ de acuerdo con Cabrera (2011). Estas ecuaciones se obtienen a través de una regresión lineal de los datos experimentales. A continuación, se presentan ambas ecuaciones además con los coeficientes de correlación al cuadrado.

En la Figura 58 se presentan los casos menos favorables de todos los ensayos realizados, donde se grafican las pendientes más bajas de cada caso de estudio. Estas pendientes se comparan con la viga patrón que tiene la mayor pendiente. Por otro lado, la Figura 59 muestra los casos más favorables, donde se representan las vigas con las pendientes más elevadas y se comparan con las pendientes de la viga patrón.

Figura 30

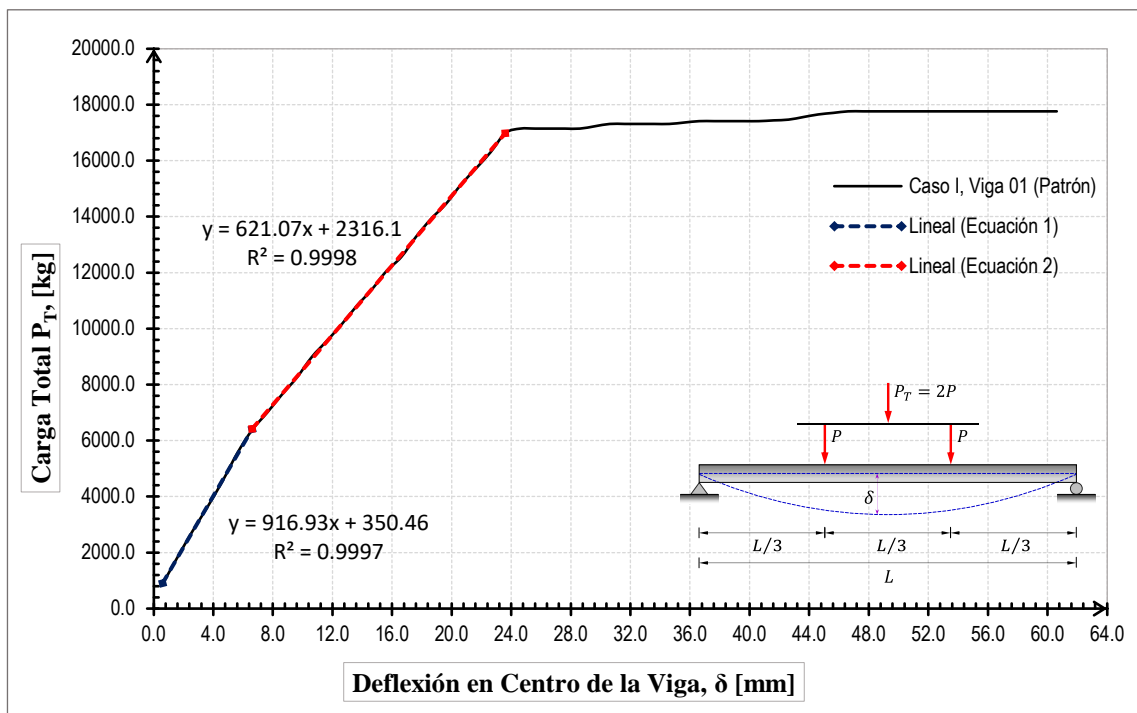
Relación de carga y deflexión para la viga patrón V-01, C-I



Nota: Elaboración propia.

Figura 31

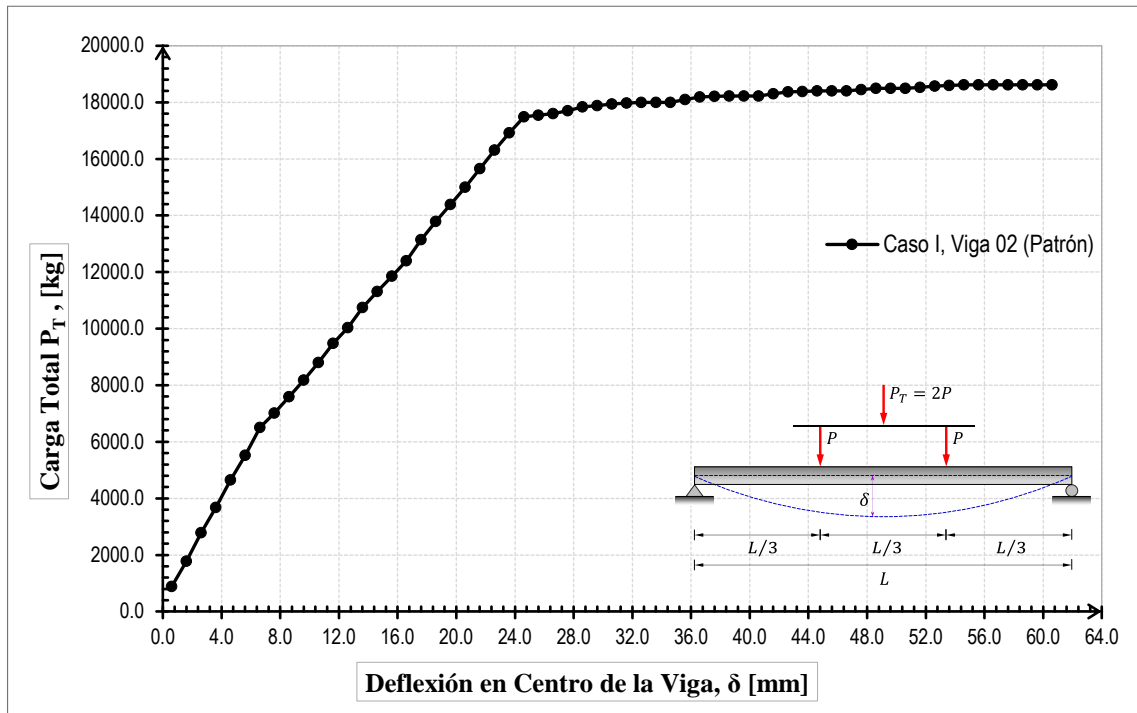
Regresión lineal (P_T vs δ) para la viga patrón V-02, C-I



Nota: Elaboración propia.

Figura 32

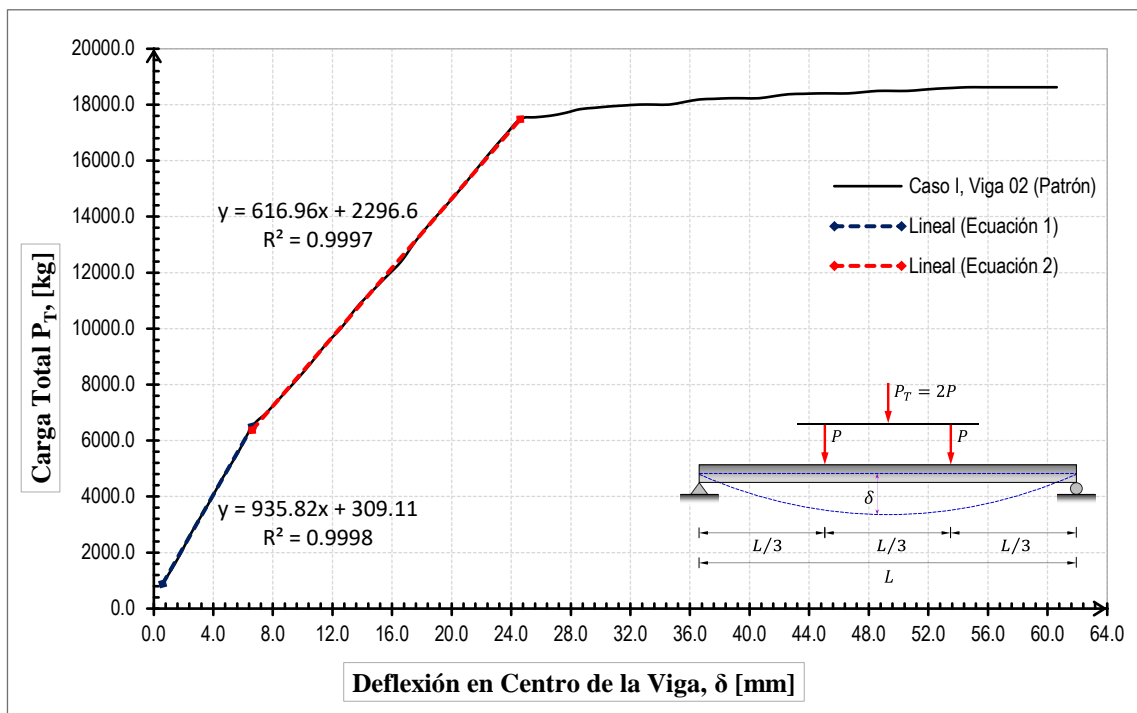
Relación de carga y deflexión para la viga patrón V-02, C-I



Nota: Elaboración propia.

Figura 33

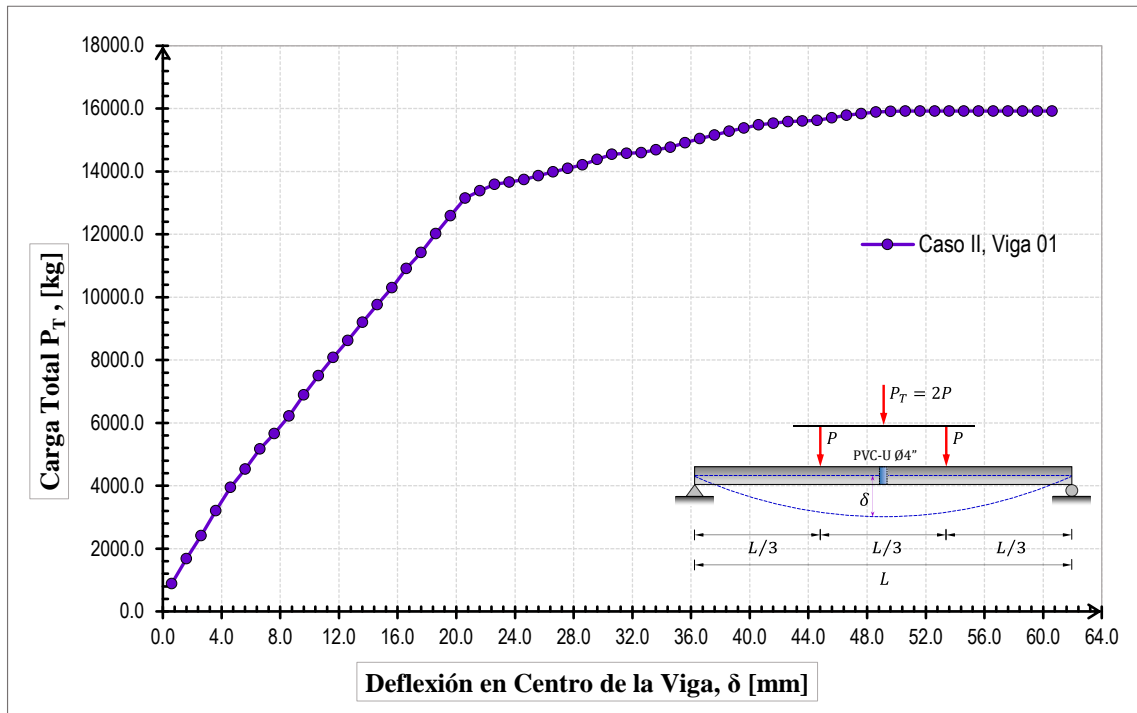
Regresión lineal (P_T vs δ) para la viga patrón V-02, C-I



Nota: Elaboración propia.

Figura 34

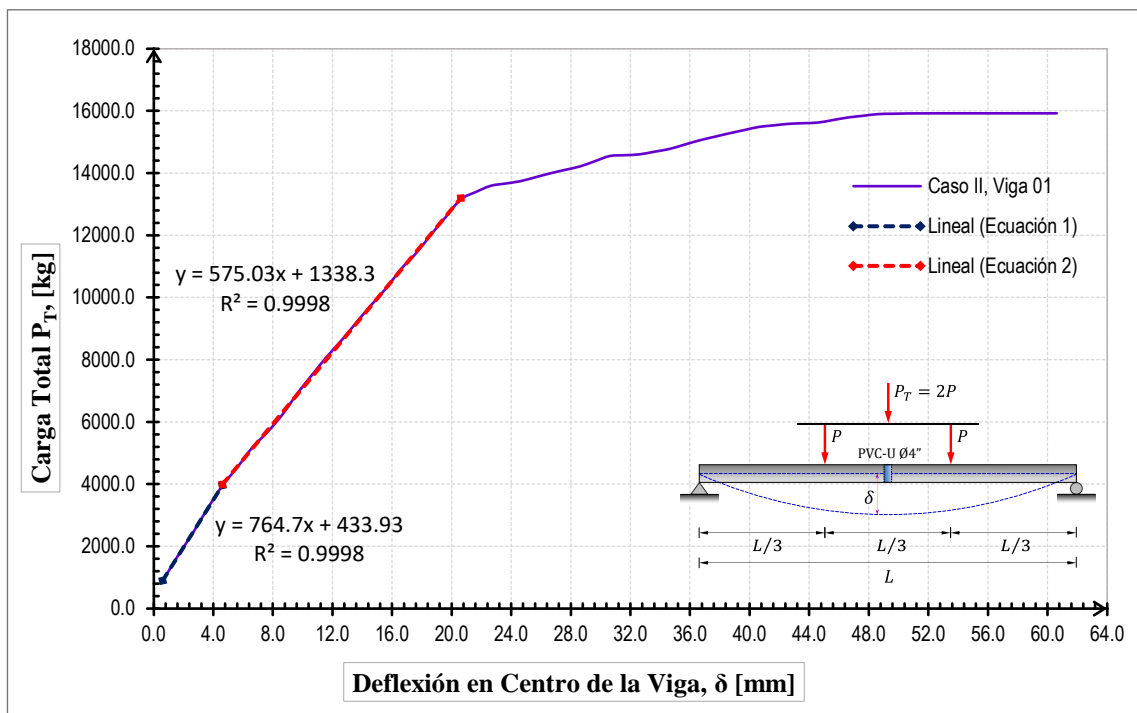
Relación de carga y deflexión para la viga V-01, C-II



Nota: Elaboración propia.

Figura 35

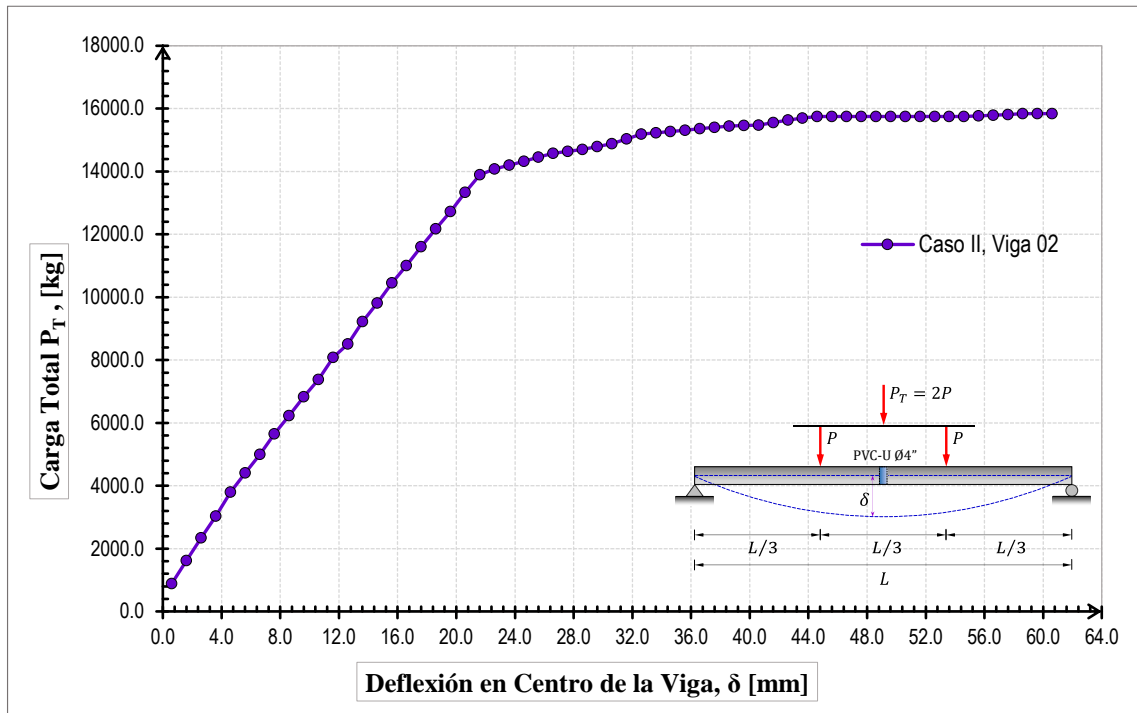
Regresión lineal (P_T vs δ) para la viga V-01, C-II



Nota: Elaboración propia.

Figura 36

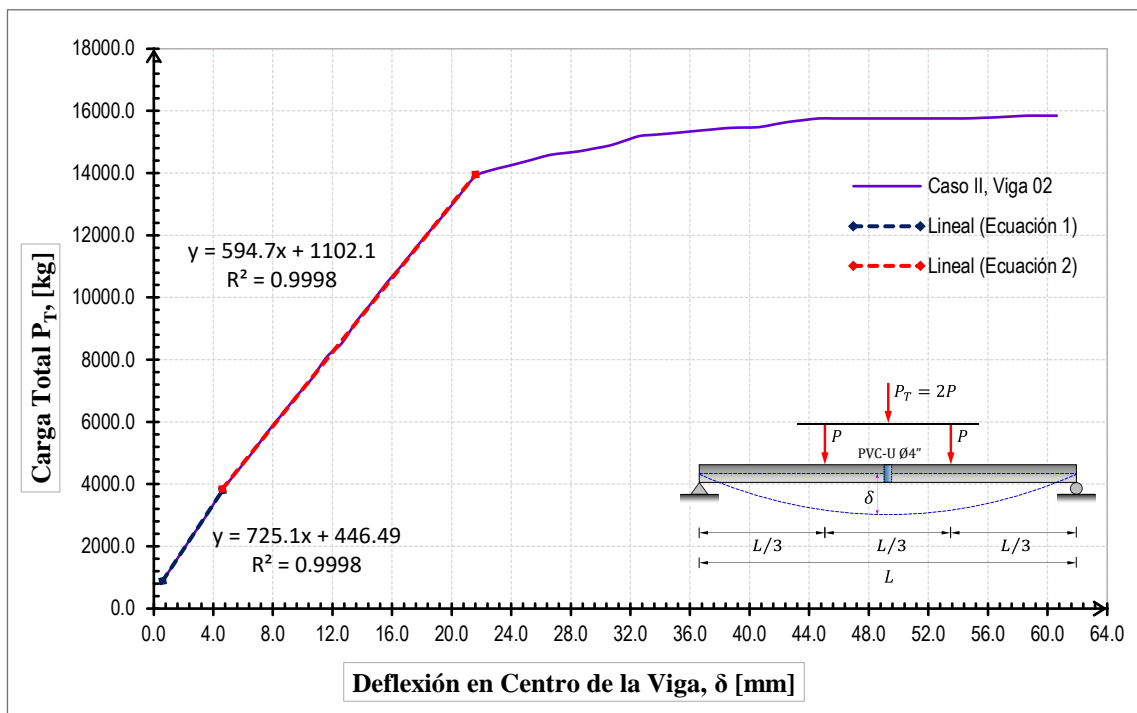
Relación de carga y deflexión para la viga V-02, C-II



Nota: Elaboración propia.

Figura 37

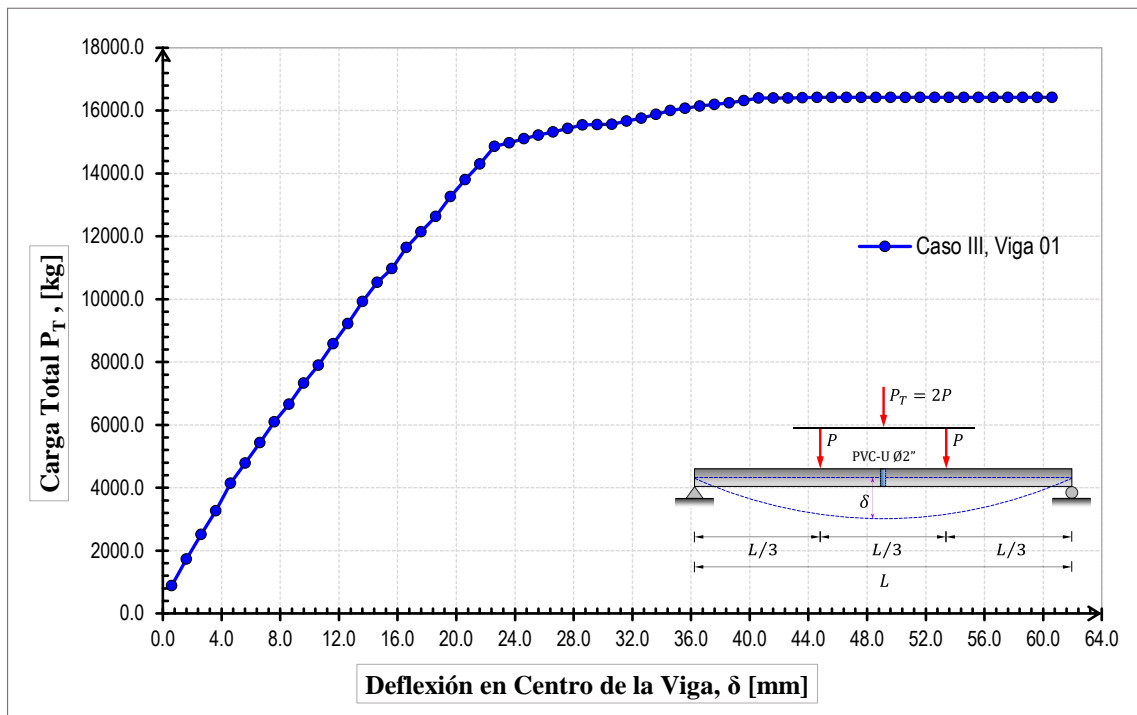
Regresión lineal (P_T vs δ) para la viga V-02, C-II



Nota: Elaboración propia.

Figura 38

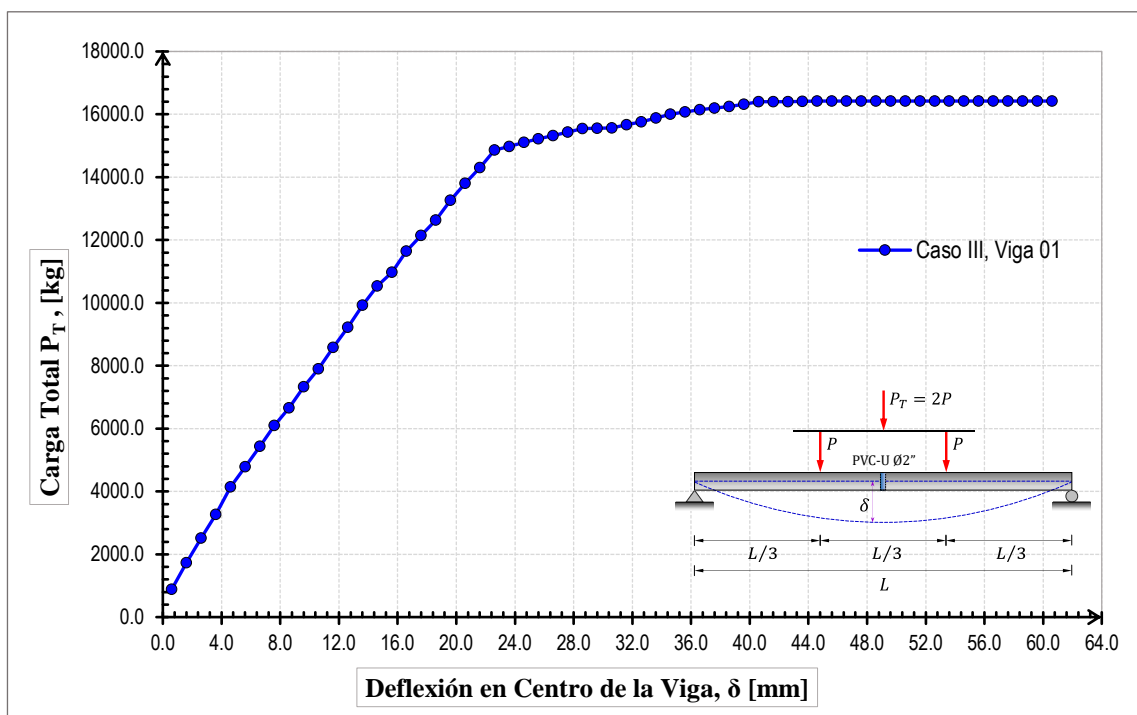
Relación de carga y deflexión para la viga V-01, C-III



Nota: Elaboración propia.

Figura 39

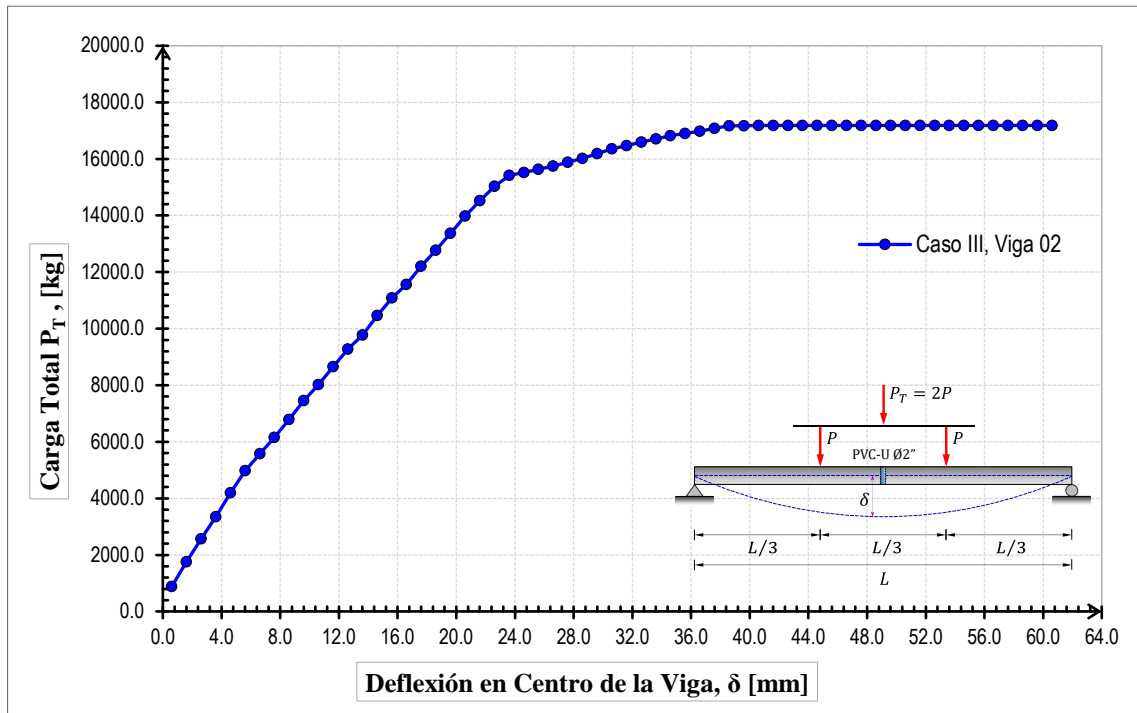
Regresión lineal (P_T vs δ) para la viga V-01, C-III



Nota: Elaboración propia.

Figura 40

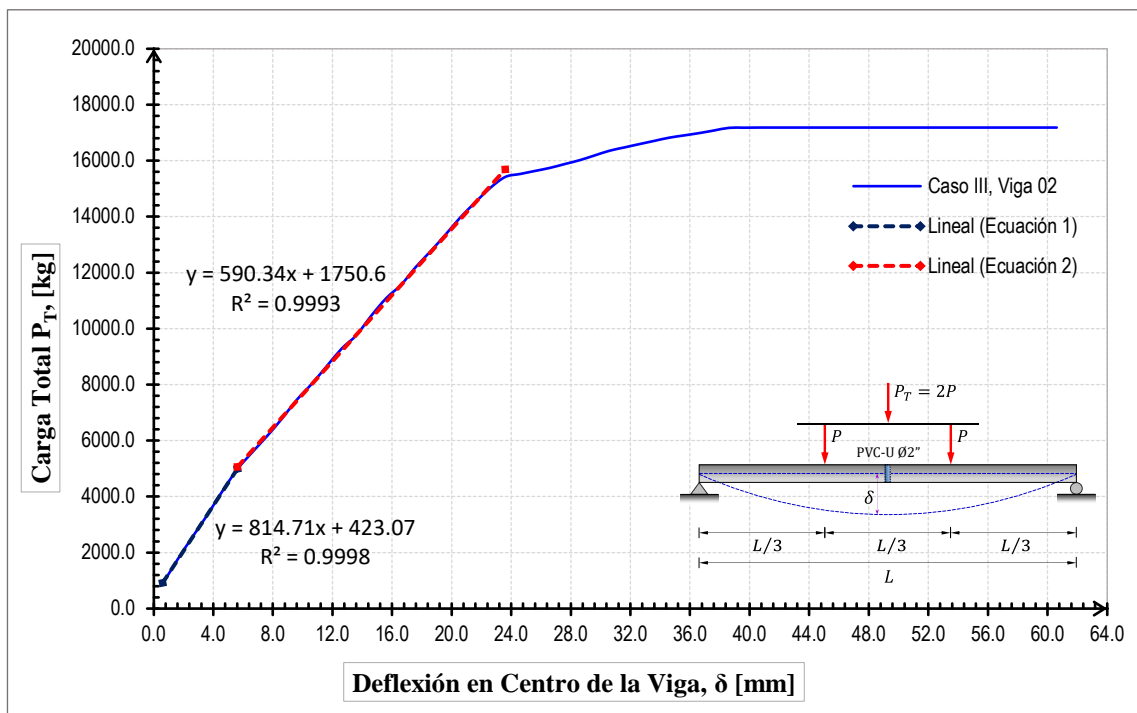
Relación de carga y deflexión para la viga V-02, C-III



Nota: Elaboración propia.

Figura 41

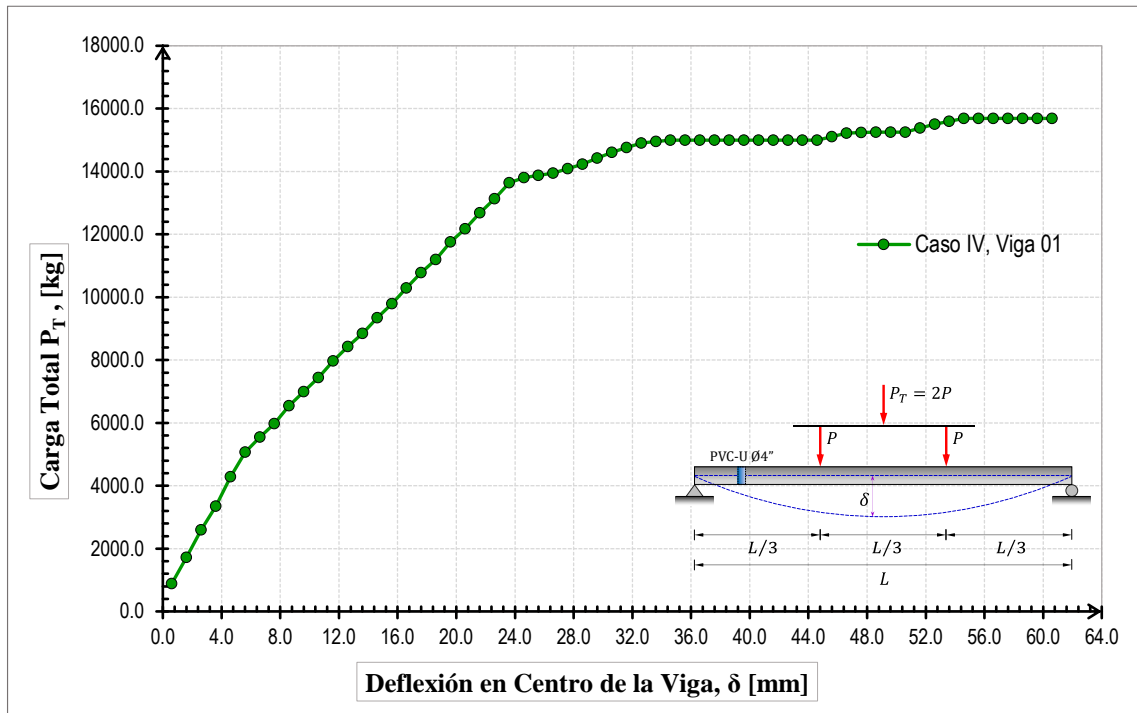
Regresión lineal (P_T vs δ) para la viga V-02, C-III



Nota: Elaboración propia.

Figura 42

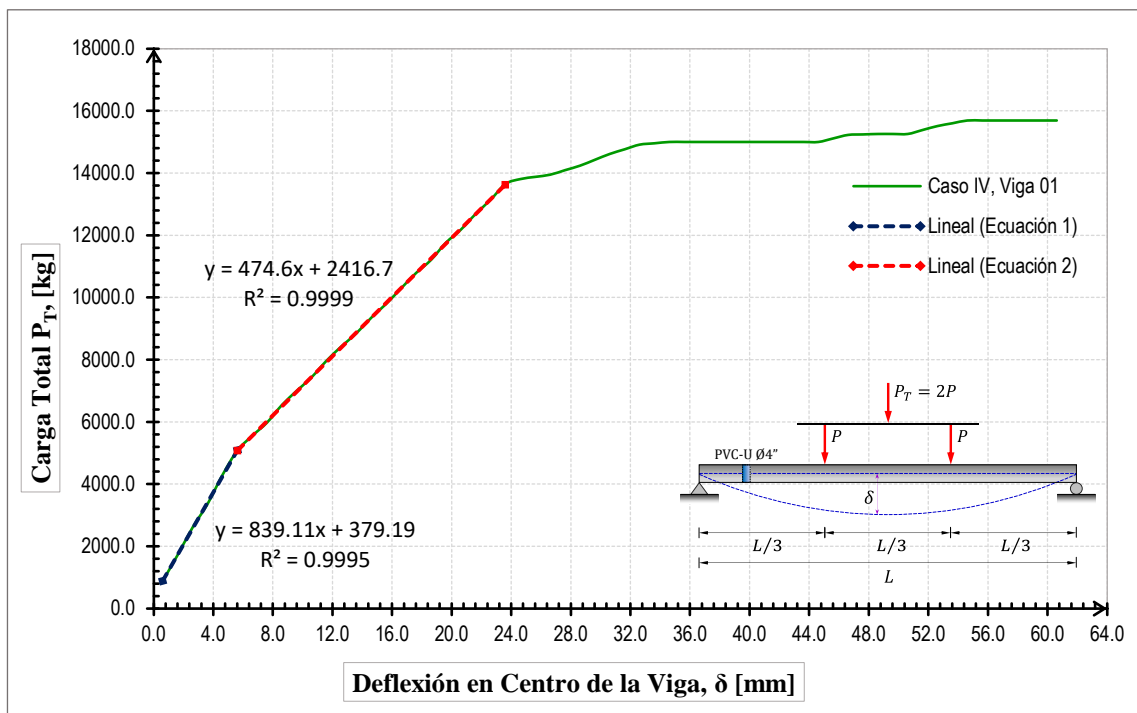
Relación de carga y deflexión para la viga V-01, C-IV



Nota: Elaboración propia.

Figura 43

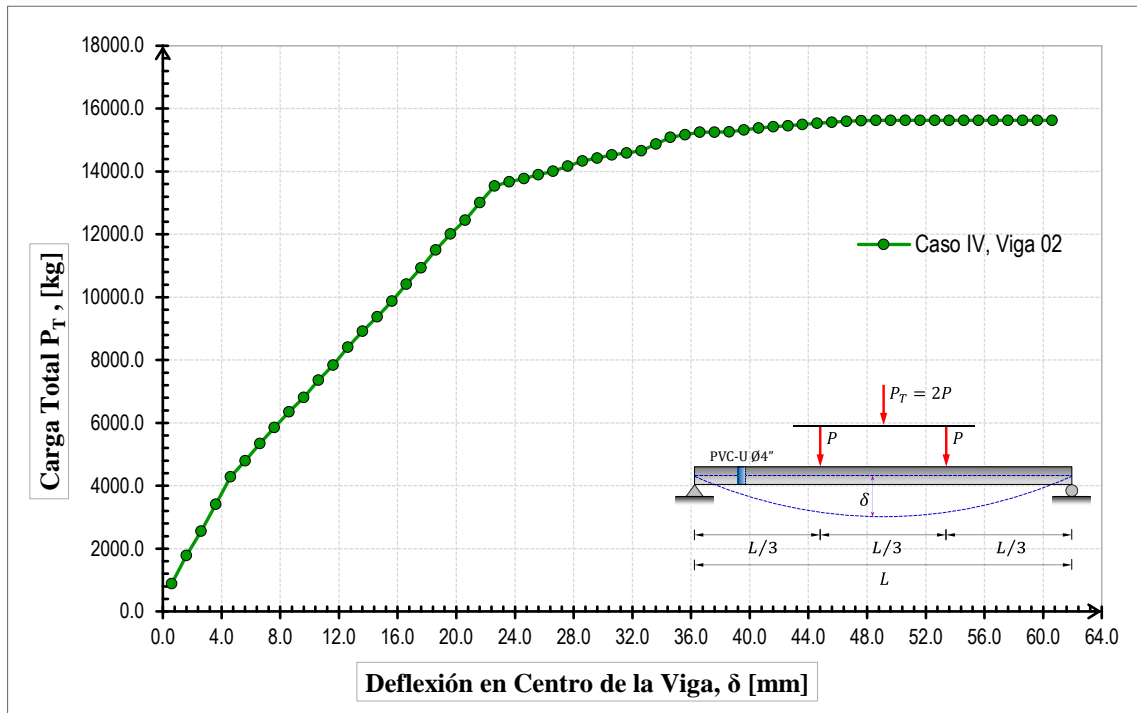
Regresión lineal (P_T vs δ) para la viga V-01, C-IV



Nota: Elaboración propia.

Figura 44

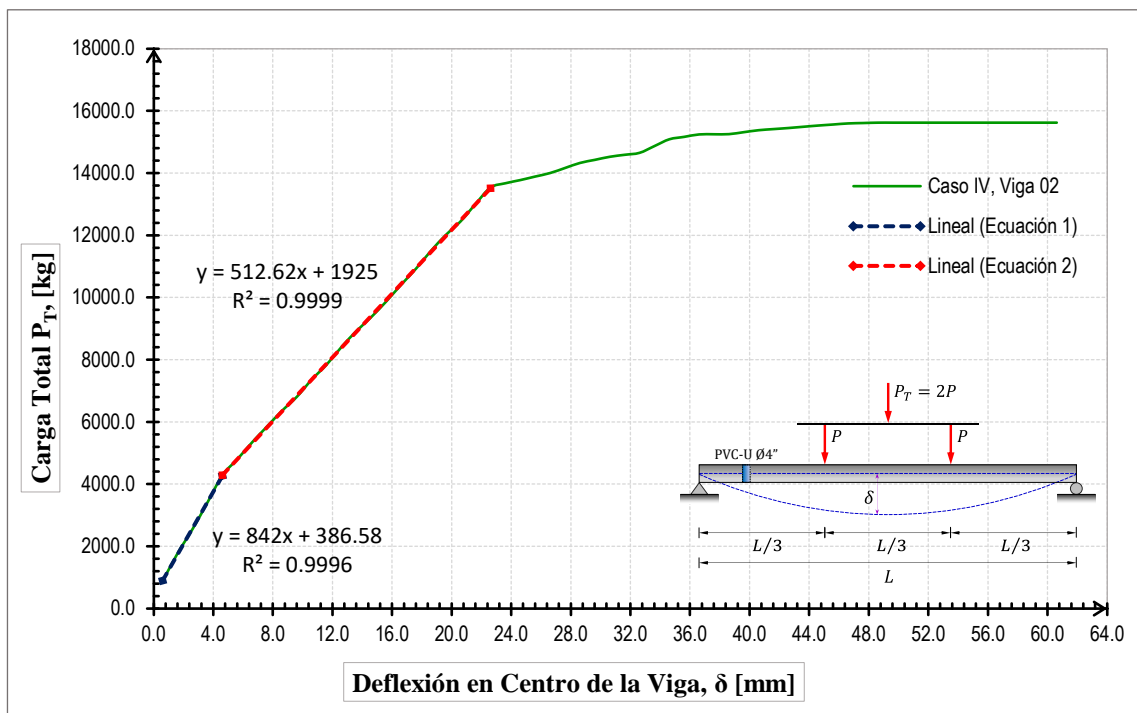
Relación de carga y deflexión para la viga V-02, C-IV



Nota: Elaboración propia.

Figura 45

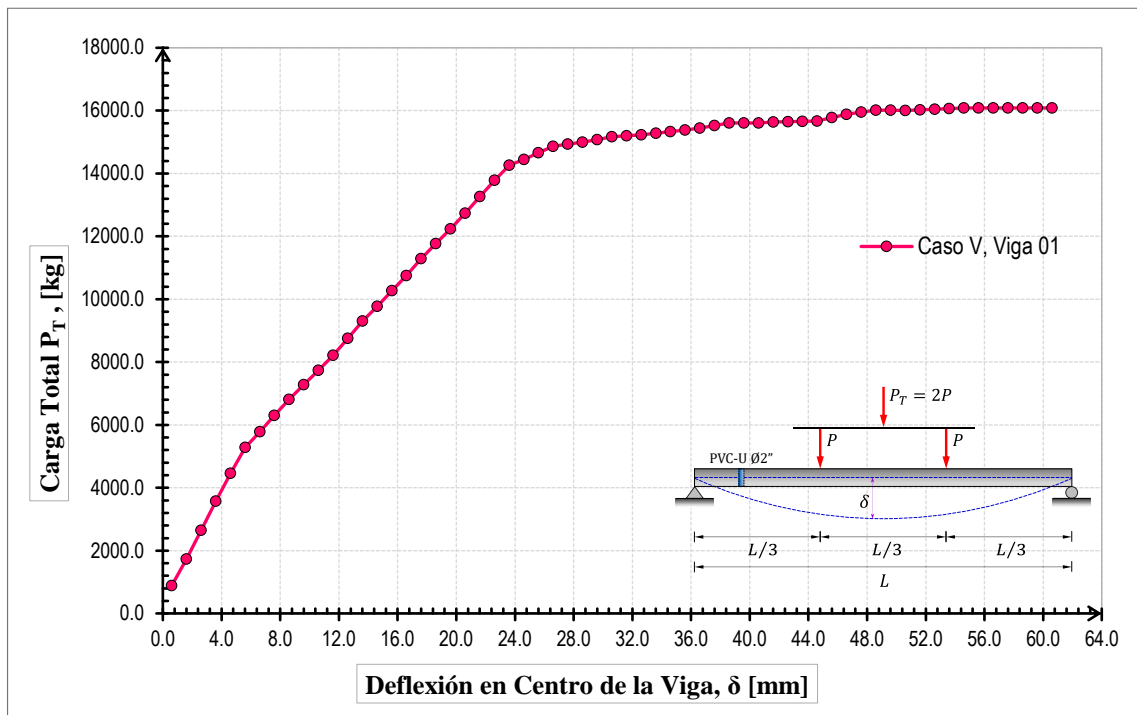
Regresión lineal (P_T vs δ) para la viga V-02, C-IV



Nota: Elaboración propia.

Figura 46

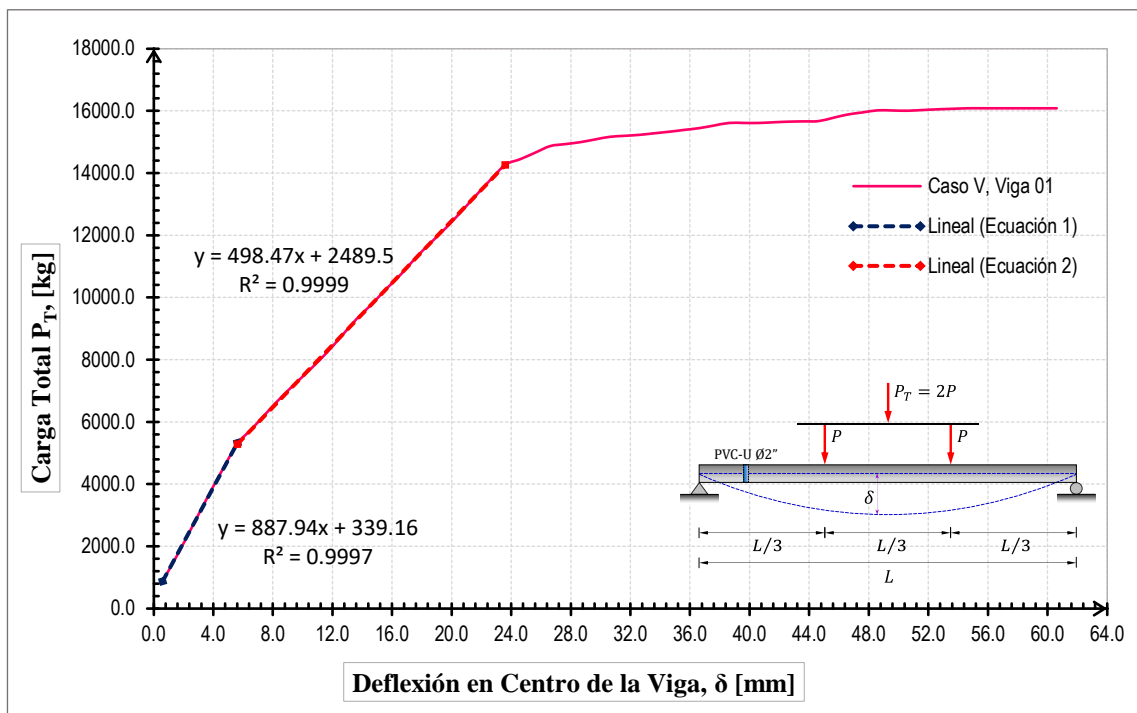
Relación de carga y deflexión para la viga V-01, C-V



Nota: Elaboración propia.

Figura 47

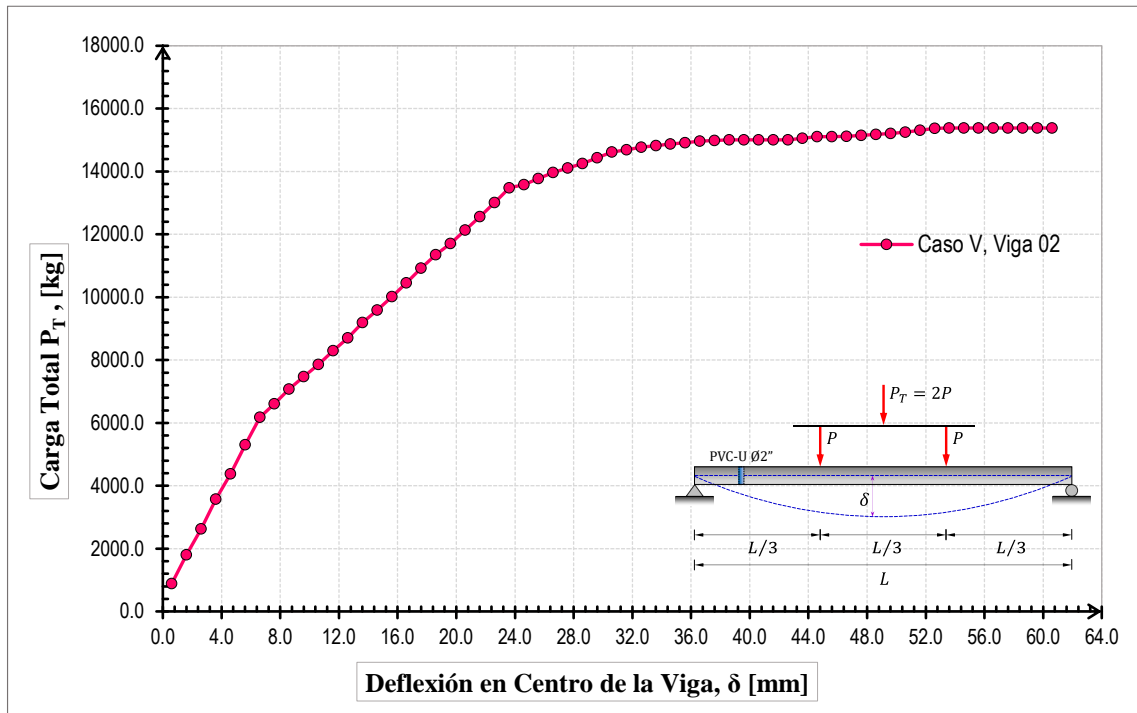
Regresión lineal (P_T vs δ) para la viga V-01, C-V



Nota: Elaboración propia.

Figura 48

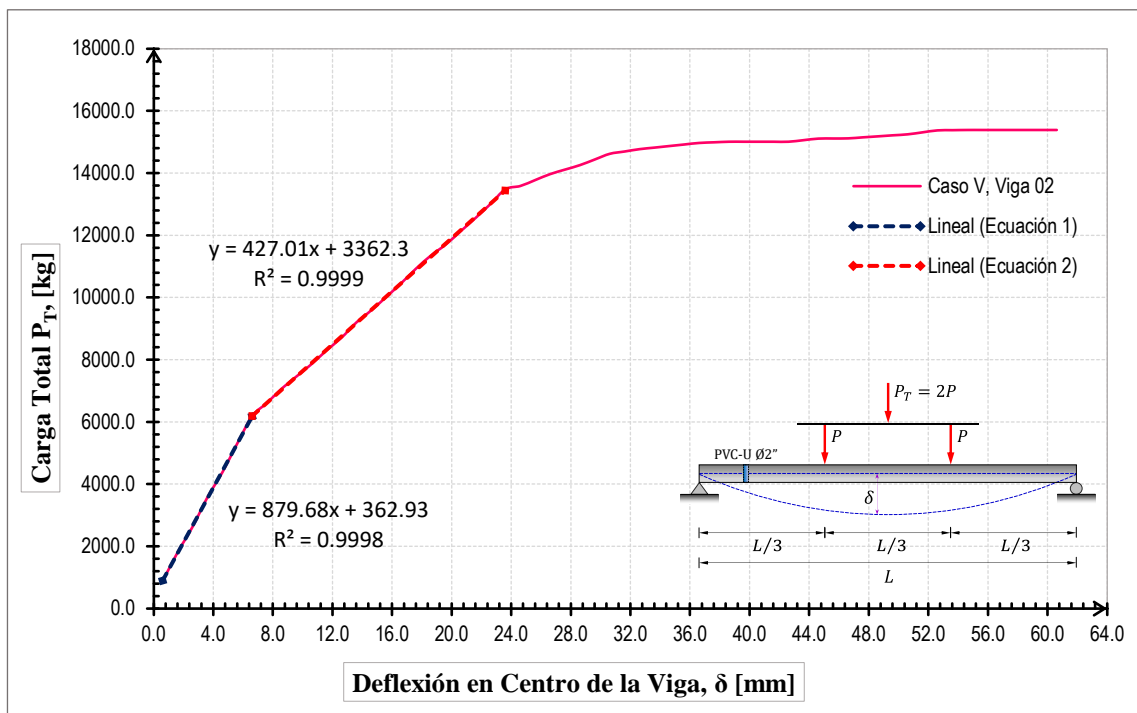
Relación de carga y deflexión para la viga V-02, C-V



Nota: Elaboración propia.

Figura 49

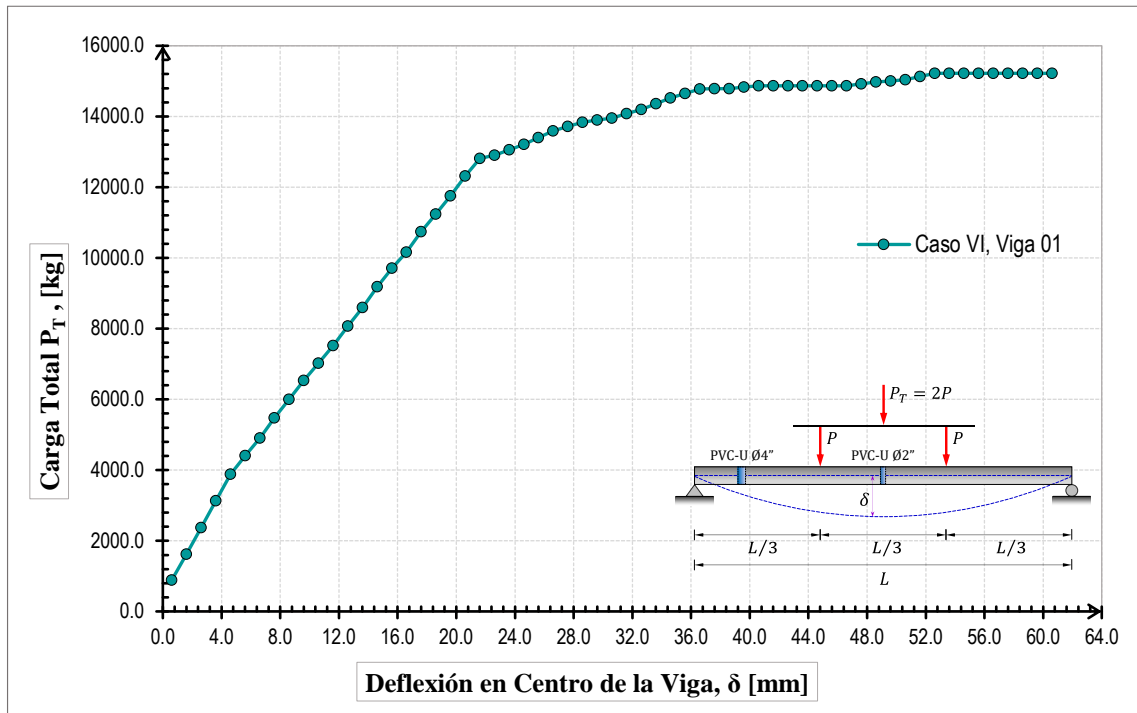
Regresión lineal (P_T vs δ) para la viga V-02, C-V



Nota: Elaboración propia.

Figura 50

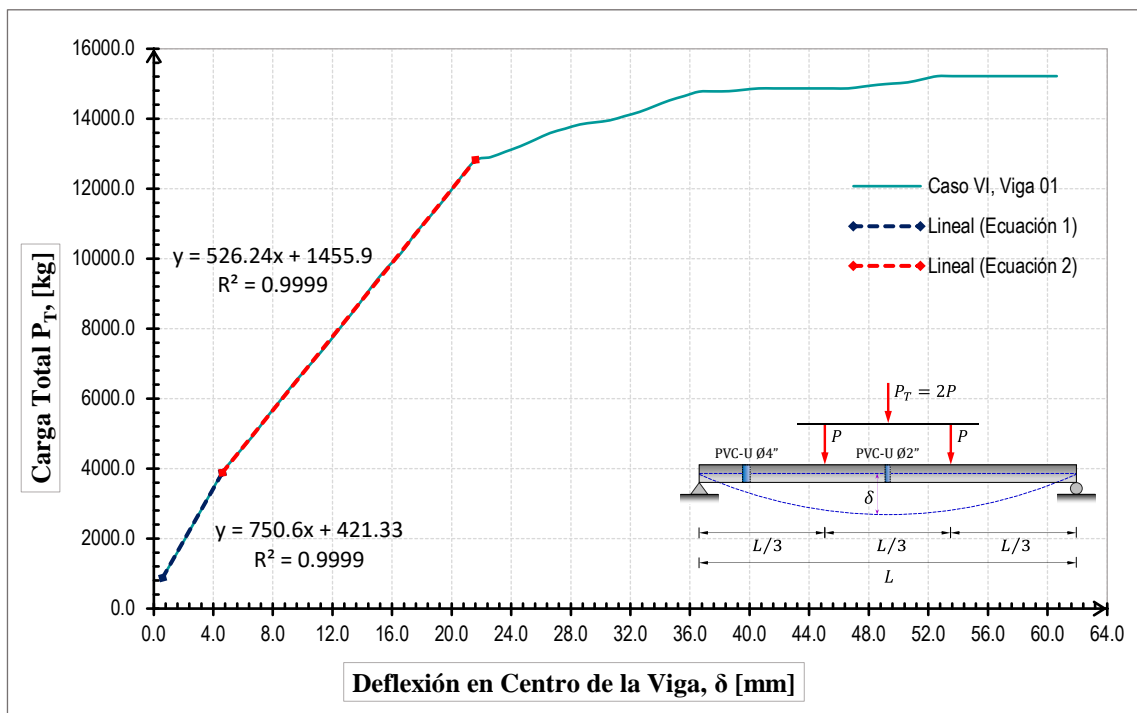
Relación de carga y deflexión para la viga V-01, C-VI



Nota: Elaboración propia.

Figura 51

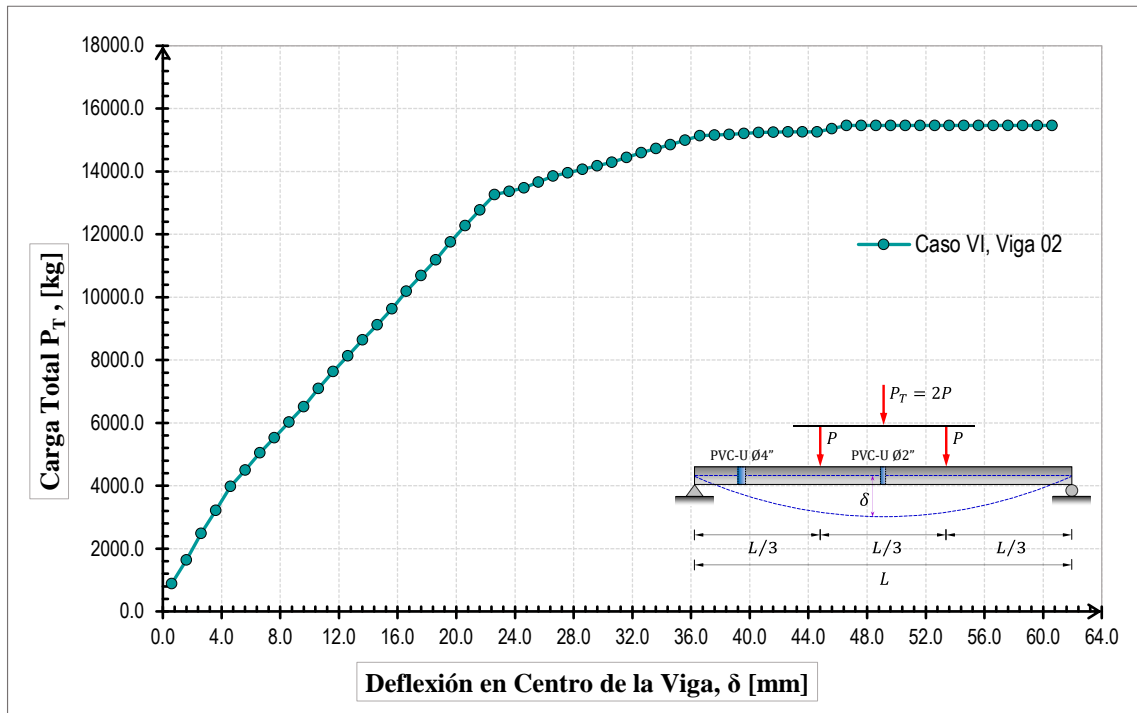
Regresión lineal (P_T vs δ) para la viga V-01, C-VI



Nota: Elaboración propia.

Figura 52

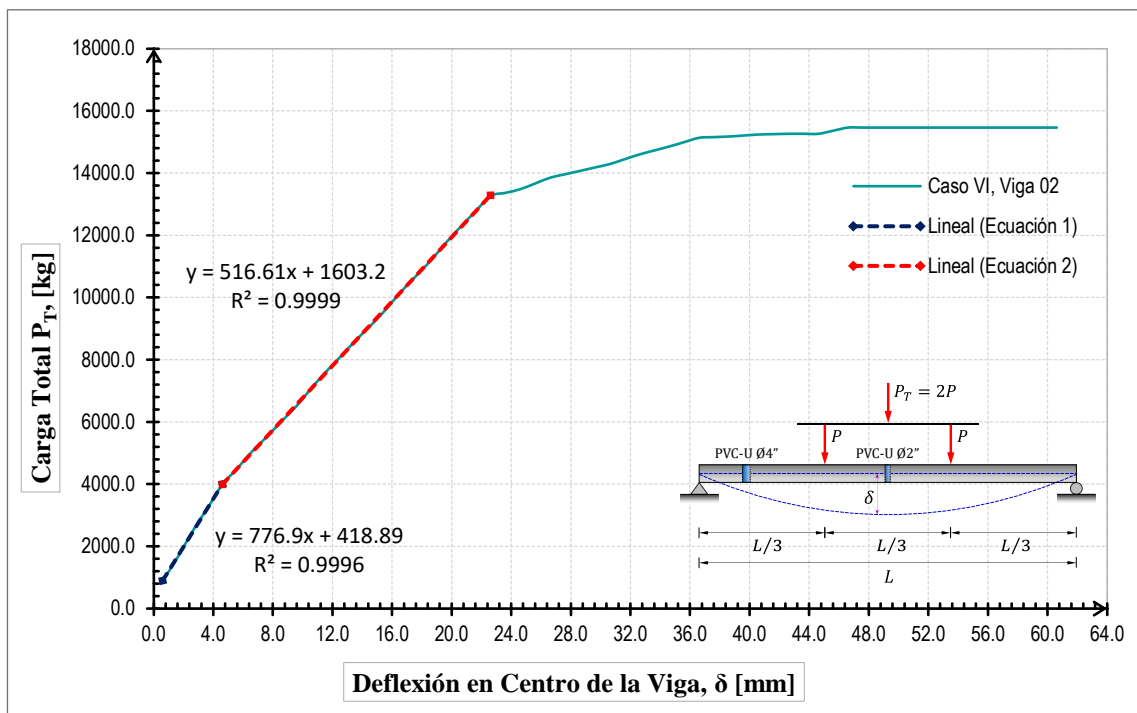
Relación de carga y deflexión para la viga V-02, C-VI



Nota: Elaboración propia.

Figura 53

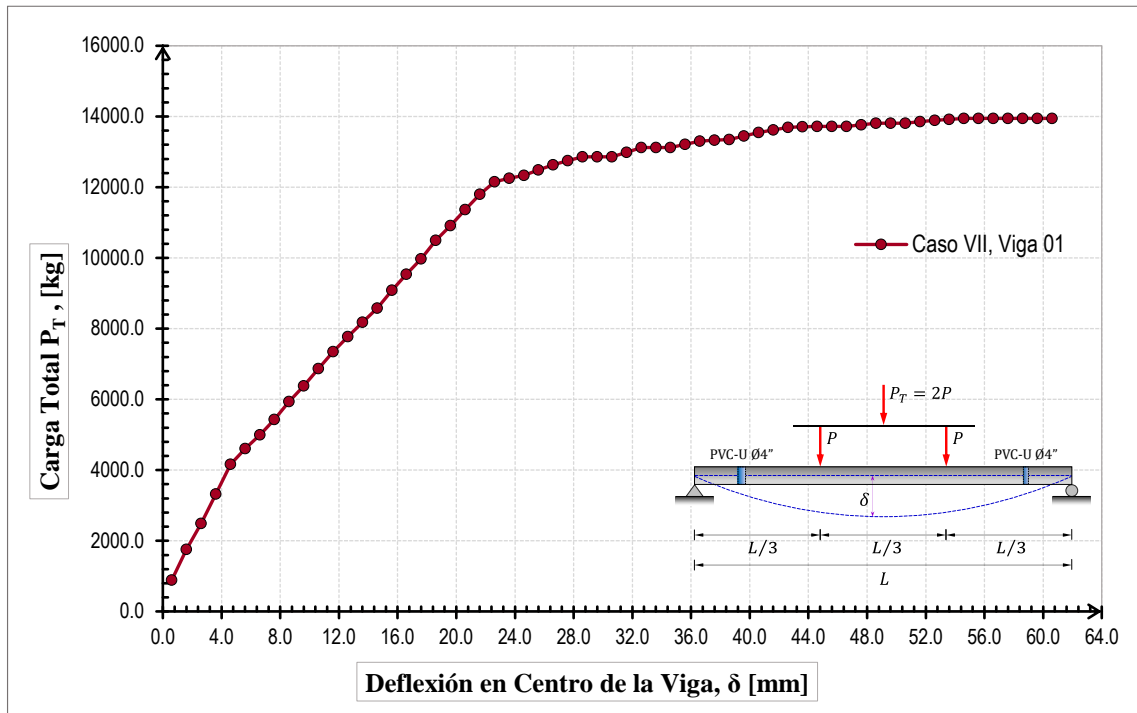
Regresión lineal (P_T vs δ) para la viga V-02, C-VI



Nota: Elaboración propia.

Figura 54

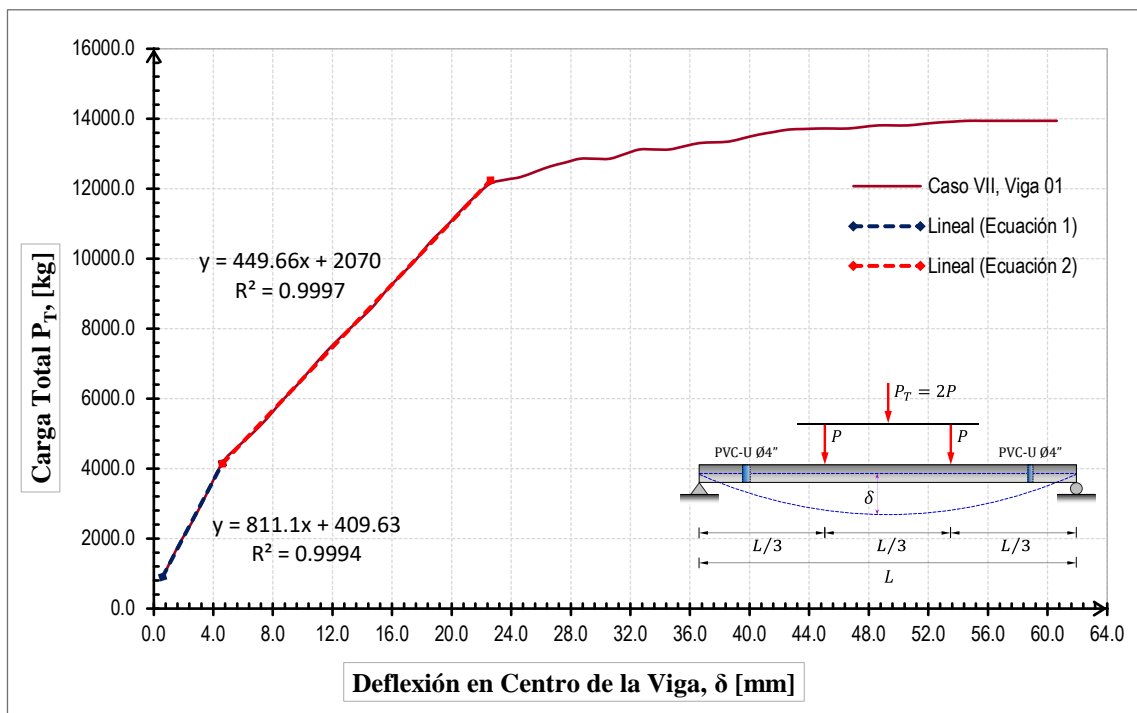
Relación de carga y deflexión para la viga V-01, C-VII



Nota: Elaboración propia.

Figura 55

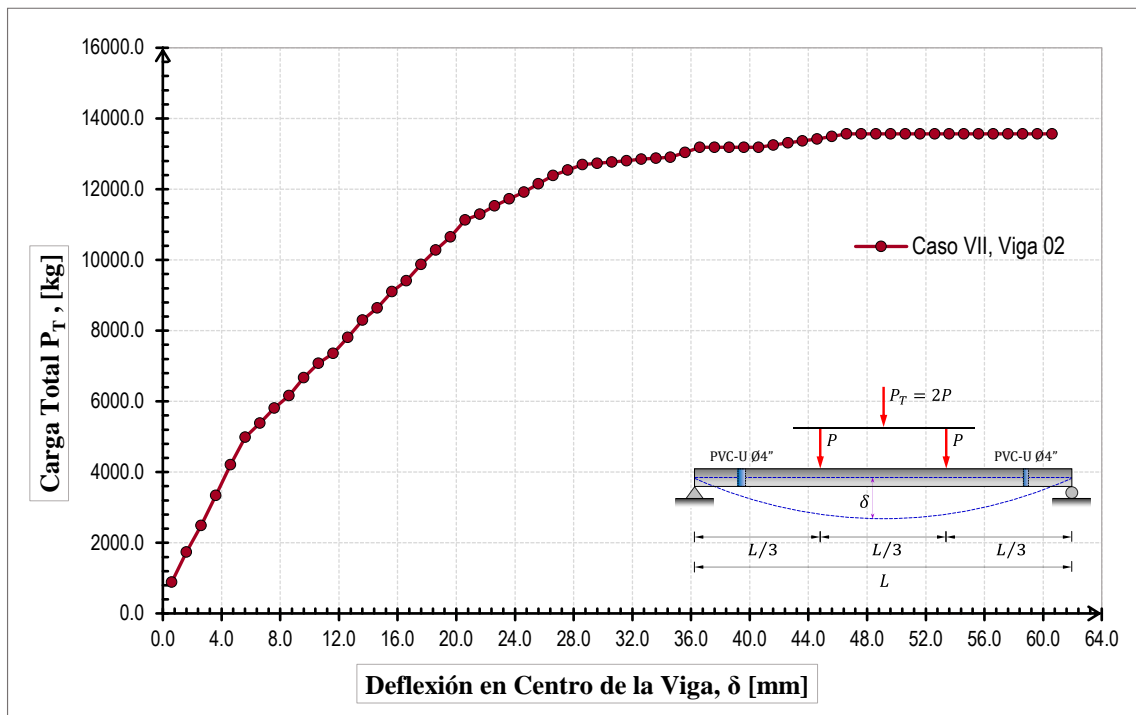
Regresión lineal (P_T vs δ) para la viga V-01, C-VII



Nota: Elaboración propia.

Figura 56

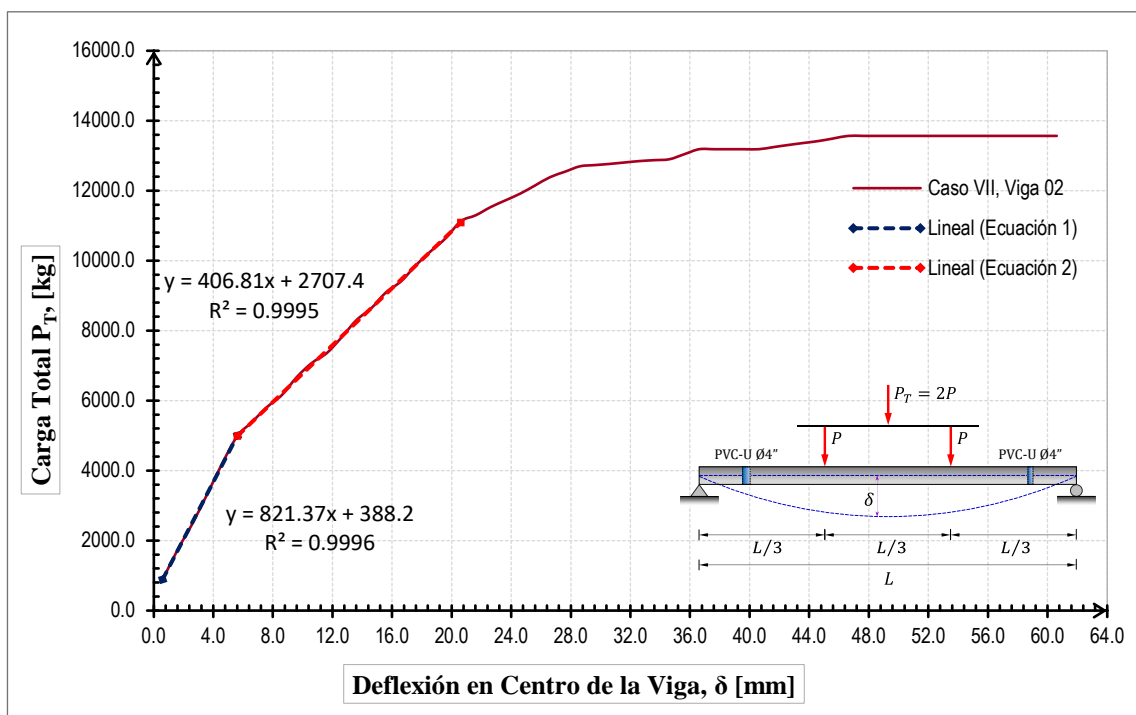
Relación de carga vs deflexión para la viga V-02, C-VII



Nota: Elaboración propia.

Figura 57

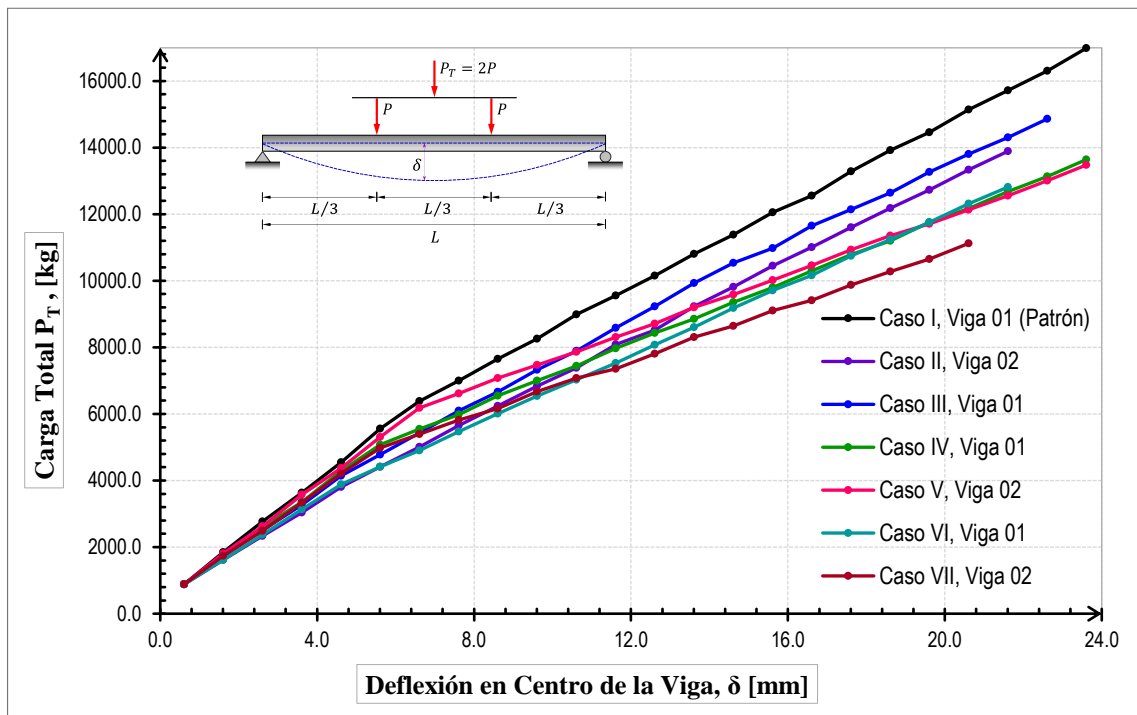
Regresión lineal (P_T vs δ) para la viga V-02, C-VII



Nota: Elaboración propia.

Figura 58

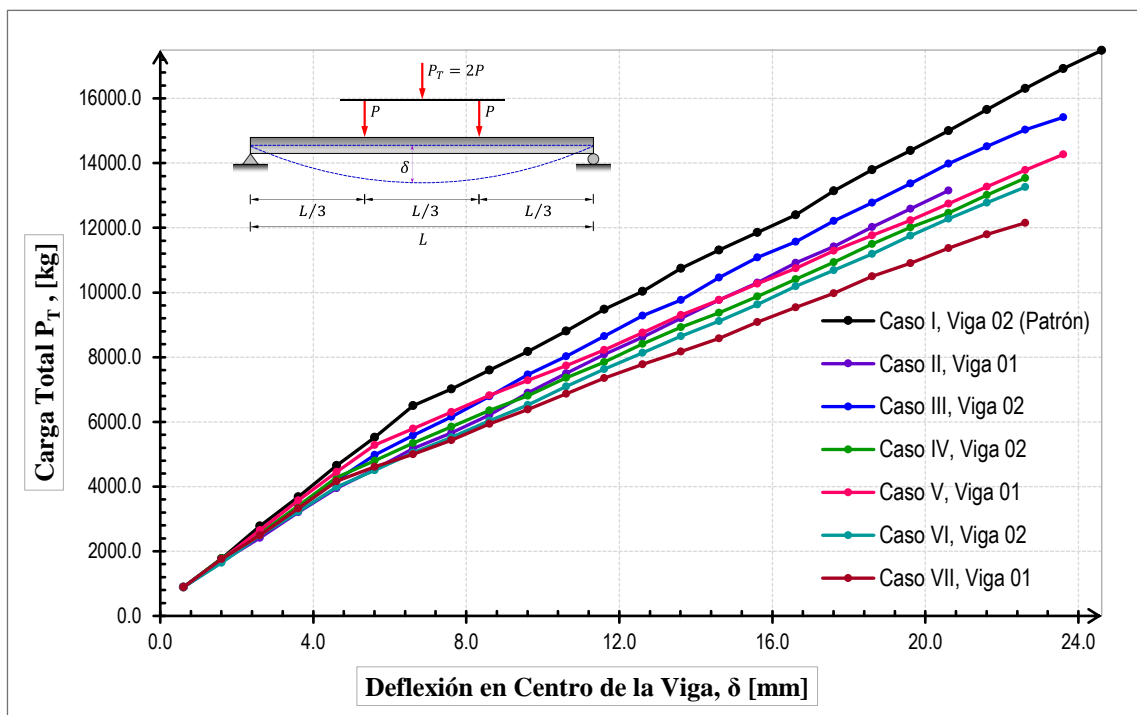
Comparación de carga vs deflexión para vigas menos favorables



Nota: Elaboración propia.

Figura 59

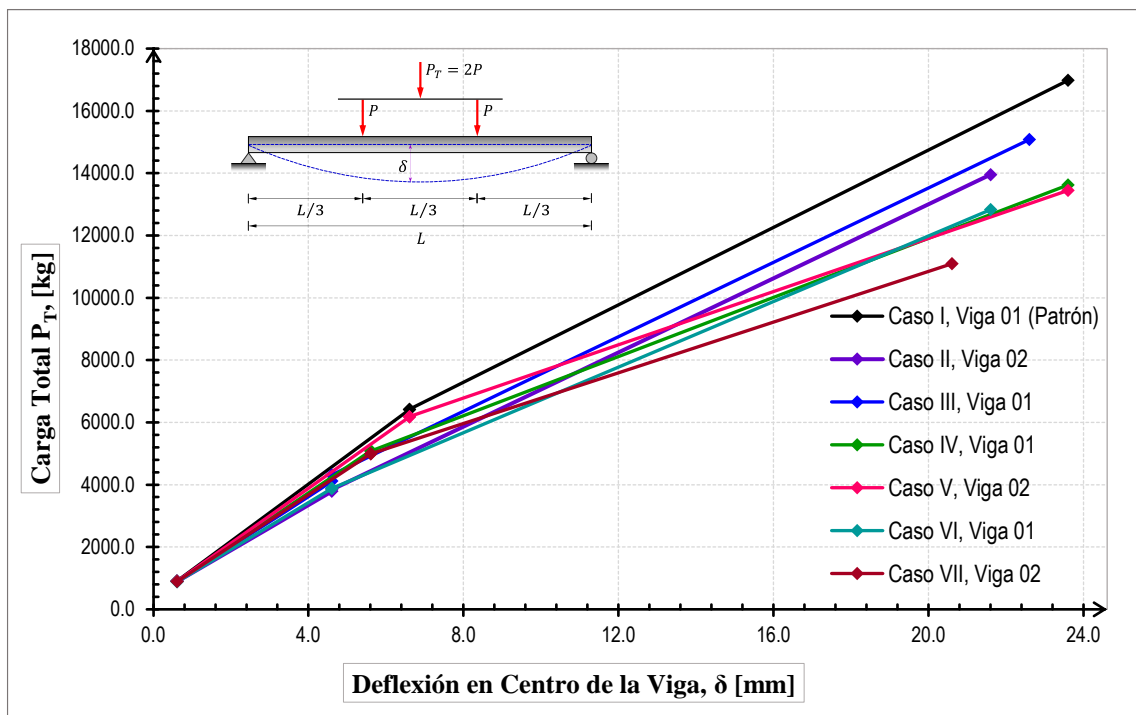
Comparación entre carga y deflexión para vigas más favorables



Nota: Elaboración propia.

Figura 60

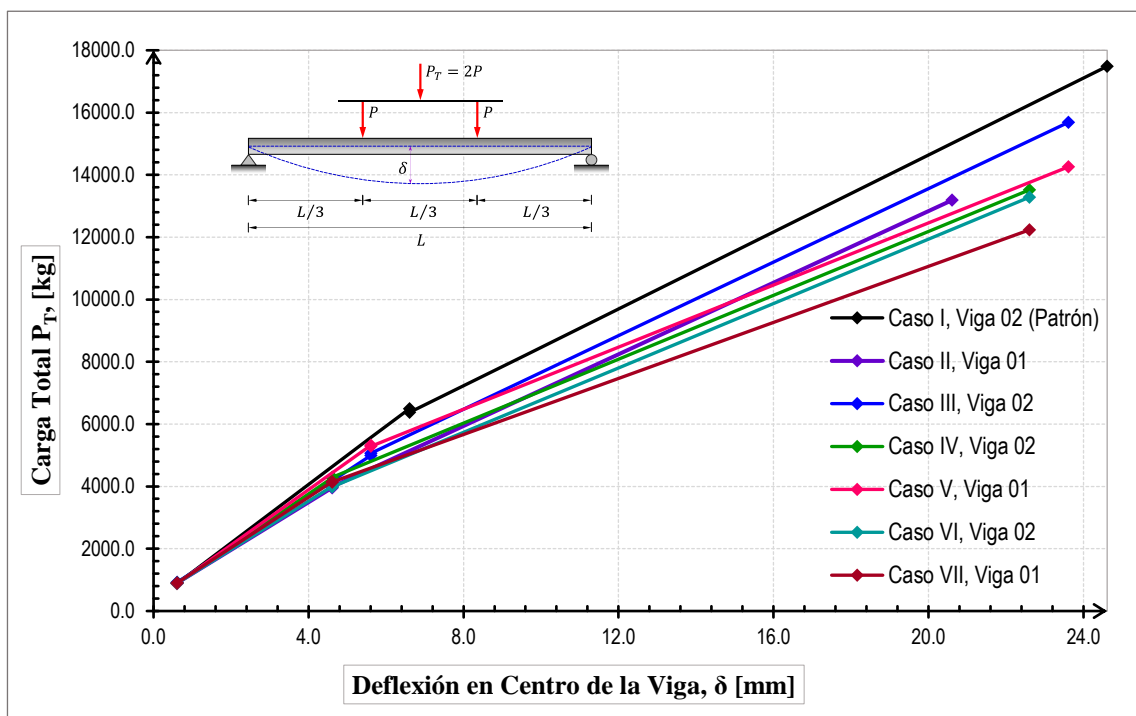
Comparación de regresión lineal (P_T y δ) para vigas menos favorables



Nota: Elaboración propia.

Figura 61

Comparación de regresión lineal (P_T vs δ) para vigas más favorables



Nota: Elaboración propia.

Además, se crearon la Figura 60 y la Figura 61 donde se observan todos los casos de estudio en una sola gráfica, pero esta vez mostrando únicamente las regresiones lineales y no los puntos experimentales. Similar a la Figura 58, la Figura 60 destaca los casos menos favorables, representando las pendientes más bajas entre las dos vigas de cada caso estudiado. En contraste, la Figura 61 muestra los casos más favorables, representando las regresiones con las mayores pendientes y comparándola con las pendientes de las vigas patrón.

4.2.2. Resistencia a la flexión de vigas de concreto armado

4.2.2.1. Eficiencia en relación con la carga de fluencia

La carga de fluencia " P_y " en el punto de fluencia. Representa el nivel de carga en el que se inicia la deformación plástica del material, es decir, el momento en que la viga deja de comportarse de manera elástica y comienza a experimentar deformaciones permanentes. En los ensayos de flexión de vigas de concreto armado, esta carga se identifica observando un cambio en la pendiente de la curva carga-deflexión, donde la relación lineal (zona elástica) comienza a alterarse, indicando el inicio del comportamiento plástico. Esto se ilustra en el punto de fluencia en la Figura 64, en donde se muestra el punto $(\delta_y; P_y)$ siendo P_y la carga de fluencia y δ_y es la deflexión de fluencia.

En la Tabla 30, se presenta un resumen de la carga de fluencia P_y para cada viga en estudio, correspondiente al momento en que se produce la fluencia del acero de refuerzo. Estos datos son cruciales para evaluar el comportamiento de las vigas.

Tabla 30*Carga de fluencia de los casos estudiados*

Caso en estudio	Viga	P_y (kgf)	δ_y (mm)
C-I	Viga 1	16,992.0	23.61
	Viga 2	17,488.0	24.61
C-II	Viga 1	13,155.0	20.61
	Viga 2	13,896.0	21.61
C-III	Viga 1	14,864.0	22.61
	Viga 2	15,420.0	23.61
C-IV	Viga 1	13,646.0	23.61
	Viga 2	13,540.0	22.61
C-V	Viga 1	14,268.0	23.61
	Viga 2	13,481.0	23.61
C-VI	Viga 1	12,816.0	21.61
	Viga 2	13,266.0	22.61
C-VII	Viga 1	12,151.0	22.61
	Viga 2	11,128.0	20.61

Nota: Elaboración propia.

En la Tabla 31 se presentan los datos numéricos correspondiente a las cargas de fluencia (P_y) obtenidas en los ensayos. En esta tabla se agrupan los valores mínimos y máximos de las cargas de fluencia para cada uno de los casos de estudio, que incluyen las vigas de concreto armado evaluadas. Además, se incluye el cálculo de la eficiencia promedio de las cargas de fluencia.

Al representar gráficamente los datos de la Tabla 31 en la Figura 62, se puede observar la variación de la eficiencia entre los diferentes casos estudiados. Los resultados muestran claramente que la inserción vertical de tuberías en las vigas afectó la resistencia a la fluencia en todos los casos analizados.

Tabla 31

Determinación de la eficiencia basada en la carga de fluencia

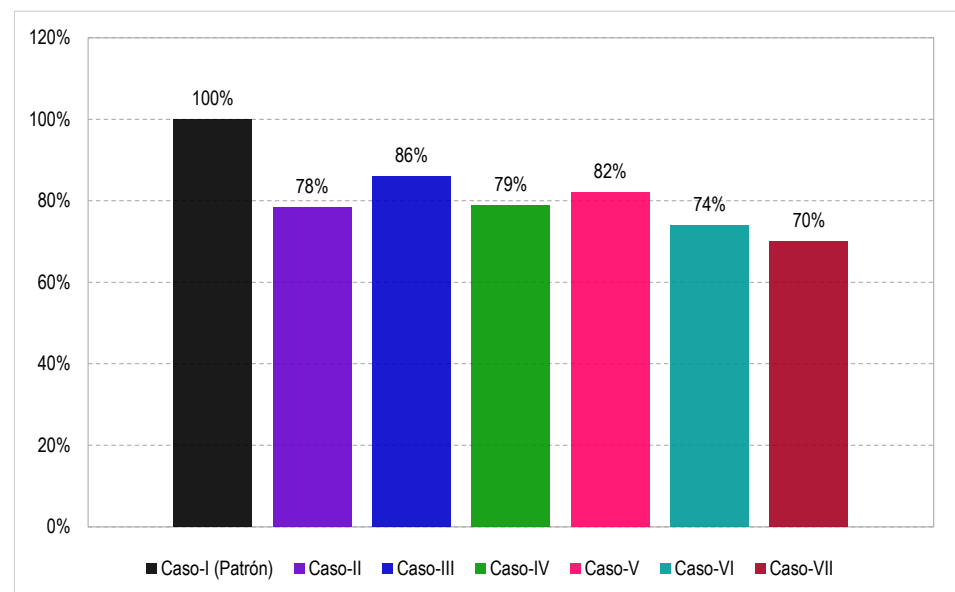
Caso en estudio	Cargas de fluencia (kgf)			Eficiencia promedio
	$P_{y_{max}}$	$P_{y_{min}}$	$P_{y_{promedio}}$	
Caso-I (Patrón)	17,488.00	16,992.00	17,240.00	100%
Caso-II	13,896.00	13,155.00	13,525.50	78%
Caso-III	15,420.00	14,864.00	15,142.00	86%
Caso-IV	13,646.00	13,540.00	13,593.00	79%
Caso-V	14,268.00	13,481.00	13,874.50	82%
Caso-VI	13,266.00	12,816.00	13,041.00	74%
Caso-VII	12,151.00	11,128.00	11,639.50	70%

Nota: Elaboración propia.

A partir de los valores mostrados en la Figura 62, se observa que el menos favorable resultó ser el Caso VII con una eficiencia del 70%, para este caso la inserción vertical de las tuberías PVC-U de 4" y 2" en las zonas donde predominan la mayor fuerza cortante (ambos lados de la viga).

Figura 62

Eficiencia, basado en la carga de fluencia



Nota: Elaboración propia.



- Para el Caso II, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 4" en la zona donde predomina el máximo momento flector resultó en una eficiencia del 78%, lo que implica una reducción del 22% en comparación con el Caso I (Patrón).
- Para el Caso III, que resulta ser el más favorable, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 2" en la zona donde predomina el máximo momento flector resultó en una eficiencia del 86%, lo que implica una reducción del 14% en comparación con el Caso I (Patrón).
- Para el Caso IV, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 4" en la zona donde predomina la mayor fuerza cortante resultó en una eficiencia del 79%, lo que implica una reducción del 21% en comparación con el Caso I (Patrón).
- Para el Caso V, que resulta ser el más favorable, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 2" en la zona donde predomina la mayor fuerza cortante resultó en una eficiencia del 82%, lo que implica una reducción del 18% en comparación con el Caso I (Patrón).
- Para el Caso VI, se evidencia que la inserción vertical de las tuberías PVC-U de 4" y 2" en las zonas donde predominan la mayor fuerza cortante y el máximo momento flector respectivamente, resultó en una eficiencia del 74%, lo que implica una reducción del 26% en comparación con el Caso I (Patrón).
- Para el Caso VII, que resulta ser el menos favorable, se evidencia que la inserción vertical de las tuberías PVC-U de 4" y 2" en las zonas

donde predominan la mayor fuerza cortante (ambos lados de la viga) resultó en una eficiencia del 70%, lo que implica una reducción del 30% en comparación con el Caso I (Patrón).

4.2.2.2. Eficiencia en relación con la carga del agrietamiento

La carga de agrietamiento (P_{cr}) es el nivel de carga aplicado en el que se inicia la formación de fisuras o grietas visibles en el concreto. Este punto marca el fin del comportamiento exclusivamente elástico del concreto.

En los ensayos de flexión, la carga de agrietamiento se identifica observando el primer punto de inflexión o cambio en la pendiente de la curva carga-deflexión. A partir de este punto, las deformaciones comienzan a aumentar más rápidamente bajo cargas adicionales. Esto se ilustra en el punto de fluencia en la Figura 64, el punto de agrietamiento se representa como $(\delta_{cr}; P_{cr})$ siendo P_{cr} la carga de agrietamiento y δ_{cr} es la deflexión correspondiente a este estado.

En la Tabla 32, se presenta un resumen de la carga de agrietamiento P_{cr} para cada viga ensayada, proporcionando un análisis claro de la resistencia inicial del concreto. Estos datos son cruciales para evaluar el comportamiento de las vigas.

Se presenta también la Tabla 33, construida a partir de los datos de la Tabla 32 correspondiente a las cargas de agrietamiento (P_{cr}). En la tabla, se agrupan los valores mínimos y máximos de cada caso, seguido por el cálculo de la eficiencia promedio correspondientes para cada caso.

Tabla 32

Carga de agrietamiento de los casos estudiados

Caso en estudio	Viga	P_{cr} (kgf)	δ_{cr} (mm)
C-I	Viga 1	6,385.00	6.61
	Viga 2	6,505.00	6.61
C-II	Viga 1	3,950.00	4.61
	Viga 2	3,805.00	4.61
C-III	Viga 1	4,145.00	4.61
	Viga 2	4,975.00	5.61
C-IV	Viga 1	5,075.00	5.61
	Viga 2	4,285.00	4.61
C-V	Viga 1	5,290.00	5.61
	Viga 2	6,185.00	6.61
C-VI	Viga 1	3,885.00	4.61
	Viga 2	3,985.00	4.61
C-VII	Viga 1	4,165.00	4.61
	Viga 2	4,985.00	5.61

Nota: Elaboración propia.

La Tabla 33, muestra la eficiencia promedio de casos en estudio.

Tabla 33

Determinación de la eficiencia basado en la carga de agrietamiento

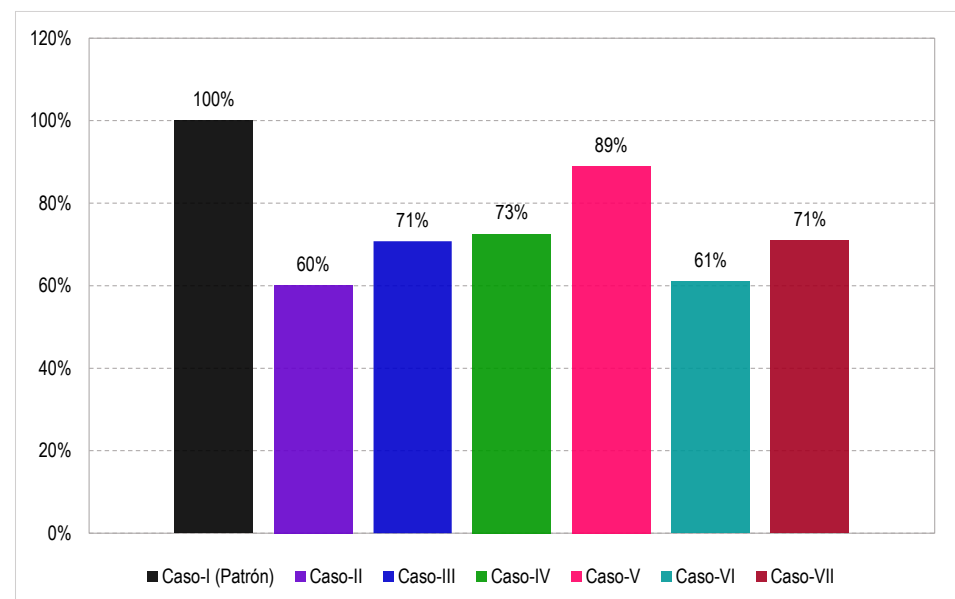
Caso en estudio	Cargas de agrietamiento (kgf)			Eficiencia promedio
	P_{cr_max}	P_{cr_min}	$P_{cr_promedio}$	
Caso-I (Patrón)	6,505.00	6,385.00	6,445.00	100%
Caso-II	3,950.00	3,805.00	3,877.50	60%
Caso-III	4,975.00	4,145.00	4,560.00	71%
Caso-IV	5,075.00	4,285.00	4,680.00	73%
Caso-V	6,185.00	5,290.00	5,737.50	89%
Caso-VI	3,985.00	3,885.00	3,935.00	61%
Caso-VII	4,985.00	4,165.00	4,575.00	71%

Nota: Elaboración propia.

Al representar los datos de la Tabla 33 en la ilustración de la Figura 63, se puede observar cómo la eficiencia varía entre los distintos casos estudiados en función de carga de agrietamiento (P_{cr}). Los resultados muestran que la inserción vertical de tuberías PVC-U en las vigas influyó de manera muy significativa en la resistencia prematura, reduciéndola en todos los casos analizados. El resultado menos favorable correspondió ser el Caso II con una eficiencia del 60%. En este caso la inserción vertical de la tubería PVC-U de 4" en el centro de luz de la viga coincidió con la zona de mayor momento flector, lo que incrementó la susceptibilidad al agrietamiento prematuro.

Figura 63

Eficiencia, basado en la carga de agrietamiento



Nota: Elaboración propia.

- Para el Caso II, que resulta ser el menos favorable, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 4" en la zona donde predomina el máximo momento flector resultó en una eficiencia del



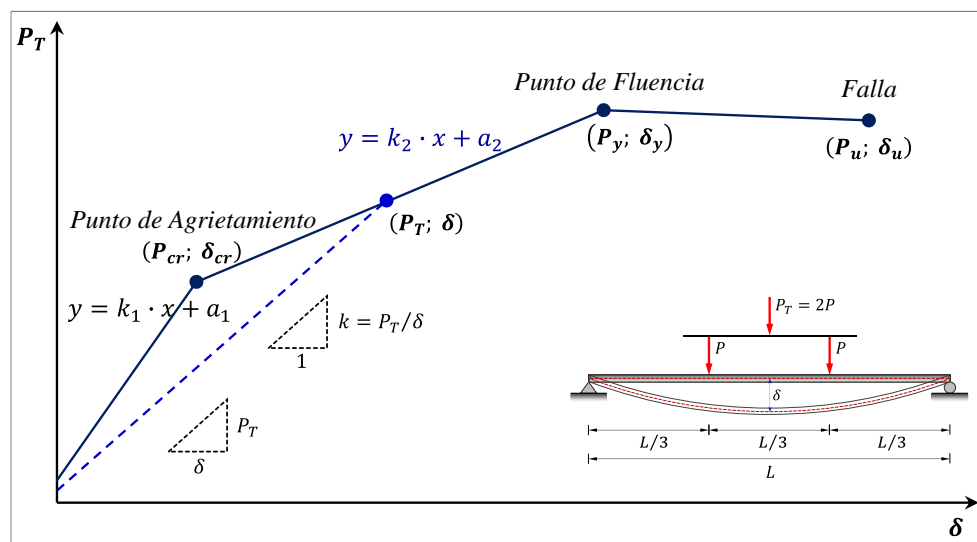
- 60%, lo que implica una reducción del 40% en comparación con el Caso I (Patrón).
- Para el Caso III, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 2" en la zona donde predomina el máximo momento flector resultó en una eficiencia del 71%, lo que implica una reducción del 29% en comparación con el Caso I (Patrón).
 - Para el Caso IV, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 4" en la zona donde predomina la mayor fuerza cortante resultó en una eficiencia del 73%, lo que implica una reducción del 27% en comparación con el Caso I (Patrón).
 - Para el Caso V, que resulta ser el más favorable, que resulta ser el más favorable, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 2" en la zona donde predomina la mayor fuerza cortante resultó en una eficiencia del 89%, lo que implica una reducción del 11% en comparación con el Caso I (Patrón).
 - Para el Caso VI, se evidencia que la inserción vertical de las tuberías PVC-U de 4" y 2" en las zonas donde predominan la mayor fuerza cortante y el máximo momento flector respectivamente, resultó en una eficiencia del 61%, lo que implica una reducción del 39% en comparación con el Caso I (Patrón).
 - Para el Caso VII, se evidencia que la inserción vertical de las tuberías PVC-U de 4" y 2" en las zonas donde predominan la mayor fuerza cortante (ambos lados de la viga) resultó en una eficiencia del 71%, lo que implica una reducción del 29% en comparación con el Caso I (Patrón).

4.2.3. Rigidez de las vigas de concreto armado en análisis

Para analizar la pérdida de rigidez en las vigas de concreto armado en estudio, es esencial establecer algunas ecuaciones fundamentales que permitan validar los modelos matemáticos utilizados en esta investigación. Como se ha mencionado previamente en las gráficas (desde la Figura 30 hasta la Figura 57) se observó un punto de quiebre claramente definido, representado por las coordenadas $(P_{cr}; \delta_{cr})$, tal como se muestra en la Figura 64.

Figura 64

Ilustración grafica de los resultados empíricos



Nota: Elaboración propia.

Como se ilustra en la Figura 64 se obtuvieron dos rectas con pendientes, obtenidas a partir de las regresiones lineales realizadas en las gráficas (desde la Figura 30 hasta la Figura 57). El punto de intersección de estas dos rectas, $(\delta_{cr}; P_{cr})$ representa el punto de quiebre, conocido como el punto de agrietamiento. En la Figura 64, se presenta gráficamente la definición de rigidez "k", representada por la pendiente de la línea que se extiende cerca al origen de coordenadas. Matemáticamente, la rigidez "k" se define como:

$$k = \frac{P_T}{\delta} \quad (36)$$

Con la asistencia del diagrama representado en la Figura 64, se derivan las ecuaciones necesarias que se quiere abarcar el rango completo de valores de carga, desde el punto inicial hasta el punto de falla como Cabrera (2011) lo describe.

$$P_T = k_1 \cdot \delta + a_1 \quad (0 \leq P_T \leq P_{cr}) \quad (37)$$

$$P_T = k_2 \cdot \delta + a_2 \quad (P_{cr} \leq P_T \leq P_y) \quad (38)$$

$$P_T = P_y \quad (P_y \leq P_T \leq P_u) \quad (39)$$

Intervalo ($0 \leq P_T \leq P_{cr}$)

Para el intervalo ($0 \leq P_T \leq P_{cr}$), la rigidez para este intervalo sería igual al valor de la constante k_1 , para esto se tiene lo siguiente.

$$P_T = k_1 \cdot \delta + a_1 \quad (40)$$

Dividimos la ecuación (40) entre δ , es decir:

$$\frac{P_T}{\delta} = k_1 + \frac{a_1}{\delta} \quad (41)$$

La rigidez de una viga de concreto armado puede expresarse en términos de la deflexión mediante la relación $k = P_T/\delta$, se puede deducir a la rigidez de la viga, en términos de su deflexión, como:

$$k_{(\delta)} = k_1 + \frac{a_1}{\delta} \quad (42)$$

A partir de las ecuaciones (37) y (42), es posible despejar el valor de δ en función de P_T . Deduciendo, se podría determinar la rigidez de la viga en relación con la carga aplicada. Este análisis permite comprender cómo varía la rigidez de la viga en respuesta a diferentes niveles de carga aplicada.

$$k_{(\delta)} = k_1 \left(1 + \frac{1}{\frac{P_T}{a_1} - 1} \right) \quad (43)$$

Esta ecuación resultante es válida para el rango $(0 \leq P_T \leq P_{cr})$, donde P_{cr} representa la carga crítica o punto de quiebre de la viga.

Intervalo $(P_{cr} \leq P_T \leq P_y)$

De la misma forma para el intervalo $(P_{cr} \leq P_T \leq P_y)$, la rigidez para este intervalo sería igual al valor de la constante k_2 , se define:

$$P_T = k_2 \cdot \delta + a_2 \quad (44)$$

De la misma forma se establece la ecuación (45) para calcular la rigidez de la viga en relación con la carga, aplicándola en el intervalo de $(P_{cr} \leq P_T \leq P_y)$.

$$k_{(\delta)} = k_2 \left(1 + \frac{1}{\frac{P_T}{a_2} - 1} \right) \quad (45)$$

Intervalo $(P_y \leq P_T \leq P_u)$

Para el rango $(P_y \leq P_T \leq P_u)$, el valor de P_T , se mantiene constante, se infiere que la rigidez de la viga, en relación con la deflexión, se define como:

$$k_{(\delta)} = \frac{P_y}{\delta} \quad (46)$$

Esta ecuación es válida para el rango de $(P_y \leq P_T \leq P_u)$.

Con las ecuaciones proporcionadas, se podrá calcular la rigidez de la viga en cualquier momento de carga o deflexión, dado que los valores

de las constantes a_1 y a_2 fueron establecidos previamente. Además, será posible evaluar la rigidez en cada instante empleando la ecuación mencionada previamente, dado que tanto la carga como la deflexión, que se registraron durante el ensayo, están disponibles para su análisis. Lo notable de lo mencionado previamente radica en la posibilidad de medir y calcular simultáneamente el valor de la rigidez para cada punto de carga. Esto posibilitará la comparación entre el modelo y los datos experimentales, lo que permitirá una evaluación cuantitativa.

Desde la Figura 65 hasta la Figura 78 se tienen gráficos que representan la rigidez de las vigas estudiadas en relación con la carga aplicada, comparando los valores medidos de la Tabla 34 con los obtenidos mediante los modelos de las ecuaciones (43) y (45). Los valores que se muestran en la Tabla 34 se presentan valores de la rigidez de las vigas estudiadas en diferentes instantes de carga a las que fueron aplicadas. La carga considerada corresponde hasta el punto de fluencia, tal como se ilustra en la Figura 64. Este análisis se realizó para cada uno de los casos propuestos en esta investigación, permitiendo evaluar la variación de la rigidez en función de las cargas aplicadas.

También se elaboraron la Figura 79 y la Figura 80, donde se representan todos los casos de estudio en un solo gráfico. En la Figura 79 se muestran los casos menos favorables; es decir, aquellos con los valores más bajos para cada caso de estudio, en comparación con las vigas patrón. Por otro lado, en la Figura 80 se encuentran los casos más favorables, correspondientes a las vigas con los mayores valores de rigidez, comparadas con las vigas patrón.

Tabla 34

Rigidez de las vigas de estudio en diferentes instantes de carga

Caso I, Viga 01	Caso I, Viga 02	Caso II, Viga 01	Caso II, Viga 02	Caso III, Viga 01	Caso III, Viga 02	Caso IV, Viga 01	Caso IV, Viga 02
P_T (kgf) k (kgf/mm)	P_T (kgf) k (kgf/mm)	P_T (kgf) k (kgf/mm)	P_T (kgf) k (kgf/mm)	P_T (kgf) k (kgf/mm)	P_T (kgf) k (kgf/mm)	P_T (kgf) k (kgf/mm)	P_T (kgf) k (kgf/mm)
890.00	1,459.02	890.00	1,459.02	890.00	1,459.02	890.00	1,459.02
1,847.00	1,147.20	1,777.00	1,103.73	1,684.00	1,045.96	1,619.00	1,005.59
2,770.00	1,061.30	2,786.00	1,067.43	2,414.00	924.90	2,341.00	896.93
3,632.00	1,006.09	3,680.00	1,019.39	3,211.00	889.47	3,040.00	842.11
4,547.00	986.33	4,650.00	1,008.68	3,950.00	856.83	3,805.00	825.38
5,553.00	989.84	5,524.00	984.67	4,536.00	808.56	4,411.00	786.27
6,385.00	965.96	6,505.00	984.11	5,172.00	782.45	5,006.00	757.34
6,999.00	919.71	7,015.00	921.81	5,659.00	743.63	5,654.00	742.97
7,649.00	888.39	7,598.00	882.46	6,218.00	722.18	6,237.00	724.39
8,258.00	859.31	8,178.00	850.99	6,894.00	717.38	6,838.00	711.55
8,989.00	847.22	8,804.00	829.78	7,501.00	706.97	7,384.00	695.95
9,560.00	823.43	9,478.00	816.37	8,089.00	696.73	8,084.00	696.30
10,152.00	805.08	10,039.00	796.11	8,624.00	683.90	8,518.00	675.50
10,806.00	793.98	10,747.00	789.64	9,201.00	676.05	9,227.00	677.96
11,382.00	779.06	11,308.00	773.99	9,764.00	668.31	9,815.00	671.80
12,054.00	772.20	11,853.00	759.32	10,303.00	660.03	10,452.00	669.57
12,558.00	756.05	12,399.00	746.48	10,920.00	657.44	11,004.00	662.49
13,287.00	754.51	13,146.00	746.51	11,423.00	648.67	11,603.00	658.89
13,923.00	748.15	13,795.00	741.27	12,021.00	645.94	12,177.00	654.33
14,455.00	737.12	14,387.00	733.66	12,591.00	642.07	12,731.00	649.21
15,140.00	734.59	14,999.00	727.75	13,155.00	638.28	13,334.00	646.97
15,716.00	727.26	15,654.00	724.39			13,896.00	643.04
16,305.00	721.14	16,308.00	721.27				
16,992.00	719.70	16,918.00	716.56			14,864.00	657.41
		17,488.00	710.61				
						15,420.00	653.11
						13,137.00	581.03
						13,646.00	577.98

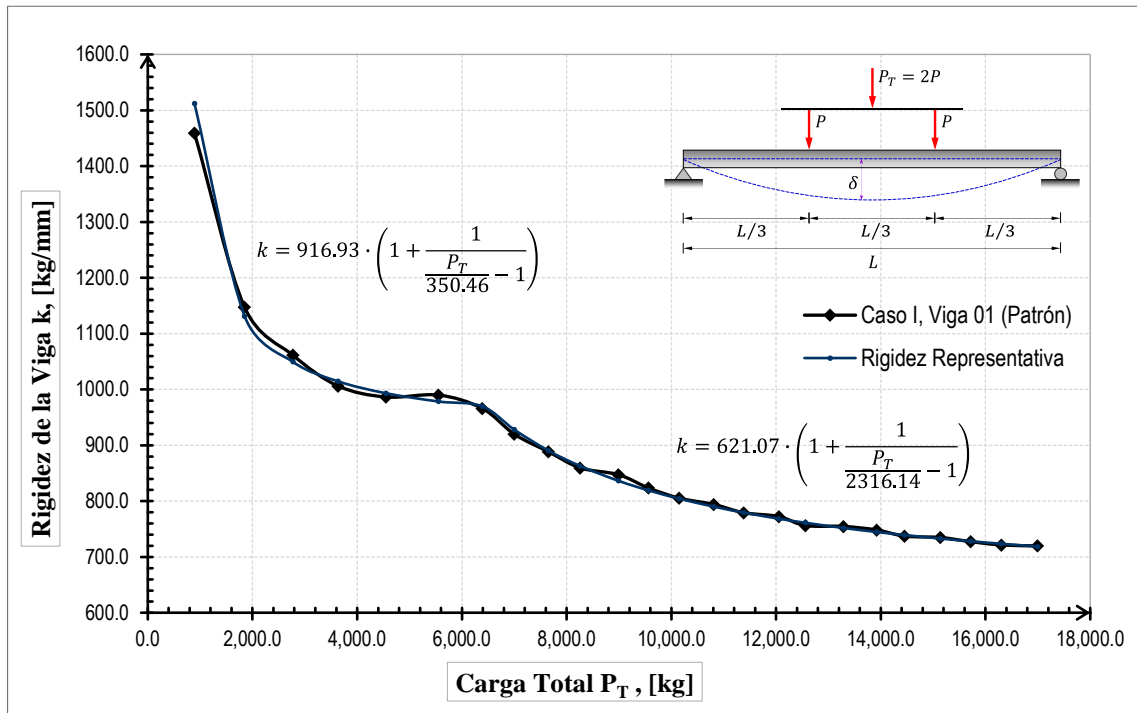
(...continúa)

Caso V, Viga 01		Caso V, Viga 02		Caso VI, Viga 01		Caso VI, Viga 02		Caso VII, Viga 01		Caso VII, Viga 02	
P_T (kgf)	k (kgf/mm)	P_T (kgf)	k (kgf/mm)	P_T (kgf)	k (kgf/mm)	P_T (kgf)	k (kgf/mm)	P_T (kgf)	k (kgf/mm)	P_T (kgf)	k (kgf/mm)
890.00	1,459.02	890.00	1,459.02	890.00	1,459.02	890.00	1,459.02	890.00	1,459.02	890.00	1,459.02
1,739.00	1,080.12	1,808.00	1,122.98	1,619.00	1,005.59	1,646.00	1,022.36	1,761.00	1,093.79	1,738.00	1,079.50
2,652.00	1,016.09	2,627.00	1,006.51	2,373.00	909.20	2,487.00	952.87	2,495.00	955.94	2,490.00	954.02
3,576.00	990.58	3,577.00	990.86	3,135.00	868.42	3,225.00	893.35	3,322.00	920.22	3,341.00	925.48
4,457.00	966.81	4,377.00	949.46	3,885.00	842.73	3,985.00	864.43	4,165.00	903.47	4,212.00	913.67
5,290.00	942.96	5,306.00	945.81	4,411.00	786.27	4,501.00	802.32	4,612.00	822.10	4,985.00	888.59
5,787.00	875.49	6,185.00	935.70	4,908.00	742.51	5,052.00	764.30	4,998.00	756.13	5,391.00	815.58
6,309.00	829.04	6,613.00	868.99	5,473.00	719.19	5,527.00	726.28	5,432.00	713.80	5,816.00	764.26
6,818.00	791.87	7,077.00	821.95	6,005.00	697.44	6,034.00	700.81	5,935.00	689.31	6,161.00	715.56
7,281.00	757.65	7,471.00	777.42	6,537.00	680.23	6,521.00	678.56	6,379.00	663.79	6,675.00	694.59
7,737.00	729.22	7,864.00	741.19	7,026.00	662.21	7,101.00	669.27	6,872.00	647.69	7,075.00	666.82
8,222.00	708.18	8,303.00	715.16	7,526.00	648.23	7,635.00	657.62	7,351.00	633.16	7,355.00	633.51
8,759.00	694.61	8,709.00	690.64	8,074.00	640.29	8,133.00	644.96	7,779.00	616.89	7,807.00	619.11
9,306.00	683.76	9,200.00	675.97	8,603.00	632.11	8,650.00	635.56	8,179.00	600.96	8,303.00	610.07
9,772.00	668.86	9,589.00	656.33	9,184.00	628.61	9,119.00	624.16	8,578.00	587.13	8,642.00	591.51
10,277.00	658.36	10,019.00	641.83	9,713.00	622.23	9,632.00	617.04	9,090.00	582.32	9,103.00	583.15
10,752.00	647.32	10,458.00	629.62	10,164.00	611.92	10,191.00	613.55	9,536.00	574.11	9,411.00	566.59
11,290.00	641.11	10,930.00	620.67	10,747.00	610.28	10,692.00	607.16	9,974.00	566.38	9,875.00	560.76
11,768.00	632.35	11,351.00	609.94	11,241.00	604.03	11,195.00	601.56	10,497.00	564.05	10,277.00	552.23
12,235.00	623.92	11,705.00	596.89	11,756.00	599.49	11,758.00	599.59	10,911.00	556.40	10,648.00	542.99
12,742.00	618.24	12,134.00	588.74	12,319.00	597.72	12,279.00	595.78	11,371.00	551.72	11,128.00	539.93
13,271.00	614.11	12,560.00	581.21	12,816.00	593.06	12,779.00	591.35	11,798.00	545.95		
13,786.00	609.73	13,010.00	575.41			13,266.00	586.73	12,151.00	537.42		
14,268.00	604.32	13,481.00	570.99								

Nota: Elaboración propia.

Figura 65

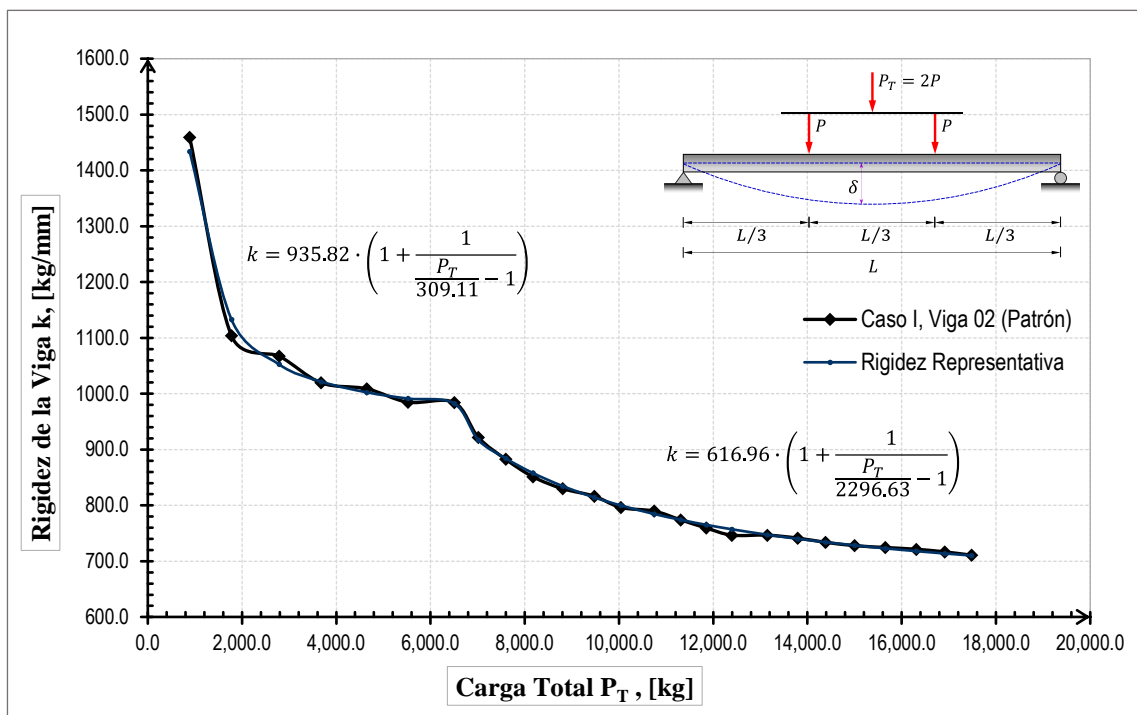
Relación rigidez vs carga P_T , para la viga patrón V-01, C-I



Nota: Elaboración propia.

Figura 66

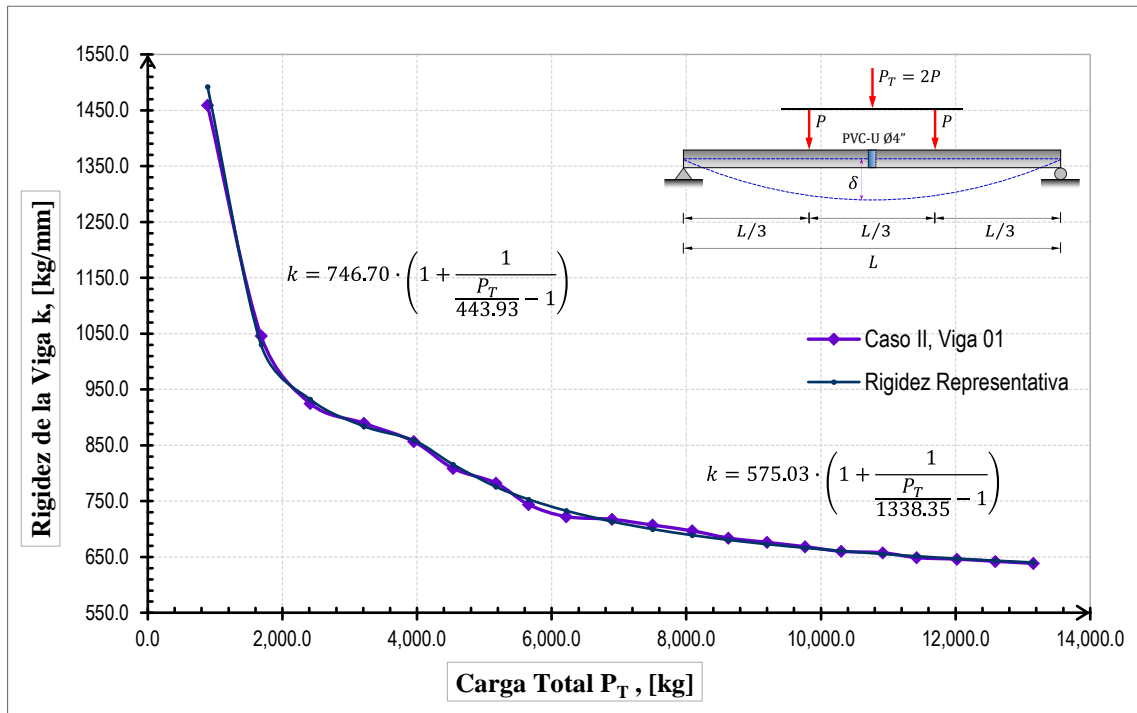
Relación rigidez vs carga P_T , para la viga patrón V-02, C-I



Nota: Elaboración propia.

Figura 67

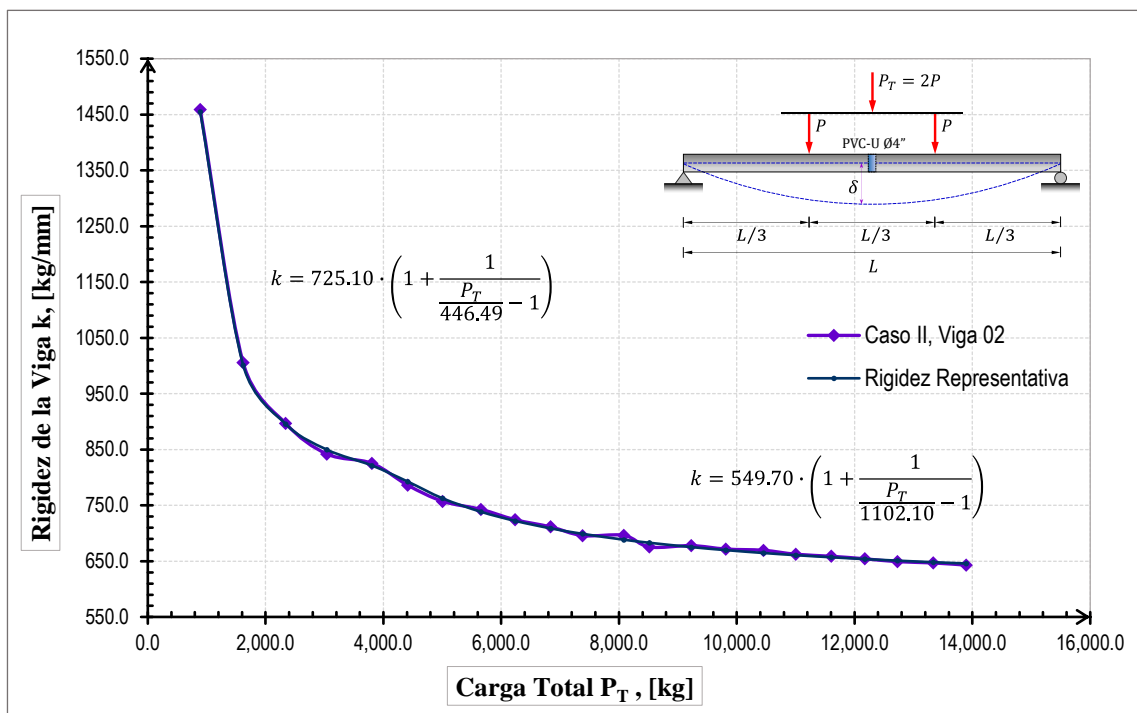
Relación rigidez vs carga P_T , para la viga V-01, C-II



Nota: Elaboración propia.

Figura 68

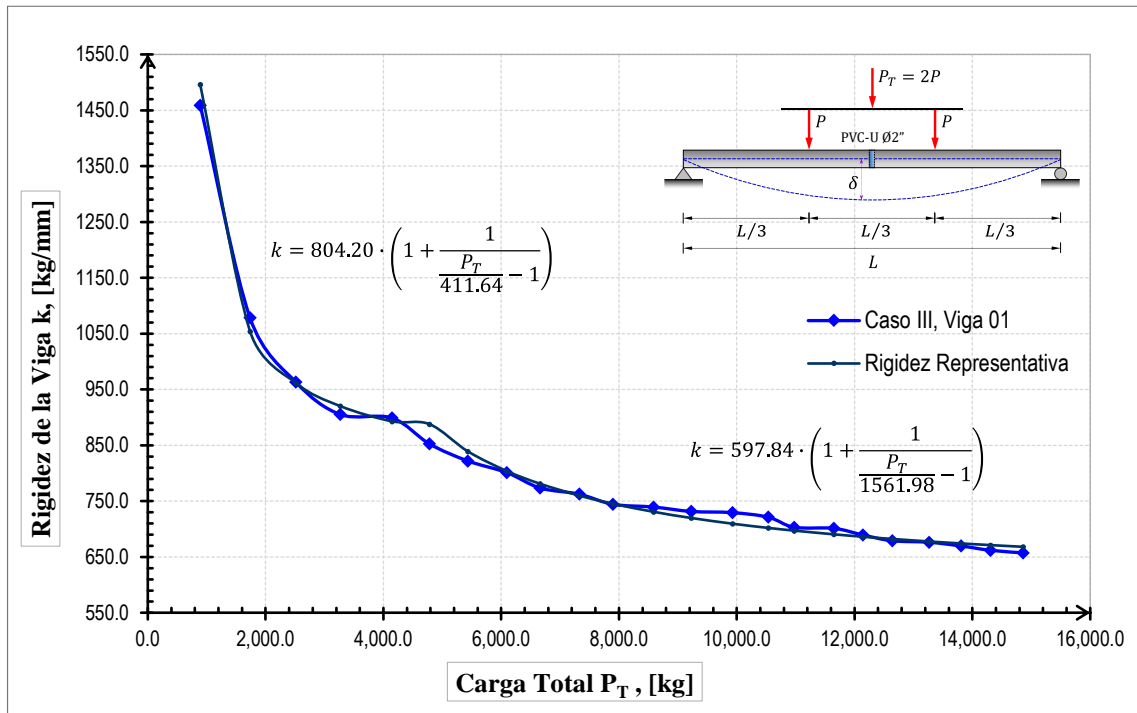
Relación rigidez vs carga P_T , para la viga V-02, C-II



Nota: Elaboración propia.

Figura 69

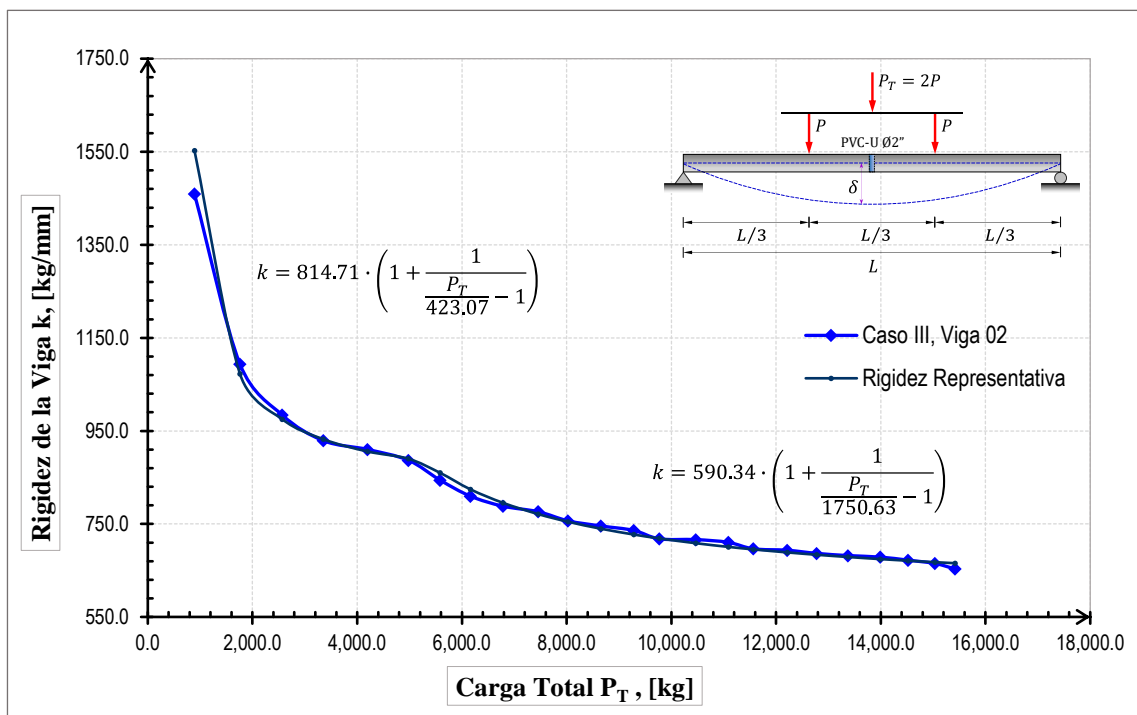
Relación rigidez vs carga P_T , para la viga V-01, C-III



Nota: Elaboración propia.

Figura 70

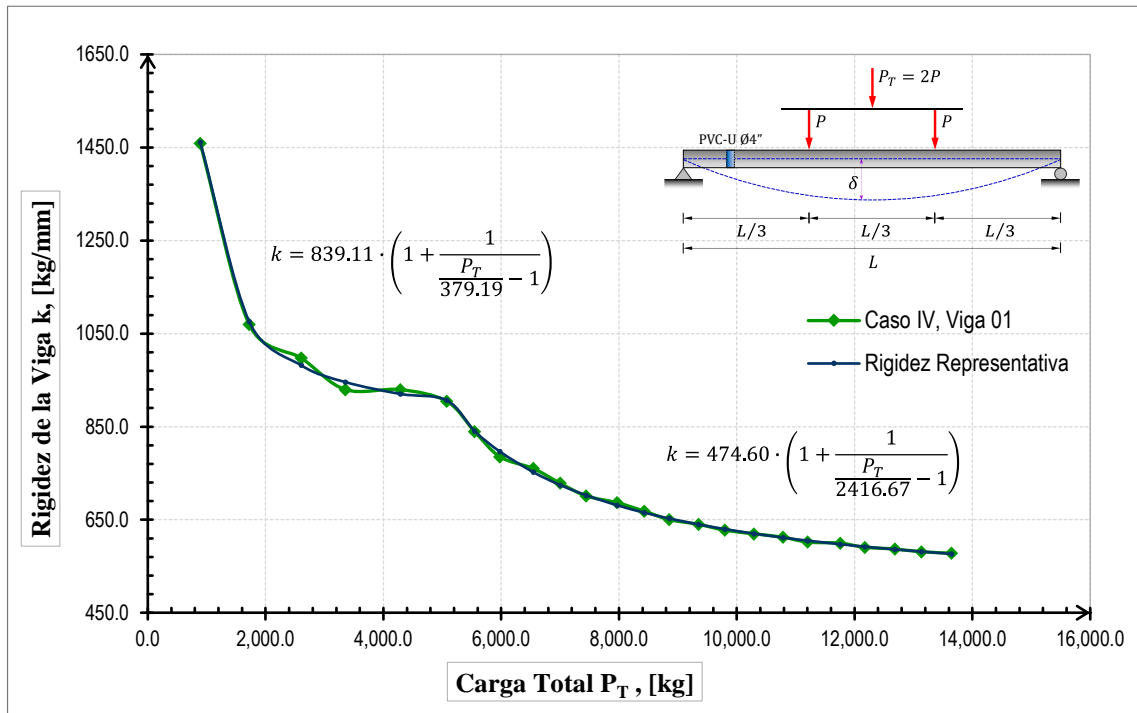
Relación rigidez vs carga P_T , para la viga V-02, C-III



Nota: Elaboración propia.

Figura 71

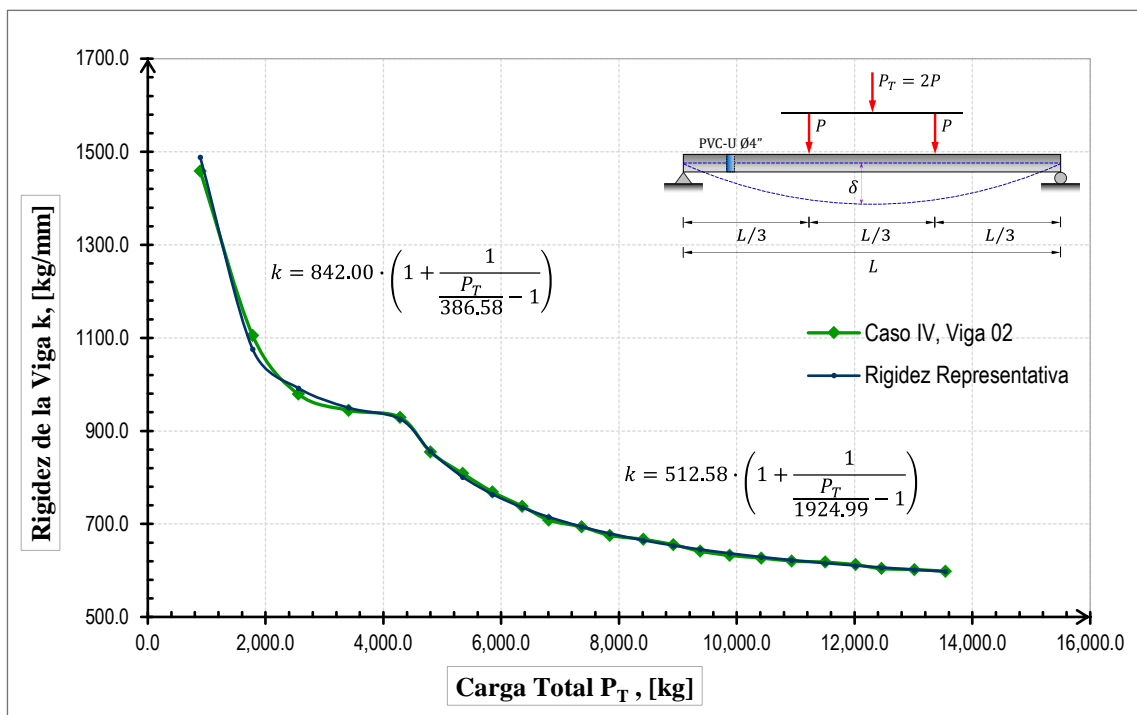
Relación rigidez vs carga P_T , para la viga V-01, C-IV



Nota: Elaboración propia.

Figura 72

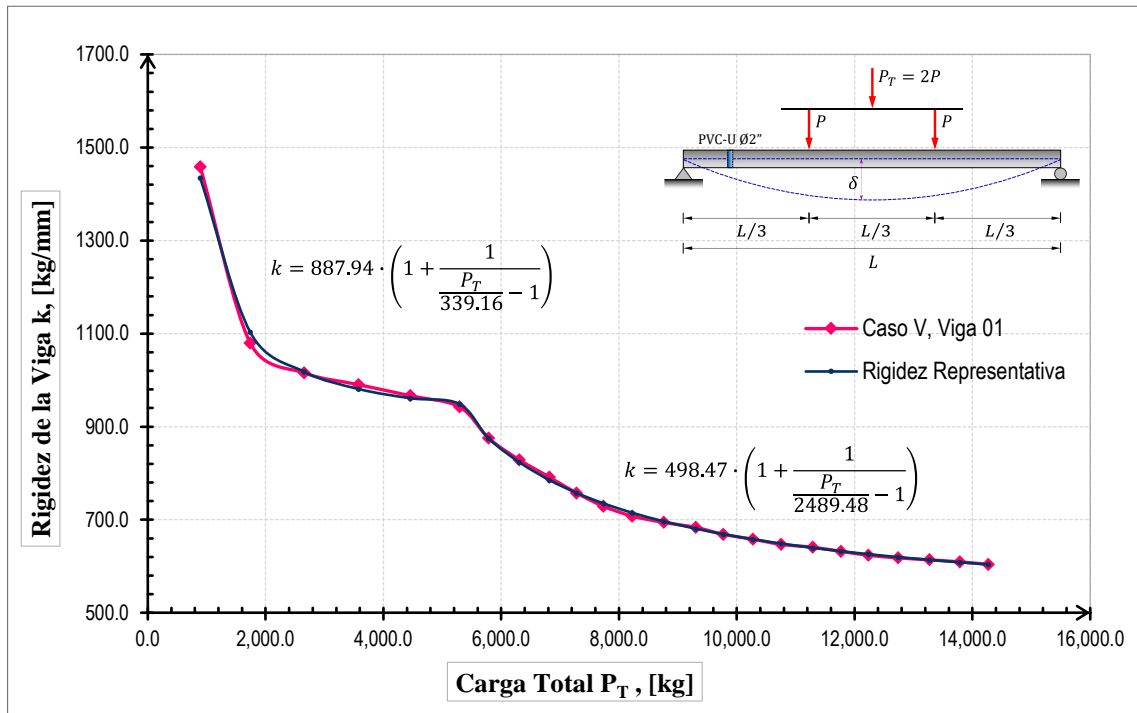
Relación rigidez vs carga P_T , para la viga V-02, C-IV



Nota: Elaboración propia.

Figura 73

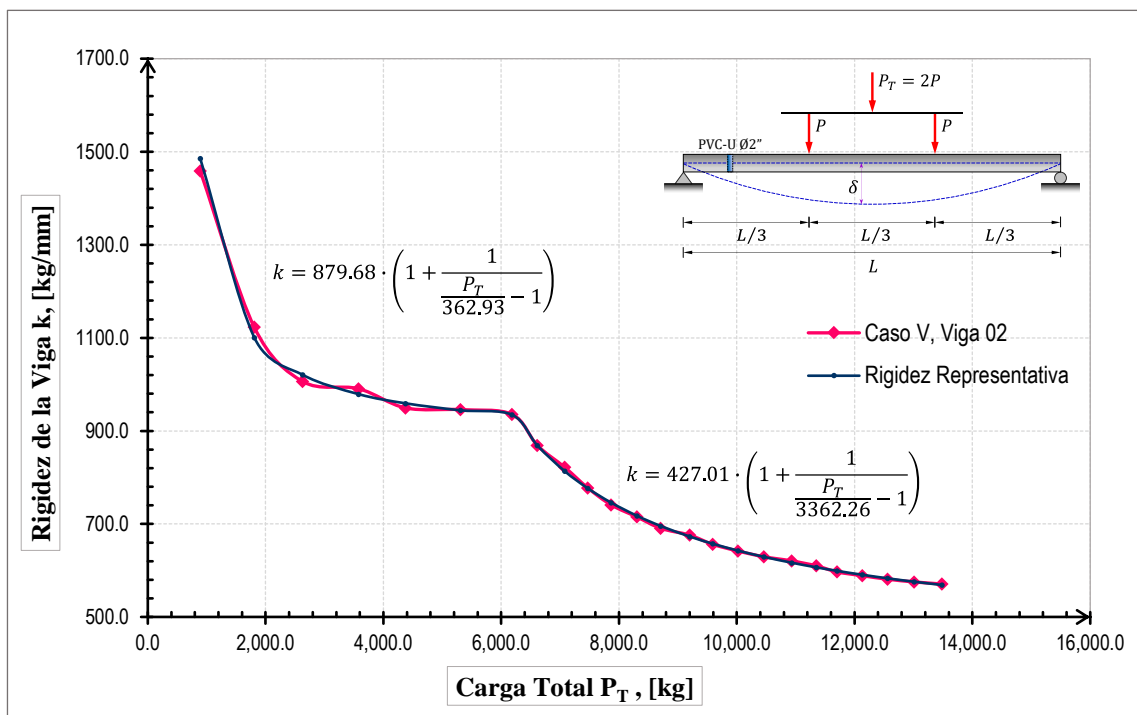
Relación rigidez vs carga P_T , para la viga V-01, C-V



Nota: Elaboración propia.

Figura 74

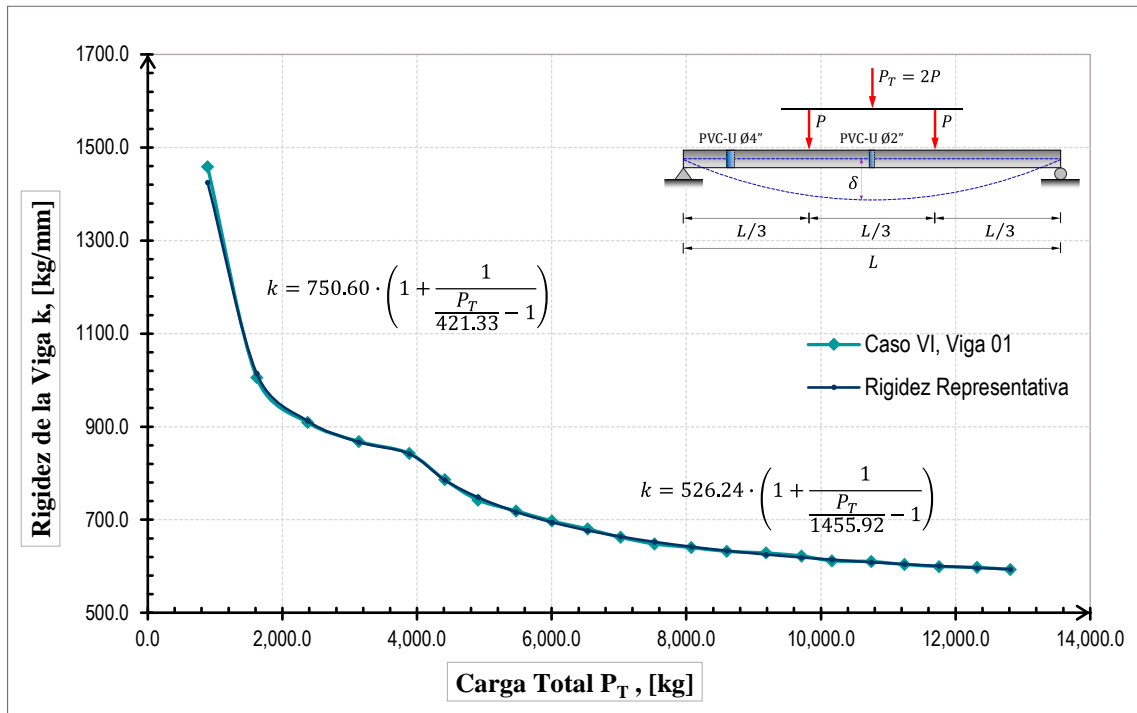
Relación rigidez vs carga P_T , para la viga V-02, C-V



Nota: Elaboración propia.

Figura 75

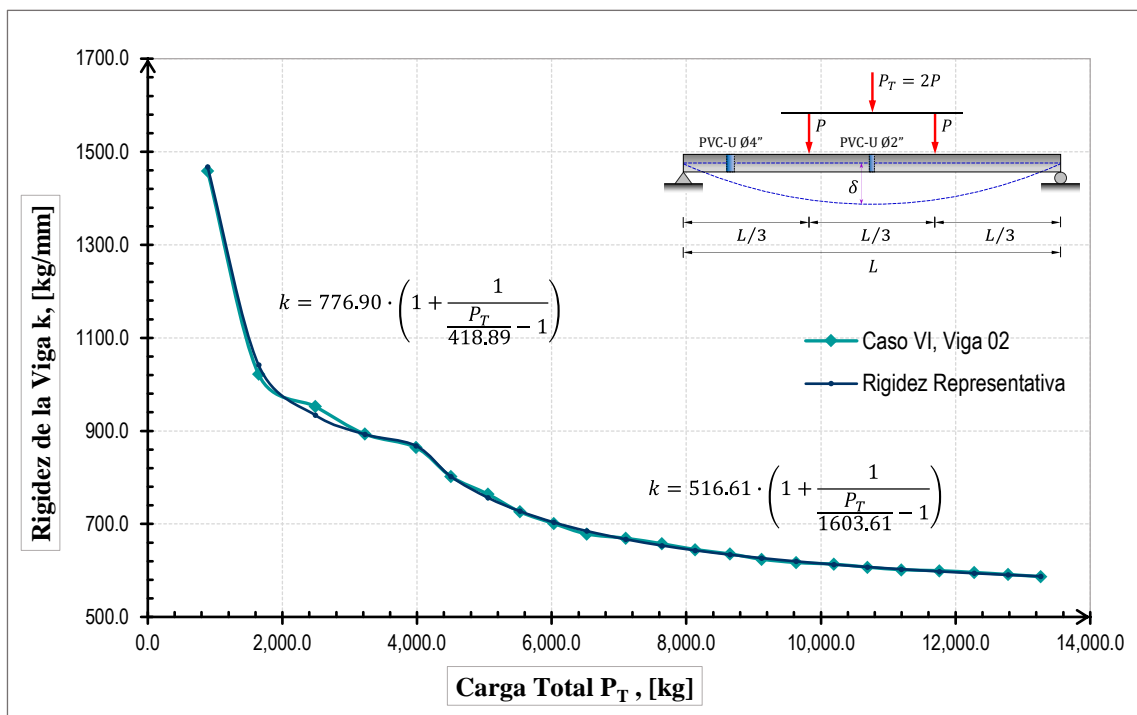
Relación rigidez vs carga P_T , para la viga V-01, C-VI



Nota: Elaboración propia.

Figura 76

Relación rigidez vs carga P_T , para la viga V-02, C-VI



Nota: Elaboración propia.

Figura 77

Relación rigidez vs carga P_T , para la viga V-01, C-VII

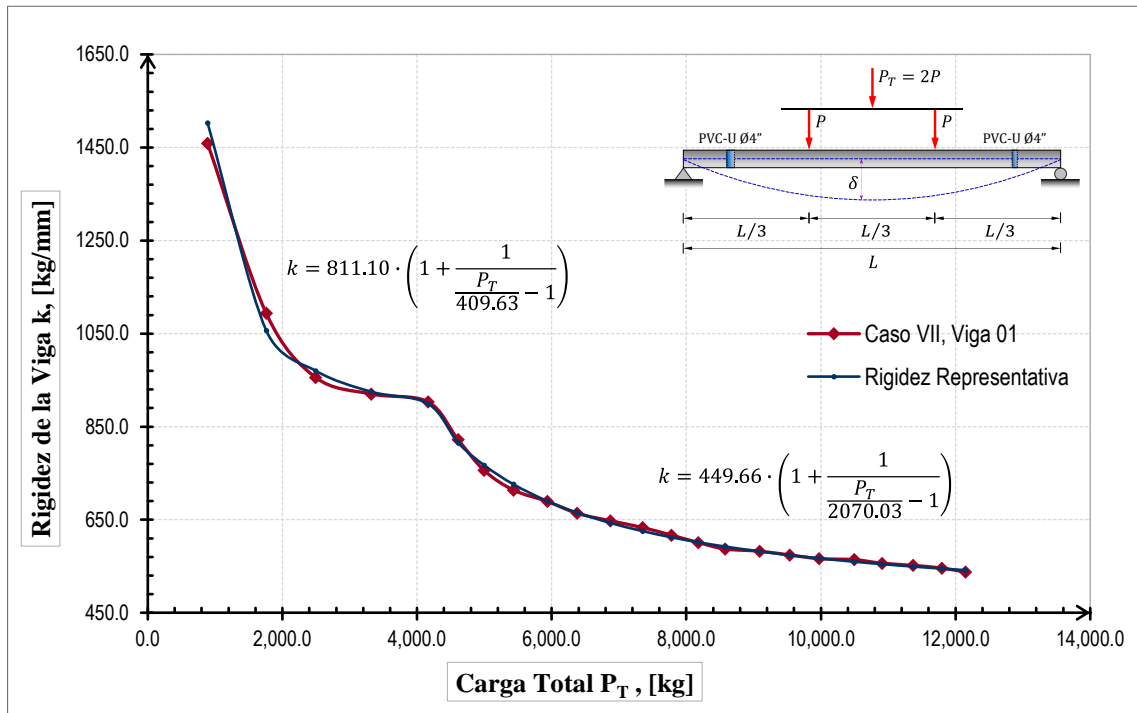


Figura 78

Relación rigidez vs carga P_T , para la viga V-02, C-VII

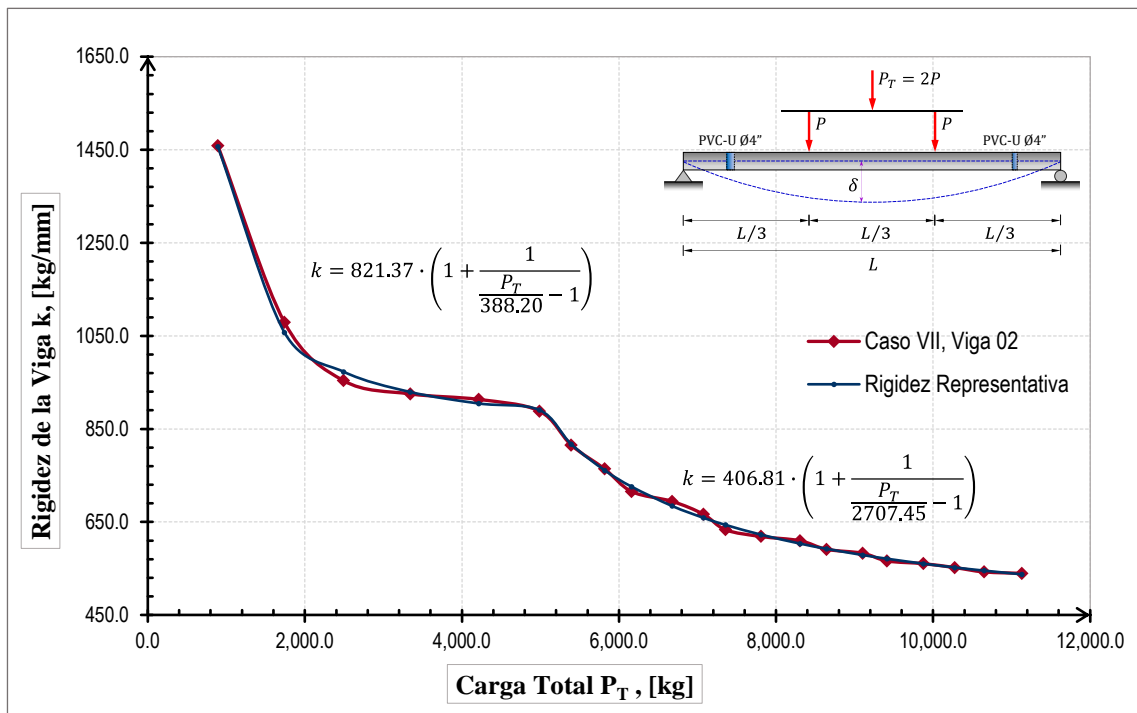
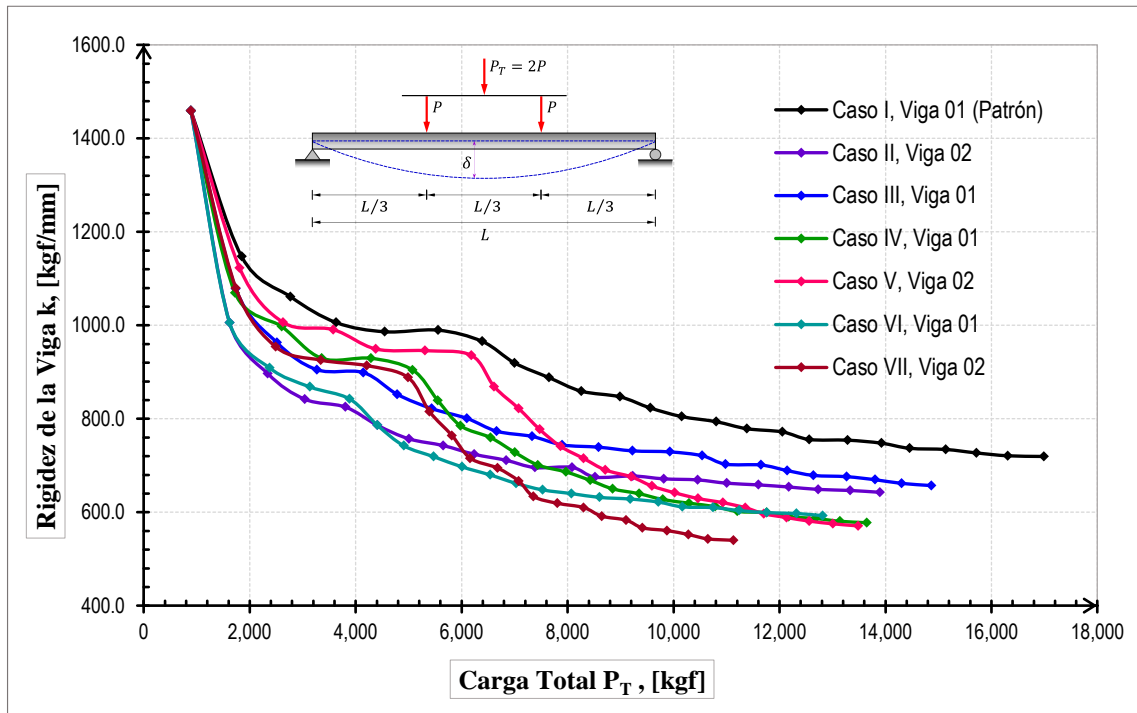


Figura 79

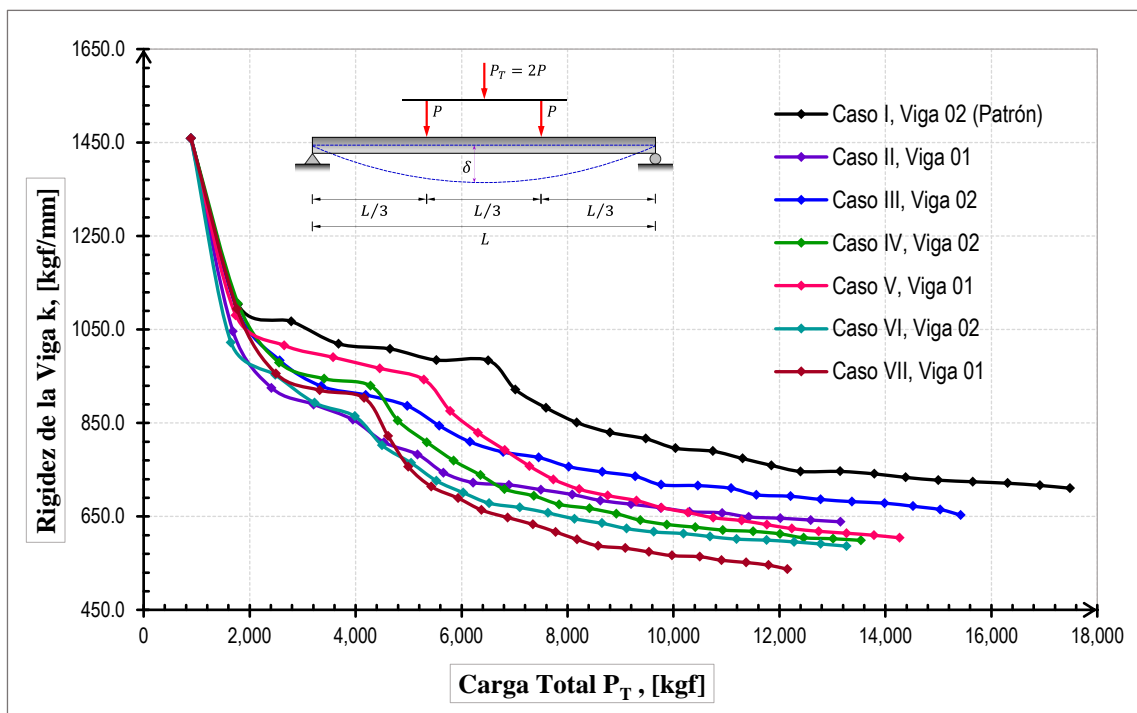
Comparación de la rigidez vs carga P_T , para vigas menos favorables



Nota: Elaboración propia.

Figura 80

Comparación rigidez vs carga P_T , considerando vigas más favorables



Nota: Elaboración propia.

En la Tabla 35, que muestra las pendientes de las rectas obtenidas a partir de las regresiones lineales. Estas rectas representan la relación entre la carga aplicada y la deflexión para cada una de las vigas analizadas en el estudio. La pendiente de estas rectas es un indicador clave de la rigidez de las vigas bajo carga, ya que una mayor pendiente implica una mayor rigidez estructural, mientras que una pendiente más baja sugiere una mayor deformabilidad.

Tabla 35

Pendientes de regresiones lineales (P_T vs δ) para cada caso de estudio

Caso de estudio	Viga	$y = k_1 \cdot x + a_1$		$y = k_2 \cdot x + a_2$		Punto agrietamiento	
		k_1 (kgf/mm)	a_1 (kgf)	k_2 (kgf/mm)	a_2 (kgf)	P_{cr} (kgf)	δ_{cr} (mm)
C-I	Viga 1	916.93	350.46	621.07	2,316.14	6,385.00	6.61
	Viga 2	935.82	309.11	616.96	2,296.63	6,505.00	6.61
C-II	Viga 1	764.70	433.93	575.03	1,338.35	3,950.00	4.61
	Viga 2	725.10	446.49	594.70	1,102.10	3,805.00	4.61
C-III	Viga 1	804.20	411.64	597.84	1,561.98	4,145.00	4.61
	Viga 2	814.71	423.07	590.34	1,750.63	4,975.00	5.61
C-IV	Viga 1	839.11	379.19	474.60	2,416.67	5,075.00	5.61
	Viga 2	842.00	386.58	512.62	1,924.99	4,285.00	4.61
C-V	Viga 1	887.94	339.16	498.47	2,489.48	5,290.00	5.61
	Viga 2	879.68	362.93	427.01	3,362.26	6,185.00	6.61
C-VI	Viga 1	750.60	421.33	526.24	1,455.92	3,885.00	4.61
	Viga 2	776.90	418.89	516.61	1,603.17	3,985.00	4.61
C-VII	Viga 1	811.10	409.63	449.66	2,070.03	4,165.00	4.61
	Viga 2	821.37	388.20	406.81	2,707.45	4,985.00	5.61

Nota: Elaboración propia.

4.2.3.1. Eficiencia de la rigidez, empleando el criterio de “ k_1 ”

Las gráficas presentadas en la Figura 79 y la Figura 80, ilustran claramente el impacto significativo de las tuberías insertas verticalmente

que implica reducción de la rigidez de la viga de concreto armado. A continuación, con el fin de realizar una evaluación cuantitativa de esta reducción, aplicaremos el criterio de comparación que se detalla en la Tabla 36.

Este criterio de comparación consiste en contrastar los valores de la constante " k_1 " para cada viga. A continuación, se presentan los valores máximos y mínimos de la constante " k_1 " correspondientes a cada caso analizado. Este análisis evalúa la constante de rigidez k_1 hasta el momento del punto de agrietamiento de vigas de concreto armado.

Tabla 36

Eficiencia de casos basada en la pérdida de rigidez, según criterio k_1

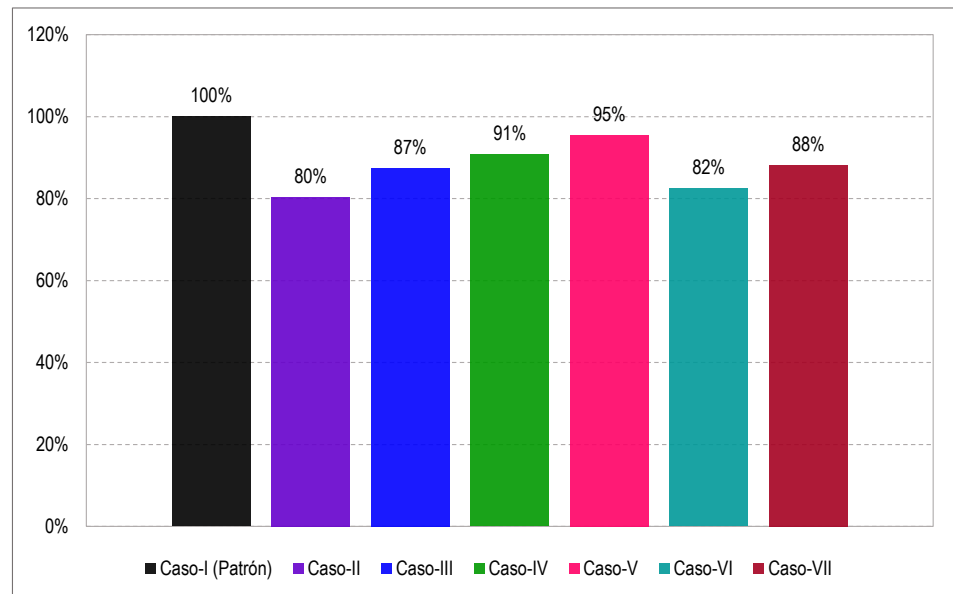
Caso en estudio	Constante k_1 (kgf/mm)			Eficiencia promedio
	k_{max}	k_{min}	k_{prom}	
Caso-I (Patrón)	935.82	916.93	926.38	100%
Caso-II	764.70	725.10	744.90	80%
Caso-III	814.71	804.20	809.46	87%
Caso-IV	842.00	839.11	840.56	91%
Caso-V	887.94	879.68	883.81	95%
Caso-VI	776.90	750.60	763.75	82%
Caso-VII	821.37	811.10	816.24	88%

Nota: Elaboración propia.

En la Figura 81 se muestra un diagrama de barras que ilustra gráficamente las eficiencias promedio. Este diagrama evidencia que la inserción de tuberías verticales en las vigas de concreto armado tiende a reducir la rigidez en todos los casos estudiados. En particular, en el Caso II, se observa una disminución de la rigidez de hasta un 80%, lo que representa una reducción del 20% en comparación con el Caso I (Patrón).

Figura 81

Eficiencia de la pérdida de rigidez por el criterio de la constante “ k_1 ”



Nota: Elaboración propia.

- Para el Caso II, que resulta ser el menos favorable, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 4” en la zona donde predomina el máximo momento flector resultó en una eficiencia del 80%, lo que implica una reducción del 20% en comparación con el Caso I (Patrón).
- Para el Caso III, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 2” en la zona donde predomina el máximo momento flector resultó en una eficiencia del 87%, lo que implica una reducción del 13% en comparación con el Caso I (Patrón).
- Para el Caso IV, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 4” en la zona donde predomina la mayor fuerza cortante resultó en una eficiencia del 91%, lo que implica una reducción del 9% en comparación con el Caso I (Patrón).



- Para el Caso V, que resulta ser el más favorable, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 2" en la zona donde predomina la mayor fuerza cortante resultó en una eficiencia del 95%, lo que implica una reducción del 5% en comparación con el Caso I (Patrón).
- Para el Caso VI, se evidencia que la inserción vertical de las tuberías PVC-U de 4" y 2" en las zonas donde predominan la mayor fuerza cortante y el máximo momento flector respectivamente, resultó en una eficiencia del 82%, lo que implica una reducción del 18% en comparación con el Caso I (Patrón).
- Para el Caso VII, se evidencia que la inserción vertical de las tuberías PVC-U de 4" y 2" en las zonas donde predominan la mayor fuerza cortante (ambos lados de la viga) resultó en una eficiencia del 88%, lo que implica una reducción del 12% en comparación con el Caso I (Patrón).

4.2.3.2. Eficiencia de la rigidez, empleando el criterio de " k_2 "

Otro método de comparación implica contrastar los valores de la constante " k_2 " para cada viga. En la Tabla 37 se muestran los valores extremos, tanto máximos como mínimos de la constante " k_2 " para cada caso en análisis. Esta comparación permite identificar las variaciones en la rigidez de las vigas analizadas.

Además, en la Figura 82 se exhibe un diagrama de barras ilustrando las eficiencias promedio. Este gráfico indica de manera consistente que la inclusión de tuberías insertas en vigas de concreto armado tiende a reducir

la rigidez de la viga en todos los casos estudiados. Por ejemplo, en el Caso VII, se observa una disminución de hasta el 69% en la rigidez. Este hallazgo sugiere que la presencia de tuberías en las vigas afecta significativamente su comportamiento estructural.

Tabla 37

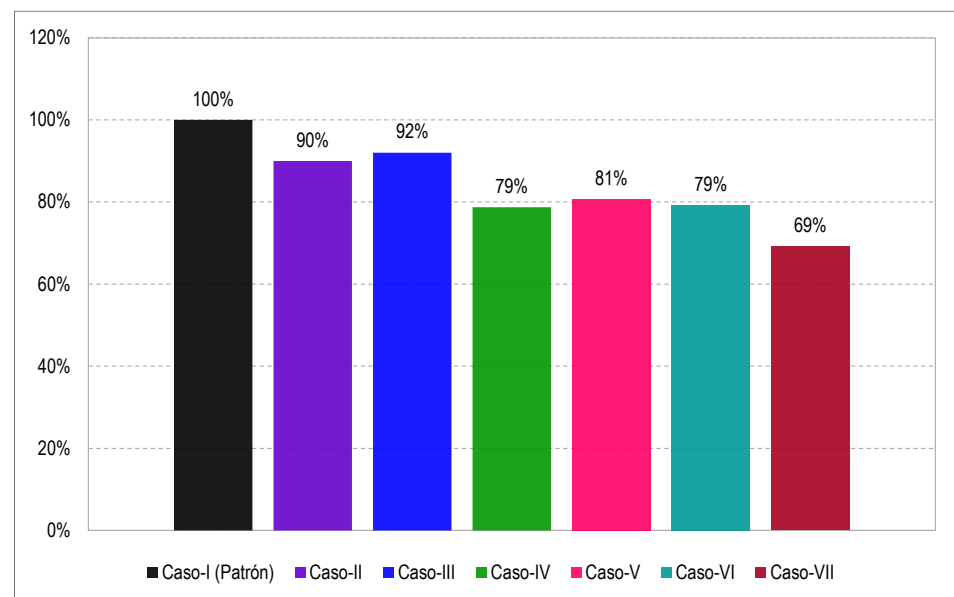
Eficiencia de casos basada en la pérdida de rigidez, según criterio k_2

Caso en estudio	Constante k_2 (kgf/mm)			Eficiencia promedio
	k_{max}	k_{min}	k_{prom}	
Caso-I (Patrón)	621.07	616.96	619.01	100%
Caso-II	594.70	575.03	584.87	90%
Caso-III	597.84	590.34	594.09	92%
Caso-IV	512.62	474.60	493.61	79%
Caso-V	498.47	427.01	462.74	81%
Caso-VI	526.24	516.61	521.42	79%
Caso-VII	449.66	406.81	428.24	69%

Nota: Elaboración propia.

Figura 82

Eficiencia de la pérdida de rigidez por el criterio de la constante “ k_1 ”



Nota: Elaboración propia.



- Para el Caso II, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 4" en la zona donde predomina el máximo momento flector resultó en una eficiencia del 90%, lo que implica una reducción del 10% en comparación con el Caso I (Patrón).
- Para el Caso III, que resulta ser el más favorable, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 2" en la zona donde predomina el máximo momento flector resultó en una eficiencia del 92%, lo que implica una reducción del 8% en comparación con el Caso I (Patrón).
- Para el Caso IV, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 4" en la zona donde predomina la mayor fuerza cortante resultó en una eficiencia del 79%, lo que implica una reducción del 21% en comparación con el Caso I (Patrón).
- Para el Caso V, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 2" en la zona donde predomina la mayor fuerza cortante resultó en una eficiencia del 81%, lo que implica una reducción del 19% en comparación con el Caso I (Patrón).
- Para el Caso VI, se evidencia que la inserción vertical de las tuberías PVC-U de 4" y 2" en las zonas donde predominan la mayor fuerza cortante y el máximo momento flector respectivamente, resultó en una eficiencia del 79%, lo que implica una reducción del 21% en comparación con el Caso I (Patrón).
- Para el Caso VII, que resulta ser el menos favorable, se evidencia que la inserción vertical de las tuberías PVC-U de 4" y 2" en las zonas donde predominan la mayor fuerza cortante (ambos lados de la viga)

resultó en una eficiencia del 69%, lo que implica una reducción del 31% en comparación con el Caso I (Patrón).

4.2.3.3. Eficiencia de la rigidez, empleando el criterio de “ P_T ”

Un criterio para evaluar la rigidez de cada viga consiste en analizar su comportamiento bajo la aplicación de la carga de trabajo " P_T ". En este procedimiento, se registra la deflexión medida en el centro de la viga cuando se aplica una carga total equivalente a la carga de servicio ($P_T = 8,590.0 \text{ kgf}$). La rigidez de la viga bajo cargas de trabajo se calcula dividiendo la carga total entre la deflexión medida, que proporciona la resistencia a la deformación de la viga bajo condiciones de carga operativa.

Tabla 38

Rigidez de las vigas en estudio, para una carga de servicio P_T

Caso en estudio	Viga	P_T (kgf)	δ (mm)	$k = \frac{P_T}{\delta}$ (kgf/mm)
C-I	Viga 1	8,590.00	10.06	853.52
	Viga 2	8,590.00	10.27	836.57
C-II	Viga 1	8,590.00	12.55	684.66
	Viga 2	8,590.00	12.71	675.76
C-III	Viga 1	8,590.00	11.62	739.48
	Viga 2	8,590.00	11.51	746.53
C-IV	Viga 1	8,590.00	12.99	661.20
	Viga 2	8,590.00	12.95	663.09
C-V	Viga 1	8,590.00	12.30	698.64
	Viga 2	8,590.00	12.32	697.42
C-VI	Viga 1	8,590.00	13.59	632.30
	Viga 2	8,590.00	13.49	636.58
C-VII	Viga 1	8,590.00	14.63	587.01
	Viga 2	8,590.00	14.46	594.19

Nota: Elaboración propia.

A continuación, se proporciona una tabla (Tabla 39) que evalúa la eficiencia de los casos de estudio en términos de la disminución de rigidez. Este análisis se basa en la rigidez de la viga al momento de aplicar la carga de trabajo (P_T), utilizada como criterio de comparación.

Tabla 39

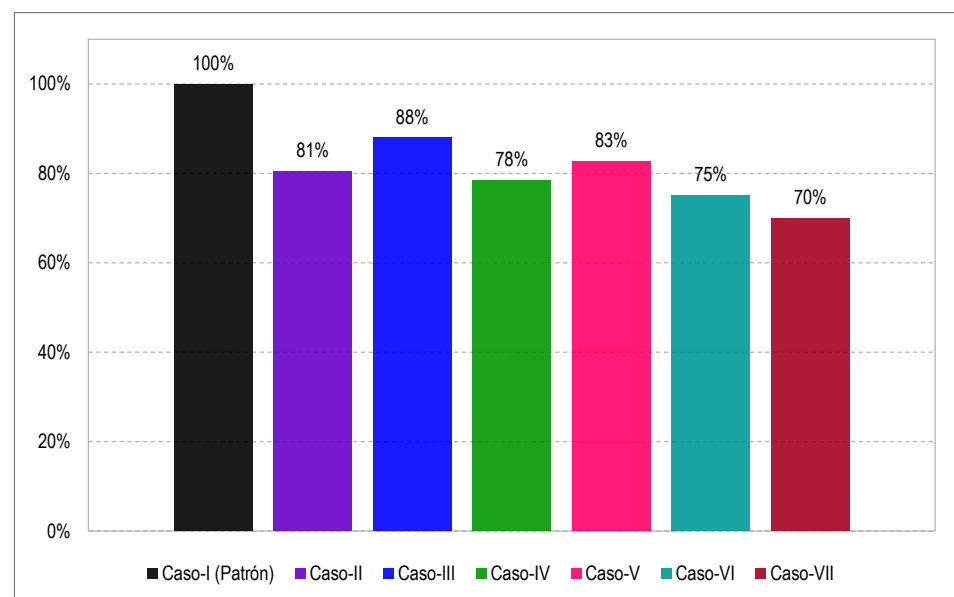
Eficiencias en base a la pérdida de rigidez en condiciones de P_T

Caso en estudio	Rigidez (kgf/mm)			Eficiencia promedio
	k_{max}	k_{min}	k_{prom}	
Caso-I (Patrón)	853.52	836.57	845.05	100%
Caso-II	684.66	675.76	680.21	81%
Caso-III	746.53	739.48	743.01	88%
Caso-IV	663.09	661.20	662.15	78%
Caso-V	698.64	697.42	698.03	83%
Caso-VI	636.58	632.30	634.44	75%
Caso-VII	594.19	587.01	590.60	70%

Nota: Elaboración propia.

Figura 83

Eficiencia en base a la pérdida de rigidez bajo condiciones de P_T



Nota: Elaboración propia.

La Figura 83 muestra las eficiencias promedio de la Tabla 39. Se puede observar que las eficiencias obtenidas son relativamente más bajas en comparación con las eficiencias obtenidas utilizando el criterio de la constante k_1 y k_2 (ver la Figura 81 y la Figura 82). Este análisis revela una diferencia significativa en la eficiencia de las vigas cuando se considera la carga de trabajo (P_T) frente al uso del criterio de la constante, sugiriendo que la metodología de evaluación influye considerablemente en los resultados obtenidos.

- Para el Caso II, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 4" en la zona donde predomina el máximo momento flector resultó en una eficiencia del 81%, lo que implica una reducción del 19% en comparación con el Caso I (Patrón).
- Para el Caso III, que resulta ser el más favorable, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 2" en la zona donde predomina el máximo momento flector resultó en una eficiencia del 88%, lo que implica una reducción del 12% en comparación con el Caso I (Patrón).
- Para el Caso IV, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 4" en la zona donde predomina la mayor fuerza cortante resultó en una eficiencia del 78%, lo que implica una reducción del 22% en comparación con el Caso I (Patrón).
- Para el Caso V, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 2" en la zona donde predomina la mayor fuerza cortante resultó en una eficiencia del 83%, lo que implica una reducción del 17% en comparación con el Caso I (Patrón).

- Para el Caso VI, se evidencia que la inserción vertical de las tuberías PVC-U de 4" y 2" en las zonas donde predominan la mayor fuerza cortante y el máximo momento flector respectivamente, resultó en una eficiencia del 75%, lo que implica una reducción del 25% en comparación con el Caso I (Patrón).
- Para el Caso VII, que resulta ser el menos favorable, se evidencia que la inserción vertical de las tuberías PVC-U de 4" y 2" en las zonas donde predominan la mayor fuerza cortante (ambos lados de la viga) resultó en una eficiencia del 70%, lo que implica una reducción del 30% en comparación con el Caso I (Patrón).

4.2.4. Momento de inercia efectivo en las vigas analizadas

El momento de inercia efectivo se refiere al valor real del momento de inercia que presenta la sección transversal de una viga de concreto armado cuando se somete a un conjunto específico de cargas externas. Es esencial comprender este término para evaluar con precisión cómo responde la viga ante diferentes condiciones de carga.

Para calcular el momento de inercia en vigas de concreto armado, se debe partir del supuesto de que el módulo de elasticidad de la viga es equivalente al módulo de elasticidad del concreto, representado como E_c . Este valor se calcula siguiendo la ecuación proporcionada por la norma E.060 del Reglamento Nacional de Edificaciones, en su apartado 8.5. Esta normativa establece que, para concretos de peso unitario normal, E_c se puede usar la formula:

$$E_c = 15,000 \cdot \sqrt{f'_c} \quad (47)$$

Donde: E_c es el módulo de elasticidad del concreto (kg/cm^2) y f'_c es la resistencia a la compresión del concreto (kg/cm^2).

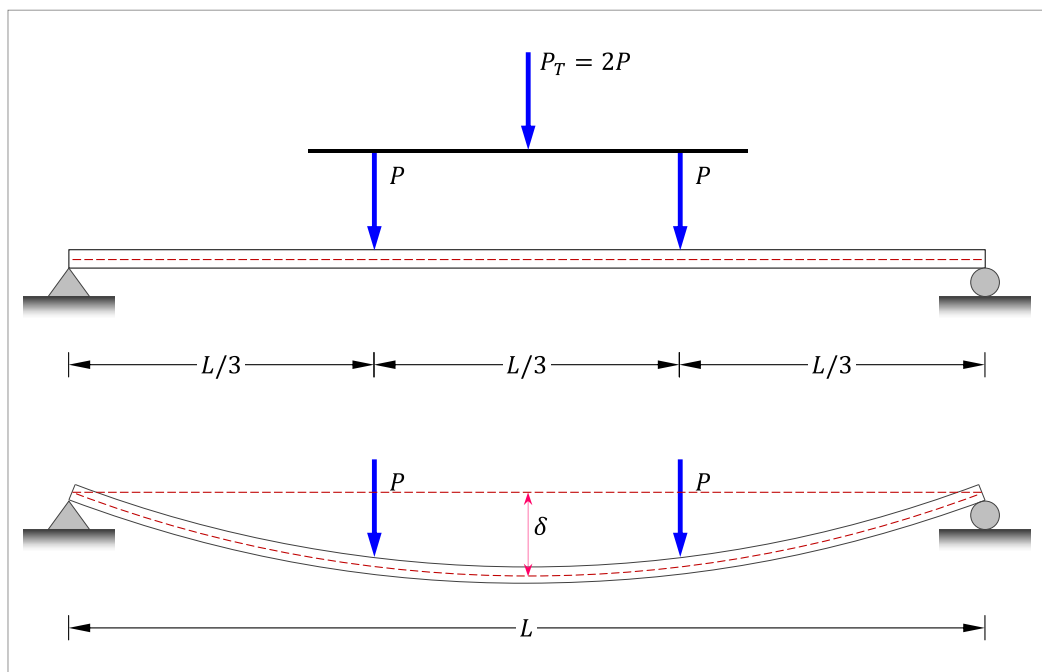
Mediante cualquier método de análisis, ya sea mediante la mecánica de materiales o resistencia de materiales, será factible mostrar que la deflexión en el centro de la viga simplemente apoyada, que está sometida a dos cargas puntuales situadas en los tercios intermedios, se puede expresar de la siguiente manera:

$$\delta = \frac{23 \cdot P_T \cdot L^3}{1,296 \cdot E_c \cdot I_e} \quad (48)$$

Donde: δ es la deflexión en el centro de la viga (mm), P_T la carga total ejercida sobre la viga (kgf), L es la luz libre de la viga (m), I_e es la inercia de la sección transversal de la viga (cm^4) y E_c el módulo de elasticidad (kg/cm^2)

Figura 84

Esquema de deflexión, sujeta a dos cargas puntuales a tercios centrales



Nota: Elaboración propia.

Resolvemos la ecuación (48) para obtener el valor del momento de inercia:

$$I_e = \frac{23 \cdot P_T \cdot L^3}{1,296 \cdot \delta \cdot E_c} \quad (49)$$

Como se puede notar, la expresión P_T/δ representa la rigidez de la viga (k), expresada en kg/mm. En consecuencia, el cálculo del momento de inercia se realiza de la siguiente manera:

$$I_e = \frac{23}{1,296} \left(\frac{L^3}{E_c} \right) \left(\frac{P_T}{\delta} \right) \rightarrow I_e = \frac{23}{1,296} \left(\frac{L^3}{E_c} \right) (k)$$
$$I_e = \frac{23}{1,296} \cdot k \cdot \frac{L^3}{E_c} \quad (50)$$

Con la ecuación (50), es factible determinar indirectamente el momento de inercia real de la viga (I_e), dado que se conocen las demás variables, tales como longitud libre de la viga, la resistencia a la compresión del concreto y, en consecuencia, el módulo de elasticidad del concreto.

Como se observó en las definiciones anteriores, a medida que aumenta la carga, la rigidez de la viga varía (Figura 64). Se pueden identificar tres regiones con tres valores distintos de rigidez, que son:

$$k = \begin{cases} k_1 \cdot \left(1 + \frac{1}{\frac{P_T}{a_1} - 1} \right) & \text{para el intervalo, } (0 \leq \delta \leq \delta_{cr}) \\ k_2 \cdot \left(1 + \frac{1}{\frac{P_T}{a_2} - 1} \right) & \text{para el intervalo, } (\delta_{cr} \leq \delta \leq \delta_y) \\ \frac{P_y}{\delta} & \text{para el intervalo, } (\delta_y \leq \delta \leq \delta_u) \end{cases} \quad (51)$$

Las constantes k_1 , k_2 , a_1 y a_2 se determinaron mediante regresiones lineales presentadas, comprendidas desde la Figura 30 hasta la Figura 57. Y al combinar las ecuaciones (50) y (51), se obtiene las ecuaciones siguientes.

$$I_e = \begin{cases} \frac{23 \cdot L^3}{1,296 \cdot E_c} \cdot k_1 \cdot \left(1 + \frac{1}{\frac{P_T}{a_1} - 1} \right) & \text{para el intervalo, } (0 \leq \delta \leq \delta_{cr}) \\ \frac{23 \cdot L^3}{1,296 \cdot E_c} \cdot k_2 \cdot \left(1 + \frac{1}{\frac{P_T}{a_2} - 1} \right) & \text{para el intervalo, } (\delta_{cr} \leq \delta \leq \delta_y) \\ \frac{23 \cdot L^3}{1,296 \cdot E_c} \cdot \left(\frac{P_y}{\delta} \right) & \text{para el intervalo, } (\delta_y \leq \delta \leq \delta_u) \end{cases} \quad (52)$$

En la Tabla 40 se recopila las mediciones del momento de inercia para cada viga durante cada etapa de carga. Estos valores se insertaron en la ecuación (50) para calcular indirectamente el momento de inercia. Posteriormente, estos resultados fueron representados gráficamente desde la Figura 85 hasta la Figura 98, donde se compararon con los datos experimentales mediante la representación de la ecuación (52).

Los valores presentados en la Tabla 40 serán utilizados para evaluar cada uno de los casos de las vigas en estudio, representando la influencia de la inserción de tuberías de PVC-U en vigas de concreto, específicamente en relación con el momento de inercia efectivo en cada instante de carga aplicado. Esta evaluación se llevará a cabo considerando el incremento progresivo de la carga hasta alcanzar el punto de fluencia.

Además, se elaboraron las figuras (Figura 99 y Figura 100), donde se presentan todos los casos de estudio en un único gráfico. En la Figura 99, muestra las curvas correspondientes a los escenarios menos favorables, donde se observaron los valores más bajos del momento de inercia en cada caso de análisis, en donde estas curvas fueron comparadas con la viga patrón. Por otro lado, en la Figura 100 se representan los casos más favorables, es decir, las vigas con los valores más altos de momento de inercia, contrastadas con la viga patrón.

Tabla 40

Momento de Inercia para los casos, en cada etapa de carga P_T

Caso I, Viga 01	Caso I, Viga 02	Caso II, Viga 01	Caso II, Viga 02	Caso III, Viga 01	Caso III, Viga 02	Caso IV, Viga 01	Caso IV, Viga 02
P_T (kgf)	I (cm ⁴)	P_T (kgf)	I (cm ⁴)	P_T (kgf)	I (cm ⁴)	P_T (kgf)	I (cm ⁴)
890.0	42,339.7	890.0	42,339.7	890.0	42,339.7	890.0	42,339.7
1,847.0	33,291.1	1,777.0	32,029.4	1,684.0	30,353.2	1,619.0	29,181.6
2,770.0	30,798.3	2,786.0	30,976.2	2,414.0	26,840.1	2,341.0	26,028.5
3,632.0	29,196.2	3,680.0	29,582.1	3,211.0	25,812.0	3,040.0	24,437.3
4,547.0	28,622.8	4,650.0	29,271.1	3,950.0	24,864.7	3,805.0	23,952.0
5,553.0	28,724.5	5,524.0	28,574.5	4,536.0	23,463.8	4,411.0	22,817.2
6,385.0	28,031.6	6,505.0	28,558.4	5,172.0	22,706.2	5,006.0	21,977.4
6,999.0	26,689.4	7,015.0	26,750.4	5,659.0	21,579.6	5,654.0	21,560.5
7,649.0	25,780.4	7,598.0	25,608.5	6,218.0	20,957.3	6,237.0	21,021.3
8,258.0	24,936.7	8,178.0	24,695.1	6,894.0	20,817.8	6,838.0	20,648.7
8,989.0	24,585.8	8,804.0	24,079.8	7,501.0	20,515.9	7,384.0	20,195.9
9,560.0	23,895.3	9,478.0	23,690.4	8,089.0	20,218.6	8,084.0	20,206.1
10,152.0	23,362.8	10,039.0	23,102.7	8,624.0	19,846.4	8,518.0	19,602.4
10,806.0	23,040.6	10,747.0	22,914.8	9,201.0	19,618.4	9,227.0	19,673.9
11,382.0	22,607.7	11,308.0	22,460.7	9,764.0	19,393.9	9,815.0	19,495.2
12,054.0	22,408.7	11,853.0	22,035.0	10,303.0	19,153.5	10,452.0	19,430.5
12,558.0	21,940.1	12,399.0	21,662.3	10,920.0	19,078.3	11,004.0	19,225.1
13,287.0	21,895.5	13,146.0	21,663.2	11,423.0	18,823.9	11,603.0	19,120.5
13,923.0	21,710.7	13,795.0	21,511.1	12,021.0	18,744.8	12,177.0	18,988.1
14,455.0	21,390.9	14,387.0	21,290.2	12,591.0	18,632.5	12,731.0	18,839.6
15,140.0	21,317.5	14,999.0	21,118.9	13,155.0	18,522.5	13,334.0	18,774.6
15,716.0	21,104.5	15,654.0	21,021.2	13,896.0	18,660.5	14,307.0	19,212.4
16,305.0	20,927.0	16,308.0	20,930.9	14,864.0	19,077.6	15,034.0	19,295.8
16,992.0	20,885.1	16,918.0	20,794.1	15,420.0	18,952.9	13,646.0	16,772.5
		17,488.0	20,621.3				

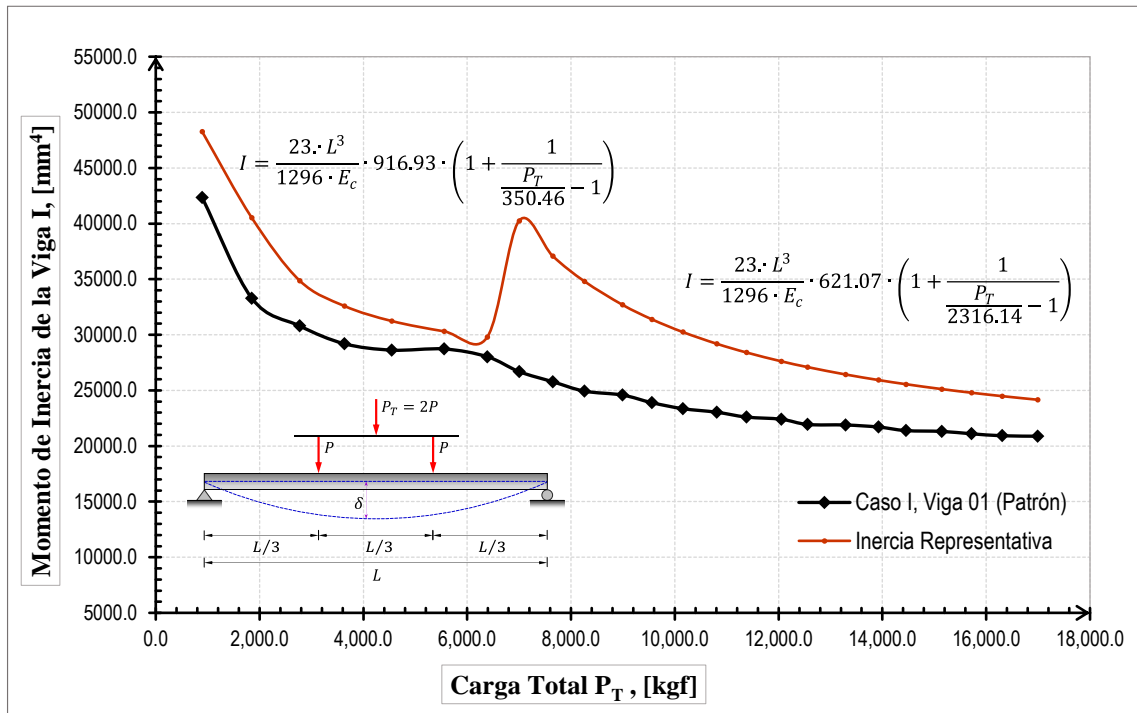
(...continúa)

Caso V, Viga 01		Caso V, Viga 02		Caso VI, Viga 01		Caso VI, Viga 02		Caso VII, Viga 01		Caso VII, Viga 02	
P_T (kgf)	I (cm ⁴)	P_T (kgf)	I (cm ⁴)	P_T (kgf)	I (cm ⁴)	P_T (kgf)	I (cm ⁴)	P_T (kgf)	I (cm ⁴)	P_T (kgf)	I (cm ⁴)
890.0	42,339.7	890.0	42,339.7	890.0	42,339.7	890.0	42,339.7	890.0	42,339.7	890.0	42,339.7
1,739.0	31,344.5	1,808.0	32,588.2	1,619.0	29,181.6	1,646.0	29,668.2	1,761.0	31,741.0	1,738.0	31,326.5
2,652.0	29,486.3	2,627.0	29,208.4	2,373.0	26,384.3	2,487.0	27,651.8	2,495.0	27,740.7	2,490.0	27,685.1
3,576.0	28,746.0	3,577.0	28,754.1	3,135.0	25,201.0	3,225.0	25,924.5	3,322.0	26,704.2	3,341.0	26,857.0
4,457.0	28,056.2	4,377.0	27,552.6	3,885.0	24,455.6	3,985.0	25,085.1	4,165.0	26,218.1	4,212.0	26,514.0
5,290.0	27,364.1	5,306.0	27,446.8	4,411.0	22,817.2	4,501.0	23,282.7	4,612.0	23,856.9	4,985.0	25,786.4
5,787.0	25,406.2	6,185.0	27,153.5	4,908.0	21,547.2	5,052.0	22,179.4	4,998.0	21,942.3	5,391.0	23,667.7
6,309.0	24,058.2	6,613.0	25,217.5	5,473.0	20,870.3	5,527.0	21,076.2	5,432.0	20,713.9	5,816.0	22,178.3
6,818.0	22,979.6	7,077.0	23,852.5	6,005.0	20,239.4	6,034.0	20,337.1	5,935.0	20,003.5	6,161.0	20,765.2
7,281.0	21,986.5	7,471.0	22,560.2	6,537.0	19,739.8	6,521.0	19,691.5	6,379.0	19,262.7	6,675.0	20,156.5
7,737.0	21,161.4	7,864.0	21,508.8	7,026.0	19,216.8	7,101.0	19,421.9	6,872.0	18,795.6	7,075.0	19,350.8
8,222.0	20,551.0	8,303.0	20,753.5	7,526.0	18,811.3	7,635.0	19,083.8	7,351.0	18,373.9	7,355.0	18,383.9
8,759.0	20,157.1	8,709.0	20,042.0	8,074.0	18,580.7	8,133.0	18,716.4	7,779.0	17,901.8	7,807.0	17,966.2
9,306.0	19,842.3	9,200.0	19,616.3	8,603.0	18,343.4	8,650.0	18,443.6	8,179.0	17,439.3	8,303.0	17,703.7
9,772.0	19,409.8	9,589.0	19,046.3	9,184.0	18,241.9	9,119.0	18,112.8	8,578.0	17,038.2	8,642.0	17,165.3
10,277.0	19,105.2	10,019.0	18,625.6	9,713.0	18,056.7	9,632.0	17,906.1	9,090.0	16,898.5	9,103.0	16,922.7
10,752.0	18,784.8	10,458.0	18,271.2	10,164.0	17,757.5	10,191.0	17,804.7	9,536.0	16,660.4	9,411.0	16,442.0
11,290.0	18,604.7	10,930.0	18,011.4	10,747.0	17,709.9	10,692.0	17,619.2	9,974.0	16,436.1	9,875.0	16,272.9
11,768.0	18,350.3	11,351.0	17,700.1	11,241.0	17,528.6	11,195.0	17,456.8	10,497.0	16,368.4	10,277.0	16,025.4
12,235.0	18,105.6	11,705.0	17,321.3	11,756.0	17,396.8	11,758.0	17,399.8	10,911.0	16,146.4	10,648.0	15,757.2
12,742.0	17,941.0	12,134.0	17,085.0	12,319.0	17,345.4	12,279.0	17,289.1	11,371.0	16,010.6	11,128.0	15,668.5
13,271.0	17,821.2	12,560.0	16,866.4	12,816.0	17,210.2	12,779.0	17,160.5	11,798.0	15,843.1		
13,786.0	17,694.0	13,010.0	16,698.0								
14,268.0	17,537.0	13,481.0	16,569.7								

Nota: Elaboración propia.

Figura 85

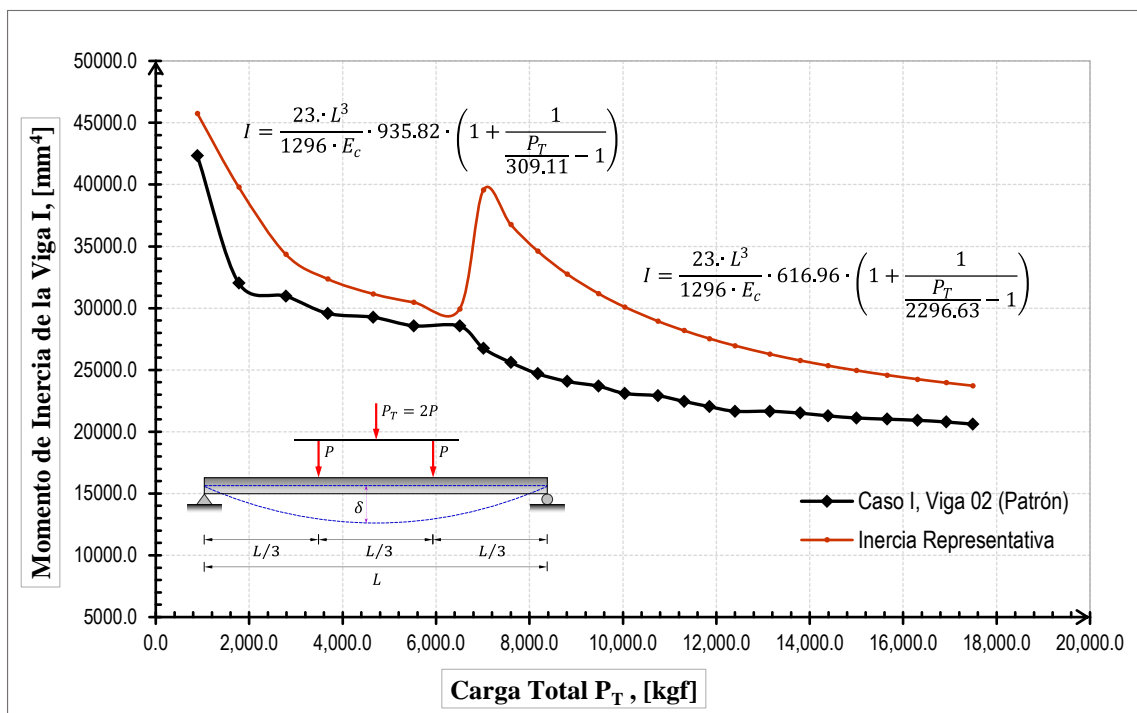
Relación carga P_T vs momento inercia, en viga de control V-01, C-I



Nota: Elaboración propia.

Figura 86

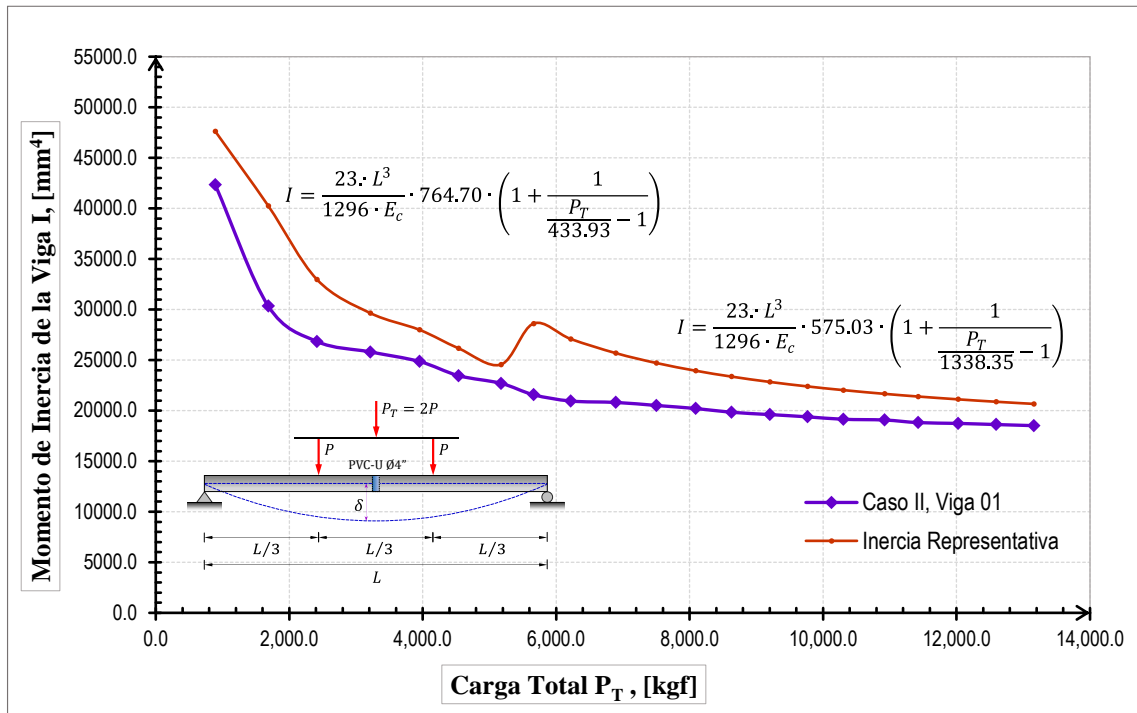
Relación carga PT vs momento inercia, en viga de control V-02, C-I



Nota: Elaboración propia.

Figura 87

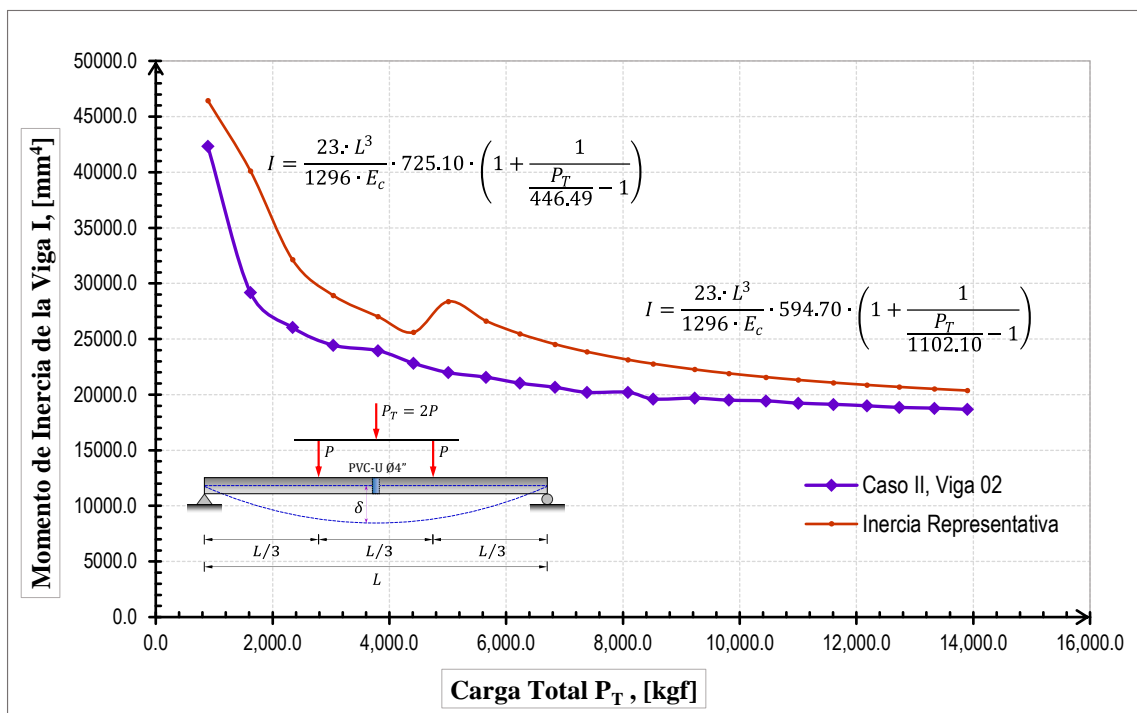
Relación carga P_T vs momento inercia, para la viga V-01, C-II



Nota: Elaboración propia.

Figura 88

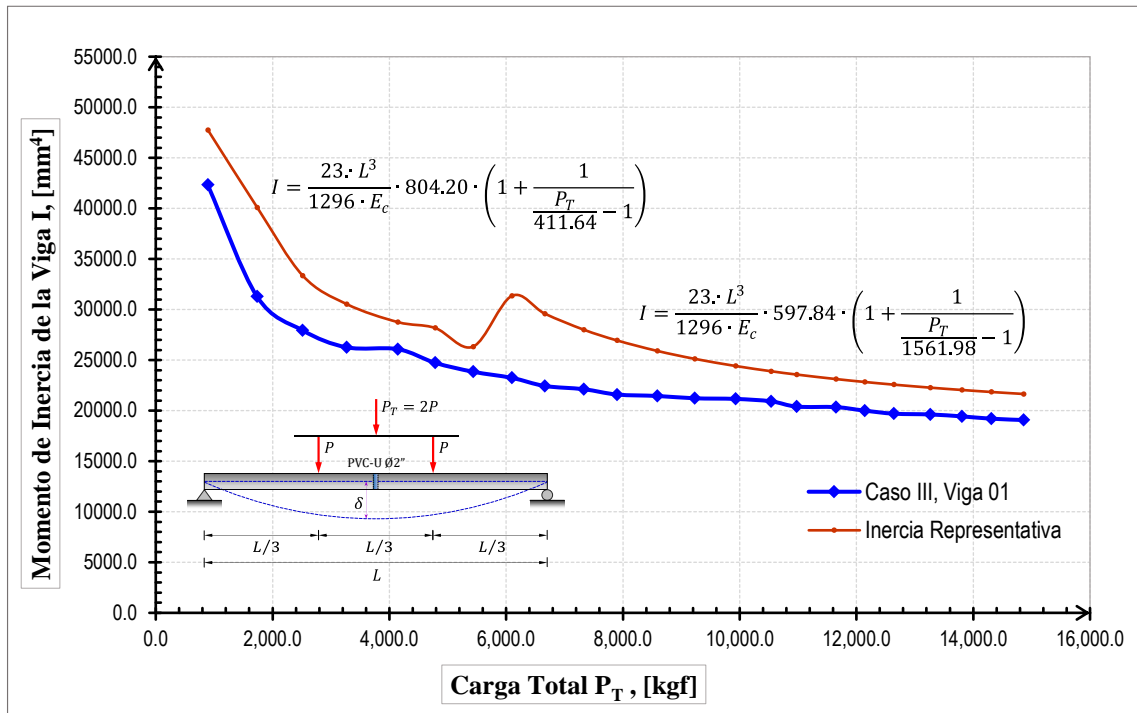
Relación carga PT vs momento inercia, para viga V-02, C-II



Nota: Elaboración propia.

Figura 89

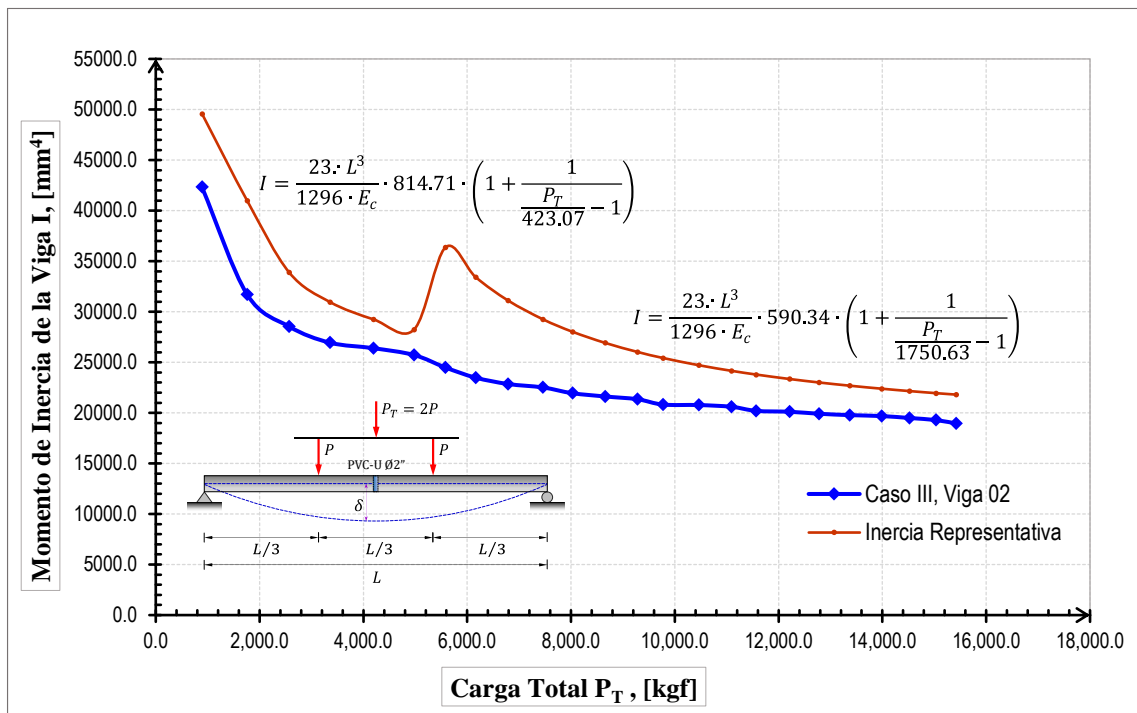
Relación carga P_T vs momento inercia, para viga V-01, C-III



Nota: Elaboración propia.

Figura 90

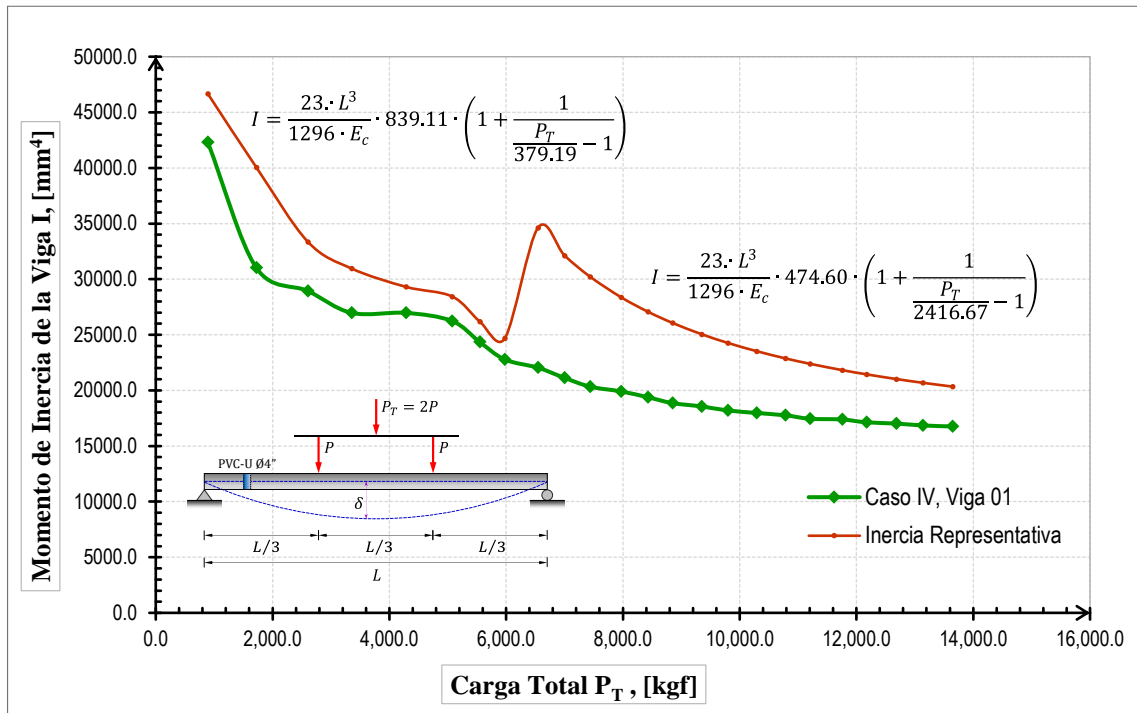
Relación carga PT vs momento inercia, para viga V-02, C-III



Nota: Elaboración propia.

Figura 91

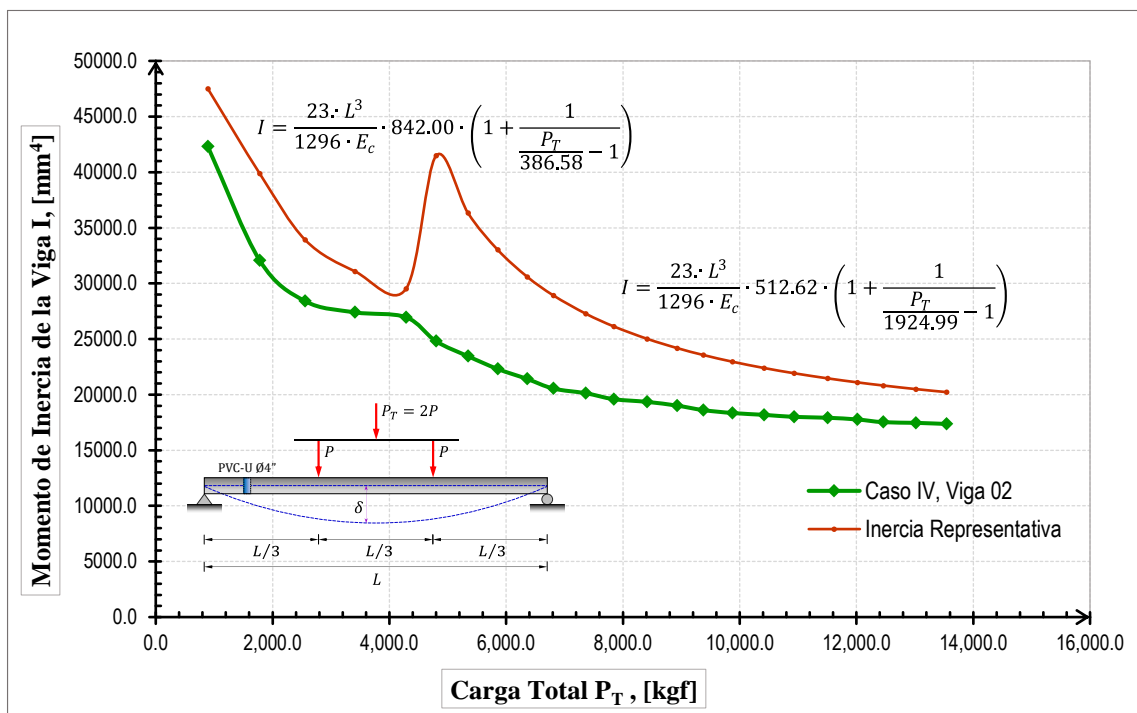
Relación carga P_T vs momento inercia, para viga V-01, C-IV



Nota: Elaboración propia.

Figura 92

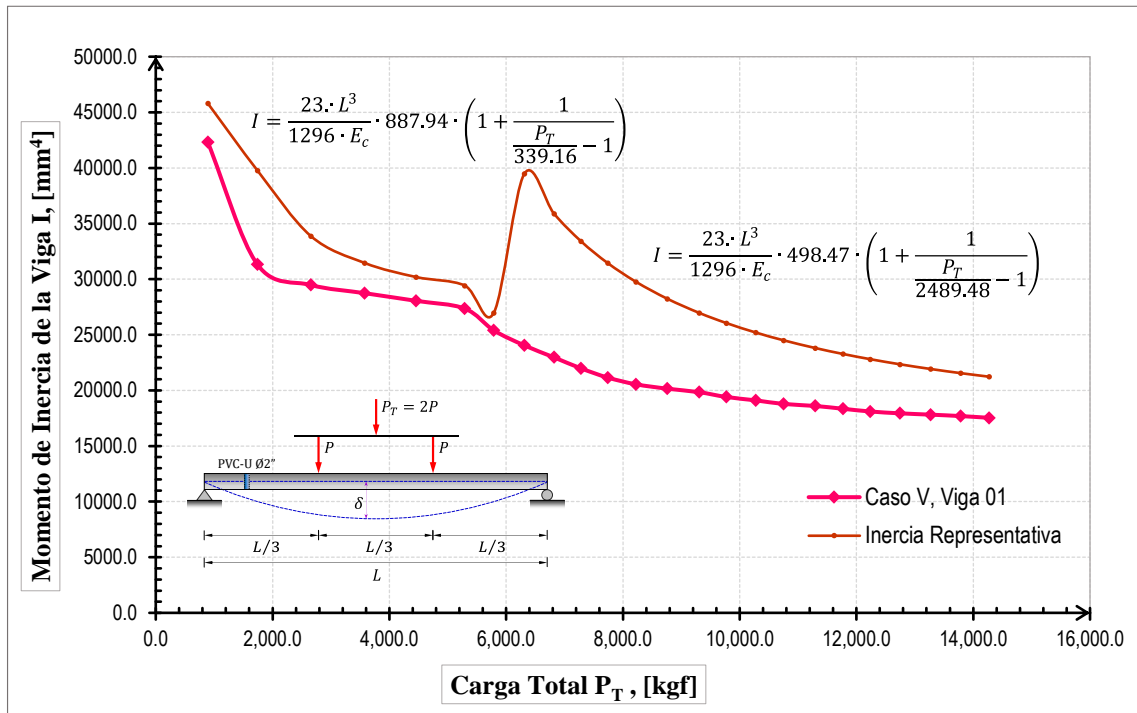
Relación carga PT vs momento inercia, para viga V-02, C-IV



Nota: Elaboración propia.

Figura 93

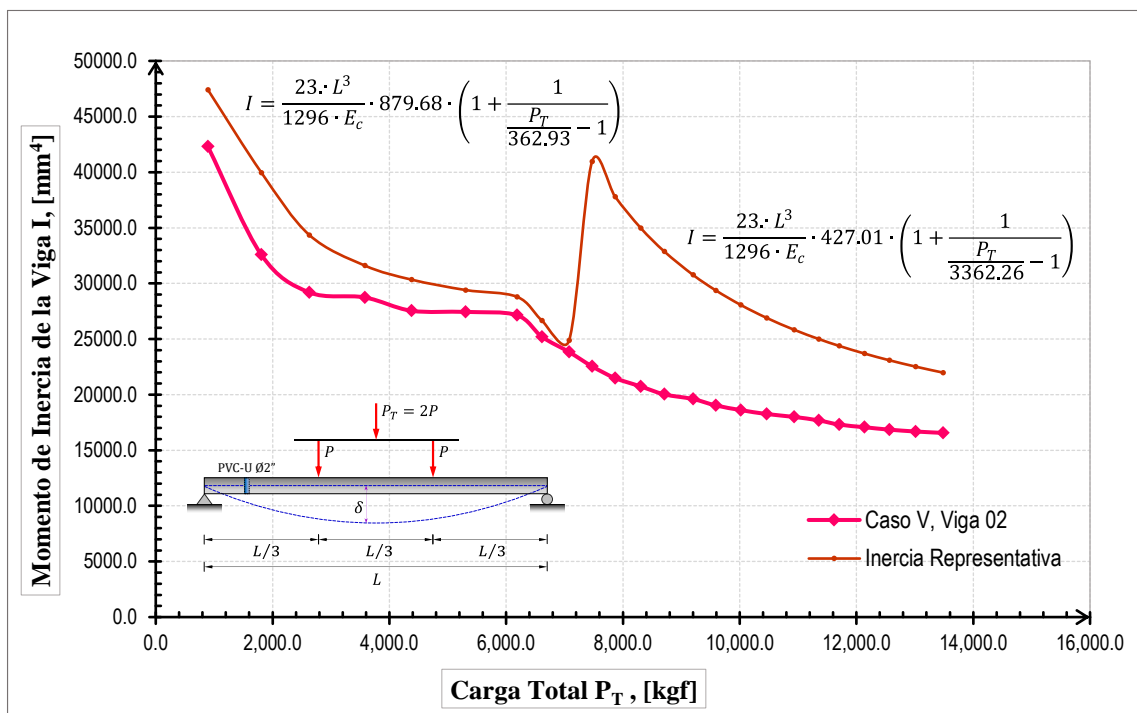
Relación carga P_T vs momento inercia, para viga V-01, C-V



Nota: Elaboración propia.

Figura 94

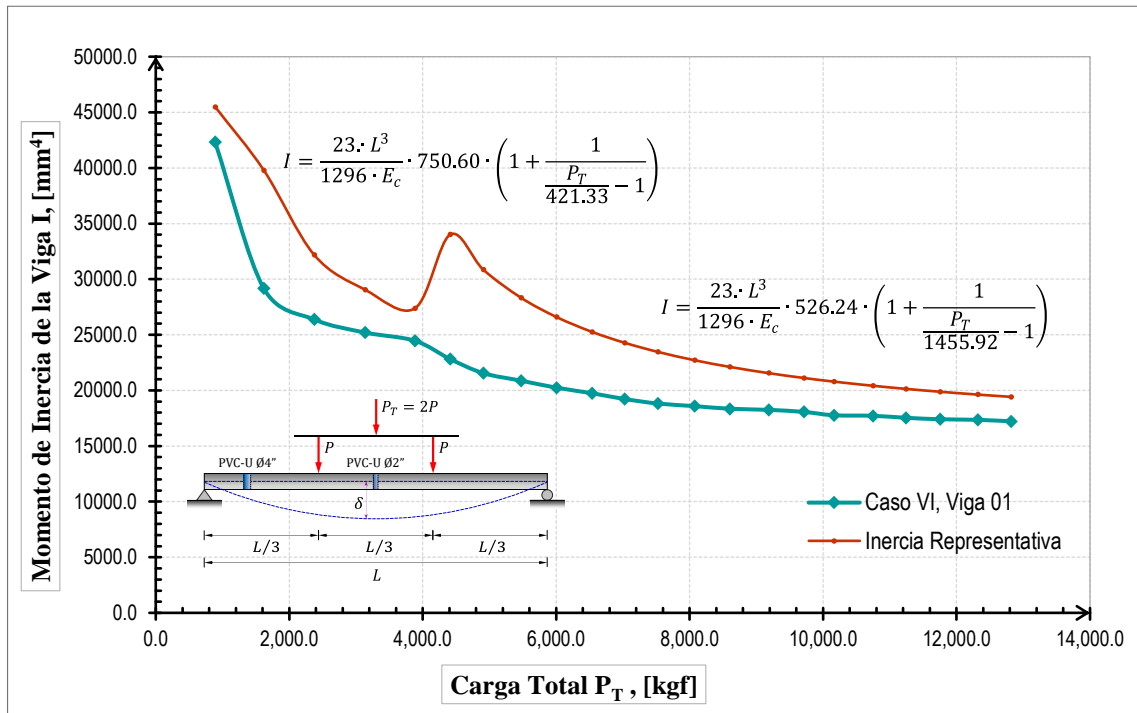
Relación carga PT vs momento inercia, para viga V-02, C-V



Nota: Elaboración propia.

Figura 95

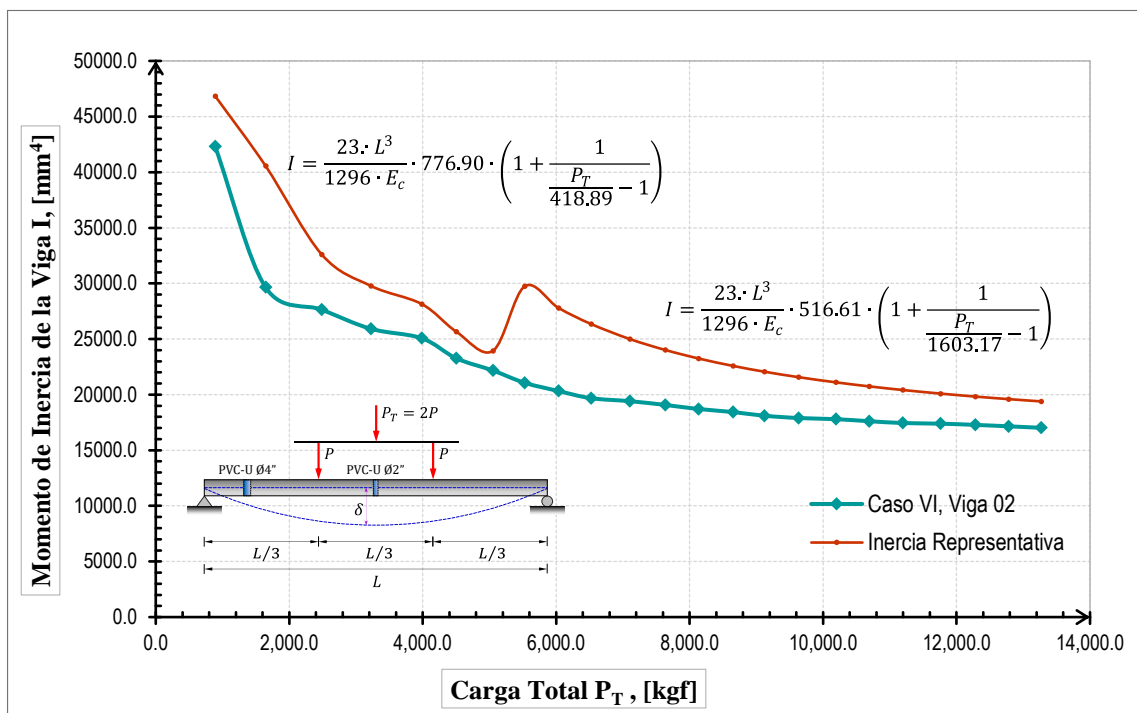
Relación carga P_T vs momento inercia, para viga V-01, C-VI



Nota: Elaboración propia.

Figura 96

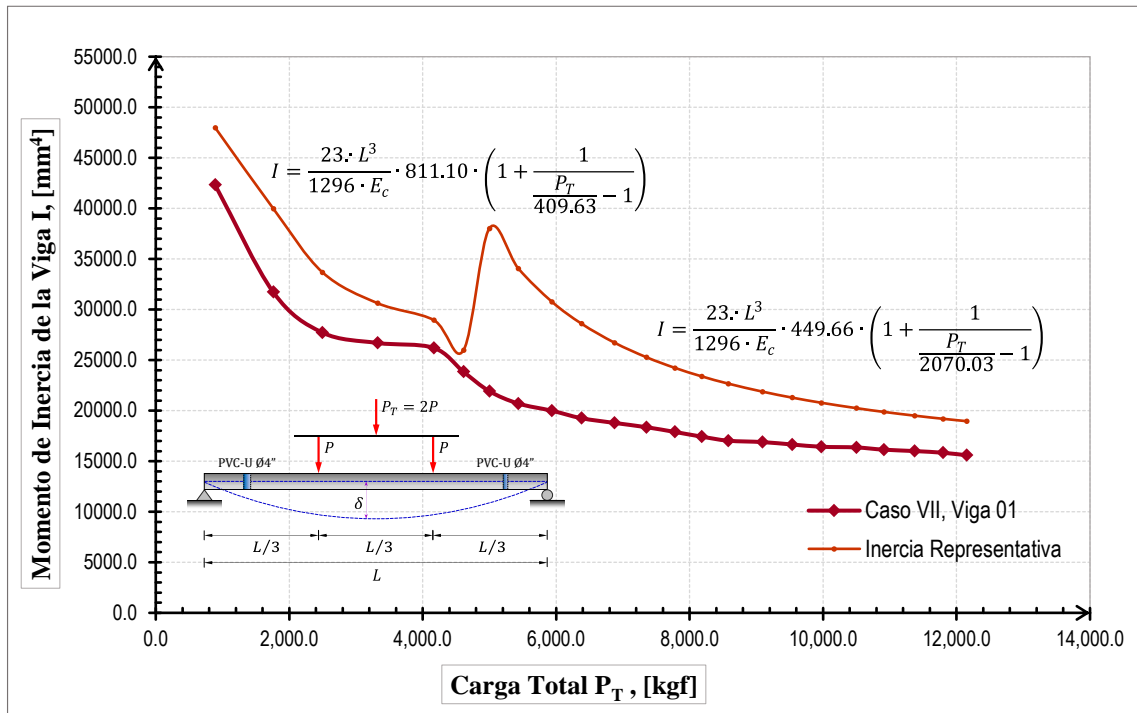
Relación carga PT vs momento inercia, para viga V-02, C-VI



Nota: Elaboración propia.

Figura 97

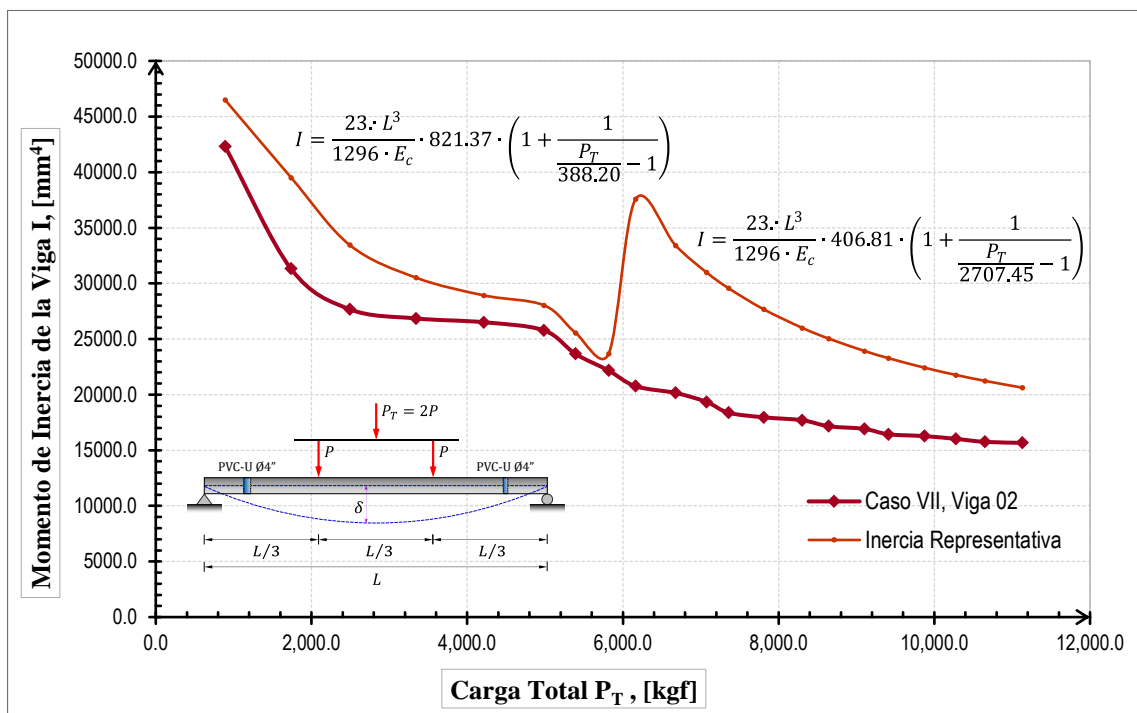
Relación carga P_T vs momento inercia, para viga V-01, C-VII



Nota: Elaboración propia.

Figura 98

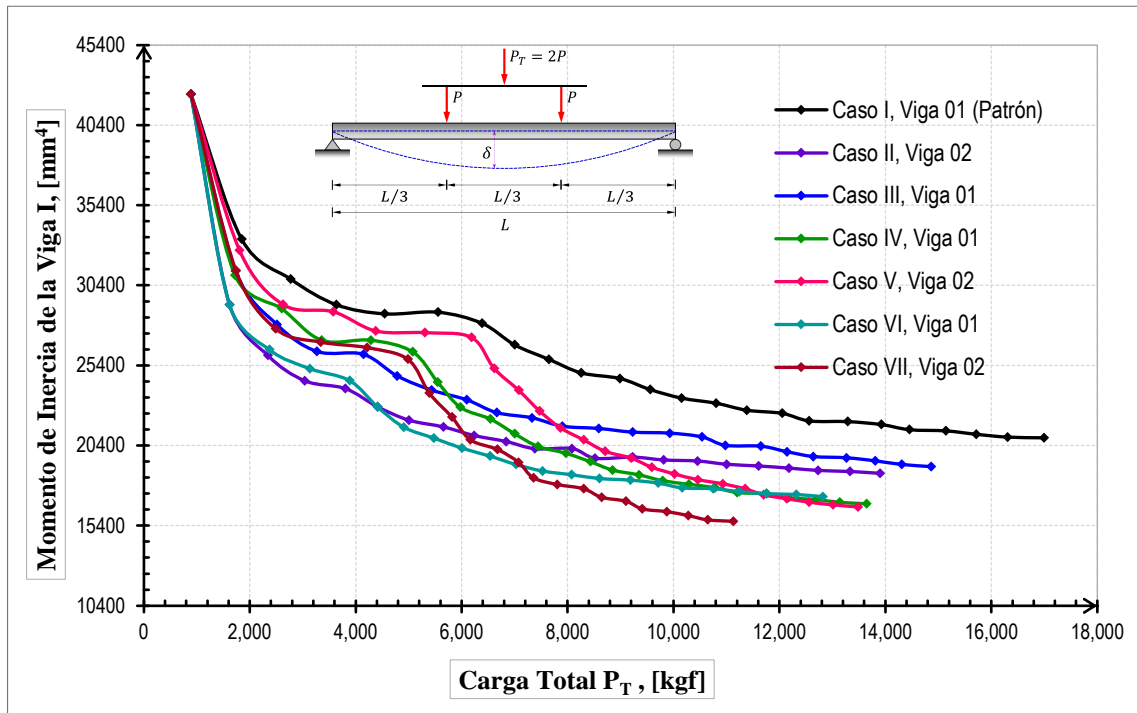
Relación carga PT vs momento inercia, para viga V-02, C-VII



Nota: Elaboración propia.

Figura 99

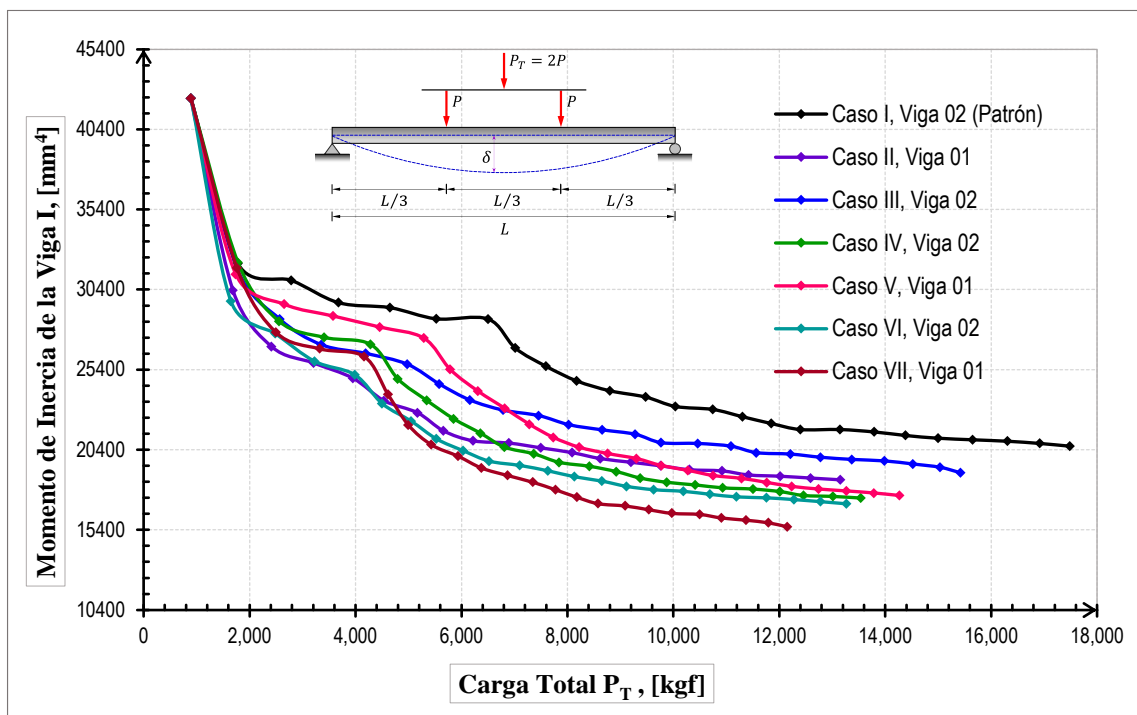
Comparación de los casos estudiados menos favorables de P_T vs I



Nota: Elaboración propia.

Figura 100

Comparación de los casos estudiados más favorables de P_T vs I



Nota: Elaboración propia.

Al analizar las figuras (Figura 99 y Figura 100), se puede observar que la inserción vertical de tuberías ha impactado el momento de inercia en todos los casos estudiados. El mejor desempeño lo exhibió el Caso III, seguido de cerca por el Caso II y el Caso V, que mostraron resultados muy similares. A continuación, se encuentra el Caso IV, seguido por el Caso VI y finalmente el Caso VII, que presentó la eficiencia más desfavorable.

Las gráficas anteriores revelan un punto de interés notable: inicialmente, los valores del momento de inercia de la sección no fisurada son bastante uniformes entre todos los casos estudiados. Sin embargo, tras la aparición de la primera fisura, se observa que el momento de inercia disminuye significativamente.

Además, a partir de la carga $P_T = 8,590.00 \text{ kgf}$ todas las curvas convergen hacia un valor prácticamente constante del momento de inercia.

4.2.4.1. Eficiencia del momento inercia, empleando el criterio “ k_1 ”

Para evaluar la eficacia de cada viga de concreto armado según este criterio, nos basaremos en el valor de la constante derivada de la aplicación de la ecuación (52); asimismo, se recopilan los valores generados en la Tabla 41 para su posterior análisis comparativo.

Posteriormente utilizando los datos recopilados de la Tabla 41, se ha elaborado la Tabla 42, donde se calculan las eficiencias de los momentos de inercia y la eficiencia promedio, aplicando el criterio basado en la constante " k_1 ".

Tabla 41

Cálculo del momento de inercia mediante enfoque de la constante "k₁"

Caso en estudio	Viga	f'_c (kgf/cm ²)	E_c (kgf/cm ²)	L (m)	k_1 (kgf/mm)	α_1 (kgf)	P_{cr} (kgf)	I (mm ⁴)
C-I	Viga 1	214.67	219,774.32	3.30	916.93	350.46	6,385.00	28,153.99
	Viga 2	214.67	219,774.32	3.30	935.82	309.11	6,505.00	28,511.79
C-II	Viga 1	214.67	219,774.32	3.30	764.70	433.93	3,950.00	24,929.80
	Viga 2	214.67	219,774.32	3.30	725.10	446.49	3,805.00	23,839.30
C-III	Viga 1	214.67	219,774.32	3.30	804.20	411.64	4,145.00	25,910.53
	Viga 2	214.67	219,774.32	3.30	814.71	423.07	4,975.00	25,839.89
C-IV	Viga 1	214.67	219,774.32	3.30	839.11	379.19	5,075.00	26,316.87
	Viga 2	214.67	219,774.32	3.30	842.00	386.58	4,285.00	26,857.28
C-V	Viga 1	214.67	219,774.32	3.30	887.94	339.16	5,290.00	27,532.77
	Viga 2	214.67	219,774.32	3.30	879.68	362.93	6,185.00	27,119.03
C-VI	Viga 1	214.67	219,774.32	3.30	750.60	421.33	3,885.00	24,431.57
	Viga 2	214.67	219,774.32	3.30	776.90	418.89	3,985.00	25,193.39
C-VII	Viga 1	214.67	219,774.32	3.30	811.10	409.63	4,165.00	26,105.03
	Viga 2	214.67	219,774.32	3.30	821.37	388.20	4,985.00	25,848.60

Nota: Elaboración propia.

Tabla 42

Eficiencia del momento de inercia por el enfoque de la constante "k₁"

Caso en estudio	Momento de inercia (mm ⁴)			Eficiencia promedio
	I_{max}	I_{min}	$I_{promedio}$	
Caso-I (Patrón)	28,511.79	28,153.99	28,332.89	100%
Caso-II	24,929.80	23,839.30	24,384.55	86%
Caso-III	25,910.53	25,839.89	25,875.21	91%
Caso-IV	26,857.28	26,316.87	26,587.07	93%
Caso-V	27,532.77	27,119.03	27,325.90	96%
Caso-VI	25,193.39	24,431.57	24,812.48	87%
Caso-VII	26,105.03	25,848.60	25,976.82	91%

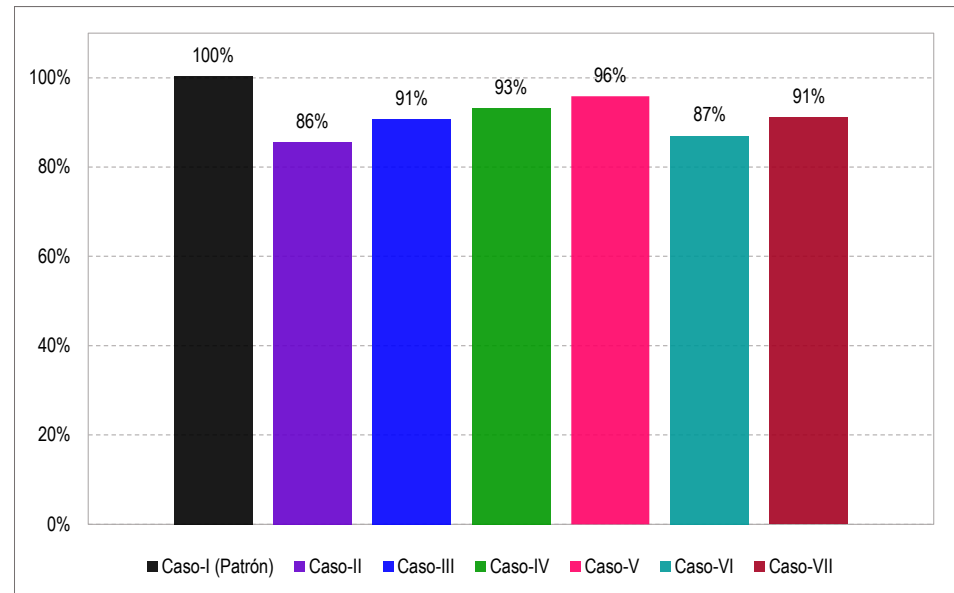
Nota: Elaboración propia.

Además, en la Figura 101 se muestra un gráfico de barras que refleja las eficiencias promedio. Este gráfico proporciona evidencia clara

de que la incorporación de tuberías PVC-U verticales insertas en las vigas de concreto armado resultó, en todos los casos analizados, en una disminución del momento de inercia.

Figura 101

Eficiencia del momento de inercia por el criterio de la constante "k₁"



Nota: Elaboración propia.

- Para el Caso II, que resulta ser el menos favorable, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 4" en la zona donde predomina el máximo momento flector resultó en una eficiencia del 86%, lo que implica una reducción del 14% en comparación con el Caso I (Patrón).
- Para el Caso III, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 2" en la zona donde predomina el máximo momento flector resultó en una eficiencia del 91%, lo que implica una reducción del 9% en comparación con el Caso I (Patrón).
- Para el Caso IV, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 4" en la zona donde predomina la mayor fuerza cortante



- resultó en una eficiencia del 93%, lo que implica una reducción del 7% en comparación con el Caso I (Patrón).
- Para el Caso V, que resulta ser el más favorable, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 2" en la zona donde predomina la mayor fuerza cortante resultó en una eficiencia del 96%, lo que implica una reducción del 4% en comparación con el Caso I (Patrón).
 - Para el Caso VI, se evidencia que la inserción vertical de las tuberías PVC-U de 4" y 2" en las zonas donde predominan la mayor fuerza cortante y el máximo momento flector respectivamente, resultó en una eficiencia del 87%, lo que implica una reducción del 13% en comparación con el Caso I (Patrón).
 - Para el Caso VII, se evidencia que la inserción vertical de las tuberías PVC-U de 4" y 2" en las zonas donde predominan la mayor fuerza cortante (ambos lados de la viga) resultó en una eficiencia del 91%, lo que implica una reducción del 9% en comparación con el Caso I (Patrón).

4.2.4.2. Eficiencia del momento inercia, empleando el criterio " k_2 "

Para evaluar la eficiencia de cada viga de concreto armado conforme a este criterio, nos basaremos en el valor de la constante calculada a partir de la ecuación (52). que se detalla en la Tabla 43 para un análisis de datos. Posteriormente utilizando los datos recopilados de la Tabla 43, se ha elaborado la Tabla 44, donde se calculan las eficiencias de los momentos de inercia y su eficiencia promedio, aplicando el criterio basado en la constante " k_2 ".

Tabla 43

Cálculo del momento de inercia por el enfoque de la constante "k₂"

Caso en estudio	Viga	f'_c (kgf/cm ²)	E_c (kgf/cm ²)	L (m)	k_2 (kgf/mm)	α_2 (kgf)	P_{cr} (kgf)	I (mm ⁴)
C-I	Viga 1	214.67	219,774.32	3.30	621.07	2,316.14	8,590.00	24,676.80
	Viga 2	214.67	219,774.32	3.30	616.96	2,296.63	8,590.00	24,437.23
C-II	Viga 1	214.67	219,774.32	3.30	575.03	1,338.35	8,590.00	19,766.70
	Viga 2	214.67	219,774.32	3.30	594.70	1,102.10	8,590.00	19,798.01
C-III	Viga 1	214.67	219,774.32	3.30	597.84	1,561.98	8,590.00	21,204.86
	Viga 2	214.67	219,774.32	3.30	590.34	1,750.63	8,590.00	21,516.08
C-IV	Viga 1	214.67	219,774.32	3.30	474.60	2,416.67	8,590.00	19,163.99
	Viga 2	214.67	219,774.32	3.30	512.62	1,924.99	8,590.00	19,172.33
C-V	Viga 1	214.67	219,774.32	3.30	498.47	2,489.48	8,590.00	20,368.16
	Viga 2	214.67	219,774.32	3.30	427.01	3,362.26	8,590.00	20,361.30
C-VI	Viga 1	214.67	219,774.32	3.30	526.24	1,455.92	8,590.00	18,387.57
	Viga 2	214.67	219,774.32	3.30	516.61	1,603.17	8,590.00	18,431.56
C-VII	Viga 1	214.67	219,774.32	3.30	449.66	2,070.03	8,590.00	17,191.71
	Viga 2	214.67	219,774.32	3.30	406.81	2,707.45	8,590.00	17,238.86

Nota: Elaboración propia.

Tabla 44

Eficiencia del momento de inercia por el enfoque de la constante "k₂"

Caso en estudio	Momento de inercia (mm ⁴)			Eficiencia promedio
	I_{max}	I_{min}	$I_{promedio}$	
Caso-I (Patrón)	24,676.80	24,437.23	24,557.01	100%
Caso-II	19,798.01	19,766.70	19,782.35	80%
Caso-III	21,516.08	21,204.86	21,360.47	87%
Caso-IV	19,172.33	19,163.99	19,168.16	78%
Caso-V	20,368.16	20,361.30	20,364.73	83%
Caso-VI	18,431.56	18,387.57	18,409.57	75%
Caso-VII	17,238.86	17,191.71	17,215.28	70%

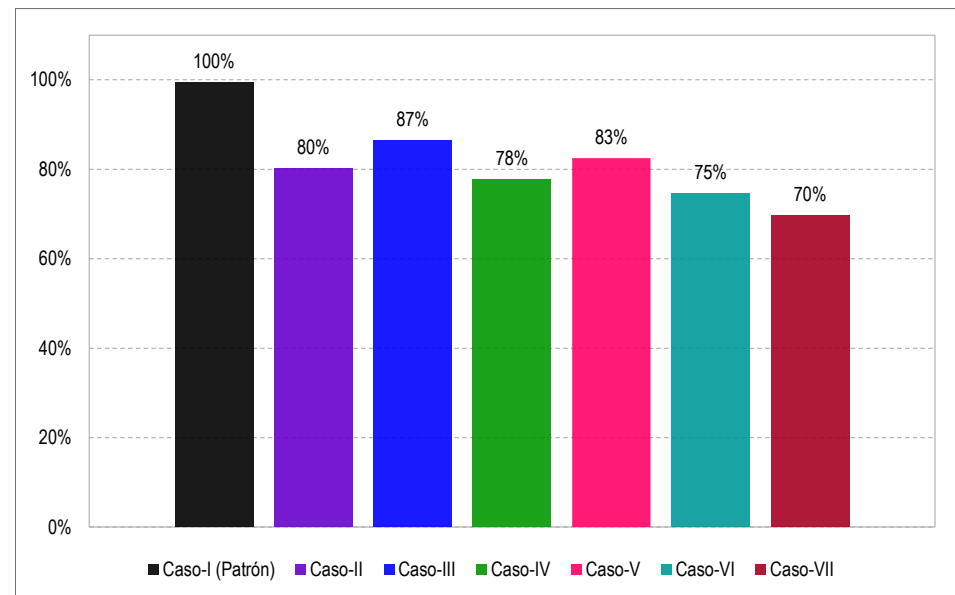
Nota: Elaboración propia.

Además, en la Figura 102 se muestra un diagrama de barras que resume las eficiencias promedio, deduciéndose que la inserción vertical de

tuberías PVC-U en las vigas de concreto armado resultó en la disminución del momento de inercia para todos los casos estudiados. En el Caso VII, esta eficiencia alcanzó un 70% lo que sugiere una disminución del 30%.

Figura 102

Eficiencia del momento de inercia por el criterio de la constante " k_2 "



Nota: Elaboración propia.

Como se puede ver en la Figura 102, los valores de las eficiencias del momento de inercia mostradas basado en el criterio de la constante k_2 se describen como sigue:

- Para el Caso II, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 4" en la zona donde predomina el máximo momento flector resultó en una eficiencia del 80%, lo que implica una reducción del 20% en comparación con el Caso I (Patrón).
- Para el Caso III, que resulta ser el más favorable, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 2" en la zona donde predomina el máximo momento flector resultó en una eficiencia del



87%, lo que implica una reducción del 13% en comparación con el Caso I (Patrón).

- Para el Caso IV, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 4" en la zona donde predomina la mayor fuerza cortante resultó en una eficiencia del 78%, lo que implica una reducción del 22% en comparación con el Caso I (Patrón).
- Para el Caso V, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 2" en la zona donde predomina la mayor fuerza cortante resultó en una eficiencia del 83%, lo que implica una reducción del 17% en comparación con el Caso I (Patrón).
- Para el Caso VI, se evidencia que la inserción vertical de las tuberías PVC-U de 4" y 2" en las zonas donde predominan la mayor fuerza cortante y el máximo momento flector respectivamente, resultó en una eficiencia del 75%, lo que implica una reducción del 25% en comparación con el Caso I (Patrón).
- Para el Caso VII, que resulta ser el menos favorable, se evidencia que la inserción vertical de las tuberías PVC-U de 4" y 2" en las zonas donde predominan la mayor fuerza cortante (ambos lados de la viga) resultó en una eficiencia del 70%, lo que implica una reducción del 30% en comparación con el Caso I (Patrón).

4.2.4.3. Eficiencia del momento de inercia, basado en el criterio de P_T

En esta sección, utilizaremos un método diferente para calcular el momento de inercia de cada viga, midiendo este momento bajo la carga de diseño o de servicio P_T .

Con este propósito, se elabora la Tabla 45, que muestra las deflexiones registradas en el centro de la luz bajo una carga total equivalente a la carga de servicio $P_T = 8,590.00 \text{ kgf}$. El momento de inercia efectivo correspondiente a la carga de servicio se determinará utilizando la ecuación (50).

Tabla 45

Momento de inercia efectivo en las vigas, para la carga de servicio P_T

Caso en estudio	Viga	P_T (kgf)	δ (mm)	$k = \frac{P_T}{\delta}$ (kgf/mm)	f'_c (kgf/cm ²)	E_c (kgf/cm ²)	L (m)	I_e (mm ⁴)
C-I	Viga 1	8,590.00	10.06	853.52	214.67	219,774.32	3.30	24,768.68
	Viga 2	8,590.00	10.27	836.57	214.67	219,774.32	3.30	24,276.65
C-II	Viga 1	8,590.00	12.55	684.66	214.67	219,774.32	3.30	19,868.27
	Viga 2	8,590.00	12.71	675.76	214.67	219,774.32	3.30	19,610.21
C-III	Viga 1	8,590.00	11.62	739.48	214.67	219,774.32	3.30	21,459.27
	Viga 2	8,590.00	11.51	746.53	214.67	219,774.32	3.30	21,663.96
C-IV	Viga 1	8,590.00	12.99	661.20	214.67	219,774.32	3.30	19,187.62
	Viga 2	8,590.00	12.95	663.09	214.67	219,774.32	3.30	19,242.56
C-V	Viga 1	8,590.00	12.30	698.64	214.67	219,774.32	3.30	20,274.13
	Viga 2	8,590.00	12.32	697.42	214.67	219,774.32	3.30	20,238.56
C-VI	Viga 1	8,590.00	13.59	632.30	214.67	219,774.32	3.30	18,348.80
	Viga 2	8,590.00	13.49	636.58	214.67	219,774.32	3.30	18,473.19
C-VII	Viga 1	8,590.00	14.63	587.01	214.67	219,774.32	3.30	17,034.70
	Viga 2	8,590.00	14.46	594.19	214.67	219,774.32	3.30	17,243.07

Nota: Elaboración propia.

A continuación, con los datos proporcionados en la tabla anterior, se elabora la Tabla 46, donde se evalúan las eficiencias de los casos estudiados en relación con el momento de inercia. El análisis se lleva a cabo comparando el momento de inercia efectivo de la sección transversal de la viga en el instante en que se aplica la carga de diseño o de servicio $P_T = 8,590.00 \text{ kgf}$.

Tabla 46

Eficiencia respecto al momento de inercia para la carga de servicio P_T

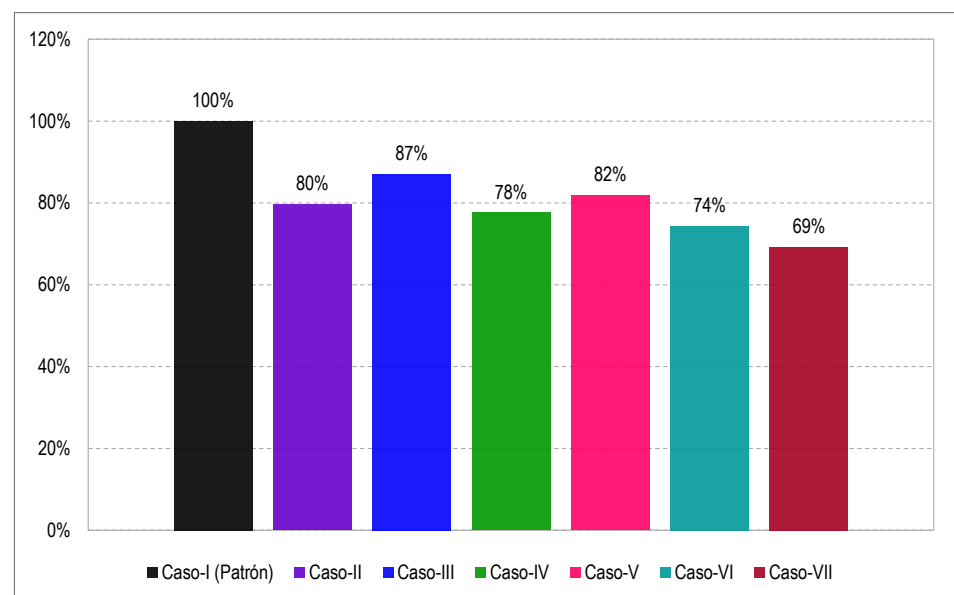
Caso en estudio	Momento de inercia efectivo (mm^4)			Eficiencia promedio
	I_{max}	I_{min}	$I_{promedio}$	
Caso-I (Patrón)	24,768.68	24,276.65	24,522.66	100%
Caso-II	19,868.27	19,610.21	19,739.24	80%
Caso-III	21,663.96	21,459.27	21,561.61	87%
Caso-IV	19,242.56	19,187.62	19,215.09	78%
Caso-V	20,274.13	20,238.56	20,256.34	82%
Caso-VI	18,473.19	18,348.80	18,410.99	74%
Caso-VII	17,243.07	17,034.70	17,138.88	69%

Nota: Elaboración propia.

La Figura 103 muestra que, a pesar de que la tendencia en las eficiencias se mantiene, las diferencias son relativamente menores en comparación con las que se obtuvieron utilizando el criterio de la constante " k_2 ".

Figura 103

Eficiencia del momento de inercia bajo la carga de servicio P_T



Nota: Elaboración propia.



Al revisar la Figura 103, se verifica que las tuberías insertas verticalmente afectaron significativamente el momento de inercia efectivo en todos los casos estudiados. Esto sugiere que, bajo la carga de servicio aplicada, las vigas con tuberías insertas experimentaron deflexiones mayores en comparación con el Caso I (Patrón), destacando el impacto negativo de la tubería en las propiedades estructurales de la viga.

- Para el Caso II, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 4" en la zona donde predomina el máximo momento flector resultó en una eficiencia del 80%, lo que implica una reducción del 20% en comparación con el Caso I (Patrón).
- Para el Caso III, que resulta ser el más favorable, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 2" en la zona donde predomina el máximo momento flector resultó en una eficiencia del 87%, lo que implica una reducción del 13% en comparación con el Caso I (Patrón).
- Para el Caso IV, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 4" en la zona donde predomina la mayor fuerza cortante resultó en una eficiencia del 78%, lo que implica una reducción del 22% en comparación con el Caso I (Patrón).
- Para el Caso V, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 2" en la zona donde predomina la mayor fuerza cortante resultó en una eficiencia del 82%, lo que implica una reducción del 18% en comparación con el Caso I (Patrón).
- Para el Caso VI, se evidencia que la inserción vertical de las tuberías PVC-U de 4" y 2" en las zonas donde predominan la mayor fuerza

cortante y el máximo momento flector respectivamente, resultó en una eficiencia del 74%, lo que implica una reducción del 26% en comparación con el Caso I (Patrón).

- Para el Caso VII, que resulta ser el menos favorable, se evidencia que la inserción vertical de las tuberías PVC-U de 4" y 2" en las zonas donde predominan la mayor fuerza cortante (ambos lados de la viga) resultó en una eficiencia del 69%, lo que implica una reducción del 31% en comparación con el Caso I (Patrón).

4.2.5. Deflexión bajo cargas de servicio

4.2.5.1. Eficiencia de la deflexión en relación con la carga de servicio

Los resultados experimentales obtenidos en el laboratorio se presentan en la Tabla 47, los cuales reflejan las deflexiones registradas en el centro de luz de la viga al aplicar la carga de servicio ($P_T = 8,590.00 \text{ kgf}$), además se muestra la deflexión correspondiente a esta carga.

De acuerdo con el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE, 2020) en la norma E.060, capítulo 9.6 (Tabla 9.1) que trata sobre el control de deflexiones, establece que la deflexión máxima admisible calculada para sistemas de entrepiso que soporten o estén conectados a elementos no estructurales susceptibles de dañarse debido a deflexiones significativas debe ser igual a $L/480$. Por lo tanto, para este estudio, la deflexión máxima admisible es:

$$\delta_{adm} = \frac{L}{480} \quad (53)$$

Tabla 47*Deflexión en el centro de luz de cada viga para la carga de servicio P_T*

Caso en estudio	Viga	P_T (kgf)	δ (mm)
C-I	Viga 1	8,590.00	10.06
	Viga 2	8,590.00	10.27
C-II	Viga 1	8,590.00	12.55
	Viga 2	8,590.00	12.71
C-III	Viga 1	8,590.00	11.62
	Viga 2	8,590.00	11.51
C-IV	Viga 1	8,590.00	12.99
	Viga 2	8,590.00	12.95
C-V	Viga 1	8,590.00	12.30
	Viga 2	8,590.00	12.32
C-VI	Viga 1	8,590.00	13.59
	Viga 2	8,590.00	13.49
C-VII	Viga 1	8,590.00	14.63
	Viga 2	8,590.00	14.46

Nota: Elaboración propia.

Reemplazando en la ecuación (53) se tiene la deflexión admisible:

$$\delta_{adm} = \frac{L}{480} = \frac{3,300}{480} = 6.875 \text{ mm}$$

Se puede observar como primera conclusión que, a pesar de que todos los casos de estudio presentaron deflexiones elevadas (ver Tabla 47), ninguna de ellas superó el límite máximo permitido de 6.875 mm de acuerdo con la fórmula propuesta en el Reglamento Nacional de Edificaciones (NTP, 2020).

Se analizan los datos de la Tabla 47, se realizó una comparación entre las deflexiones medidas en cada viga de estudio con las vigas patrón. En la Tabla 48 se detalla esta evaluación, mostrando los cálculos de las

eficiencias correspondientes a los casos estudiados, en función de las deflexiones en centro de luz bajo la carga de servicio ($P_T = 8,590 \text{ kgf}$). Para visualizar estos resultados, se ha creado el diagrama de la Figura 104 que muestra los promedios de eficiencia obtenidos para cada caso.

Tabla 48

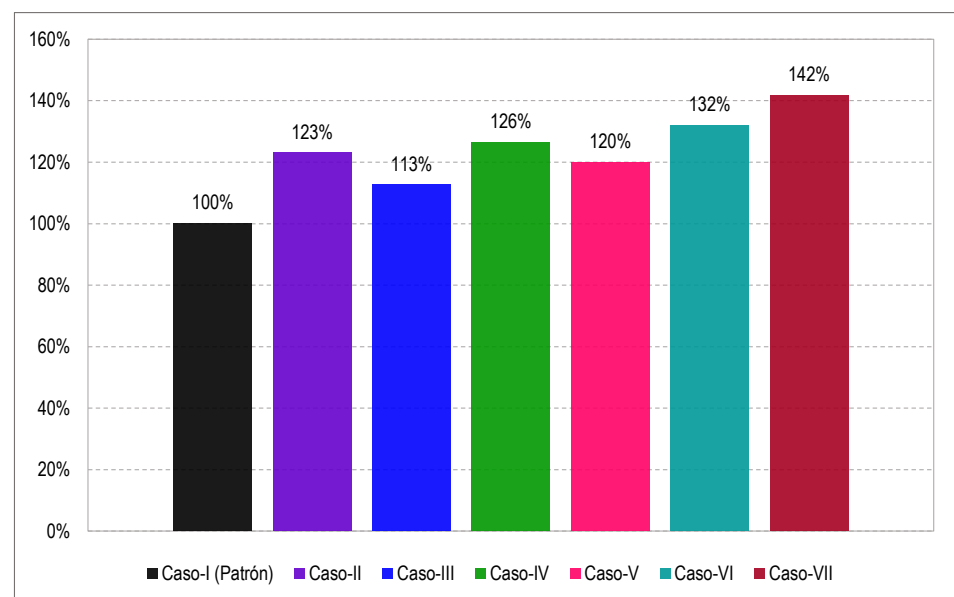
Eficiencia de la deflexión en el centro de luz bajo carga de servicio

Caso en estudio	Deflexión en el centro de viga (mm)			Eficiencia promedio
	δ_{max}	δ_{min}	$\delta_{promedio}$	
Caso-I (Patrón)	10.27	10.06	10.17	100%
Caso-II	12.71	12.55	12.63	123%
Caso-III	11.62	11.51	11.56	113%
Caso-IV	12.99	12.95	12.97	126%
Caso-V	12.32	12.30	12.31	120%
Caso-VI	13.59	13.49	13.54	132%
Caso-VII	14.63	14.46	14.55	142%

Nota: Elaboración propia.

Figura 104

Eficiencia de la deflexión en el centro de la luz bajo la carga de servicio



Nota: Elaboración propia.



Al observar la Figura 104, se observa de inmediato el porcentaje de eficiencia en términos de deflexión registrado en todos los casos de estudio. Se evidencia que todas las vigas experimentaron deflexiones significativamente mayores en comparación con las vigas del Caso I (Patrón), los cuales:

- Para el Caso II, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 4" en la zona donde predomina el máximo momento flector resultó en una eficiencia del 123%, lo que implica un incremento del 23% en comparación con el Caso I (Patrón).
- Para el Caso III, que resulta ser el más favorable, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 2" en la zona donde predomina el máximo momento flector resultó en una eficiencia del 113%, lo que implica un incremento del 13% en comparación con el Caso I (Patrón).
- Para el Caso IV, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 4" en la zona donde predomina la mayor fuerza cortante resultó en una eficiencia del 126%, lo que implica un incremento del 26% en comparación con el Caso I (Patrón).
- Para el Caso V, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 2" en la zona donde predomina la mayor fuerza cortante resultó en una eficiencia del 120%, lo que implica un incremento del 20% en comparación con el Caso I (Patrón).
- Para el Caso VI, se evidencia que la inserción vertical de las tuberías PVC-U de 4" y 2" en las zonas donde predominan la mayor fuerza cortante y el máximo momento flector respectivamente, resultó en una

eficiencia del 132%, lo que implica un incremento del 32% en comparación con el Caso I (Patrón).

- Para el Caso VII, que resulta ser el menos favorable, se evidencia que la inserción vertical de las tuberías PVC-U de 4" y 2" en las zonas donde predominan la mayor fuerza cortante (ambos lados de la viga) resultó en una eficiencia del 142%, lo que implica un incremento del 42% en comparación con el Caso I (Patrón).

4.2.6. Agrietamiento

Como se explicó anteriormente, en las secciones previas, desde la Figura 30 hasta la Figura 56 exhiben un cambio brusco en la pendiente de la función, identificado como el punto de agrietamiento $(\delta_{cr}; P_{cr})$. Este punto facilita la división de la gráfica en dos segmentos lineales distintos: uno representado por la ecuación $y = k_1 \cdot x + a_1$ (al comienzo del proceso de carga) y otro posterior definido por la ecuación $y = k_2 \cdot x + a_2$ (después de que ocurre el cambio en la pendiente).

En la siguiente tabla (Tabla 49), se presentan de forma resumida las ecuaciones de estas dos rectas para todas las vigas estudiadas, junto con las coordenadas del punto de quiebre $(\delta_{cr}; P_{cr})$. Este punto se determinó analíticamente mediante el cálculo de la intersección de las rectas mencionadas anteriormente. Se postula que este punto de inflexión corresponde al momento en que aparece la primera fisura visible en la viga de concreto armado, por lo cual se le denomina el punto de agrietamiento, donde este punto indica el fin del comportamiento puramente elástico del concreto, y es fundamental para caracterizar la transición hacia el comportamiento fisurado de la viga.

Tabla 49

Regresiones lineales P_T y δ , y puntos de agrietamiento en las vigas

Caso en estudio	Viga	$y = k_1 \cdot x + a_1$		$y = k_2 \cdot x + a_2$		Punto agrietamiento	
		k_1 (kgf/mm)	a_1 (kgf)	k_2 (kgf/mm)	a_2 (kgf)	P_{cr} (kgf)	δ_{cr} (mm)
C-I	Viga 1	916.93	350.46	621.07	2,316.14	6,385.00	6.61
	Viga 2	935.82	309.11	616.96	2,296.63	6,505.00	6.61
C-II	Viga 1	764.70	433.93	575.03	1,338.35	3,950.00	4.61
	Viga 2	725.10	446.49	594.70	1,102.10	3,805.00	4.61
C-III	Viga 1	804.20	411.64	597.84	1,561.98	4,145.00	4.61
	Viga 2	814.71	423.07	590.34	1,750.63	4,975.00	5.61
C-IV	Viga 1	839.11	379.19	474.60	2,416.67	5,075.00	5.61
	Viga 2	842.00	386.58	512.62	1,924.99	4,285.00	4.61
C-V	Viga 1	887.94	339.16	498.47	2,489.48	5,290.00	5.61
	Viga 2	879.68	362.93	427.01	3,362.26	6,185.00	6.61
C-VI	Viga 1	750.60	421.33	526.24	1,455.92	3,885.00	4.61
	Viga 2	776.90	418.89	516.61	1,603.17	3,985.00	4.61
C-VII	Viga 1	811.10	409.63	449.66	2,070.03	4,165.00	4.61
	Viga 2	821.37	388.20	406.81	2,707.45	4,985.00	5.61

Nota: Elaboración propia.

La Tabla 49 ofrece datos esenciales para llevar a cabo las primeras comparaciones cuantitativas entre los distintos casos de estudio y las vigas del Caso I (Patrón). Una observación preliminar importante es que todas las vigas muestran valores de rigidez inicial muy similares, sin diferencias significativas apreciables en esta etapa de análisis.

Sin embargo, se observa que todas las vigas con tuberías insertas verticalmente desarrollaron fisuras antes que las vigas del Caso I (Patrón). Esto indica que la inserción vertical de tuberías acelera la aparición de fisuras, como lo demuestran los valores correspondientes a la carga de agrietamiento, que refleja la carga inicial que provocó la primera fisura en la sección transversal de las vigas.

4.2.6.1. Eficiencia en relación con la carga de agrietamiento P_{cr}

Se presenta la Tabla 50, construida a partir de los datos numéricos correspondiente a las cargas de agrietamiento P_{cr} . En la tabla, se agrupan los valores mínimos y máximos de cada caso de estudio, seguido por el cálculo de un promedio de estos valores. Utilizando las fórmulas proporcionadas, se determinan las eficiencias correspondientes para cada caso.

Tabla 50

Determinación de la eficiencia, basado en la carga de agrietamiento

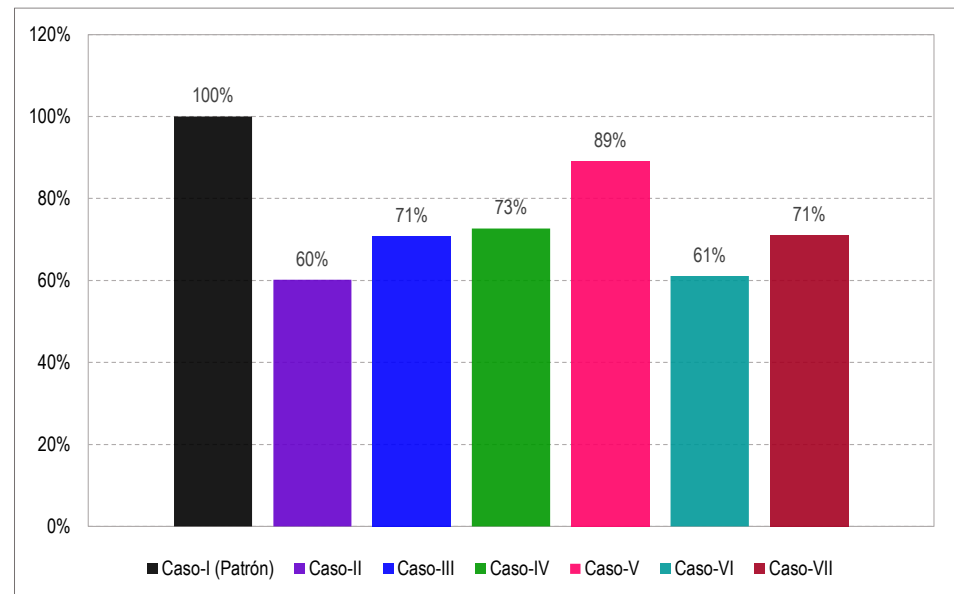
Caso en estudio	Cargas de agrietamiento (kgf)			Eficiencia promedio
	P_{cr_max}	P_{cr_min}	$P_{cr_promedio}$	
Caso-I (Patrón)	6,505.00	6,385.00	6,445.00	100%
Caso-II	3,950.00	3,805.00	3,877.50	60%
Caso-III	4,975.00	4,145.00	4,560.00	71%
Caso-IV	5,075.00	4,285.00	4,680.00	73%
Caso-V	6,185.00	5,290.00	5,737.50	89%
Caso-VI	3,985.00	3,885.00	3,935.00	61%
Caso-VII	4,985.00	4,165.00	4,575.00	71%

Nota: Elaboración propia.

Al representar los datos de la Tabla 50 en la Figura 105, se puede observar cómo la eficiencia varía entre los distintos casos estudiados en función de carga de agrietamiento. Se evidencia que la inserción vertical de tuberías en las vigas influyó en el agrietamiento prematuro en todos los casos analizados. El menos favorable resultó ser el Caso II con una eficiencia del 60% lo que implica una reducción del 40% y el más favorable fue el Caso V con una eficiencia del 89% que corresponde a una reducción del 11%, estos en comparación con el Caso I (Patrón).

Figura 105

Eficiencia, basado en la carga de agrietamiento



Nota: Elaboración propia.

En la Figura 105 se observa que el Caso II es el más desfavorable, con una eficiencia del 60% en comparación con el Caso I (Patrón). Por otro lado, el Caso III muestra una eficiencia del 71%, también en comparación con el Caso I (Patrón). En el Caso IV, la eficiencia alcanzada es del 73%, lo que es muy similar a la del Caso III. En el Caso V, se obtiene la eficiencia más alta, con un 89% en comparación con el Caso I (Patrón), siendo este el caso más favorable. Para el Caso VI, la eficiencia es del 61%, lo que es muy parecido al resultado del Caso II. Finalmente, el Caso VII presenta una eficiencia del 71%, similar a la de los Casos III y IV.

4.2.6.2. Eficiencia en relación con la deflexión del agrietamiento δ_{cr}

La Tabla 51 recopila los valores de las deflexiones de agrietamiento, representadas por δ_{cr} . La deflexión de agrietamiento se define como la primera deflexión registrada en el centro de la luz de la

viga, momento en que se forma la primera fisura en la sección transversal del concreto armado de la viga.

Tabla 51

Determinación de la eficiencia, basado en deflexión por agrietamiento

Caso en estudio	Deflexión por agrietamiento (mm)			Eficiencia promedio
	δ_{cr_max}	δ_{cr_min}	$\delta_{cr_promedio}$	
Caso-I (Patrón)	6.61	6.61	6.61	100%
Caso-II	4.61	4.61	4.61	70%
Caso-III	5.61	4.61	5.11	77%
Caso-IV	5.61	4.61	5.11	77%
Caso-V	6.61	5.61	6.11	92%
Caso-VI	4.61	4.61	4.61	70%
Caso-VII	5.61	4.61	5.11	77%

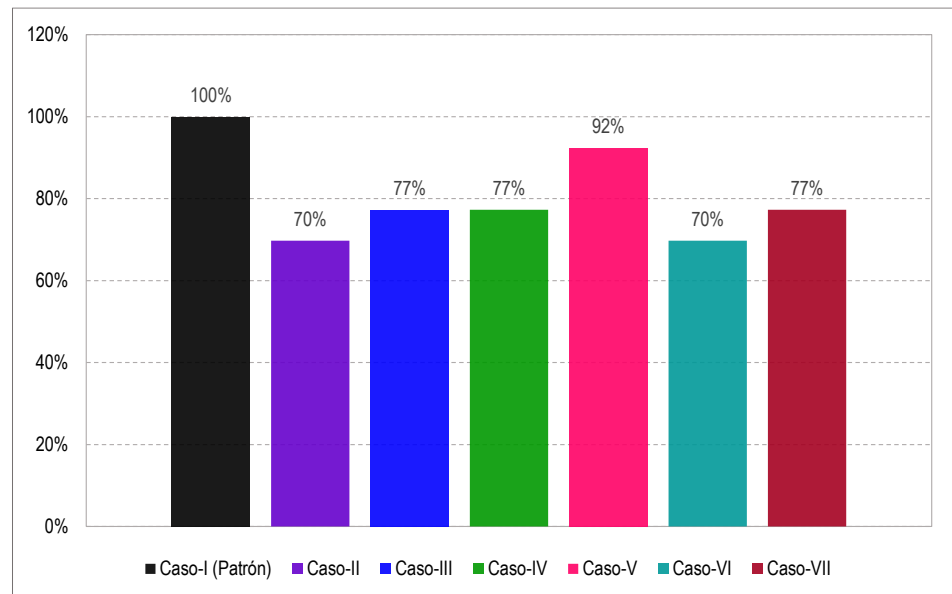
Nota: Elaboración propia.

En la Figura 106 se presentan las eficiencias promedio, las cuales son ligeramente mayores en comparación con las obtenidas mediante el criterio de carga de agrietamiento. No obstante, mantienen la misma tendencia.

Y a partir de esta figura (Figura 106), se puede observar que el Caso II es el más desfavorable, con una eficiencia del 70% en comparación con el Caso I (Patrón). En el Caso III, la eficiencia obtenida fue del 77%, también en comparación con el Caso I (Patrón). Para el Caso IV, la eficiencia fue del 77%, muy cercana a la del caso anterior. En el Caso V, se alcanzó una eficiencia del 92% en comparación con el Caso I (Patrón), siendo este el más favorable. En el Caso VI, la eficiencia fue del 70%, similar a la del Caso II. Finalmente, en el Caso VII, la eficiencia fue del 77%, lo que la hace comparable con los Casos III y IV.

Figura 106

Eficiencia, basado en la deflexión de agrietamiento



Nota: Elaboración propia.

Para evaluar de manera imparcial las eficiencias de cada caso de estudio respecto al agrietamiento inicial, se ha elaborado la Tabla 52. Esta tabla presenta un resumen de las eficiencias determinadas utilizando el criterio de la carga de agrietamiento, y las compara con las obtenidas a partir de los valores de deflexión en el momento de agrietamiento. También se ha calculado un promedio general que integra los promedios de ambos criterios, ofreciendo así una evaluación más integral y equilibrada de las eficiencias de cada viga analizada.

Como se mencionó previamente, los resultados obtenidos utilizando el criterio de la deflexión de agrietamiento mostraron promedios ligeramente superiores en comparación con los obtenidos mediante el criterio de carga de agrietamiento. Esta tendencia se observó de manera consistente en todos los casos de estudio.

Tabla 52

Eficiencia en relación de la carga y deflexión por agrietamiento

Caso en estudio	Eficiencias		Promedio
	Carga por agrietamiento (kgf)	Deflexión por agrietamiento (mm)	
	Eficiencia promedio	Eficiencia promedio	
Caso-I (Patrón)	100%	100%	100%
Caso-II	60%	70%	65%
Caso-III	71%	77%	74%
Caso-IV	73%	77%	75%
Caso-V	89%	92%	91%
Caso-VI	61%	70%	65%
Caso-VII	71%	77%	74%

Nota: Elaboración propia.

Utilizando los valores de los promedios de la Tabla 52, podemos concluir que:

- Para el Caso II, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 4" en la zona donde predomina el máximo momento flector resultó en una eficiencia del 65%, lo que implica una reducción del 35% en comparación con el Caso I (Patrón).
- Para el Caso III, que resulta ser el menos favorable, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 2" en la zona donde predomina el máximo momento flector resultó en una eficiencia del 74%, lo que implica una reducción del 26% en comparación con el Caso I (Patrón).
- Para el Caso IV, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 4" en la zona donde predomina la mayor fuerza cortante



resultó en una eficiencia del 75%, lo que implica una reducción del 25% en comparación con el Caso I (Patrón).

- Para el Caso V, que resulta ser el más favorable, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 2" en la zona donde predomina la mayor fuerza cortante resultó en una eficiencia del 91%, lo que implica una reducción del 9% en comparación con el Caso I (Patrón).
- Para el Caso VI, igual al Caso II resulta ser el menos favorable, se evidencia que la inserción vertical de las tuberías PVC-U de 4" y 2" en las zonas donde predominan la mayor fuerza cortante y el máximo momento flector respectivamente, resultó en una eficiencia del 65%, lo que implica una reducción del 35% en comparación con el Caso I (Patrón).
- Para el Caso VII, se evidencia que la inserción vertical de las tuberías PVC-U de 4" y 2" en las zonas donde predominan la mayor fuerza cortante (ambos lados de la viga) resultó en una eficiencia del 74%, lo que implica una reducción del 26% en comparación con el Caso I (Patrón).

4.2.7. Deflexión elástica de las vigas, en cada momento de carga

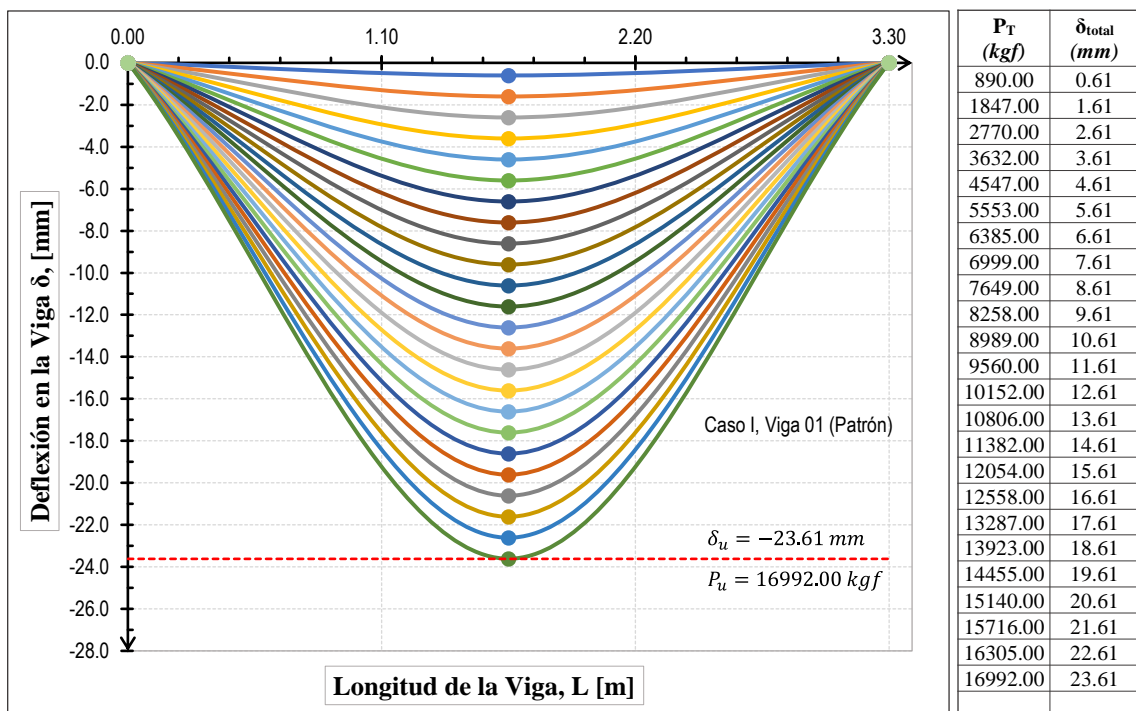
En cada fase de incremento de carga para cada viga, se tomaron lecturas de los deformímetros. Estos datos se recopilaron meticulosamente en una libreta de campo y se registraron en grabaciones. Además, conociendo el valor de las deformaciones y su ubicación precisa, junto con las condiciones de borde que requieren deflexiones cero en los apoyos, se obtuvo una información detallada y precisa sobre el comportamiento de las vigas ante las cargas aplicadas.

De este modo, se logró delinear un esquema de la deformación elástica de cada viga, lo cual implica crear una representación aproximada de la deformación para cada incremento de carga en la viga. Las figuras a continuación (Figura 107 hasta la Figura 120) muestran las curvas elásticas correspondientes a las vigas individuales en diferentes momentos de aplicación de carga en toda la zona elástica hasta alcanzar el punto de fluencia ($\delta_y; P_y$), ofreciendo una visión detallada del comportamiento de las vigas frente a las cargas aplicadas en diferentes etapas del ensayo.

En las figuras presentadas (de la Figura 107 a la Figura 120) se muestra la deflexión alcanzada hasta llegar al punto de fluencia, junto con la carga correspondiente. Estos valores fueron obtenidos para cada caso de las vigas en estudio.

Figura 107

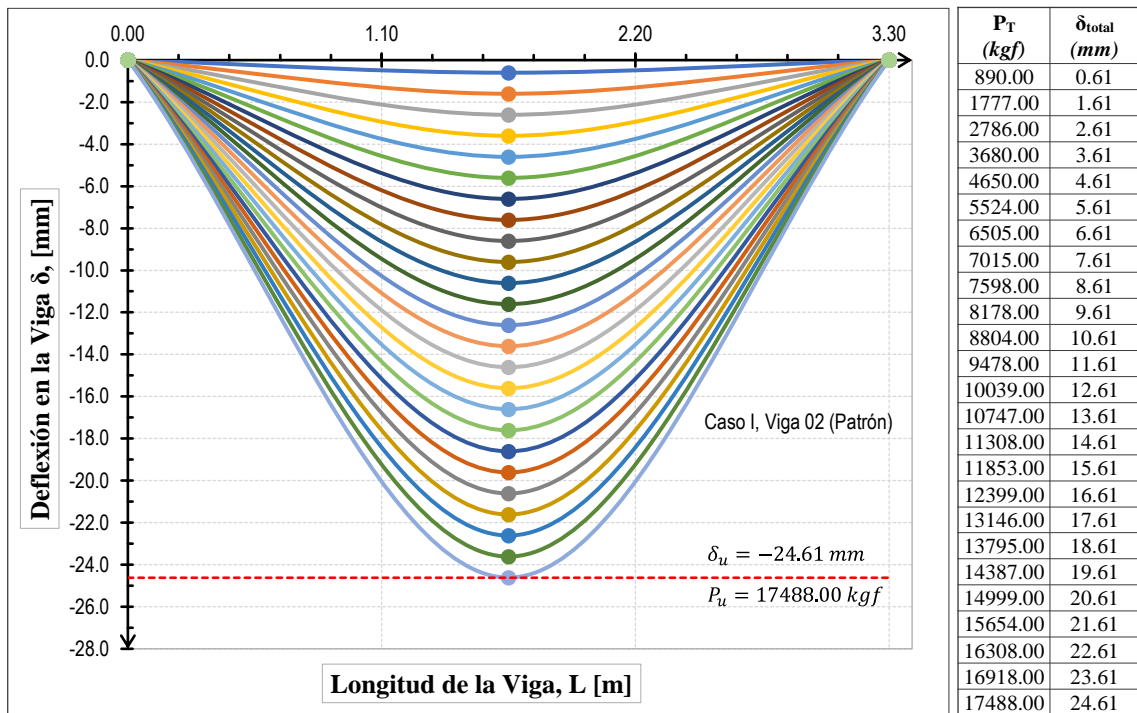
Deformación elástica para la viga patrón V-01, C-I



Nota: Elaboración propia.

Figura 108

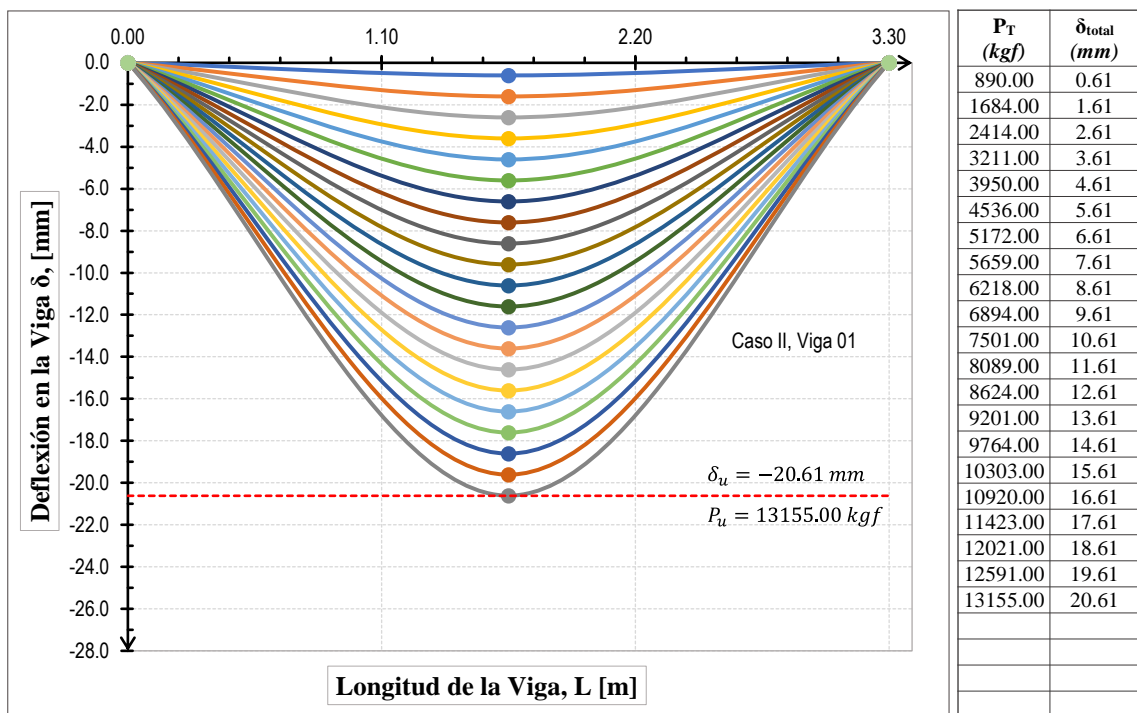
Deformación elástica para la viga patrón V-02, C-I



Nota: Elaboración propia.

Figura 109

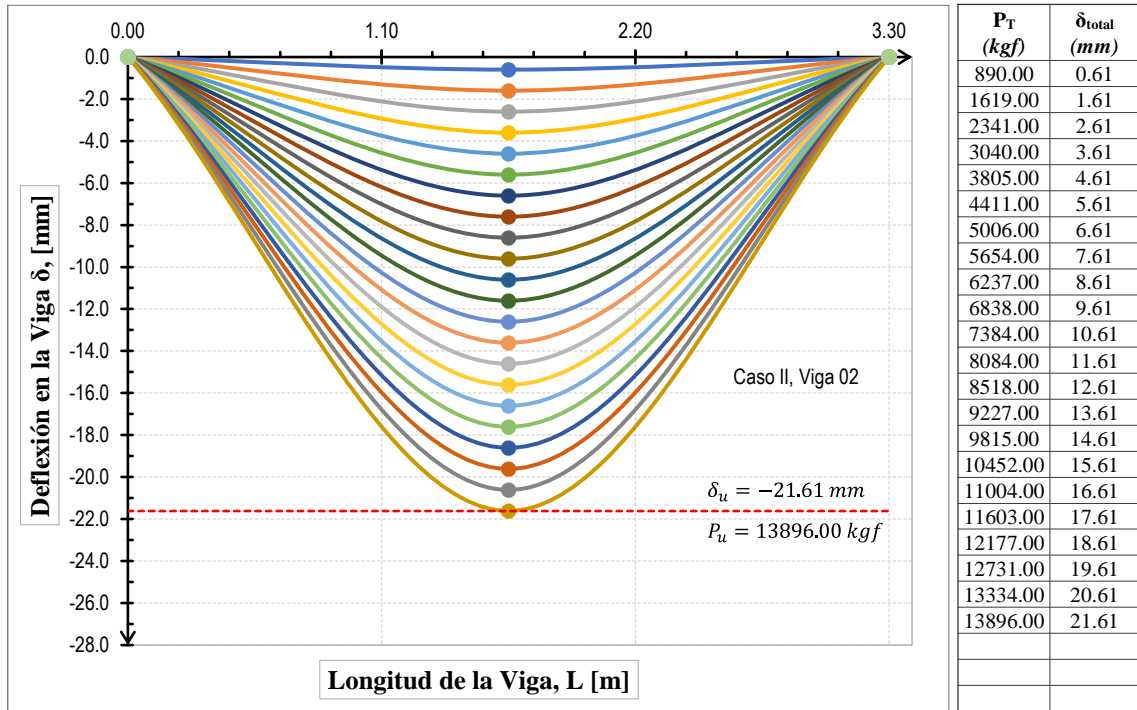
Deformación elástica para la viga V-01, caso C-II



Nota: Elaboración propia.

Figura 110

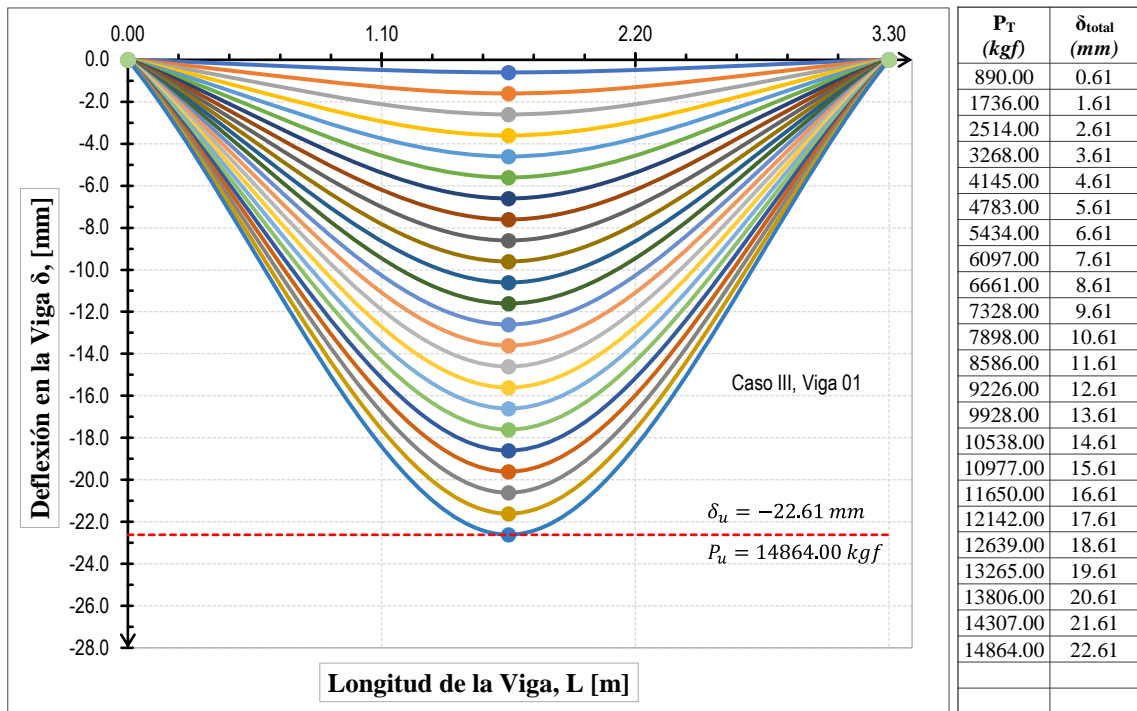
Deformación elástica para la viga V-02, caso C-II



Nota: Elaboración propia.

Figura 111

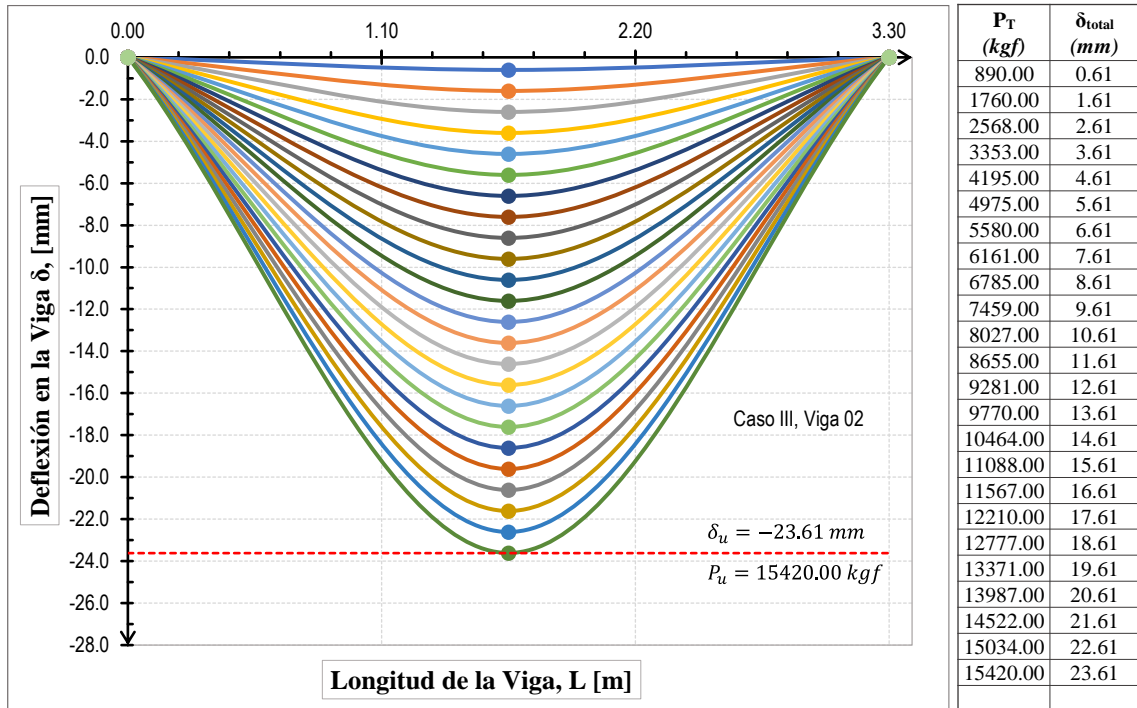
Deformación elástica para la viga V-01, caso C-III



Nota: Elaboración propia.

Figura 112

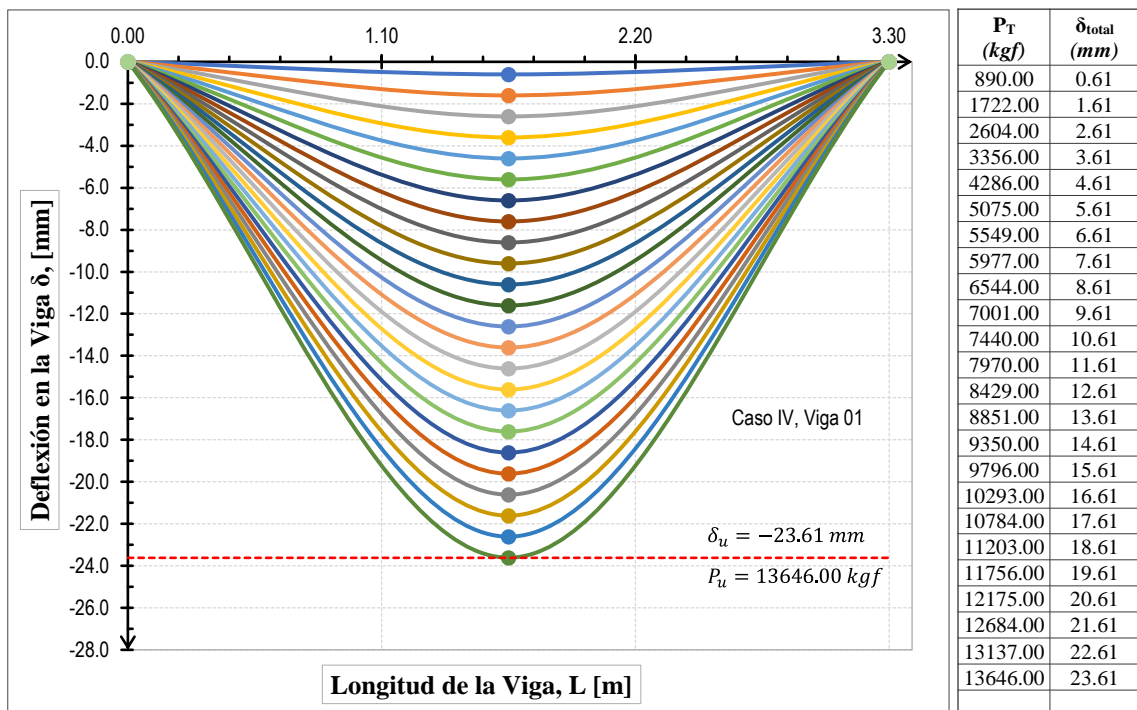
Deformación elástica para la viga V-02, caso C-III



Nota: Elaboración propia.

Figura 113

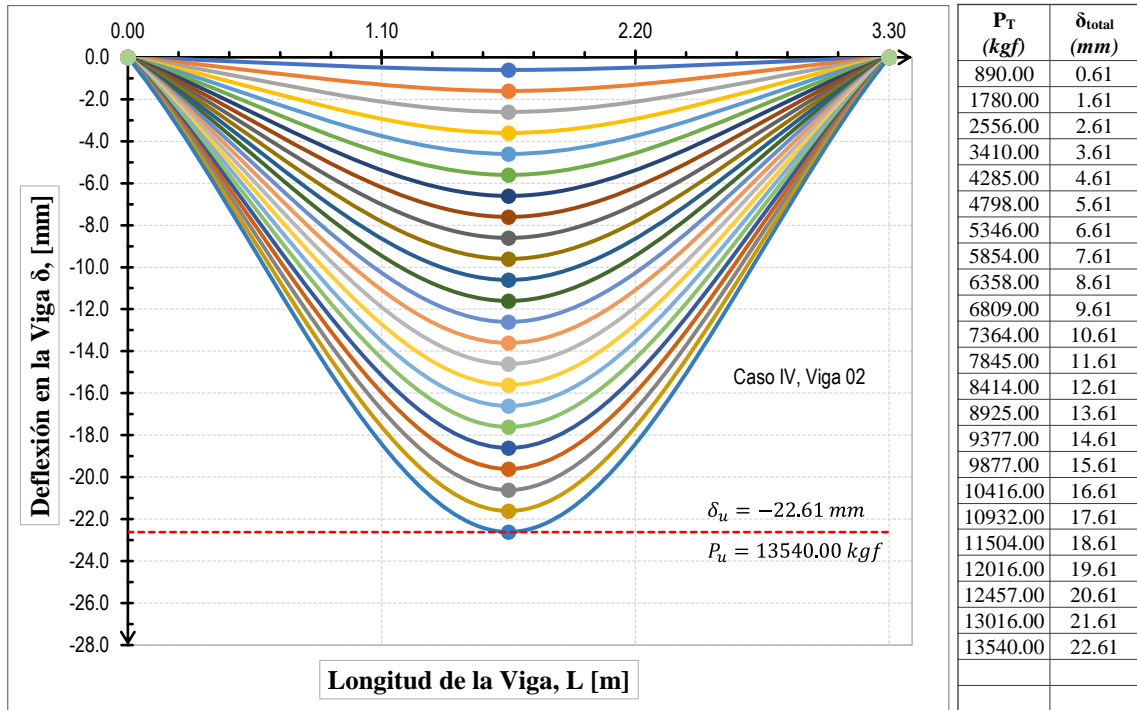
Deformación elástica para la viga V-01, caso C-IV



Nota: Elaboración propia.

Figura 114

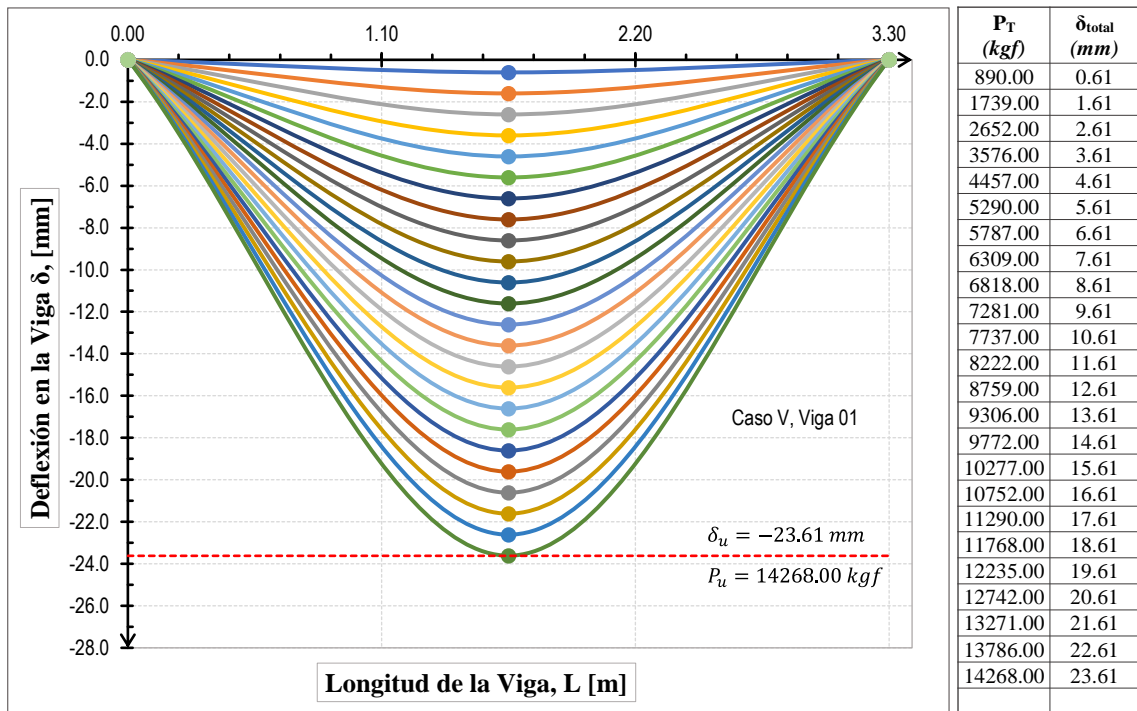
Deformación elástica para la viga V-02, caso C-IV



Nota: Elaboración propia.

Figura 115

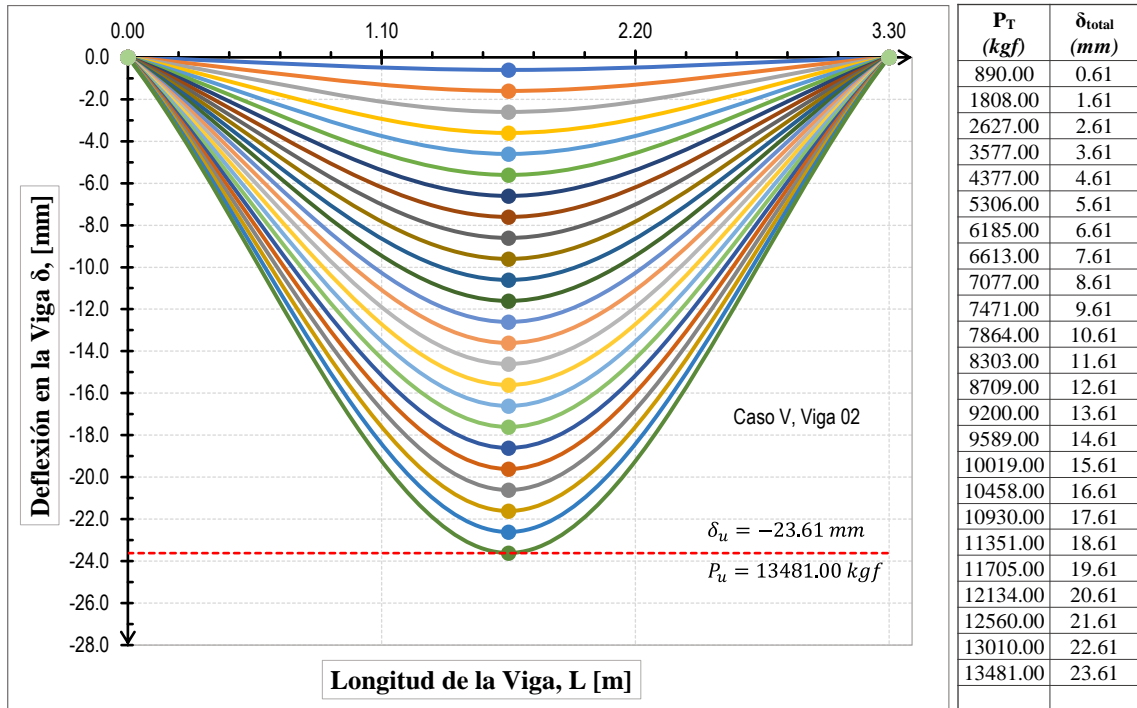
Deformación elástica para la viga V-01, caso C-V



Nota: Elaboración propia.

Figura 116

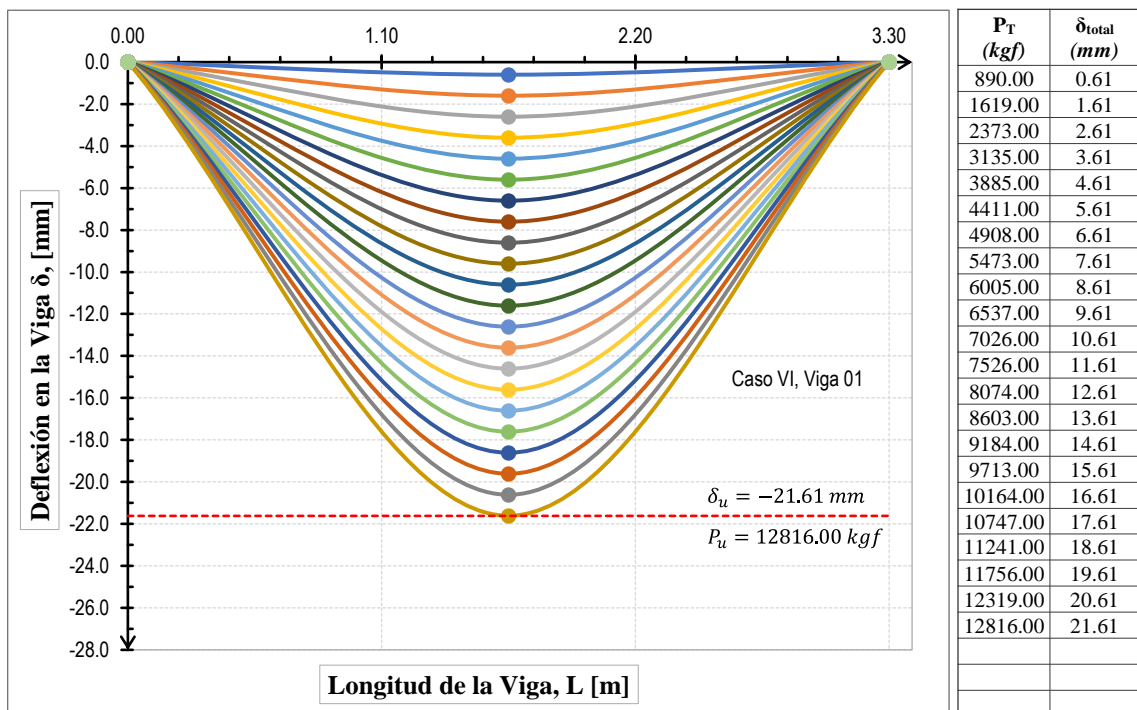
Deformación elástica para la viga V-02, caso C-V



Nota: Elaboración propia.

Figura 117

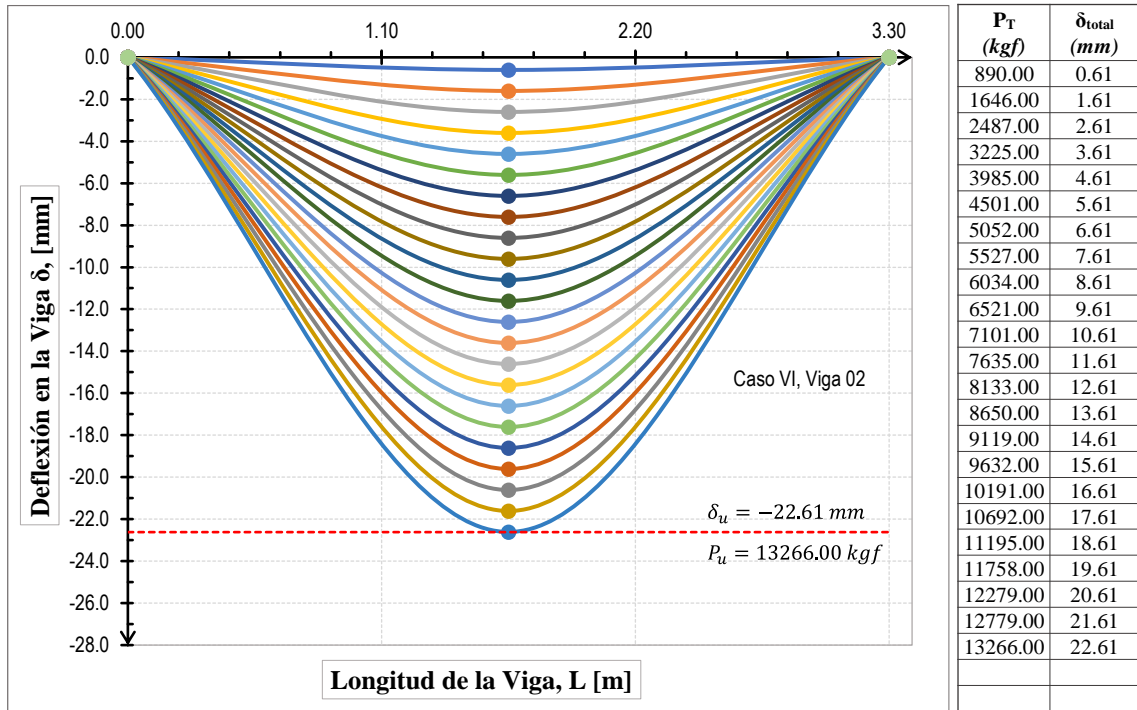
Deformación elástica para la viga V-01, caso C-VI



Nota: Elaboración propia.

Figura 118

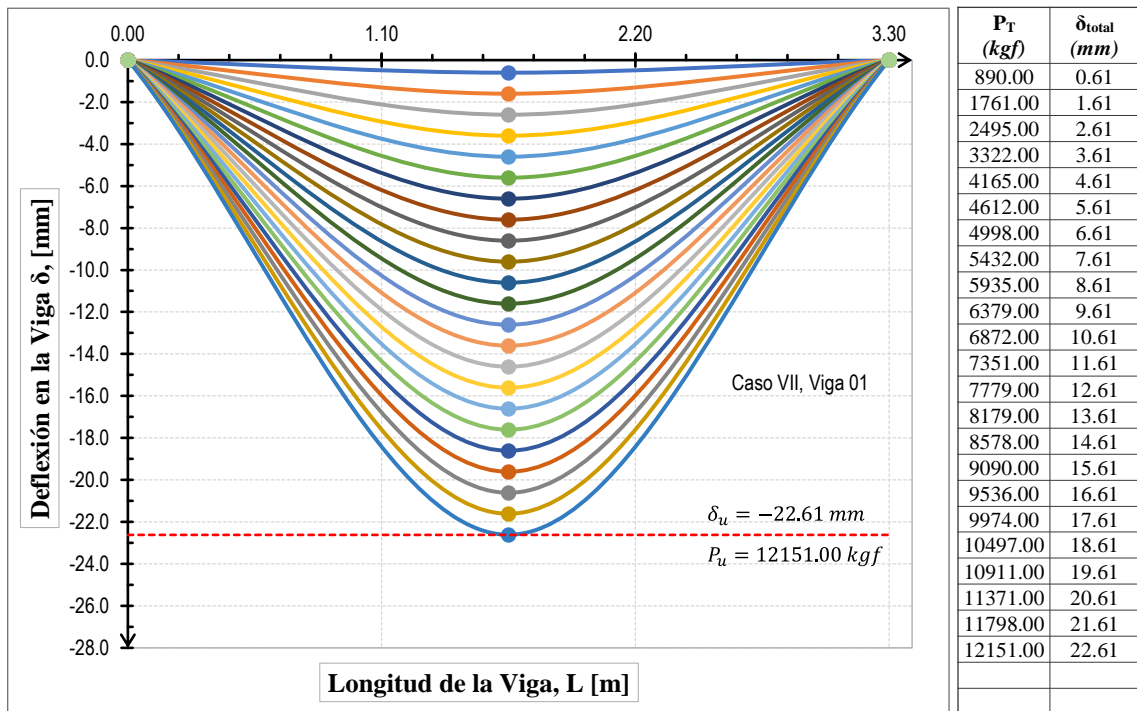
Deformación elástica para la viga V-02, caso C-VI



Nota: Elaboración propia.

Figura 119

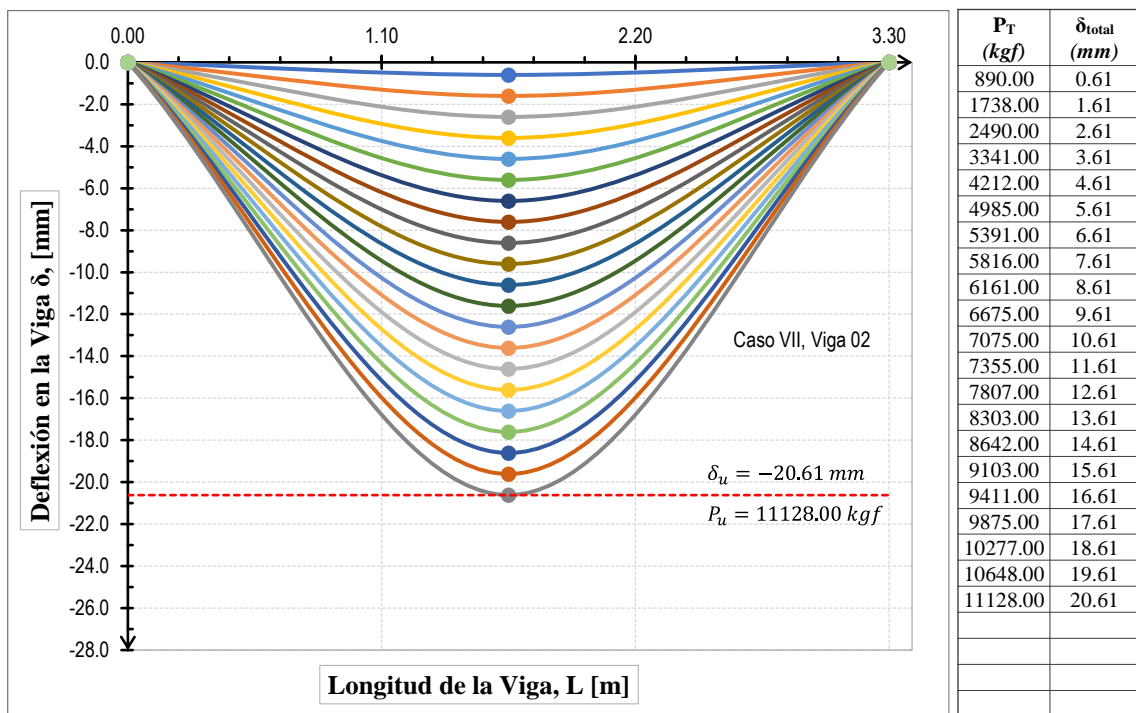
Deformación elástica para la viga V-01, caso C-VII



Nota: Elaboración propia.

Figura 120

Deformación elástica para la viga V-02, caso C-VII



Nota: Elaboración propia.

A partir de las ilustraciones que se presentan en las figuras anteriores (de la Figura 107 hasta la Figura 120) se observa que, en la condición previa al agrietamiento, donde se presenta la primera fisura en todos los casos, las deflexiones son mayores en comparación con el Caso I (Patrón), bajo condiciones similares de carga aplicada durante el ensayo. Este comportamiento sugiere que la inserción vertical de tuberías PVC-U en las vigas de concreto aumenta las deflexiones más allá de lo esperado en condiciones sin tuberías insertadas.

En las condiciones previas al punto de fluencia, es decir, antes de alcanzar la deflexión correspondiente a la fluencia del acero de refuerzo, se mantiene esta misma tendencia, aunque con una ligera disminución en las deflexiones. Sin embargo, a pesar de esta mejora marginal, las deflexiones siguen siendo superiores en comparación con el Caso I (Patrón). Esto confirma que la presencia

de tuberías insertadas verticalmente continúa afectando el comportamiento estructural de las vigas, generando deflexiones más pronunciadas.

4.2.8. Patrón de fisuras en las vigas de concreto armado

En las figuras posteriores (de la Figura 121 a la Figura 134) se representan dos imágenes para cada caso de estudio de las vigas. En la primera se muestra la viga de concreto armado analizada y al inferior se muestra una representación a escala de la fotografía de cada caso, destacando el patrón de fisuras observado y generado por la aplicación de la carga a la que fue sometida, así como la representación de las tuberías PVC-U insertas verticalmente y la representación de la carga aplicada.

También se observaron fisuras de corte y flexión, resultantes de la combinación de los momentos flectores y fuerzas de corte. En el caso de las fisuras por flexión, las grietas de tensión se manifestaron inicialmente, desarrollándose verticalmente con respecto al eje de la viga de concreto armado. En las etapas iniciales, el ancho y la longitud de estas grietas estaban controlados por el refuerzo de acero longitudinal. Sin embargo, al incrementar la carga, el esfuerzo de tensión diagonal en la parte superior de una o de más de estas grietas superaba la resistencia a la tensión del concreto. Esto provocaba que la grieta se incline diagonalmente y continuara alargándose.

A primera vista, es evidente que la inserción de tuberías provocó una concentración de fisuras en su entorno. Es notable que, en todos los casos estudiados, las fisuras se concentraron alrededor de la tubería de PVC-U inserta. Este patrón sugiere que la inserción vertical de la tubería influye en la distribución

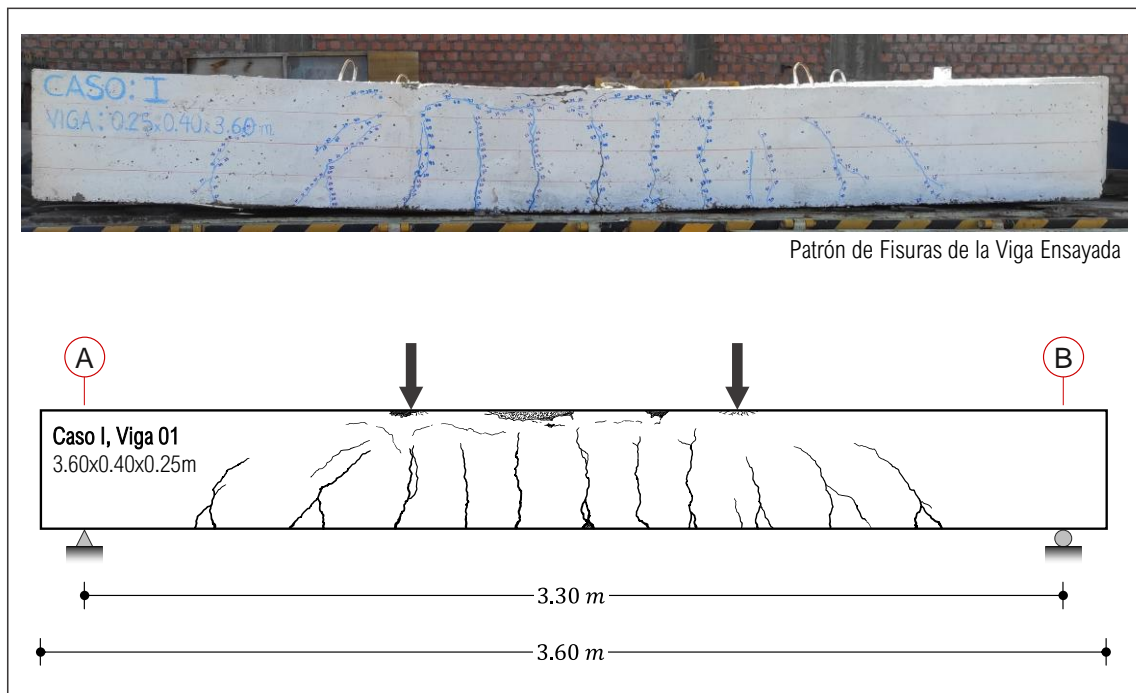
de esfuerzos dentro de la viga de concreto armado, concentrando tensiones en esa área y debilitando localmente la resistencia del concreto.

Durante los ensayos, se presentaron fallas por flexión y corte, dependiendo del caso. Para el Caso I, II y III las vigas de concreto armado experimentaron fallas por flexión, lo que indica que el material alcanzó su límite de resistencia en la zona de tracción antes de que ocurrieran otras fallas.

Para los casos siguientes, Caso IV, V, VI y VII la viga presentó una falla combinada de flexión y corte, lo que sugiere que la inserción de tubería y las condiciones específicas de carga y diseño provocaron un comportamiento mixto, donde las tensiones cortantes superaron la resistencia de la sección de las vigas de concreto armado.

Figura 121

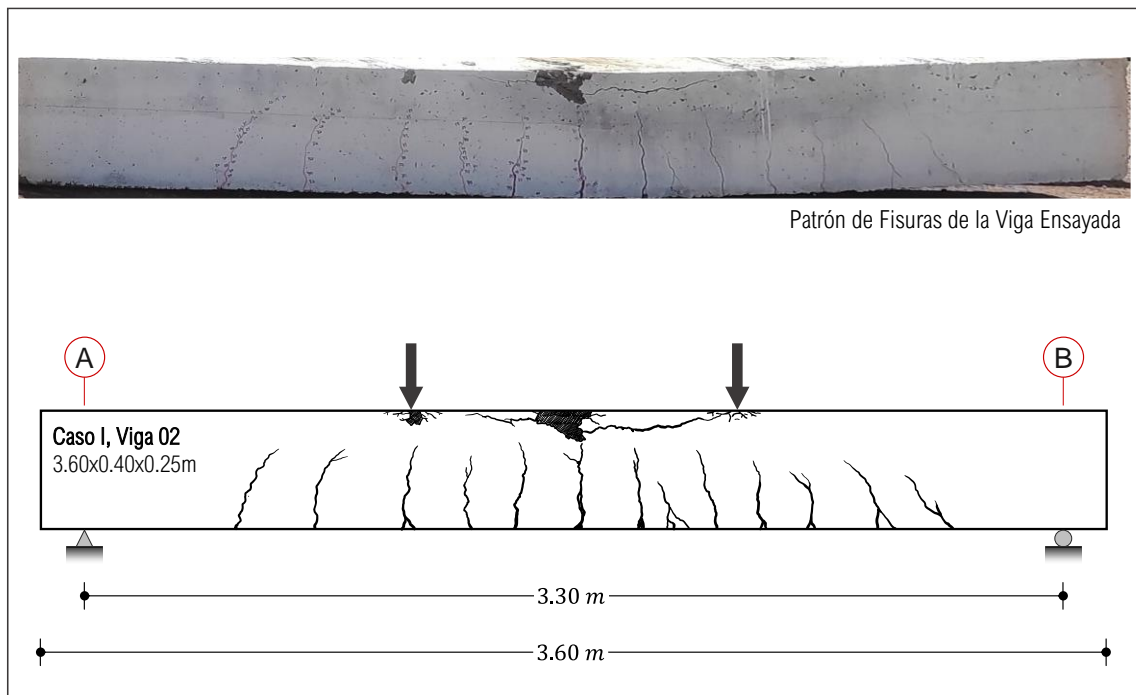
Fotografía de la viga de control y patrón de fisuras V-01, C-I



Nota: Elaboración propia.

Figura 122

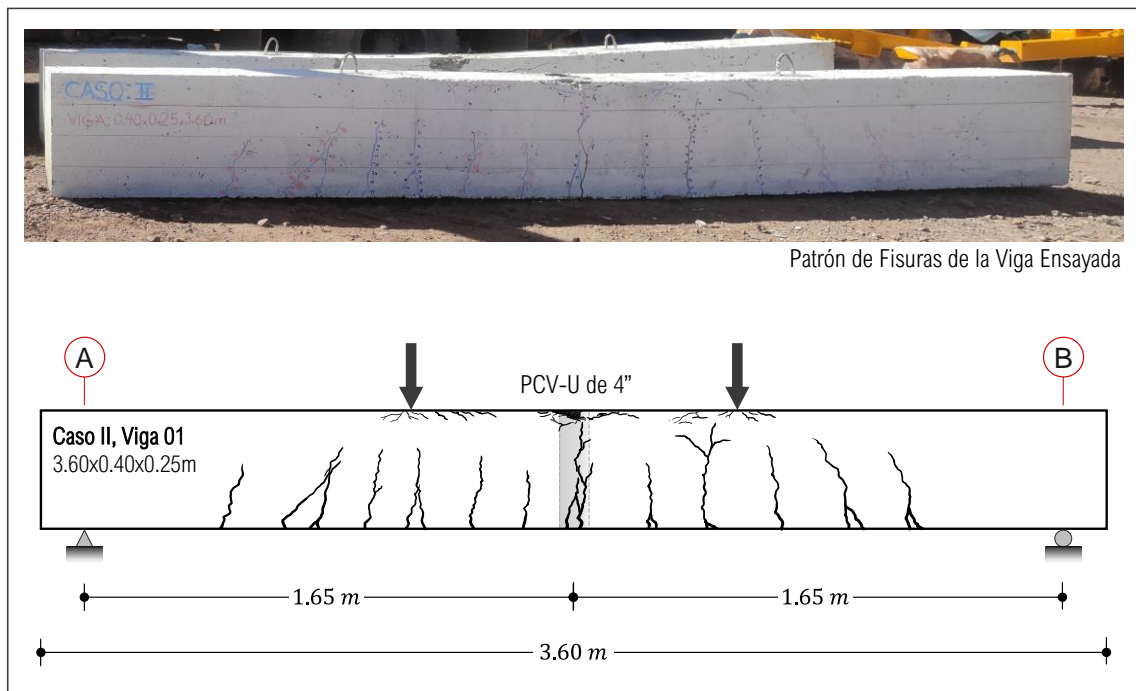
Fotografía de la viga de control y patrón de fisuras V-02, C-I



Nota: Elaboración propia.

Figura 123

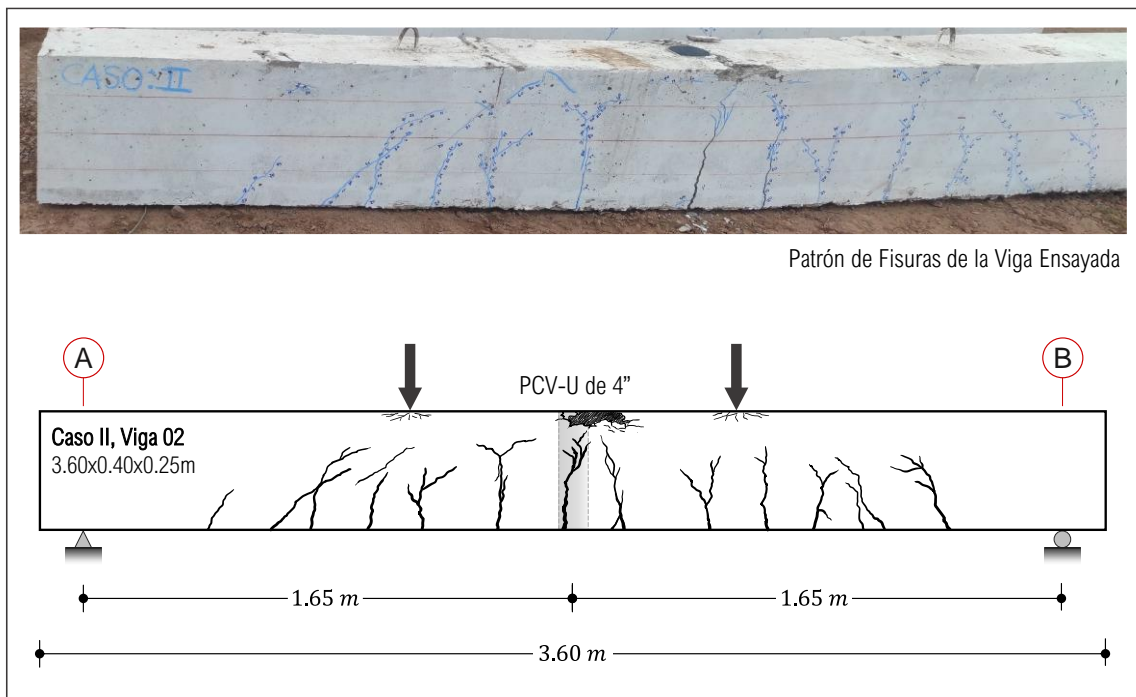
Fotografía de la viga V-01, C-II y el patrón de fisuras



Nota: Elaboración propia.

Figura 124

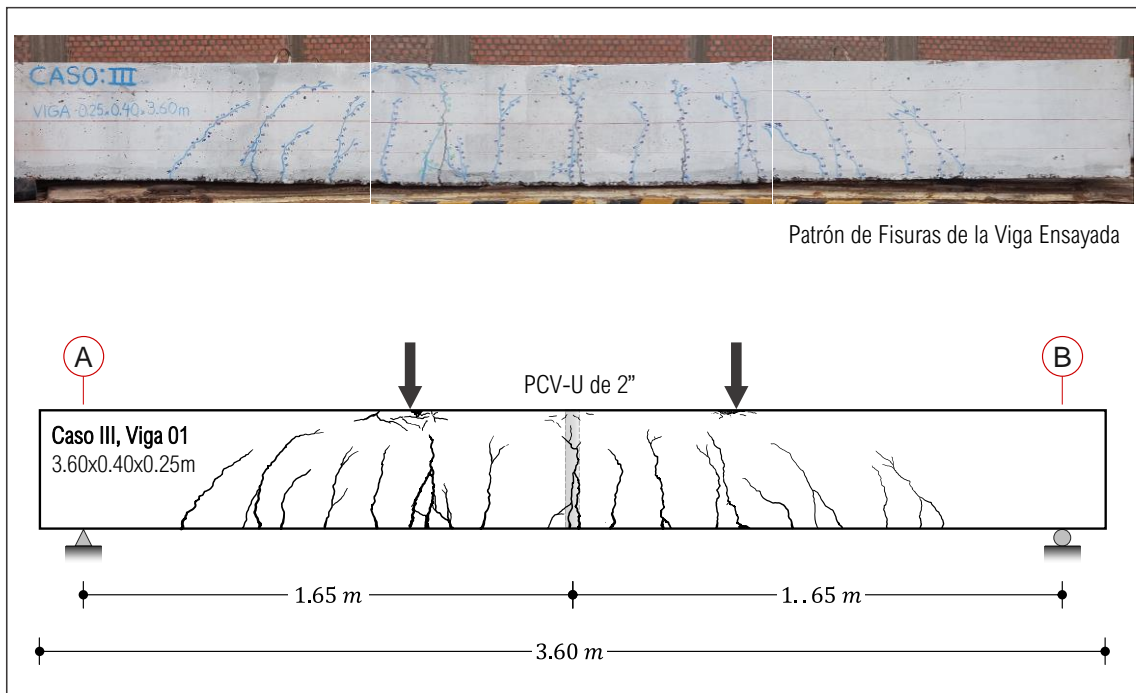
Fotografía de la viga V-02, C-II y el patrón de fisuras



Nota: Elaboración propia.

Figura 125

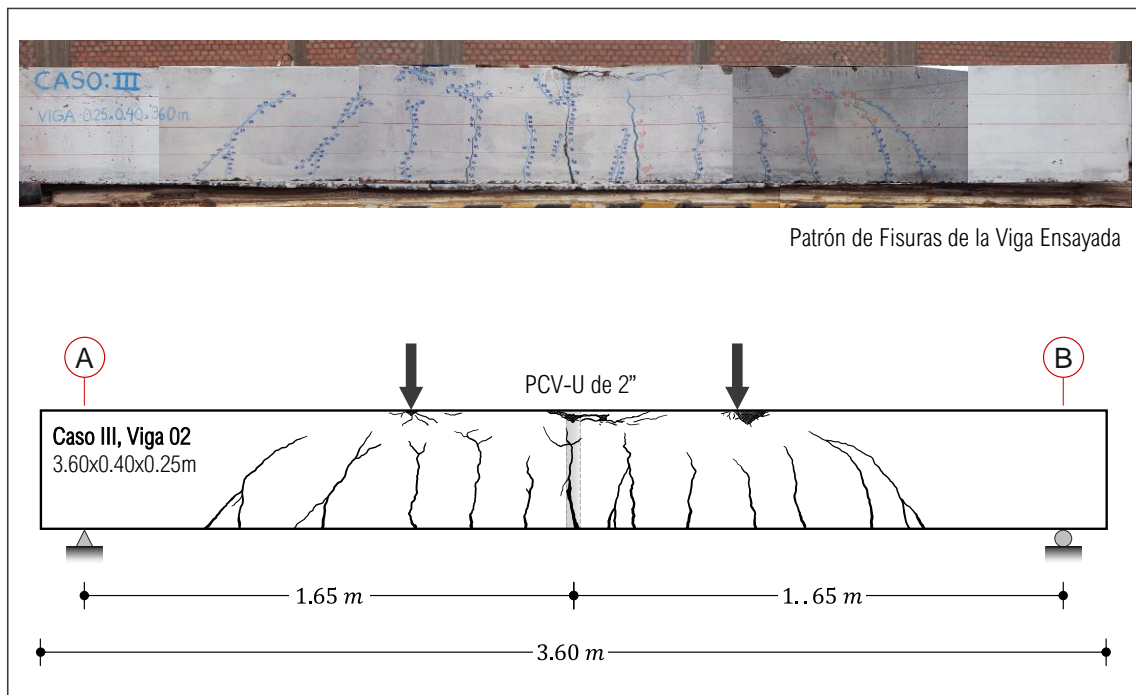
Fotografía de la viga V-01, C-III y el patrón de fisuras



Nota: Elaboración propia.

Figura 126

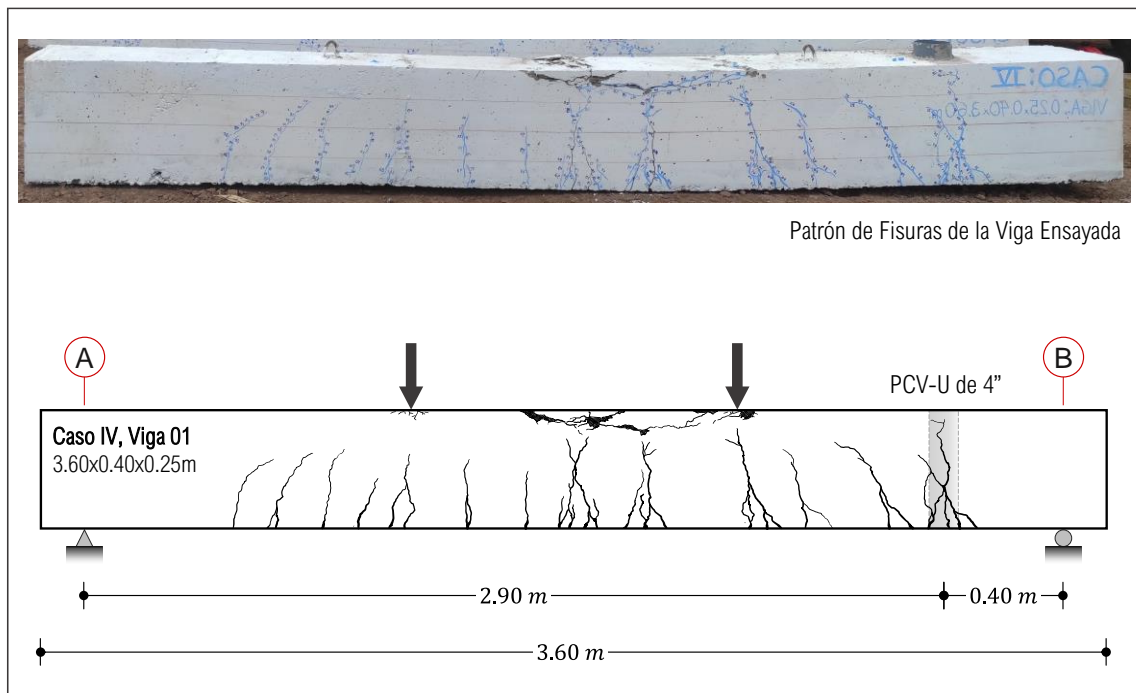
Fotografía de la viga V-02, C-III y el patrón de fisuras



Nota: Elaboración propia.

Figura 127

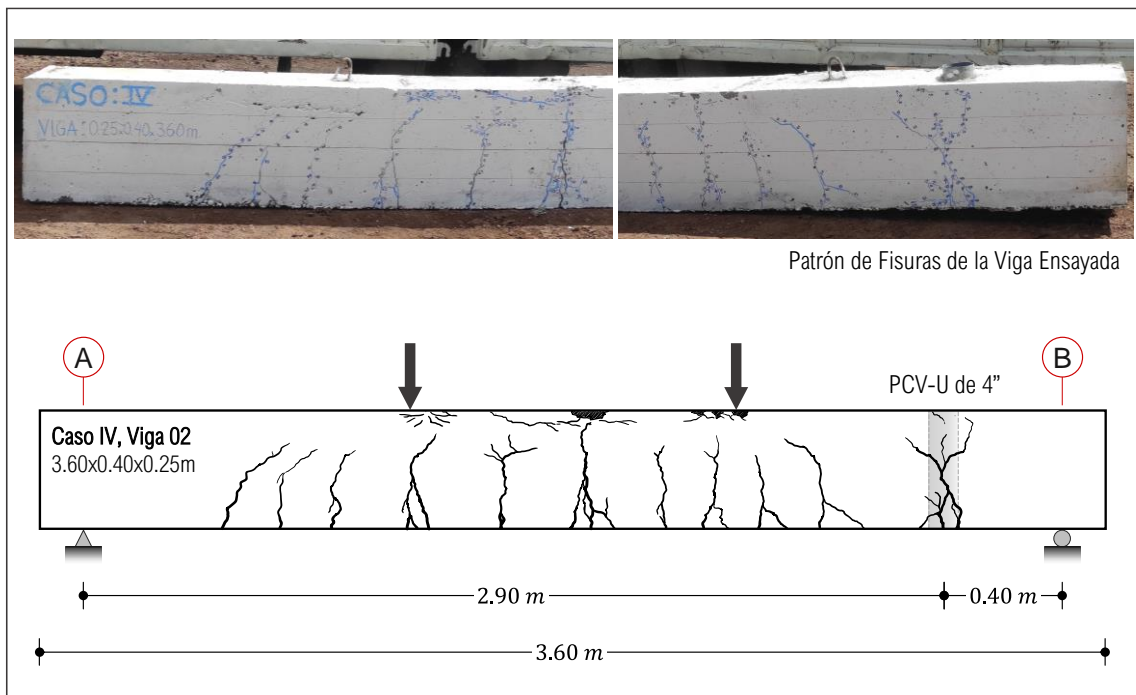
Fotografía de la viga V-01, C-IV y el patrón de fisuras



Nota: Elaboración propia.

Figura 128

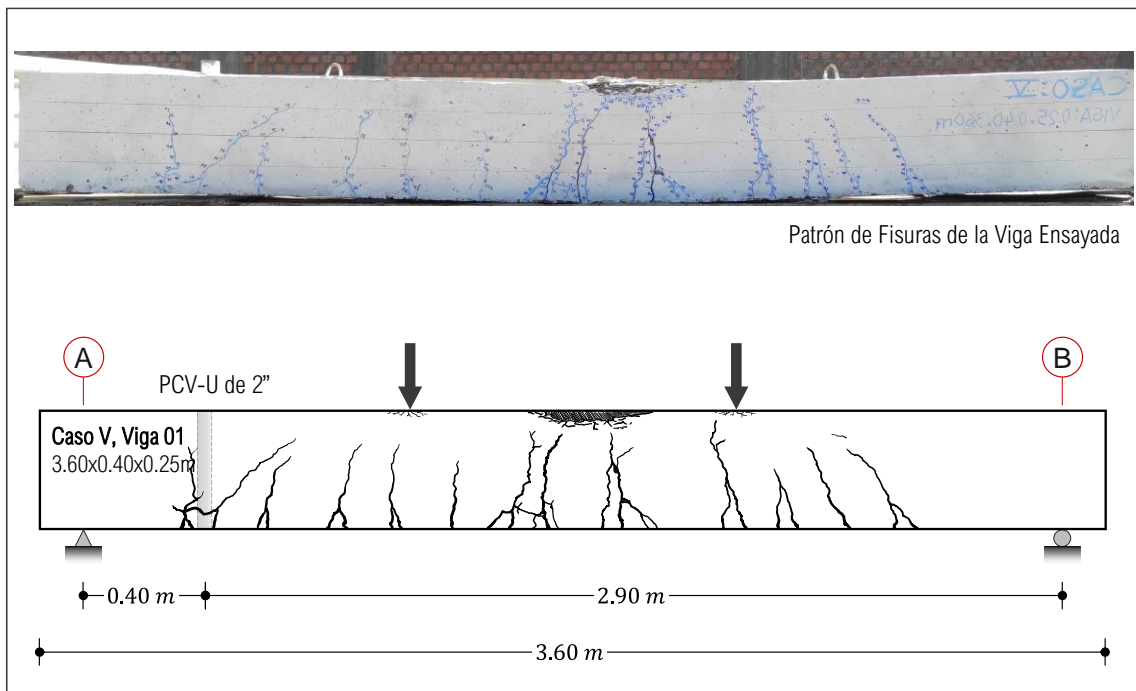
Fotografía de la viga V-02, C-IV y el patrón de fisuras



Nota: Elaboración propia.

Figura 129

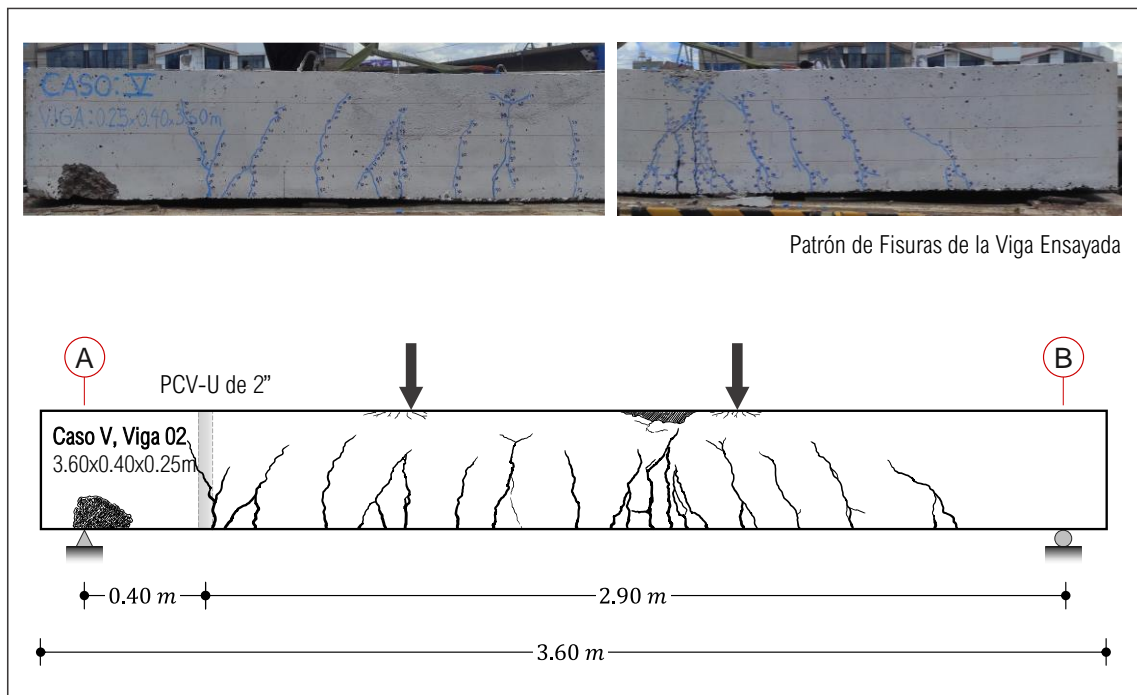
Fotografía de la viga V-01, C-V y el patrón de fisuras



Nota: Elaboración propia.

Figura 130

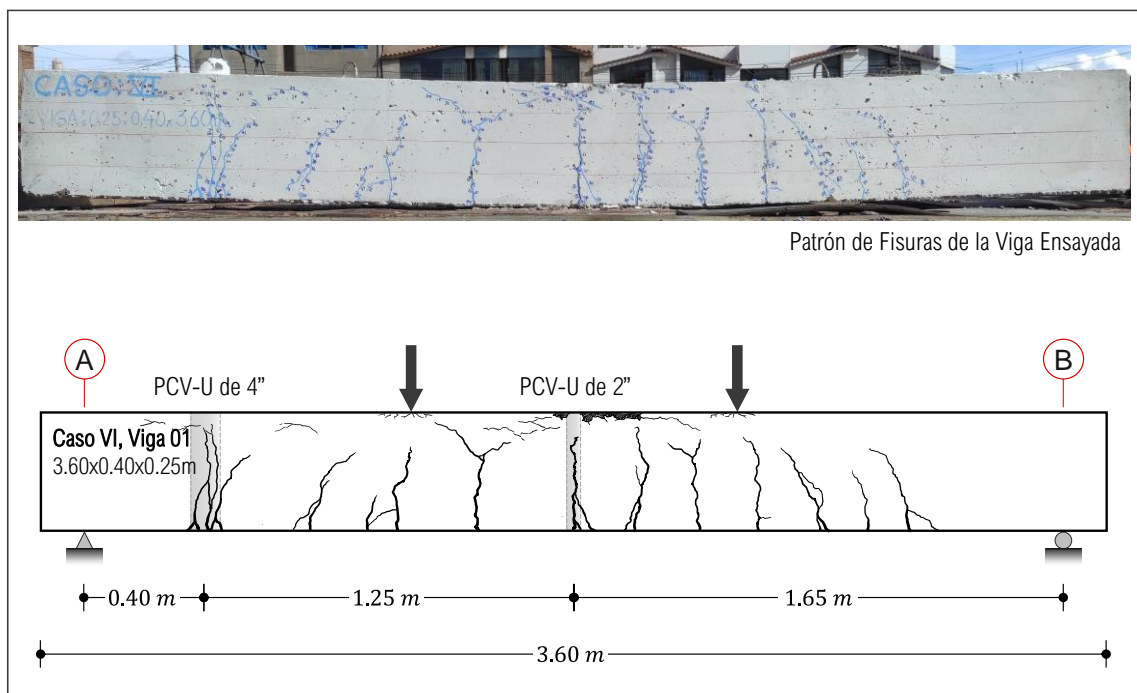
Fotografía de la viga V-02, C-V y el patrón de fisuras



Nota: Elaboración propia.

Figura 131

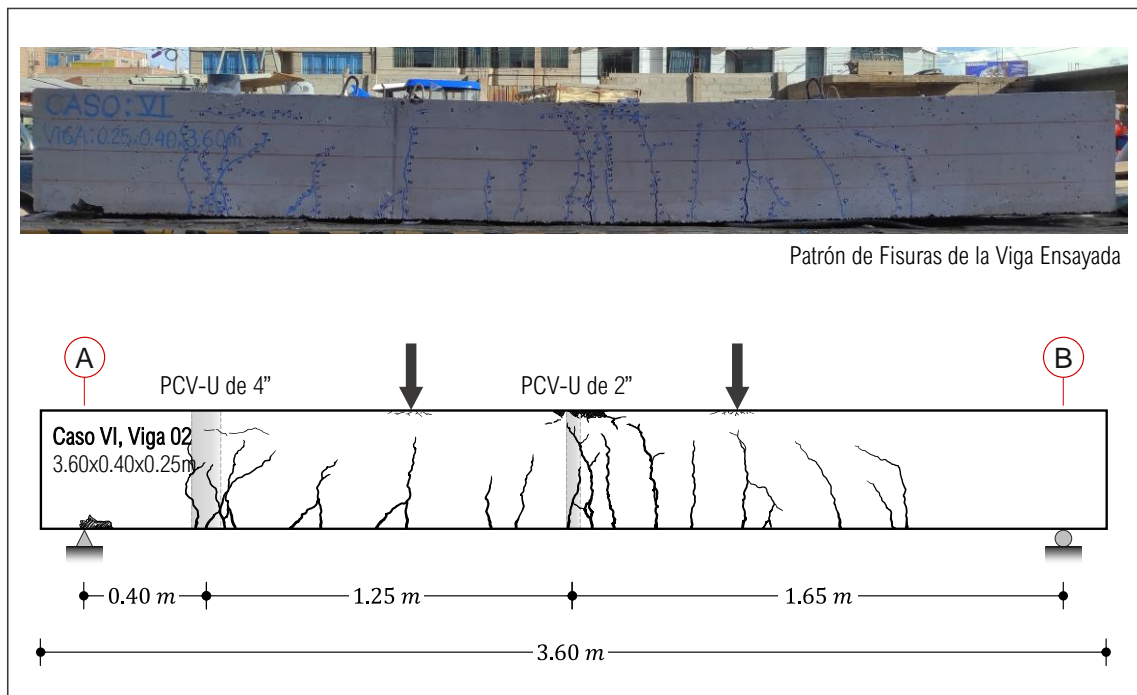
Fotografía de la viga V-01, C-VI y el patrón de fisuras



Nota: Elaboración propia.

Figura 132

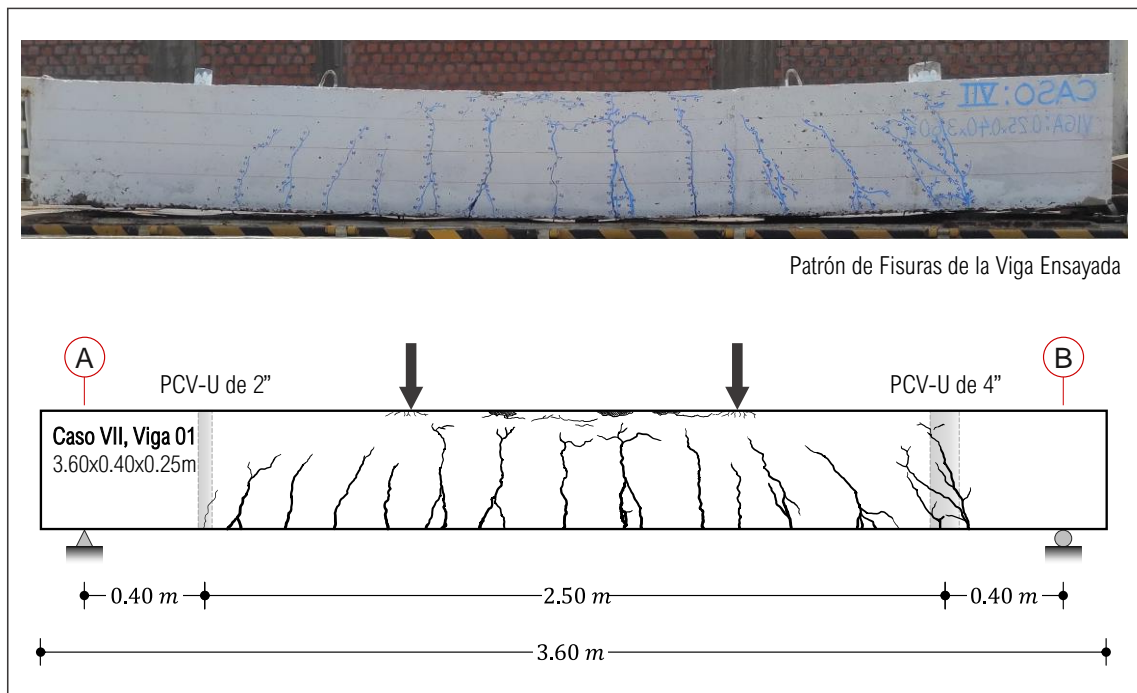
Fotografía de la viga V-02, C-VI y el patrón de fisuras



Nota: Elaboración propia.

Figura 133

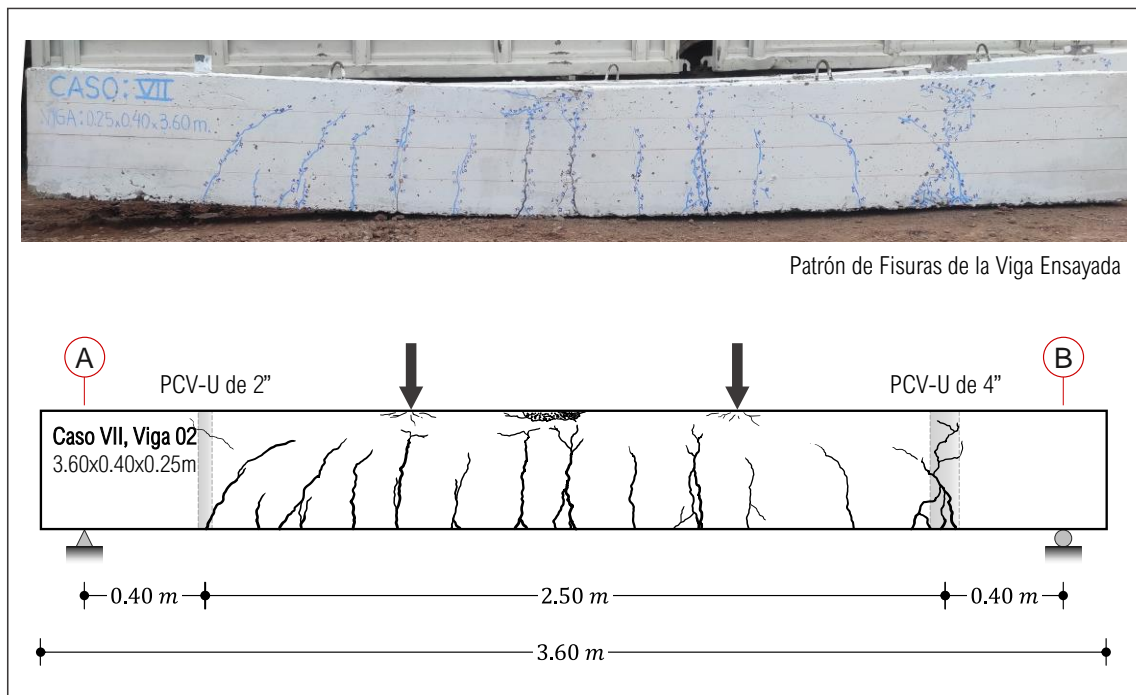
Fotografía de la viga V-01, C-VII y el patrón de fisuras



Nota: Elaboración propia.

Figura 134

Fotografía de la viga V-02, C-VII y el patrón de fisuras



Nota: Elaboración propia.

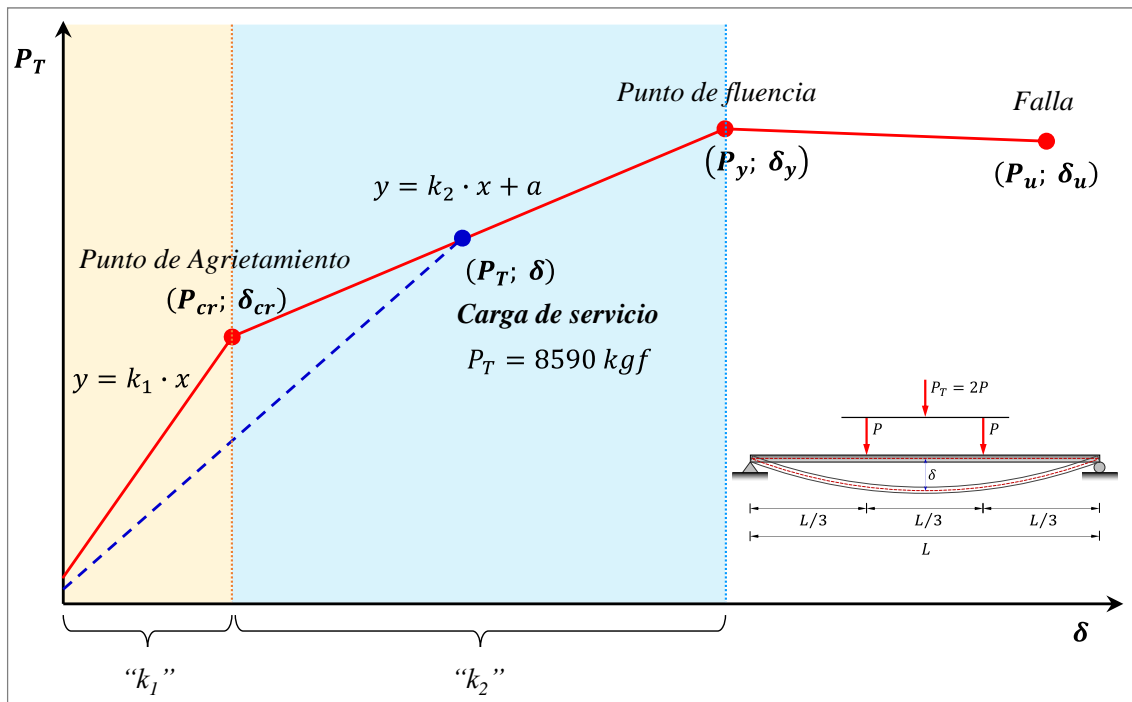
4.3. RESUMEN DE RESULTADOS

En esta sección se presentará un resumen de los diferentes cálculos y resultados obtenidos a lo largo de la investigación, consolidando la información analizada previamente en la sección 4.2, correspondiente al análisis de resultados. Este resumen incluirá la recopilación de datos clave, así como la interpretación de los valores obtenidos.

Además, es importante comprender la ilustración mostrada en la Figura 135, la cual muestra los resultados empíricos de los ensayos realizados, donde se muestran tres zonas diferenciadas. La primera zona corresponde al criterio definido por " k_1 ", que forma parte de la ecuación de la recta que va desde el origen hasta el punto de agrietamiento ($\delta_{cr}; P_{cr}$). La segunda zona se establece con el criterio " k_2 ", donde la recta trazada inicia en el punto de agrietamiento ($\delta_{cr}; P_{cr}$) y se extiende hasta el punto de fluencia ($\delta_y; P_y$). La última zona se presenta después del punto de fluencia, hasta llegar a la falla de la viga.

Figura 135

Ilustración de resultados empíricos obtenidos por criterios adoptados



Nota: Elaboración propia.

También se destaca el punto correspondiente a la carga de servicio; es decir, la carga para la cual fueron diseñadas todas las vigas estudiadas, $P_y = 8,590.00 \text{ kgf}$.

Tabla 53

Relación de casos de acuerdo con el diámetro y ubicación de tuberías

Caso en estudio	Tubería en zona de mayor momento flector	Tubería en zona de mayor fuerza cortante	Diámetro PVC-U $\varnothing'' = 4''$	Diámetro PVC-U $\varnothing'' = 2''$
Caso-II	✓		✓	
Caso-III	✓			✓
Caso-IV		✓	✓	
Caso-V		✓		✓
Caso-VI	✓	✓	✓	✓
Caso-VII		✓	✓	✓

Nota: Elaboración propia.



En la anterior tabla (Tabla 53) se muestra las relaciones y diferencias entre los casos estudiados, lo que permitirá evaluar y comparar el impacto relativo de las tuberías insertas. Con base en estos datos, se podrán establecer conclusiones sobre el grado de influencia, ya sea mayor o menor, en función de los distintos casos analizados.

Los procedimientos desarrollados permitirán comprender con mayor profundidad la influencia de las tuberías insertas verticalmente en vigas de concreto armado, considerando los criterios adoptados para la obtención y análisis de los resultados, los cuales se detallarán en esta sección.

4.3.1. Resistencia a la flexión y corte de vigas de concreto armado

Con base en el análisis realizado en las secciones anteriores, que se desarrolló con relación a dos criterios una que es la eficiencia respecto a la carga de fluencia y la eficiencia respecto a la carga de agrietamiento desarrollados en la sección 4.2.2. Se presenta a continuación un resumen detallado de la reducción en las eficiencias observadas en todos los casos evaluados (Tabla 31 y la Tabla 33). Estos resultados se han clasificado de acuerdo con los criterios mencionados.

- **Para el Caso II, tubería PVC-U de 4” ubicada a 1.65 m desde el apoyo.**
 - Empleando el criterio de la eficiencia respecto a la carga de fluencia, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 4” en la zona donde predomina el mayor momento flector se tuvo una reducción del 22% respecto al Caso I (Patrón).
 - Empleando el criterio de la eficiencia respecto a la carga de agrietamiento, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 4” en la zona donde predomina el mayor momento flector se tuvo una reducción del 40% respecto al Caso I (Patrón).



- **Para el Caso III, tubería PVC-U de 2” ubicada a 1.65 m desde el apoyo.**
 - Empleando el criterio de la eficiencia respecto a la carga de fluencia, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 2” en la zona donde predomina el mayor momento flector se tuvo una reducción del 14% respecto al Caso I (Patrón).
 - Empleando el criterio de la eficiencia respecto a la carga de agrietamiento, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 2” en la zona donde predomina el mayor momento flector se tuvo una reducción del 29% respecto al Caso I (Patrón).

- **Para el Caso IV, tubería PVC-U de 4” ubicada a 0.40 m desde el apoyo.**
 - Empleando el criterio de la eficiencia respecto a la carga de fluencia, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 4” en la zona donde predomina la mayor fuerza cortante se tuvo una reducción del 21% respecto al Caso I (Patrón).
 - Empleando el criterio de la eficiencia respecto a la carga de agrietamiento, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 4” en la zona donde predomina la mayor fuerza cortante se tuvo una reducción del 27% respecto al Caso I (Patrón).

- **Para el Caso V, tubería PVC-U de 2” ubicada a 0.40 m desde el apoyo.**
 - Empleando el criterio de la eficiencia respecto a la carga de fluencia, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 2” en la zona donde predomina la mayor fuerza cortante se tuvo una reducción del 18% respecto al Caso I (Patrón).



- Empleando el criterio de la eficiencia respecto a la carga de agrietamiento, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 2" en la zona donde predomina la mayor fuerza cortante se tuvo una reducción del 11% respecto al Caso I (Patrón).
- **Para el Caso VI, tubería PVC-U de 4" y 2" ubicadas a 0.40 m y 1.65 m desde el apoyo de la viga.**
 - Empleando el criterio de la eficiencia respecto a la carga de fluencia, se evidencia que la inserción vertical de las tuberías PVC-U de 4" y 2" en la zona donde predominan la mayor fuerza cortante y el mayor momento flector respectivamente, se tuvo una reducción del 26% respecto al Caso I (Patrón).
 - Empleando el criterio de la eficiencia respecto a la carga de agrietamiento, se evidencia que la inserción vertical de las tuberías PVC-U de 4" y 2" en la zona donde predominan la mayor fuerza cortante y el mayor momento flector respectivamente, se tuvo una reducción del 39% respecto al Caso I (Patrón).
- **Para el Caso VII, tubería PVC-U de 4" y 2" ubicadas a 0.40 m y 2.90 m desde el apoyo de la viga.**
 - Empleando el criterio de la eficiencia respecto a la carga de fluencia, se evidencia que la inserción vertical de las tuberías PVC-U de 4" y 2" en las zonas donde predominan la mayor fuerza cortante (ambos lados de la viga), se tuvo una reducción del 30% respecto al Caso I (Patrón).
 - Empleando el criterio de la eficiencia respecto a la carga de agrietamiento, se evidencia que la inserción vertical de las tuberías PVC-

U de 4” y 2” en las zonas donde predominan la mayor fuerza cortante (ambos lados de la viga), se tuvo una reducción del 29% respecto al Caso I (Patrón).

A continuación, se muestra una tabla (Tabla 54) que resume la disminución de eficiencia calculada en función de cada criterio, basándose en los resultados obtenidos en los capítulos previos. Este resumen permite visualizar de manera clara el impacto de los factores analizados en la eficiencia estructural de los elementos bajo carga. Posteriormente, se realizarán comparaciones entre los diferentes casos, tomando como referencia la Tabla 53 en la que se evalúan las influencias del diámetro y la ubicación de las tuberías insertas en las vigas de concreto armado para cada uno de los casos estudiados.

Tabla 54

Resumen de reducción resistencia a flexión y corte de vigas en estudio

Criterio en comparación con el Caso I (Patrón)			
Caso en estudio	Respecto a carga de agrietamiento	Respecto a carga de fluencia	Reducción Promedio
Caso-II	22%	40%	31%
Caso-III	12%	29%	21%
Caso-IV	21%	27%	24%
Caso-V	20%	11%	15%
Caso-VI	24%	39%	32%
Caso-VII	32%	29%	31%

Nota: Elaboración propia.

4.3.1.1. Comparación de los casos estudiados

Para el Caso II y el Caso III

- El Caso II y el Caso III presentan similitudes, ya que en ambos se realizó la inserción vertical de tuberías de PVC-U en la zona de mayor



momento flector de las vigas. Sin embargo, la diferencia radica en el diámetro de las tuberías utilizadas: en el Caso II se empleó una tubería de 4" de diámetro, mientras que en el Caso III se utilizó una de 2", como se detalla en la Tabla 4 y se ilustra en el anexo (Esquema y detalles de vigas de concreto armado de los casos en estudio). A partir de los resultados obtenidos, se concluye que el diámetro de la tubería inserta tiene una influencia significativa en la resistencia a la flexión y corte de las vigas. En el Caso II, con una tubería de 4", la resistencia se redujo en un 31%, mientras que en el Caso III, con una tubería de 2", la reducción fue del 21%. Esto indica que la inserción vertical de una tubería de mayor diámetro (4") afecta de manera más pronunciada la capacidad resistente de la viga, tanto en flexión como en corte, en comparación con una tubería de menor diámetro (2").

Para el Caso IV y el Caso V

- El Caso IV y el Caso V presentan similitudes, ya que en ambos se realizó la inserción vertical de tuberías de PVC-U en la zona de mayor fuerza cortante de las vigas. La diferencia principal radica en el diámetro de las tuberías empleadas: en el Caso IV se utilizó una tubería de 4" de diámetro, mientras que en el Caso V se empleó una de 2", como se detalla en la Tabla 4 y se ilustra en el Anexo 9 (Esquema y detalle de vigas de concreto armado en los casos estudiados). A partir de los resultados obtenidos, se concluye que el diámetro de la tubería inserta tiene una influencia significativa en la resistencia a la flexión y al corte de las vigas. En el Caso IV, con la tubería de 4", la resistencia de la viga se redujo en un 24%, mientras



que en el Caso V, con la tubería de 2", la reducción fue del 15%. Este último caso resultó ser el más favorable, ya que presentó una disminución menor en comparación con los demás casos. Esto indica que la inserción vertical de una tubería de mayor diámetro (4") afecta de manera más pronunciada la capacidad resistente de la viga, tanto en flexión como en corte, en comparación con una tubería de menor diámetro (2").

Para el Caso II y el Caso IV

- El Caso II y el Caso IV comparten similitudes, ya que en ambos se insertaron verticalmente tuberías PVC-U de 4" de diámetro. La diferencia principal entre ambos casos radica en la ubicación de la inserción de las tuberías: en el Caso II, la inserción se realizó en la zona de mayor momento flector, mientras que en el Caso IV, la inserción tuvo lugar en la zona de mayor fuerza cortante, como se detalla en la Tabla 4 y se ilustra en el Anexo 9 (Esquema y detalle de vigas de concreto armado en los casos estudiados). A partir de los resultados obtenidos, se concluye que la ubicación de la inserción tiene un impacto significativo en la resistencia a la flexión y al corte de las vigas. En el Caso II, donde la inserción se ubicó en la zona de mayor momento flector, la resistencia de la viga se redujo en un 31%, mientras que en el Caso IV, donde la inserción fue en la zona de mayor esfuerzo cortante, la reducción fue del 24%. Esto indica que la inserción vertical de la tubería PVC-U en la zona de mayor momento flector afecta de manera más significativa la capacidad resistente de la



viga, tanto en términos de flexión como de corte, en comparación con una inserción en la zona de mayor fuerza cortante.

Para el Caso III y el Caso V

- El Caso III y el Caso V presentan similitudes, ya que en ambos se insertaron verticalmente tuberías de PVC-U de 2" de diámetro. La principal diferencia entre ellos radica en la ubicación de la inserción vertical de las tuberías: en el Caso III, la inserción se realizó en la zona de mayor momento flector, mientras que en el Caso V, la inserción tuvo lugar en la zona de mayor fuerza cortante, como se detalla en la Tabla 4 y se ilustra en el Anexo 9 (Esquema y detalle de vigas de concreto armado en los casos estudiados). Los resultados obtenidos muestran que la ubicación de la inserción tiene un impacto significativo en la resistencia a la flexión y al corte de las vigas. En el Caso III, donde la inserción se ubicó en la zona de mayor momento flector, la resistencia de la viga se redujo en un 21%. En contraste, en el Caso V, donde la inserción vertical de tuberías PVC-U se realizó en la zona de mayor esfuerzo cortante, la reducción fue del 15%, siendo este último el más favorable, con la disminución más baja en comparación con los demás casos. Estos resultados indican que la inserción vertical de la tubería PVC-U en la zona de mayor momento flector afecta de manera más significativa la capacidad resistente de la viga, tanto en términos de flexión como de corte, en comparación con la inserción vertical de tubería en la zona de mayor fuerza cortante.



Para el Caso VI y el Caso VII

- El Caso VI y el Caso VII comparten la característica de tener dos tuberías insertadas verticalmente, una de 4" y otra de 2" de diámetro, pero difieren en la ubicación de dichas inserciones. En el Caso VI, la tubería PVC-U de 4" se insertó en la zona de mayor fuerza cortante, mientras que la de 2" se ubicó en la zona de mayor momento flector. En cambio, en el Caso VII, ambas tuberías (de 4" y 2") fueron insertadas en la zona de mayor fuerza cortante, una a cada lado de la viga. Esta distribución se detalla en la Tabla 4 y se ilustra en el Anexo 9 (Esquema y detalle de vigas de concreto armado en los casos estudiados). A partir de los resultados obtenidos, se observa que la ubicación de las tuberías tiene un impacto similar en la resistencia de las vigas tanto a flexión como a corte. En el Caso VI, donde la tubería de 2" se insertó en la zona de mayor momento flector y la de 4" en la zona de mayor corte, la resistencia de la viga se redujo en un 32%. En el Caso VII, con ambas tuberías insertadas en la zona de mayor corte, la reducción de resistencia fue del 31%. Estos resultados sugieren que la combinación de insertar la tubería de 4" en la zona de mayor fuerza cortante y la de 2" en la zona de mayor momento flector (Caso VI) afecta de manera similar la capacidad resistente de la viga, en comparación con el escenario del Caso VII, donde ambas tuberías se insertaron en la zona de mayor esfuerzo cortante.



4.3.2. Rigidez de las vigas de concreto armado en estudio

Con base en lo analizado en las secciones anteriores, se puede deducir que la inserción vertical de tuberías tiene un impacto significativo en la rigidez de las vigas de concreto armado. A continuación, se presenta un resumen y una descripción detallada para cada caso evaluado.

- **Para el Caso II, tubería PVC-U de 4" ubicada a 1.65 m desde el apoyo.**
 - Empleando el criterio " k_1 " para evaluar la eficiencia de la rigidez, se evidencia que la inserción de la tubería PVC-U de 4" en la zona donde predomina el momento flector se tuvo una reducción de un valor del 20% respecto al Caso I (Patrón).
 - Empleando el criterio " k_2 " para evaluar la eficiencia de la rigidez, se evidencia que la inserción de la tubería PVC-U de 4" en la zona donde predomina el momento flector se tuvo una reducción de un valor del 10% respecto al Caso I (Patrón).
 - Empleando el criterio de carga de trabajo " P_T " para evaluar la eficiencia de la rigidez, se evidencia que la inserción de la tubería PVC-U de 4" en la zona donde predomina el momento flector se tuvo una reducción de un valor del 19% respecto al Caso I (Patrón).

- **Para Caso III, tubería PVC-U de 2" ubicada a 1.65 m desde el apoyo.**
 - Empleando el criterio " k_1 " para evaluar la eficiencia de la rigidez, se evidencia que la inserción de la tubería PVC-U de 2" en la zona donde predomina el momento flector se tuvo una reducción de un valor del 13% respecto al Caso I (Patrón).



- Empleando el criterio " k_2 " para evaluar la eficiencia de la rigidez, se evidencia que la inserción de la tubería PVC-U de 2" en la zona donde predomina el momento flector se tuvo una reducción de un valor del 8% respecto al Caso I (Patrón).
- Empleando el criterio de carga de trabajo " P_T " para evaluar la eficiencia de la rigidez, se evidencia que la inserción de la tubería PVC-U de 2" en la zona donde predomina el momento flector se tuvo una reducción de un valor del 12% respecto al Caso I (Patrón).
- **Para Caso IV, tubería PVC-U de 4" ubicada a 0.40 m desde el apoyo.**
 - Empleando el criterio " k_1 " para evaluar la eficiencia de la rigidez, se evidencia que la inserción de la tubería PVC-U de 4" en la zona donde predomina la fuerza cortante se tuvo una reducción de un valor del 9% respecto al Caso I (Patrón).
 - Empleando el criterio " k_2 " para evaluar la eficiencia de la rigidez, se evidencia que la inserción de la tubería PVC-U de 4" en la zona donde predomina la fuerza cortante se tuvo una reducción de un valor del 21% respecto al Caso I (Patrón).
 - Empleando el criterio de carga de trabajo " P_T " para evaluar la eficiencia de la rigidez, se evidencia que la inserción de la tubería PVC-U de 4" en la zona donde predomina la fuerza cortante se tuvo una reducción de un valor del 22% respecto al Caso I (Patrón).
- **Para Caso V, tubería PVC-U de 2" ubicada a 0.40 m desde el apoyo.**
 - Empleando el criterio " k_1 " para evaluar la eficiencia de la rigidez, se evidencia que la inserción de la tubería PVC-U de 2" en la zona donde



- predomina la fuerza cortante se tuvo una reducción de un valor del 5% respecto al Caso I (Patrón).
- Empleando el criterio " k_2 " para evaluar la eficiencia de la rigidez, se evidencia que la inserción de la tubería PVC-U de 2" en la zona donde predomina la fuerza cortante se tuvo una reducción de un valor del 19% respecto al Caso I (Patrón).
 - Empleando el criterio de carga de trabajo " P_T " para evaluar la eficiencia de la rigidez, se evidencia que la inserción de la tubería PVC-U de 2" en la zona donde predomina la fuerza cortante se tuvo una reducción de un valor del 17% respecto al Caso I (Patrón).
- **Para Caso VI, tubería PVC-U de 4" y 2" ubicadas a 0.40 m y 1.65 m desde el apoyo de la viga.**
 - Empleando el criterio " k_1 " para evaluar la eficiencia de la rigidez, se evidencia que la inserción de las tuberías PVC-U de 4" y 2" en la zona donde predomina la fuerza cortante y el momento flector respectivamente, se tuvo una reducción de un valor del 18% respecto al Caso I (Patrón).
 - Empleando el criterio " k_2 " para evaluar la eficiencia de la rigidez, se evidencia que la inserción de las tuberías PVC-U de 4" y 2" en la zona donde predomina la fuerza cortante y el momento flector respectivamente, se tuvo una reducción de un valor del 21% respecto al Caso I (Patrón).
 - Empleando el criterio de carga de trabajo " P_T " para evaluar la eficiencia de la rigidez, se evidencia que la inserción de las tuberías PVC-U de 4" y 2" en la zona donde predomina la fuerza cortante y el momento flector



respectivamente, se tuvo una reducción de un valor del 25% respecto al Caso I (Patrón).

- **Para Caso VII, tubería PVC-U de 4" y 2" ubicadas a 0.40 m y 2.90 m desde el apoyo de la viga.**
 - Empleando el criterio " k_1 " para evaluar la eficiencia de la rigidez, se evidencia que la inserción de las tuberías PVC-U de 4" y 2" en las zonas donde predominas la fuerza cortante (ambos lados de la viga), se tuvo una reducción de un valor del 12% respecto al Caso I (Patrón).
 - Empleando el criterio " k_2 " para evaluar la eficiencia de la rigidez, se evidencia que la inserción de las tuberías PVC-U de 4" y 2" en las zonas donde predominan la fuerza cortante (ambos lados de la viga), se tuvo una reducción de un valor del 31% respecto al Caso I (Patrón).
 - Empleando el criterio de carga de trabajo " P_T " para evaluar la eficiencia de la rigidez, se evidencia que la inserción de las tuberías PVC-U de 4" y 2" en las zonas donde predominan la fuerza cortante (ambos lados de la viga), se tuvo una reducción de un valor del 30% en comparación con el Caso I (Patrón).

A continuación, se presenta la Tabla 55 que resume la disminución de eficiencia calculada para cada criterio, basada en la rigidez de las vigas de concreto armado en cada caso analizado. Este resumen permite observar de manera clara y detallada el impacto de los diferentes factores en la eficiencia estructural de los elementos, específicamente en función de la rigidez. Posteriormente, se realizarán comparaciones entre los diversos casos, tomando como referencia la Tabla 53, en la que se evalúan las influencias del diámetro y la

ubicación de las tuberías insertas en las vigas de concreto armado para cada uno de los casos estudiados.

Tabla 55

Resumen de reducción en la rigidez de vigas en estudio

Reducción de la rigidez en comparación con el Caso I (Patrón)				
Caso en estudio	Criterio k_1	Criterio k_2	Criterio P_T	Promedio
Caso-II	20%	10%	19%	17%
Caso-III	13%	8%	12%	11%
Caso-IV	9%	21%	22%	19%
Caso-V	5%	19%	17%	15%
Caso-VI	18%	21%	25%	22%
Caso-VII	12%	31%	30%	26%

Nota: Elaboración propia.

4.3.2.1. Comparación de los casos estudiados

Para el Caso II y el Caso III

- El Caso II y el Caso III presentan similitudes, ya que en ambos se realizó la inserción vertical de tuberías de PVC-U en la zona de mayor momento flector de las vigas. Sin embargo, la diferencia radica en el diámetro de las tuberías utilizadas: en el Caso II se empleó una tubería de 4" de diámetro, mientras que en el Caso III se utilizó una de 2", como se detalla en la Tabla 4 y se ilustra en el Anexo 9 (Esquema y detalle de vigas de concreto armado en los casos estudiados). A partir de los resultados obtenidos, se concluye que el diámetro de la tubería inserta tiene una influencia significativa en la rigidez de las vigas. En el Caso II, con una tubería de 4", la rigidez se redujo en un 17%, mientras que en el Caso III, con una tubería de 2", la reducción fue del



11%, siendo este último el más favorable, con la disminución más baja en comparación con los demás casos. Esto indica que la inserción vertical de una tubería de mayor diámetro (4") afecta de manera más pronunciada la rigidez de la viga, en comparación con una tubería de menor diámetro (2").

Para el Caso IV y el Caso V

- El Caso IV y el Caso V presentan similitudes, ya que en ambos se realizó la inserción vertical de tuberías de PVC-U en la zona de mayor fuerza cortante de las vigas. La diferencia principal radica en el diámetro de las tuberías empleadas: en el Caso IV se utilizó una tubería de 4" de diámetro, mientras que en el Caso V se empleó una de 2", como se detalla en la Tabla 4 y se ilustra en el Anexo 9 (Esquema y detalle de vigas de concreto armado en los casos estudiados). A partir de los resultados obtenidos, se concluye que el diámetro de la tubería inserta tiene una influencia significativa en la rigidez de las vigas. En el Caso IV, con la tubería de 4", la rigidez de la viga se redujo en un 19%, mientras que en el Caso V, con la tubería de 2", la reducción fue del 15%. Esto indica que la inserción vertical de una tubería de mayor diámetro (4") afecta de manera más pronunciada la rigidez de las vigas, en comparación con una tubería de menor diámetro (2").

Para el Caso II y el Caso IV

- El Caso II y el Caso IV comparten similitudes, ya que en ambos se insertaron verticalmente tuberías PVC-U de 4" de diámetro. La



diferencia principal entre ambos casos radica en la ubicación de la inserción de las tuberías: en el Caso II, la inserción se realizó en la zona de mayor momento flector, mientras que en el Caso IV, la inserción tuvo lugar en la zona de mayor fuerza cortante, como se detalla en la Tabla 4 y se ilustra en el Anexo 9 (Esquema y detalle de vigas de concreto armado en los casos estudiados). A partir de los resultados obtenidos, se concluye que la ubicación de la inserción tiene un impacto significativo en la rigidez de las vigas. En el Caso II, donde la inserción se ubicó en la zona de mayor momento flector, la rigidez de la viga se redujo en un 17%, mientras que en el Caso IV, donde la inserción fue en la zona de mayor esfuerzo cortante, la reducción fue del 19%. Esto indica que la inserción vertical de la tubería PVC-U en la zona de mayor fuerza cortante afecta de manera más significativa la rigidez de las vigas, en comparación con una inserción en la zona de mayor momento flector.

Para el Caso III y el Caso V

- El Caso III y el Caso V presentan similitudes, ya que en ambos se insertaron verticalmente tuberías de PVC-U de 2" de diámetro. La principal diferencia entre ellos radica en la ubicación de la inserción de las tuberías: en el Caso III, la inserción se realizó en la zona de mayor momento flector, mientras que en el Caso V, la inserción tuvo lugar en la zona de mayor fuerza cortante, como se detalla en la Tabla 4 y se ilustra en el Anexo 9 (Esquema y detalle de vigas de concreto armado en los casos estudiados). Los resultados obtenidos muestran que la ubicación de la inserción tiene un impacto significativo en la



rigidez de las vigas. En el Caso III, donde la inserción se ubicó en la zona de mayor momento flector, la rigidez de la viga se redujo en un 11%, siendo este último el más favorable, con la disminución más baja en comparación con los demás casos. En contraste, en el Caso V, donde la inserción se realizó en la zona de mayor esfuerzo cortante, la reducción fue del 15%. Estos resultados indican que la inserción vertical de la tubería PVC-U en la zona de mayor fuerza cortante afecta de manera más significativa la rigidez de las vigas, en comparación con la inserción en la zona de mayor momento flector.

Para el Caso VI y el Caso VII

- El Caso VI y el Caso VII comparten la característica de tener dos tuberías insertadas verticalmente, una de 4" y otra de 2" de diámetro, pero difieren en la ubicación de dichas inserciones. En el Caso VI, la tubería PVC-U de 4" se insertó en la zona de mayor fuerza cortante, mientras que la de 2" se ubicó en la zona de mayor momento flector. En cambio, en el Caso VII, ambas tuberías (de 4" y 2") fueron insertadas en la zona de mayor fuerza cortante, una a cada lado de la viga. Esta distribución se detalla en la Tabla 4 y se ilustra en el Anexo 9 (Esquema y detalle de vigas de concreto armado en los casos estudiados). A partir de los resultados obtenidos, se observa que la ubicación de las tuberías tiene un impacto significativo en la rigidez de las vigas. En el Caso VI, donde la tubería de 2" se insertó en la zona de mayor momento flector y la de 4" en la zona de mayor corte, la rigidez de la viga se redujo en un 22%. En el Caso VII, con ambas tuberías insertadas en la zona de mayor corte, la reducción de la

rigidez fue del 26%. Estos resultados sugieren que la combinación de insertar la tubería de 4" en la zona de mayor fuerza cortante y la de 2" en la zona de mayor momento flector (Caso VI) provoca una menor disminución de la rigidez de las vigas, en comparación con el escenario del Caso VII, donde ambas tuberías se insertaron en la zona de mayor esfuerzo cortante.

4.3.3. Momento de inercia para los casos de las vigas en estudio

- **Para el Caso II, tubería PVC-U de 4" ubicada a 1.65 m desde el apoyo.**
 - Empleando el criterio " k_1 " para evaluar la eficiencia del momento de inercia, se evidencia que la inserción de la tubería PVC-U de 4" en la zona donde predomina el momento flector máximo resultó una reducción de un valor del 14% en comparación con el Caso I (Patrón).
 - Empleando el criterio " k_2 " para evaluar la eficiencia del momento de inercia, se evidencia que la inserción de la tubería PVC-U de 2" en la zona donde predomina el momento flector máximo resultó una reducción de un valor del 20% en comparación con el Caso I (Patrón).
 - Empleando el criterio de carga de trabajo " P_T " para evaluar la eficiencia del momento de inercia, se evidencia que la inserción de la tubería PVC-U de 4" en la zona donde predomina el momento flector máximo se tuvo una reducción del 20% en comparación con el Caso I (Patrón).

- **Para Caso III, tubería PVC-U de 2" ubicada a 1.65 m desde el apoyo.**
 - Empleando el criterio " k_1 " para evaluar la eficiencia del momento de inercia, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 2"



- en la zona donde predomina el momento flector se tuvo una reducción de un valor del 9% en comparación con el Caso I (Patrón).
- Empleando el criterio " k_2 " para evaluar la eficiencia del momento de inercia, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 2" en la zona donde predomina el momento flector se tuvo una reducción de un valor del 13% en comparación con el Caso I (Patrón).
 - Empleando el criterio de carga de trabajo " P_T " para evaluar la eficiencia del momento de inercia, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 2" en la zona donde predomina el momento flector se tuvo una reducción de un valor del 13% en comparación con el Caso I (Patrón).
- **Para Caso IV, tubería PVC-U de 4" ubicada a 0.40 m desde el apoyo.**
 - Empleando el criterio " k_1 " para evaluar la eficiencia del momento de inercia, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 4" en la zona donde predomina la fuerza cortante se tuvo una reducción de un valor del 7% en comparación con el Caso I (Patrón).
 - Empleando el criterio " k_2 " para evaluar la eficiencia del momento de inercia, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 4" en la zona donde predomina la fuerza cortante se tuvo una reducción de un valor del 22% en comparación con el Caso I (Patrón).
 - Empleando el criterio de carga de trabajo " P_T " para evaluar la eficiencia del momento de inercia, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 4" en la zona donde predomina la fuerza cortante se tuvo una reducción de un valor del 22% en comparación con el Caso I (Patrón).



- **Para Caso V, tubería PVC-U de 2” ubicada a 0.40 m desde el apoyo.**
 - Empleando el criterio " k_1 " para evaluar la eficiencia del momento de inercia, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 2” en la zona donde predomina la fuerza cortante se tuvo una reducción de un valor del 4% en comparación con el Caso I (Patrón).
 - Empleando el criterio " k_2 " para evaluar la eficiencia del momento de inercia, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 2” en la zona donde predomina la fuerza cortante se tuvo una reducción de un valor del 17% en comparación con el Caso I (Patrón).
 - Empleando el criterio de carga de trabajo " P_T " para evaluar la eficiencia del momento de inercia, se evidencia que la inserción vertical de la tubería PVC-U de 2” en la zona donde predomina la fuerza cortante se tuvo una reducción de un valor del 18% en comparación con el Caso I (Patrón).

- **Para Caso VI, tubería PVC-U de 4” y 2” ubicadas a 0.40 m y 1.65 m desde el apoyo de la viga.**
 - Empleando el criterio " k_1 " para evaluar la eficiencia del momento de inercia, se evidencia que la inserción vertical de las tuberías PVC-U de 4” y 2” en la zona donde predomina la fuerza cortante y el momento flector respectivamente, se tuvo una reducción de un valor del 13% en comparación con el Caso I (Patrón).
 - Empleando el criterio " k_2 " para evaluar la eficiencia del momento de inercia, se evidencia que la inserción vertical de las tuberías PVC-U de 4” y 2” en la zona donde predomina la fuerza cortante y el momento



- flector respectivamente, se tuvo una reducción de un valor del 25% en comparación con el Caso I (Patrón).
- Empleando el criterio de carga de trabajo " P_T " para evaluar la eficiencia del momento de inercia, se evidencia que la inserción vertical de las tuberías PVC-U de 4" y 2" en la zona donde predomina la fuerza cortante y el momento flector respectivamente, se tuvo una reducción de un valor del 26% en comparación con el Caso I (Patrón).
 - **Para Caso VII, tubería PVC-U de 4" y 2" ubicadas a 0.40 m y 2.90 m desde el apoyo de la viga.**
 - Empleando el criterio " k_1 " para evaluar la eficiencia del momento de inercia, se evidencia que la inserción vertical de las tuberías PVC-U de 4" y 2" en las zonas donde predominas la fuerza cortante (ambos lados de la viga), se tuvo una reducción de un valor del 9% en comparación con el Caso I (Patrón).
 - Empleando el criterio " k_2 " para evaluar la eficiencia del momento de inercia, se evidencia que la inserción vertical de las tuberías PVC-U de 4" y 2" en las zonas donde predominan la fuerza cortante (ambos lados de la viga), se tuvo una reducción de un valor del 30% en comparación con el Caso I (Patrón).
 - Empleando el criterio de carga de trabajo " P_T " para evaluar la eficiencia del momento de inercia, se evidencia que la inserción vertical de las tuberías PVC-U de 4" y 2" en las zonas donde predominan la fuerza cortante (ambos lados de la viga), se tuvo una reducción de un valor del 31% en comparación con el Caso I (Patrón).

A continuación, se presenta la Tabla 56 que resume la disminución de eficiencia calculada para cada criterio, basada en el momento de inercia de las vigas de concreto armado en cada caso analizado. Este resumen permite observar de manera clara y detallada el impacto de los diferentes factores en la eficiencia estructural de los elementos, específicamente en función del momento de inercia.

Tabla 56

Resumen de reducción en el momento de inercia efectivo de los casos

Reducción del momento de inercia en comparación con el Caso I (Patrón)				
Caso en estudio	Criterio "k_1"	Criterio "k_2"	Criterio "P_T"	Promedio
Caso-II	14%	20%	20%	19%
Caso-III	9%	13%	13%	12%
Caso-IV	7%	22%	22%	18%
Caso-V	4%	17%	18%	14%
Caso-VI	13%	25%	26%	23%
Caso-VII	9%	30%	31%	25%

Nota: Elaboración propia.

Posteriormente, se realizarán comparaciones entre los diversos casos, tomando como referencia la Tabla 53, en la que se evalúan las influencias del diámetro y la ubicación de las tuberías insertas verticalmente en las vigas de concreto armado para cada uno de los casos estudiados.

4.3.3.1. Comparación de los casos estudiados

Para el Caso II y el Caso III

- El Caso II y el Caso III presentan similitudes, ya que en ambos se realizó la inserción vertical de tuberías de PVC-U en la zona de mayor momento flector de las vigas. Sin embargo, la diferencia radica en el diámetro de las tuberías utilizadas: en el Caso II se empleó una tubería



de 4" de diámetro, mientras que en el Caso III se utilizó una de 2", como se detalla en la Tabla 4 y se ilustra en el Anexo 9 (Esquema y detalle de vigas de concreto armado en los casos estudiados). A partir de los resultados obtenidos, se concluye que el diámetro de la tubería inserta tiene una influencia significativa en el momento de inercia de las vigas. En el Caso II, con una tubería de 4", el momento de inercia se redujo en un 19%, mientras que en el Caso III, con una tubería de 2", la reducción fue del 12%, siendo este último el más favorable, con la disminución más baja en comparación con los demás casos. Esto indica que la inserción vertical de una tubería de mayor diámetro (4") afecta de manera más pronunciada en el momento de inercia de la viga, en comparación con una tubería de menor diámetro (2").

Para el Caso IV y el Caso V

- El Caso IV y el Caso V presentan similitudes, ya que en ambos se realizó la inserción vertical de tuberías de PVC-U en la zona de mayor fuerza cortante de las vigas. La diferencia principal radica en el diámetro de las tuberías empleadas: en el Caso IV se utilizó una tubería de 4" de diámetro, mientras que en el Caso V se empleó una de 2", como se detalla en la Tabla 4 y se ilustra en el Anexo 9 (Esquema y detalle de vigas de concreto armado en los casos estudiados). A partir de los resultados obtenidos, se concluye que el diámetro de la tubería inserta tiene una influencia significativa en el momento de inercia de las vigas. En el Caso IV, con la tubería de 4", el momento de inercia de la viga se redujo en un 18%, mientras que en el Caso V, con la tubería de 2", la reducción fue del 14%. Esto

indica que la inserción vertical de una tubería de mayor diámetro (4") afecta de manera más significativa en el momento de inercia de las vigas, en comparación con una tubería de menor diámetro (2").

Para el Caso II y el Caso IV

- El Caso II y el Caso IV comparten similitudes, ya que en ambos se insertaron verticalmente tuberías PVC-U de 4" de diámetro. La diferencia principal entre ambos casos radica en la ubicación de la inserción de las tuberías: en el Caso II, la inserción se realizó en la zona de mayor momento flector, mientras que en el Caso IV, la inserción tuvo lugar en la zona de mayor fuerza cortante, como se detalla en la Tabla 4 y se ilustra en el Anexo 9 (Esquema y detalle de vigas de concreto armado en los casos estudiados). A partir de los resultados obtenidos, se concluye que la ubicación de la inserción tiene un impacto significativo en el momento de inercia de las vigas. En el Caso II, donde la inserción se ubicó en la zona de mayor momento flector, el momento de inercia de la viga se redujo en un 19%, mientras que en el Caso IV, donde la inserción fue en la zona de mayor esfuerzo cortante, la reducción fue del 18%. Esto indica que la inserción vertical de la tubería PVC-U en la zona de mayor fuerza cortante afecta de manera similar el momento de inercia de las vigas, en comparación con una inserción en zona de mayor momento flector.

Para el Caso III y el Caso V

- El Caso III y el Caso V presentan similitudes, ya que en ambos se insertaron verticalmente tuberías de PVC-U de 2" de diámetro. La



principal diferencia entre ellos radica en la ubicación de la inserción de las tuberías: en el Caso III, la inserción se realizó en la zona de mayor momento flector, mientras que en el Caso V, la inserción tuvo lugar en la zona de mayor fuerza cortante, como se detalla en la Tabla 4 y se ilustra en el Anexo 9 (Esquema y detalle de vigas de concreto armado en los casos estudiados). Los resultados obtenidos muestran que la ubicación de la inserción tiene un impacto significativo en el momento de inercia de las vigas. En el Caso III, donde la inserción se ubicó en la zona de mayor momento flector, el momento de inercia de la viga se redujo en un 12%, siendo este último el más favorable, con la disminución más baja en comparación con los demás casos. En contraste, en el Caso V, donde la inserción se realizó en la zona de mayor esfuerzo cortante, la reducción fue del 14%. Estos resultados indican que la inserción vertical de la tubería PVC-U en la zona de mayor fuerza cortante afecta de manera significativa el momento de inercia de las vigas, en comparación con la inserción en la zona de mayor momento flector.

Para el Caso VI y el Caso VII

- El Caso VI y el Caso VII comparten la característica de tener dos tuberías insertadas verticalmente, una de 4" y otra de 2" de diámetro, pero difieren en la ubicación de dichas inserciones. En el Caso VI, la tubería PVC-U de 4" se insertó en la zona de mayor fuerza cortante, mientras que la de 2" se ubicó en la zona de mayor momento flector. En cambio, en el Caso VII, ambas tuberías (de 4" y 2") fueron insertadas en la zona de mayor fuerza cortante, una a cada lado de la



viga. Esta distribución se detalla en la Tabla 4 y se ilustra en el Anexo 9 (Esquema y detalle de vigas de concreto armado en los casos estudiados). A partir de los resultados obtenidos, se observa que la ubicación de las tuberías tiene un impacto significativo en el momento de inercia de las vigas. En el Caso VI, donde la tubería de 2" se insertó en la zona de mayor momento flector y la de 4" en la zona de mayor corte, el momento de inercia de la viga se redujo en un 23%. En el Caso VII, con ambas tuberías insertadas en la zona de mayor corte, la reducción de la rigidez fue del 25%. Estos resultados sugieren que la combinación de insertar la tubería de 4" en la zona de mayor fuerza cortante y la de 2" en la zona de mayor momento flector (Caso VI) provoca una menor disminución del momento de inercia de las vigas, en comparación con el escenario del Caso VII, donde ambas tuberías se insertaron en la zona de mayor esfuerzo cortante.

4.3.4. Deflexión bajo cargas de servicio

Con base en lo analizado en las secciones anteriores, se puede deducir que la inserción vertical de tuberías tiene un impacto significativo en la deflexión flexional de las vigas de concreto armado. A continuación, se presenta un resumen y una descripción detallada para cada caso evaluado.

- **Para el Caso II, tubería PVC-U de 4" ubicada a 1.65 m desde el apoyo.**
 - Utilizando el criterio de cargas de servicio para evaluar la eficiencia de la deflexión en las vigas, se observó que la inserción de la tubería PVC-U de 4" en la zona de mayor momento flector provocó un aumento del 23% en la deflexión, en comparación con el Caso I (Patrón).



- **Para Caso III, tubería PVC-U de 2” ubicada a 1.65 m desde el apoyo.**
 - Utilizando el criterio de cargas de servicio para evaluar la eficiencia de la deflexión en las vigas, se observó que la inserción de la tubería PVC-U de 2” en la zona de mayor momento flector provocó un aumento del 13% en la deflexión, en comparación con el Caso I (Patrón).
- **Para Caso IV, tubería PVC-U de 4” ubicada a 0.40 m desde el apoyo.**
 - Utilizando el criterio de cargas de servicio para evaluar la eficiencia de la deflexión en las vigas, se observó que la inserción de la tubería PVC-U de 4” en la zona de mayor fuerza cortante provocó un aumento del 26% en la deflexión, en comparación con el Caso I (Patrón).
- **Para Caso V, tubería PVC-U de 2” ubicada a 0.40 m desde el apoyo.**
 - Utilizando el criterio de cargas de servicio para evaluar la eficiencia de la deflexión en las vigas, se observó que la inserción de la tubería PVC-U de 2” en la zona de mayor fuerza cortante provocó un aumento del 20% en la deflexión, en comparación con el Caso I (Patrón).
- **Para Caso VI, tubería PVC-U de 4” y 2” ubicadas a 0.40 m y 1.65 m desde el apoyo de la viga.**
 - Utilizando el criterio de cargas de servicio para evaluar la eficiencia de la deflexión en las vigas, se observó que la inserción de las tuberías PVC-U de 4” y 2” en la zona de mayor fuerza cortante y en la zona de mayor momento flector respectivamente, provocó un aumento del 32% en la deflexión, en comparación con el Caso I (Patrón).

- **Para Caso VII, tubería PVC-U de 4” y 2” ubicadas a 0.40 m y 2.90 m desde el apoyo de la viga.**

- Utilizando el criterio de cargas de servicio para evaluar la eficiencia de la deflexión en las vigas, se observó que la inserción de las tuberías PVC-U de 4” y 2” en las zonas de mayor fuerza cortante (ambos lados de la viga), provocó un aumento del 42% en la deflexión, en comparación con el Caso I (Patrón).

A continuación, se presenta la Tabla 57 que resume el incremento de eficiencia calculada para cada criterio, basada en la carga de servicio en cada caso analizado. Este resumen permite observar de manera clara y detallada el impacto de los diferentes factores en la eficiencia estructural de los elementos, específicamente en función de la deflexión. Posteriormente, se realizarán comparaciones entre los diversos casos, tomando como referencia la Tabla 53, en la que se evalúan las influencias del diámetro y la ubicación de las tuberías insertas en las vigas de concreto armado para cada uno de los casos estudiados.

Tabla 57

Resumen del incremento de la deflexión bajo cargas de servicio

Incremento de la deflexión respecto al Caso I (Patrón)	
Caso en estudio	Incremento porcentual
Caso-II	23%
Caso-III	13%
Caso-IV	26%
Caso-V	20%
Caso-VI	32%
Caso-VII	42%

Nota: Elaboración propia.

4.3.4.1. Comparación de los casos estudiados

Para el Caso II y el Caso III

- El Caso II y el Caso III presentan similitudes, ya que en ambos se realizó la inserción vertical de tuberías de PVC-U en la zona de mayor momento flector de las vigas. Sin embargo, la diferencia radica en el diámetro de las tuberías utilizadas: en el Caso II se empleó una tubería de 4" de diámetro, mientras que en el Caso III se utilizó una de 2", como se detalla en la Tabla 4 y se ilustra en el Anexo 9 (Esquema y detalle de vigas de concreto armado en los casos estudiados). A partir de los resultados obtenidos, se concluye que el diámetro de la tubería inserta tiene una influencia significativa en la deflexión flexional de las vigas. En el Caso II, con una tubería de 4", la deflexión se incrementó en un 23%, mientras que en el Caso III, con una tubería de 2", el incremento fue del 13%, siendo este último el más favorable, con un incremento más bajo en comparación con los demás casos. Esto indica que la inserción vertical de una tubería de mayor diámetro (4") afecta de manera más pronunciada la deflexión de la viga, en comparación con una tubería de menor diámetro (2").

Para el Caso IV y el Caso V

- El Caso IV y el Caso V presentan similitudes, ya que en ambos se realizó la inserción vertical de tuberías de PVC-U en la zona de mayor fuerza cortante de las vigas. La diferencia principal radica en el diámetro de las tuberías empleadas: en el Caso IV se utilizó una tubería de 4" de diámetro, mientras que en el Caso V se empleó una



de 2", como se detalla en la Tabla 4 y se ilustra en el Anexo 9 (Esquema y detalle de vigas de concreto armado en los casos estudiados). A partir de los resultados obtenidos, se concluye que el diámetro de la tubería inserta tiene una influencia significativa en la deflexión flexional de las vigas. En el Caso IV, con la tubería de 4", la deflexión de la viga se incrementó en un 26%, mientras que en el Caso V, con la tubería de 2", el incremento fue del 20%. Esto indica que la inserción vertical de una tubería de mayor diámetro (4") afecta de manera más pronunciada la deflexión de las vigas, en comparación con una tubería de menor diámetro (2").

Para el Caso II y el Caso IV

- El Caso II y el Caso IV comparten similitudes, ya que en ambos se insertaron verticalmente tuberías PVC-U de 4" de diámetro. La diferencia principal entre ambos casos radica en la ubicación de la inserción de las tuberías: en el Caso II, la inserción se realizó en la zona de mayor momento flector, mientras que en el Caso IV, la inserción tuvo lugar en la zona de mayor fuerza cortante, como se detalla en la Tabla 4 y se ilustra en el Anexo 9 (Esquema y detalle de vigas de concreto armado en los casos estudiados). A partir de los resultados obtenidos, se concluye que la ubicación de la inserción tiene un impacto significativo en la deflexión flexional de las vigas. En el Caso II, donde la inserción se ubicó en la zona de mayor momento flector, la deflexión de la viga se incrementó en un 23%, mientras que en el Caso IV, donde la inserción fue en la zona de mayor esfuerzo cortante, el incremento fue del 26%. Esto indica que la



inserción vertical de la tubería PVC-U en la zona de mayor fuerza cortante afecta de manera más significativa la deflexión de las vigas, en comparación con una inserción en la zona de mayor momento flector.

Para el Caso III y el Caso V

- El Caso III y el Caso V presentan similitudes, ya que en ambos se insertaron verticalmente tuberías de PVC-U de 2" de diámetro. La principal diferencia entre ellos radica en la ubicación de la inserción de las tuberías: en el Caso III, la inserción se realizó en la zona de mayor momento flector, mientras que en el Caso V, la inserción tuvo lugar en la zona de mayor fuerza cortante, como se detalla en la Tabla 4 y se ilustra en el Anexo 9 (Esquema y detalle de vigas de concreto armado en los casos estudiados). Los resultados obtenidos muestran que la ubicación de la inserción tiene un impacto significativo en la deflexión flexional de las vigas. En el Caso III, donde la inserción se ubicó en la zona de mayor momento flector, la deflexión de la viga se incrementó en un 13%, siendo este último el más favorable, con un incremento más bajo en comparación con los demás casos. En contraste, en el Caso V, donde la inserción se realizó en la zona de mayor esfuerzo cortante, el incremento fue del 20%. Estos resultados indican que la inserción vertical de la tubería PVC-U en la zona de mayor fuerza cortante afecta de manera más significativa la deflexión de las vigas, en comparación con la inserción en la zona de mayor momento flector.



Para el Caso VI y el Caso VII

- El Caso VI y el Caso VII comparten la característica de tener dos tuberías insertadas verticalmente, una de 4" y otra de 2" de diámetro, pero difieren en la ubicación de dichas inserciones. En el Caso VI, la tubería PVC-U de 4" se insertó en la zona de mayor fuerza cortante, mientras que la de 2" se ubicó en la zona de mayor momento flector. En cambio, en el Caso VII, ambas tuberías (de 4" y 2") fueron insertadas en la zona de mayor fuerza cortante, una a cada lado de la viga. Esta distribución se detalla en la Tabla 4 y se ilustra en el Anexo 9 (Esquema y detalle de vigas de concreto armado en los casos estudiados). A partir de los resultados obtenidos, se observa que la ubicación de las tuberías tiene un impacto significativo en la deflexión flexional de las vigas. En el Caso VI, donde la tubería de 2" se insertó en la zona de mayor momento flector y la de 4" en la zona de mayor corte, la rigidez de la viga se incrementó en un 32%. En el Caso VII, con ambas tuberías insertadas en la zona de mayor corte, el incremento de la rigidez fue del 42%. Estos resultados sugieren que la combinación de insertar la tubería de 4" en la zona de mayor fuerza cortante y la de 2" en la zona de mayor momento flector (Caso VI) provoca un menor incremento de la deflexión de las vigas, en comparación con el escenario del Caso VII, donde ambas tuberías se insertaron en la zona de mayor esfuerzo cortante.

4.3.5. Agrietamiento

Con base en lo analizado en las secciones anteriores, se puede deducir que la inserción vertical de tuberías PVC-U tiene un impacto significativo en el agrietamiento temprano de las vigas de concreto armado. A continuación, se presenta un resumen y una descripción detallada para cada caso evaluado.

- **Para el Caso II, tubería PVC-U de 4” ubicada a 1.65 m desde el apoyo.**
 - Utilizando el criterio del punto de agrietamiento para evaluar el agrietamiento prematuro en las vigas, se observó que la inserción de la tubería PVC-U de 4” en la zona de mayor momento flector generó una disminución del 35% en la carga en el momento de ocurrir el agrietamiento, en comparación con el Caso I (Patrón).
- **Para Caso III, tubería PVC-U de 2” ubicada a 1.65 m desde el apoyo.**
 - Utilizando el criterio del punto de agrietamiento para evaluar el agrietamiento prematuro en las vigas, se observó que la inserción de la tubería PVC-U de 2” en la zona de mayor momento flector generó una disminución del 26% en la carga en el momento de ocurrir el agrietamiento, en comparación con el Caso I (Patrón).
- **Para Caso IV, tubería PVC-U de 4” ubicada a 0.40 m desde el apoyo.**
 - Utilizando el criterio del punto de agrietamiento para evaluar el agrietamiento prematuro en las vigas, se observó que la inserción de la tubería PVC-U de 4” en la zona de mayor fuerza cortante generó una disminución del 25% en la carga en el momento de ocurrir el agrietamiento, en comparación con el Caso I (Patrón).



- **Para Caso V, tubería PVC-U de 2” ubicada a 0.40 m desde el apoyo.**
 - Utilizando el criterio del punto de agrietamiento para evaluar el agrietamiento prematuro en las vigas, se observó que la inserción de la tubería PVC-U de 2” en la zona de mayor fuerza cortante generó una disminución del 9% en la carga en el momento de ocurrir el agrietamiento, en comparación con el Caso I (Patrón).

- **Para Caso VI, tubería PVC-U de 4” y 2” ubicadas a 0.40 m y 1.65 m desde el apoyo de la viga.**
 - Utilizando el criterio del punto de agrietamiento para evaluar el agrietamiento prematuro en las vigas, se observó que la inserción de las tuberías PVC-U de 4” y 2” en la zona de mayor fuerza cortante y en la zona de mayor momento flector respectivamente, generó una disminución del 35% en la carga en el momento de ocurrir el agrietamiento, en comparación con el Caso I (Patrón).

- **Para Caso VII, tubería PVC-U de 4” y 2” ubicadas a 0.40 m y 2.90 m desde el apoyo de la viga.**
 - Utilizando el criterio del punto de agrietamiento para evaluar el agrietamiento prematuro en las vigas, se observó que la inserción de las tuberías PVC-U de 4” y 2” en las zonas de mayor fuerza cortante (ambos lados de la viga), generó una disminución del 26% en la carga en el momento de ocurrir el agrietamiento, en comparación con el Caso I (Patrón).

A continuación, se presenta la Tabla 58 la cual resume la disminución de eficiencia calculada para cada criterio, en función de la carga de servicio en el punto de agrietamiento de cada caso analizado. Este resumen permite observar de manera clara y detallada cómo los diferentes factores influyen en la eficiencia estructural, específicamente en relación con el punto de agrietamiento.

Tabla 58

Resumen del incremento de la deflexión bajo cargas de servicio

Incremento de la deflexión respecto al Caso I (Patrón)	
Caso en estudio	Incremento porcentual
Caso-II	35%
Caso-III	26%
Caso-IV	25%
Caso-V	9%
Caso-VI	35%
Caso-VII	26%

Nota: Elaboración propia.

Posteriormente, se llevarán a cabo comparaciones entre los distintos casos estudiados, tomando como referencia la Tabla 53, donde se evalúan las influencias del diámetro y la ubicación de las tuberías insertas en las vigas de concreto armado para cada uno de los casos analizados.

4.3.5.1. Comparación de los casos estudiados

Para el Caso II y el Caso III

- El Caso II y el Caso III presentan similitudes, ya que en ambos se realizó la inserción vertical de tuberías de PVC-U en la zona de mayor momento flector de las vigas. Sin embargo, la diferencia radica en el diámetro de las tuberías utilizadas: en el Caso II se empleó una tubería



de 4” de diámetro, mientras que en el Caso III se utilizó una de 2”, como se detalla en la Tabla 4 y se ilustra en el Anexo 9 (Esquema y detalle de vigas de concreto armado en los casos estudiados). A partir de los resultados obtenidos, se concluye que el diámetro de la tubería inserta tiene una influencia significativa en el agrietamiento temprano de las vigas. En el Caso II, con una tubería de 4”, la carga y deflexión por agrietamiento se redujo en un 35%, mientras que en el Caso III, con una tubería de 2”, la reducción fue del 26%. Esto indica que la inserción vertical de una tubería de mayor diámetro (4”) afecta de manera significativa en el agrietamiento temprano de la viga, en comparación con una tubería de menor diámetro (2”).

Para el Caso IV y el Caso V

- El Caso IV y el Caso V presentan similitudes, ya que en ambos se realizó la inserción vertical de tuberías de PVC-U en la zona de mayor fuerza cortante de las vigas. La diferencia principal radica en el diámetro de las tuberías empleadas: en el Caso IV se utilizó una tubería de 4” de diámetro, mientras que en el Caso V se empleó una de 2”, como se detalla en la Tabla 4 y se ilustra en el Anexo 9 (Esquema y detalle de vigas de concreto armado en los casos estudiados). A partir de los resultados obtenidos, se concluye que el diámetro de la tubería inserta tiene una influencia significativa en el agrietamiento temprano de las vigas. En el Caso IV, con la tubería de 4”, la carga y deflexión por agrietamiento de la viga se redujo en un 25%, mientras que en el Caso V, con la tubería de 2”, la reducción fue del 9%, siendo este último el más favorable, con la disminución más



baja en comparación con los demás casos. Esto indica que la inserción vertical de una tubería de mayor diámetro (4") afecta de manera significativa en el agrietamiento temprano de las vigas, en comparación con una tubería de menor diámetro (2").

Para el Caso II y el Caso IV

- El Caso II y el Caso IV comparten similitudes, ya que en ambos se insertaron verticalmente tuberías PVC-U de 4" de diámetro. La diferencia principal entre ambos casos radica en la ubicación de la inserción de las tuberías: en el Caso II, la inserción se realizó en la zona de mayor momento flector, mientras que en el Caso IV, la inserción tuvo lugar en la zona de mayor fuerza cortante, como se detalla en la Tabla 4 y se ilustra en el Anexo 9 (Esquema y detalle de vigas de concreto armado en los casos estudiados). A partir de los resultados obtenidos, se concluye que la ubicación de la inserción tiene un impacto significativo en el agrietamiento temprano de las vigas. En el Caso II, donde la inserción vertical de tubería PVC-U se ubicó en la zona de mayor momento flector, la carga y deflexión por agrietamiento de la viga se redujo en un 35%, mientras que en el Caso IV, donde la inserción vertical fue en la zona de mayor esfuerzo cortante, la reducción fue del 25%. Esto indica que la inserción vertical de la tubería PVC-U en la zona de mayor momento flector afecta de manera más significativa el agrietamiento temprano de las vigas, en comparación con una inserción en la zona de mayor fuerza cortante.



Para el Caso III y el Caso V

- El Caso III y el Caso V presentan similitudes, ya que en ambos se insertaron verticalmente tuberías de PVC-U de 2" de diámetro. La principal diferencia entre ellos radica en la ubicación de la inserción de las tuberías: en el Caso III, la inserción se realizó en la zona de mayor momento flector, mientras que en el Caso V, la inserción tuvo lugar en la zona de mayor fuerza cortante, como se detalla en la Tabla 4 y se ilustra en el Anexo 9 (Esquema y detalle de vigas de concreto armado en los casos estudiados). Los resultados obtenidos muestran que la ubicación de la inserción tiene un impacto significativo en el agrietamiento temprano de las vigas. En el Caso III, donde la inserción se ubicó en la zona de mayor momento flector, la carga y deflexión por agrietamiento de la viga se redujo en un 26%. En contraste, en el Caso V, donde la inserción se realizó en la zona de mayor esfuerzo cortante, la reducción fue del 9%, siendo este último el más favorable, con la disminución más baja en comparación con los demás casos. Estos resultados indican que la inserción vertical de la tubería PVC-U en la zona de mayor momento flector afecta de manera más significativa en el agrietamiento temprano de las vigas, en comparación con la inserción de tuberías PVC-U en la zona de mayor fuerza cortante.

Para el Caso VI y el Caso VII

- El Caso VI y el Caso VII comparten la característica de tener dos tuberías insertadas verticalmente, una de 4" y otra de 2" de diámetro,



pero difieren en la ubicación de dichas inserciones. En el Caso VI, la tubería PVC-U de 4" se insertó en la zona de mayor fuerza cortante, mientras que la de 2" se ubicó en la zona de mayor momento flector. En cambio, en el Caso VII, ambas tuberías (de 4" y 2") fueron insertadas en la zona de mayor fuerza cortante, una a cada lado de la viga. Esta distribución se detalla en la Tabla 4 y se ilustra en el Anexo 9 (Esquema y detalle de vigas de concreto armado en los casos estudiados). A partir de los resultados obtenidos, se observa que la ubicación de las tuberías tiene un impacto significativo en el agrietamiento temprano de las vigas. En el Caso VI, donde la tubería de 2" se insertó en la zona de mayor momento flector y la de 4" en la zona de mayor corte, la carga y deflexión por agrietamiento de la viga se redujo en un 35%. En el Caso VII, con ambas tuberías insertadas en la zona de mayor corte, la reducción de la carga y deflexión por agrietamiento fue del 26%. Estos resultados sugieren que la combinación de insertar la tubería de 4" en la zona de mayor fuerza cortante y la de 2" en la zona de mayor momento flector (Caso VI) provoca una manera significativa al agrietamiento temprano de las vigas, en comparación con el escenario del Caso VII, donde ambas tuberías se insertaron en la zona de mayor esfuerzo cortante.

4.3.6. Deflexión elástica de vigas, en cada momento de carga

- Durante cada etapa de aumento de carga aplicada a las vigas, se registraron lecturas precisas de los deformímetros, permitiendo recopilar datos detallados y realizar grabaciones. A partir de las deformaciones medidas y su ubicación exacta, junto con las condiciones de borde que exigen deflexiones nulas en

los apoyos, se obtuvo una descripción clara del comportamiento de las vigas bajo las cargas aplicadas. Esto facilitó la elaboración de un bosquejo de la curva elástica de cada viga, representando la deformación para cada nivel de carga. Desde la Figura 107 hasta la Figura 120 se presentan las curvas elásticas correspondientes a cada viga, abarcando diferentes momentos de aplicación de carga, desde la fase elástica hasta el punto de fluencia (δ_y, P_y) , proporcionando una visión detallada del comportamiento estructural en cada etapa del ensayo. Los resultados indican que la inserción vertical de tuberías PVC-U en regiones con alta fuerza cortante y momentos flectores elevados provoca un aumento significativo en la deflexión bajo la carga de trabajo. En particular, se observa que la fuerza cortante tiene un impacto mucho mayor en las deflexiones obtenidas que los momentos flectores.

4.3.7. Patrón de fisuras en las vigas de concreto armado

- En todas las vigas analizadas, se detectaron las primeras fisuras en el centro de la luz de la viga, presentándose como típicas fisuras verticales por flexión. Posteriormente, se formaron fisuras adicionales cerca de estas iniciales, también en dirección vertical, a medida que se incrementaba la carga aplicada. En todas las vigas se observaron fisuras tanto de corte como de flexión, resultado de la combinación de momentos flectores y fuerzas de corte. Las fisuras de tensión por flexión aparecieron primero, orientadas verticalmente al eje de la viga, con dimensiones controladas inicialmente debido al refuerzo longitudinal de acero. Sin embargo, a medida que aumentaba la carga aplicada, el esfuerzo tensor diagonal en la parte superior de estas fisuras las hizo inclinarse y alargarse, especialmente cerca de los apoyos. Es notable que las fisuras en la base de la viga, cerca de las



inserciones de tuberías PVC-U, mostraron una trayectoria hacia estas inserciones, sugiriendo una concentración de esfuerzos debido a la discontinuidad introducida por la tubería. Además, el mapeo de fisuras reveló que bajo carga de trabajo, no se observaron fisuras alrededor ni cerca de las inserciones de tubería PVC-U a excepción de aquellos casos donde se realizó la inserción de tubería PVC-U en el centro de la viga, mientras que las fisuras tempranas fueron consistentemente observadas en el centro de la luz de la viga para todos los casos analizados. Estos hallazgos subrayan la importancia crítica de la ubicación y el diseño de las inserciones en las vigas de concreto armado para minimizar la formación de fisuras y asegurar un comportamiento estructural óptimo.

4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Esta investigación comparativa se enfocó en evaluar tanto cualitativa como cuantitativamente las vigas del Caso I (Patrón) con otras configuraciones que incluían inserciones verticales de tuberías PVC-U. En la Tabla 59 en donde se detallan y describen brevemente los diferentes casos de estudio, incluyendo un total de 14 vigas de concreto armado, dos por cada caso, además de las vigas patrón. Todas las vigas tuvieron una luz libre de 3.30 m, con una sección transversal de 0.25 m de ancho y 0.40 m de alto. Las vigas patrón del Caso I (C-I) se diseñaron para soportar una carga de servicio de 8,590.00 *kgf*, utilizando concreto con una resistencia a la compresión especificada de 210.00 *kgf/cm²* y acero con una resistencia a la fluencia de 4,200.00 *kgf/cm²*. Durante las pruebas experimentales, se empleó una viga metálica para asegurar una distribución equitativa de la fuerza total " P_T " proporcionada por la máquina universal. Esta viga metálica comprimía los dos rodillos macizos, ubicados a una distancia de 1.10 m entre sí, asegurando así una carga uniforme durante las pruebas experimentales.

Tabla 59

Resumen de los casos de estudio

Descripción	Diseño del caso en estudio
<p>Caso I o Patrón (C-I): Este caso no presenta ninguna inserción de tubería y servirá como referencia para cuantificar el desempeño de los demás casos de estudio en comparación con él.</p>	
<p>Caso II (C-II), la viga contiene una tubería de PVC-U de 4" inserta en el centro de luz de la viga, dispuesta verticalmente y distanciada a 1.65 m desde el apoyo.</p>	
<p>Caso III (C-III), la viga contiene una tubería de PVC-U de 2" inserta en el centro de luz de la viga, dispuesta verticalmente y distanciada a 1.65 m desde el apoyo.</p>	
<p>Caso IV (C-IV), la viga contiene una tubería de PVC-U de 4" inserta cerca al apoyo, dispuesta verticalmente y ubicada a una distancia de 0.40 m desde el apoyo.</p>	
<p>Caso V (C-V), la viga contiene una tubería de PVC-U de 2" inserta cerca al apoyo, dispuesta verticalmente y ubicada a una distancia de 0.40 m desde el apoyo.</p>	
<p>Caso VI (C-VI), la viga contiene dos tuberías de PVC-U de 4" y 2", insertas cerca del apoyo y centro de la luz de la viga, respectivamente. Estas están ubicadas a 0.40 m y 1.65 m desde el apoyo, respectivamente.</p>	
<p>Caso VII (C-VII), la viga contiene dos tuberías de PVC-U de 4" y 2", insertas cerca del apoyo en ambos lados de la viga (cerca al apoyo). Estas están ubicadas a 0.40 m y 2.90 m desde el primer apoyo.</p>	

Nota: Elaboración propia.

Tabla 60

Resumen de reducción en las propiedades mecánicas de las vigas

Diseño del caso en estudio	Autor	Resistencia flexión y cortante	Rigidez a flexión	Momento de inercia	Deflexión	Modo de falla
	Auta et al. (2021)	19.63%	-	-	-	-
	Auta et al. (2021)	17.40%	-	-	-	-
	Hamzah & Ali (2020)	8.27%	-	-	-7.74%	Flexión – corte
	Hamzah & Ali (2020)	5.07%	-	-	-4.78%	Flexión – corte
	Hussein & Muttailb (2022)	10.95%	-	-	-10.62%	Flexión
	Hussein & Muttailb (2022)	6.98%	-	-	-8.85%	Flexión
	Cabrera (2011)	28%	51%	52%	+101%	Flexión – corte
	Cabrera (2011)	39%	32%	33%	+39%	Flexión – corte
	Cabrera (2011)	31%	42%	41%	+66%	Flexión – corte
	Presente estudio	31%	17%	19%	+23%	Flexión
	Presente estudio	21%	11%	12%	+13%	Flexión
	Presente estudio	24%	19%	18%	+26%	Flexión – corte
	Presente estudio	15%	15%	14%	+20%	Flexión – corte
	Presente estudio	32%	22%	23%	+32%	Flexión – corte
	Presente estudio	31%	26%	25%	+42%	Flexión – corte

Nota: Elaboración propia.

Para un análisis exhaustivo del procedimiento, los cálculos y las mediciones de laboratorio ya se han presentado en el Capítulo IV, específicamente en la sección 4.2 "Análisis de los resultados". En los apartados siguientes, nos centraremos exclusivamente en la discusión de los resultados obtenidos.

4.5. CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS

4.5.1. Cumplimiento de objetivo específico Nro. 01

El análisis de los resultados experimentales sobre la influencia de las aberturas verticales generadas por tuberías PVC-U en la resistencia a flexión y corte de vigas de concreto armado evidenció una disminución significativa en estas propiedades. Este hallazgo coincide con investigaciones previas, como las de Hamzah & Ali (2020), quienes señalaron que las aberturas en elementos estructurales reducen su capacidad de carga, tanto en flexión como en corte. Además, Huessein & Muttailb (2022) destacaron que el tamaño de la abertura tiene un impacto directo en la capacidad estructural del concreto, observándose que un mayor diámetro de la tubería implica una mayor disminución de la resistencia. Por su parte, Cabrera (2011) reportó una reducción del 28% en la resistencia al corte cuando las tuberías se ubicaban en zonas dominadas por fuerzas cortantes, y una disminución del 39% cuando las tuberías estaban en zonas de predominio del momento flector.

En esta investigación, se planteó como primer objetivo específico *"determinar la influencia de aberturas por tuberías PVC-U insertas verticalmente en la resistencia a la flexión y resistencia a cortante de vigas de concreto armado"*. Los resultados obtenidos confirmaron que el diámetro de las tuberías PVC-U tiene un impacto significativo en dichas resistencias (ver Tabla 60). En



general, las vigas con tuberías de mayor diámetro (4") presentaron una reducción más pronunciada en su capacidad resistente en comparación con aquellas que contenían tuberías de menor diámetro (2"). A continuación, se detallan los resultados específicos:

- Caso II y Caso III: En ambos casos se insertaron tuberías en la zona de mayor momento flector, con una reducción del 31% en el Caso II (tubería de 4") y del 21% en el Caso III (tubería de 2"), indicando que una mayor tubería afecta más negativamente la resistencia a la flexión y corte.
- Caso IV y Caso V: Aquí, las tuberías fueron insertadas en la zona de mayor fuerza cortante. En el Caso IV (tubería de 4"), la resistencia se redujo en un 24%, mientras que en el Caso V (tubería de 2") la reducción fue solo del 15%, lo que muestra que las tuberías más pequeñas afectan menos la resistencia.
- Caso II y Caso IV: Comparando la inserción en la zona de mayor momento flector (Caso II) y en la zona de mayor corte (Caso IV), se observó que la inserción en la zona de mayor momento flector redujo la resistencia un 31%, mientras que en la zona de corte la reducción fue menor, del 24%. Esto indica que la ubicación de la inserción también juega un rol crucial en la capacidad resistente de la viga.
- Caso III y Caso V: Similarmente, la inserción en la zona de mayor momento flector en el Caso III (reducción del 21%) tuvo un mayor impacto en la resistencia que la inserción en la zona de mayor corte en el Caso V (reducción del 15%).
- Caso VI y Caso VII: Al insertar dos tuberías (4" y 2") en diferentes zonas de la viga, se encontró que el Caso VI (donde la tubería de 2" estaba en la zona de mayor momento flector y la de 4" en la zona de mayor corte) mostró una



reducción del 32%, mientras que el Caso VII, con ambas tuberías en la zona de corte, tuvo una reducción del 31%. Esto sugiere que la combinación de las ubicaciones de inserción afecta de manera similar la capacidad de la viga.

4.5.2. Cumplimiento de objetivo específico Nro. 02

La evaluación de la influencia de las tuberías PVC-U en la rigidez de las vigas reveló que las vigas con inserciones presentan una reducción en su rigidez. Estos resultados coinciden con estudios previos, como el de Cabrera (2011), que señala que la localización de aberturas afecta significativamente la rigidez hasta una reducción del 46% y la capacidad de deformación de las vigas de concreto armado, siendo el impacto mayor a medida que aumenta el tamaño de la abertura (ver Tabla 60). Esto sugiere que, al igual que en el presente estudio, la ubicación y el tamaño de las inserciones son factores determinantes en el comportamiento estructural de las vigas.

En esta investigación se abordó el segundo objetivo específico de *"determinar la influencia de aberturas por tuberías PVC-U insertas verticalmente en la rigidez a la flexión de las vigas de concreto armado"*. Los resultados mostraron que las vigas con inserciones ubicadas en la zona de mayor corte experimentaron una disminución de rigidez ligeramente superior a aquellas con inserciones en la zona de mayor momento flector (ver Tabla 60). Asimismo, se analizó cómo el diámetro y la ubicación de las tuberías PVC-U insertas verticalmente afectan la rigidez de las vigas, tomando en cuenta los siguientes aspectos:

- Casos II y III (tuberías de 4" y 2" en la zona de mayor momento flector): La inserción de la tubería de 4" redujo la rigidez en un 17%, mientras que la de



- 2" presentó una disminución del 11%, indicando que un mayor diámetro afecta más la rigidez.
- Casos IV y V (tuberías de 4" y 2" en la zona de mayor fuerza cortante): En el Caso IV, la reducción de la rigidez fue del 19%, mientras que, en el Caso V, la disminución fue del 15%, sugiriendo que la inserción en la zona de mayor cortante tiene un efecto considerable en la rigidez.
 - Comparación entre Casos II y IV (tuberías de 4" en diferentes ubicaciones): La rigidez en el Caso IV, con la inserción en la zona de mayor cortante, se redujo un 19%, ligeramente más que en el Caso II (17%), demostrando que la ubicación también influye en la rigidez.
 - Comparación entre Casos III y V (tuberías de 2" en diferentes ubicaciones): La rigidez en el Caso III (zona de mayor momento flector) se redujo solo un 11%, en comparación con un 15% en el Caso V (zona de mayor cortante), evidenciando que la ubicación de la inserción tiene mayor impacto que el diámetro en este caso.
 - Casos VI y VII (dos tuberías de 4" y 2" en diferentes ubicaciones): El Caso VI, donde la tubería de 4" se insertó en la zona de mayor cortante y la de 2" en la zona de mayor momento flector, mostró una reducción de la rigidez del 22%. En el Caso VII, con ambas tuberías en la zona de mayor cortante, la reducción fue del 26%, lo que sugiere que distribuir las inserciones en diferentes zonas tiene un efecto más favorable en la rigidez.

4.5.3. Cumplimiento de objetivo específico nro. 03

En relación con la deflexión de las vigas, los resultados experimentales revelaron que las tuberías de mayor diámetro ubicadas en la zona de mayor fuerza cortante incrementaron significativamente la deflexión. Este hallazgo es coherente



con lo señalado por Cabrera (2011), quien destaca que la localización de las aberturas influye directamente en el aumento de la deflexión frente a cargas menores a las consideradas en el diseño. Por otro lado, Hamzah & Ali (2020) mencionan en su investigación que las vigas con inserciones pueden presentar deflexiones menores, registrando una reducción del 7.74% en comparación con aquellas sin ninguna inserción.

Además, se observó que las vigas con aberturas en la zona de corte presentan mayores deflexiones, como también sugiere Cabrera (2011), quien señala que las aberturas en esta zona afectan considerablemente la deflexión debido a la reducción de la sección efectiva de la viga. Por otro lado, las aberturas en la zona de momento flector pueden provocar incrementos de hasta un 33% en la deflexión bajo cargas moderadas (ver Tabla 60).

En el desarrollo de esta investigación, se abordó el tercer objetivo específico: *"Determinar la influencia de aberturas por tuberías PVC-U insertas verticalmente en la deflexión flexional de vigas de concreto armado"*. Los resultados obtenidos indican que la deflexión varía según la ubicación y el diámetro de las inserciones de tuberías PVC-U. Se observaron incrementos en la deflexión en los casos estudiados (Tabla 59). En comparación con las vigas sin inserciones, las que tenían inserciones verticales de tuberías presentaron mayores deflexiones y menores capacidades de carga última. A continuación, se detalla el análisis de los resultados obtenidos:

- Casos II y III: La inserción de una tubería PVC-U de 4" en la zona de mayor momento flector (Caso II) incrementó la deflexión en un 23%, mientras que con una tubería de 2" (Caso III) el incremento fue del 13%, lo que muestra



que el diámetro de la tubería influye significativamente, siendo la deflexión más pronunciada con la tubería de mayor diámetro.

- Casos IV y V: Similarmente, con una tubería de 4" en la zona de mayor fuerza cortante (Caso IV), la deflexión aumentó en un 26%, mientras que, en el Caso V, con una tubería de 2", el incremento fue del 20%, lo que también resalta la influencia del diámetro de la tubería en la deflexión.
- Casos II y IV: Al comparar ambos casos con una tubería de 4" en zonas diferentes (momentos flectores y fuerza cortante), se observó que la deflexión fue mayor en la zona de mayor fuerza cortante (Caso IV) con un aumento del 26%, frente al incremento del 23% en el Caso II, donde la inserción fue en la zona de mayor momento flector.
- Casos III y V: Al comparar estos dos casos con una tubería de 2" en distintas zonas, los resultados mostraron que la deflexión fue más pronunciada en el Caso V (zona de mayor fuerza cortante) con un incremento del 20%, mientras que en el Caso III (zona de mayor momento flector), el incremento fue del 13%.
- Casos VI y VII: En el Caso VI, donde las tuberías de 2" y 4" se insertaron en zonas de mayor momento flector y mayor fuerza cortante, respectivamente, la deflexión aumentó un 32%. En el Caso VII, con ambas tuberías en la zona de mayor fuerza cortante, el incremento fue del 42%, lo que indica que la combinación de ubicaciones de las tuberías afecta significativamente la deflexión, siendo más favorable el Caso VI.

4.5.4. Cumplimiento del objetivo general

La investigación cumplió con su objetivo general de evaluar la influencia de las aberturas generadas por tuberías PVC-U insertas verticalmente en las



propiedades mecánicas de las vigas de concreto armado en Juliaca, 2023. En relación con la resistencia a la flexión y al corte, el estudio evidenció que la inserción de tuberías en la zona de mayor momento flector produce una disminución más significativa en la capacidad de carga, un hallazgo consistente con el trabajo de Cabrera (2011), quien también documenta cómo las aberturas en zonas de alta demanda estructural reducen la capacidad de carga de los elementos.

Por otro lado, los resultados sobre rigidez y deflexión indican que tanto el diámetro de las tuberías como su ubicación influyen sustancialmente en la rigidez estructural y el comportamiento ante cargas. Esto concuerda con las conclusiones de Hamzah & Ali (2020), quienes documentan que las aberturas de mayor tamaño, especialmente en zonas de alta fuerza cortante, afectan notablemente la rigidez y resistencia de las estructuras de concreto armado.

En el desarrollo de esta investigación, se abordó el objetivo general de *“Evaluar la influencia de aberturas por tuberías PVC-U insertas verticalmente en las propiedades mecánicas de vigas de concreto armado en Juliaca, 2023”*, Esto se logró al evaluar el impacto de las tuberías PVC-U insertadas en diferentes zonas de una viga de concreto armado sobre su capacidad de resistencia, rigidez y deflexión. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- Resistencia a la flexión y corte: La inserción de tuberías en la zona de mayor momento flector redujo la resistencia más que en la zona de mayor corte. Las tuberías de mayor diámetro (4”) generaron una reducción mayor en la resistencia comparado con las de diámetro más pequeño (2”), reflejando el efecto negativo del tamaño de la tubería sobre la resistencia estructural.



- Rigidez: Las inserciones en la zona de mayor corte disminuyeron más la rigidez en comparación con las insertadas en la zona de mayor momento flector. De nuevo, las tuberías de mayor diámetro redujeron la rigidez más que las de menor diámetro, con variaciones más notorias en las inserciones en la zona de mayor corte.
- Deflexión: La deflexión aumentó considerablemente más con las tuberías de mayor diámetro, especialmente cuando se insertaron en la zona de mayor corte, lo que indica un impacto significativo sobre la deformación de la viga.

V. CONCLUSIONES

- **Influencia de las aberturas por tuberías PVC-U en la resistencia a flexión y corte**
 - Las aberturas verticales generadas por tuberías PVC-U insertas en vigas de concreto armado reducen significativamente su resistencia a la flexión y al corte. Este comportamiento es más notorio en las vigas con tuberías de mayor diámetro (4”), en comparación con aquellas con tuberías de menor diámetro (2”).
 - La ubicación de las tuberías también influye en la magnitud de la disminución de resistencia: las inserciones en la zona de mayor momento flector presentan reducciones más pronunciadas en comparación con las ubicadas en la zona de mayor corte. Por ejemplo, las vigas con tuberías de 4” en la zona de momento flector mostraron una disminución de resistencia de hasta el 31%, mientras que las inserciones similares en la zona de corte redujeron la resistencia en un 24%.

- **Impacto de las tuberías insertas en la rigidez estructural**
 - La rigidez de las vigas disminuye en presencia de tuberías PVC-U, siendo el diámetro y la ubicación de las mismas factores clave en la magnitud de la reducción.
 - Las vigas con tuberías de mayor diámetro (4”) presentaron una mayor disminución en rigidez que aquellas con tuberías de menor diámetro (2”). Adicionalmente, las inserciones en la zona de mayor fuerza cortante redujeron más la rigidez (hasta un 19%) en comparación con las ubicadas en la zona de mayor momento flector (hasta un 17%).



- La combinación de tuberías de diferentes diámetros en distintas ubicaciones mostró que distribuir las inserciones puede minimizar el impacto negativo en la rigidez. Por ejemplo, el Caso VI, con tuberías en zonas de momento flector y corte, tuvo una disminución menor (22%) en comparación con el Caso VII, donde ambas tuberías se ubicaron en la zona de corte (26%).

- **Influencia de las tuberías en la deflexión de las vigas**
 - Las vigas con tuberías insertas verticalmente presentaron mayores deflexiones bajo carga, siendo el incremento más significativo en las vigas con tuberías de mayor diámetro (4") y ubicadas en la zona de mayor fuerza cortante.
 - Las inserciones en la zona de corte incrementaron la deflexión hasta en un 26% para tuberías de 4" y en un 20% para tuberías de 2", mientras que las inserciones en la zona de momento flector tuvieron incrementos menores, de hasta un 23% y un 13% para los mismos diámetros, respectivamente.
 - El Caso VII, con ambas tuberías insertadas en la zona de mayor corte, registró el mayor incremento de deflexión (42%), confirmando que la ubicación y la combinación de inserciones afectan significativamente el comportamiento de deformación de las vigas.

- **Cumplimiento del objetivo general**
 - La investigación confirmó que las aberturas generadas por tuberías PVC-U insertas verticalmente afectan de manera significativa las propiedades



- mecánicas de las vigas de concreto armado, específicamente en su resistencia a la flexión y corte, rigidez y deflexión.
- Las tuberías de mayor diámetro y las ubicadas en zonas críticas, como el momento flector o la fuerza cortante, tienen un impacto más severo en las propiedades evaluadas, validando tanto el objetivo general como los específicos planteados.
 - Estos hallazgos contribuyen al entendimiento de los efectos estructurales de las inserciones en vigas de concreto armado, proporcionando una base técnica que puede ser aplicada en el diseño y evaluación de estructuras con requerimientos similares.



VI. RECOMENDACIONES

- **Recomendaciones Basadas en la resistencia a la flexión y cortante**
 - **Sobre el diámetro de las tuberías:** Se recomienda limitar el uso de tuberías de gran diámetro (4") en vigas de concreto armado, especialmente en zonas de alta demanda estructural, como el momento flector y la fuerza cortante. La investigación evidenció que las tuberías de mayor diámetro tienen un impacto negativo más significativo en la resistencia a la flexión y corte. En proyectos estructurales, se sugiere considerar tuberías de menor diámetro (2") para minimizar la reducción de la resistencia de las vigas.
 - **Sobre la ubicación de las inserciones:** Dado que la ubicación de las tuberías afecta la capacidad de carga de las vigas, se recomienda insertar las tuberías en zonas de menor carga, como aquellas donde las fuerzas cortantes son menores, para reducir el impacto sobre la resistencia estructural. Evitar su inserción en zonas de mayor momento flector puede ayudar a preservar la capacidad de carga de las vigas.
 - **Para futuras investigaciones:** Sería útil realizar más estudios sobre la influencia de diferentes formas y tipos de tuberías en las propiedades mecánicas de las vigas.

- **Basadas en la rigidez de las vigas**
 - **Sobre la inserción de tuberías en zonas de corte:** Los resultados muestran que la inserción de tuberías en la zona de mayor fuerza cortante reduce más la rigidez de las vigas en comparación con las insertadas en la zona de mayor momento flector. Por lo que, se recomienda evitar la



inserción de tuberías en las zonas de mayor corte para preservar la rigidez de la estructura. Las tuberías deben colocarse en áreas donde las fuerzas cortantes sean menores,

- **Sobre la elección del diámetro de la tubería:** Se observa que las tuberías de mayor diámetro tienen un impacto negativo mayor sobre la rigidez de las vigas. Para proyectos que requieren mantener una mayor rigidez estructural, es recomendable usar tuberías de menor diámetro siempre que sea posible.
- **Sobre el diseño estructural:** Considerando que la rigidez es crucial para la estabilidad de las estructuras, se recomienda tomar en cuenta el impacto de las aberturas en la rigidez al momento de diseñar vigas con inserciones de tuberías. Lo que permitirá asegurar que la estructura mantenga su desempeño a la deformación bajo carga.
- **Basadas en la Deflexión Flexional**
 - **Sobre el control de la deflexión:** Dado que las tuberías de mayor diámetro, especialmente las ubicadas en la zona de mayor corte, provocan un aumento considerable en la deflexión, se recomienda evitar el uso de tuberías grandes en dichas áreas. En lugar de eso, se deben considerar tuberías más pequeñas o bien optimizar el diseño de la viga para contrarrestar los efectos negativos de la inserción.
 - **Sobre el monitoreo de deflexiones:** Es recomendable monitorear de cerca las deflexiones en las vigas con tuberías insertas, especialmente en las zonas de mayor corte. Los incrementos en la deflexión pueden indicar una posible pérdida de capacidad estructural, por lo que se debe verificar



- que la deflexión se mantenga dentro de los límites aceptables para garantizar la seguridad de la estructura.
- **Para la inclusión de criterios adicionales en el diseño:** Los ingenieros deben considerar el impacto de las tuberías sobre la deflexión de diseñar vigas, integrando una evaluación del comportamiento estructural ante cargas y asegurando que la capacidad de carga y deflexión se mantengan dentro de los márgenes de seguridad.
 - **Basadas en las propiedades mecánicas de las vigas de concreto armado:**
 - **Sobre el uso de aberturas en vigas:** Basado en los resultados, se recomienda realizar un análisis detallado de la ubicación y tamaño de las aberturas antes de la inserción de tuberías en las vigas. El impacto de las aberturas en la resistencia, rigidez y deflexión debe ser evaluado de manera específica en cada proyecto, de acuerdo a las exigencias.
 - **Sobre la investigación continua en este ámbito:** Se sugiere continuar con estudios experimentales para obtener más datos sobre cómo otros tipos de tuberías afectan las propiedades mecánicas de las vigas de concreto armado. Además, explorar el uso de tecnologías de refuerzo para mitigar los efectos negativos de las aberturas podría ser una estrategia beneficiosa para mejorar la performance de las vigas.
 - **Para prácticas de diseño estructural:** Para optimizar el comportamiento de las vigas en términos de resistencia, rigidez y deflexión, es crucial realizar simulaciones y pruebas que consideren diferentes configuraciones de inserciones. Esto permitirá identificar los mejores métodos de implementación de tuberías en vigas sin comprometer la integridad estructural.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abanto, F. (2009). *Tecnología del concreto (teoría y problemas)* (2ª ed.). San Marcos.
- Al-Gasham, T. S. S. (2015). Reinforced concrete moderate deep beams with embedded PVC pipes. *Wasit Journal of Engineering Sciences*, 3(1), 19–29.
<https://doi.org/10.31185/ejuow.Vol3.Iss1.32>
- American Concrete Institute. (2019). *Requisitos del reglamento para concreto estructural (ACI 318S-14) y comentario (ACI 318R-14)*. American Concrete Institute (ACI).
- American Society for Testing and Materials. (2002). *ASTM - C78: Método de ensayo normalizado para determinar la resistencia a la flexión del hormigón*. ASTM.
- Anco, E., & Mamani, J. V. (2018). *Determinación de las magnitudes de fuerza cortante, resistencia a fuerza cortante y modo de falla a flexión de viguetas de concreto armado con tuberías embebidas de 1" y 2" Cusco-2018* [Tesis de Grado, Universidad Andina del Cusco]. <https://hdl.handle.net/20.500.12557/2105>
- Angulo, E. C., & Rodríguez, J. I. (2017). *Influencia del empotramiento de tuberías sobre el comportamiento estructural de losas aligeradas* [Tesis de Grado, Universidad Privada Antenor Orrego]. <https://hdl.handle.net/20.500.12759/3572>
- Angulo R, E., & Rodriguez B, J. (2017). *Influencia del empotramiento de tuberías sobre el comportamiento estructural de losas aligeradas* [Tesis de Grado].
- Antuna, P. (2015). *Guía de procedimientos para la elaboración y presentación del proyecto de investigación de tesis* (1ª ed.). UJED Editorial.
- Arias, F. G. (2012). *El Proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica* (6ª ed.). Episteme.
- Arroyo, J. D. (2021). *Efectos de tubos embebidos en vigas de concreto en edificaciones estructurales de la ciudad de Huancayo* [Tesis de Grado, Universidad Peruana los Andes]. <https://hdl.handle.net/20.500.12848/4606>



- Auta, S. M., Jamiu, O., & Alhaji, B. (2021). Effect of vertical circular openings on flexural strength of reinforced concrete beam. *Magazine of Civil Engineering*, 106(6). <https://doi.org/10.34910/MCE.106.1>
- Blanco, A. (1994). *Estructuración y diseño de edificaciones de concreto armado* (2^a ed.). Capítulo de Ingeniería Civil, Consejo departamental de Lima, 1994.
- Bradburn, N. M., & Sudman, S. (1991). *Polls and Surveys: Understanding What they Tell Us*. Jossey-Bass.
- Cabrera, F. (2011). *Influencia de las aberturas transversales, en la resistencia a corte y flexión de vigas de concreto reforzado* [Tesis de Maestría]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/7667>
- CAPECO. (2018, octubre). Nueva iniciativa de CAPECO por la construcción responsable: Construyendo formalidad. *Cámara Peruana de la Construcción*, 1–20.
- Córdova Alvéstegui, C. (2015). *Diseño de estructuras de hormigón armado* (3^a ed.). USACH.
- EC-2: Eurocódigo 2. (2011). *Proyecto de estructuras de hormigón, Parte 1-1: Reglas generales y Reglas Generales para Edificación*. AENOR.
- El Ame, F., Mwero, J. N., & Kabubo, C. K. (2020). Openings effect on the performance of reinforced concrete beams loaded in bending and Shear. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 10(2), 5352–5360. <https://doi.org/10.48084/etasr.3317>
- Gere, J. M., & Timoshenko, S. P. (1984). *Mecánica de materiales* (2^a ed.). Grupo Editorial Iberoamérica.
- Hadi, M. M., Martel Carranza, C. P., Huayta Meza, F. T., Rojas León, C. R., & Arias González, J. L. (2023). *Metodología de la investigación: Guía para el proyecto de tesis* (1^a ed.). Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú. <https://doi.org/10.35622/inudi.b.073>



- Hafiz, R. B., Ahmed, S., Barua, S., & Chowdhury, S. R. (2014). Effects of opening on the behavior of reinforced concrete beam. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 11(2), 52–61. <https://doi.org/10.9790/1684-11275261>
- Hamzah, A. S., & Ali, A. Y. (2020). Shear behavior of reinforced concrete beams with vertical and transverse openings. *Test Engineering & Management*, 83, 22120–22133.
- Hibbeler, R. C. (2011). *Mecánica de materiales* (8ª ed.). PEARSON EDUCACIÓN.
- Hibbeler, R. C. (2012). *Análisis estructural* (8ª ed.). Pearson.
- Huessein, H., & Muttailb, A. (2022). Flexural behavior of concrete beams with horizontal and vertical openings reinforced by glass-fiber-reinforced polymer (GFRP) bars. *Journal of the Mechanical Behavior of Materials*, 1(31), 407–415. <https://doi.org/10.1515/jmbm-2022-0045>
- MacGregor, J. (1997). *Reinforced concrete mechanics and design* (3ª ed.). Prentice-Hall.
- McCormac, J., & Brown, R. (2017). *Diseño de concreto reforzado* (10ª ed.). Alfaomega.
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2020a). *Reglamento nacional de edificaciones. Norma E.020 Cargas*. <https://drive.google.com/file/d/15atg-9w0OEXjR5C1m6IXUFihwYeUhl1aN/view>
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2020b). *Reglamento nacional de edificaciones. Norma E.060 Concreto armado*. <https://drive.google.com/file/d/19EYUVMgwvm6rDs47GV374avco2ylU5Kz/view?usp=sharing>
- Montesinos, O., Luna, I., Hernández, C., & Tinoco, M. (2009). *Muestreo estadístico. Tamaño de muestra y estimación de parámetros*. Universidad de Colima.
- Morales, R. (2006). *Diseño en concreto armado* (3ª ed.). ICG.
- Neville, A. M. (1999). *Tecnología del concreto* (1ª ed.). Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.



- Nilson, A., Darwin, D., & Dolan, C. (2015). *Diseño de estructuras de concreto* (14^a ed.). McGraw-Hill.
- Nishitha, N., & Kavitha, P. E. (2016). Effect of openings in deep beams with varying span to depth ratios using strut and tie model method. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 20(201), 78–81.
- NTP 334.090. (2020). *Cementos. Cementos hidráulicos adicionados. Requisitos* (8^a ed.). INACAL.
- NTP 339.003. (2020). *Tubos de (poli cloruro de vinilo) no plastificado (PVC-U) para instalaciones domiciliarias de desagüe. Requisitos y métodos de ensayo* (4^a ed.). INACAL.
- NTP 339.033. (2015). *Concreto. Practica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en campo* (4^a ed.). INACAL.
- NTP 339.034. (2015). *Concreto. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas* (4^a ed.). INACAL.
- NTP 339.035. (2015). *Concreto. Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento portland* (4^a ed.). INACAL.
- NTP 400.011. (2008). *Agregados. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y hormigones (concretos)* (2^a ed.). INDECOPI.
- NTP 400.037. (2018). *Agregados. Agregados para concreto. Requisitos* (4^a ed.). INACAL.
- Özkılıç, Y. O., Aksoylu, C., Hakeem, I. Y., Özdöner, N., Kalkan, İ., Karalar, M., Stel'makh, S. A., Shcherban', E. M., & Beskopylny, A. N. (2023). Shear and bending performances of reinforced concrete beams with different sizes of circular openings. *Buildings*, 13(8), 1–16.
<https://doi.org/10.3390/buildings13081989>
- Ramos, J. J. (2021). *Estudio del comportamiento de vigas de concreto reforzadas y con refuerzo secundario adicional de fibras de acero, que presentan aberturas*



horizontales transversales [Tesis de Grado, Universidad Nacional de San Agustín]. <http://hdl.handle.net/20.500.12773/12498>

Rivva, E. (2014). *Concreto. Diseño de mezclas* (2ª ed., Vol. 2). Instituto de Construcción y Gerencia.

Segura, F. I. (2011). *Estructuras de concreto I* (7ª ed.). Universidad Nacional de Colombia.

Supo, J., & Zacarías, H. (2020). *Metodología de investigación científica* (3ª ed.). Independently published.

Vivek, R., & Madhavi, T. C. (2016). Behaviour of reinforced concrete beam with web openings. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11(9), 5993–5995.



ANEXOS

- ANEXO 1:** Matriz de consistencia.
- ANEXO 2:** Panel fotográfico.
- ANEXO 3:** Certificado de caracterización de los materiales.
- ANEXO 4:** Certificado de diseño de mezcla de concreto $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$.
- ANEXO 5:** Certificado de ensayo de resistencia a la compresión de probetas.
- ANEXO 6:** Certificado de ensayo a la flexión de viga de concreto armado.
- ANEXO 7:** Hoja de cálculo, predimensionamiento de vigas.
- ANEXO 8:** Hoja de cálculo, metrados, diseño y dimensionamiento de viga.
- ANEXO 9:** Esquema y detalle de vigas de concreto armado en casos estudiados.
- ANEXO 10:** Resultados y cálculo de los ensayos a flexión en vigas estudiadas.
- ANEXO 11:** Certificado de calibración de equipos de laboratorio.



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo GAYDY GIOVAN LANZA CHOQUEMALLCO,
identificado con DNI 70035277 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA CIVIL

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

" INFLUENCIA DE ABERTURAS POR TUBERIAS INSERTAS VERTICALMENTE
EN LAS PROPIEDADES MECANICAS DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO
EN JULIACA, 2023 "

Es un tema original.

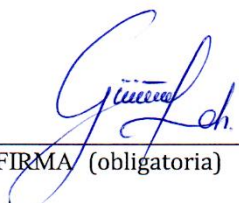
Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 19 de NOVIEMBRE del 2024


FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo GAYDY GIOVAN LANZA CHOQUEMALLCO,
identificado con DNI 70035277 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERIA CIVIL

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“ INFLUENCIA DE ABERTURAS POR TUBERÍAS INSERTAS VERTICALMENTE
EN LAS PROPIEDADES MECANICAS DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO
EN JULIACA, 2023 ”

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 19 de NOVIEMBRE del 20 24


FIRMA (obligatoria)



Huella