



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA
Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE VIGAS
DE HORMIGÓN CON PERFORACIONES PARA EL PASO DE
INSTALACIONES USANDO EL SOFTWARE IDEASTATICA”**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

AUTOR: ROLANDO XAVIER AVECILLAS DÍAZ

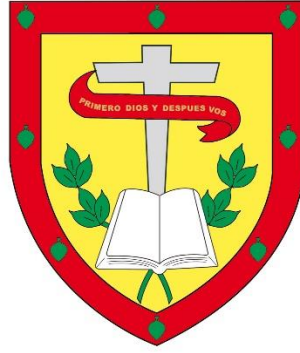
JHONY JAVIER CABRERA RODRÍGUEZ

DIRECTOR: ING. JUAN GABRIEL BARBECHO CHUISACA. MSC.

CUENCA - ECUADOR

2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE VIGAS DE
HORMIGÓN CON PERFORACIONES PARA EL PASO DE
INSTALACIONES USANDO EL SOFTWARE IDEASTATICA”

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

AUTOR: AVECILLAS DÍAZ ROLANDO XAVIER

CABRERA RODRÍGUEZ JHONY JAVIER

DIRECTOR: ING. JUAN GABRIEL BARBECHO CHUISACA. MSC.

CUENCA - ECUADOR


2023

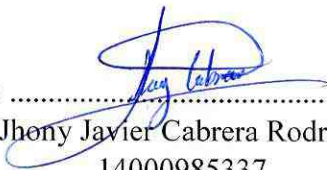
DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD

Rolando Xavier Avecillas Díaz y Jhony Javier Cabrera Rodríguez portadores de las cédulas de ciudadanía N° **0605694843** y **14000985337**. Declaramos ser autores de la obra: **“Análisis del comportamiento estructural de vigas de hormigón con perforaciones para el paso de instalaciones usando el software IdeaStatica”**, sobre la cual nos hacemos responsables sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaramos que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaramos finalmente que nuestra obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también nos responsabilizamos y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 04 de Septiembre del 2023

F: 
.....
Rolando Xavier Avecillas Díaz
0605694843

F: 
.....
Jhony Javier Cabrera Rodríguez
14000985337

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

Yo, Juan Gabriel Barbecho Chuisaca, certifico que el presente trabajo de titulación fue ejecutado por los estudiantes Avecillas Díaz Rolando Xavier y Cabrera Rodríguez Jhony Javier bajo mi dirección.

F: 
.....
Juan Gabriel Barbecho Chuisaca
0104445929

DEDICATORIA

“No puedo cambiar la dirección del viento, pero puedo ajustar mis velas para llegar siempre a mi destino”. Jimmy Dean.

A lo largo de esta etapa de preparación profesional Dios, mis padres, hermanos, abuelitos y familiares fueron el pilar fundamental para la culminación de mi carrera universitaria y de este proyecto de titulación.

Expreso mi gratitud y dedico este logro principalmente a mis padres Rolando y Maribel, quienes han sido el más claro ejemplo de amor, compromiso y enseñanza en mi vida, quienes me han brindado su apoyo incondicional en todo momento y me han impulsado cada día a dar lo mejor de mí.

A mis hermanos, Camilita y Juan Diego, quienes han vivido esta etapa de sacrificio y satisfacción en mi vida, siempre pendientes, brindándome su cariño y preocupación, y siendo el motor de inspiración para ofrecer lo mejor de mi y ser un punto de partida para su futuro.

A Rosita y Becker, en donde quiera que se encuentren, les dedico este logro y reitero sus palabras de benevolencia hacia mi persona, por sus buenos consejos y su apoyo incondicional durante el paso de nuestras vidas.

A Sarita Anahella, quien fue testigo de este proyecto y me impulsó con sus buenos deseos a dar lo mejor de mí, a mi prima Belén quien estuvo pendiente, amigos compañeros de banca y a todas las personas que de una u otra manera fueron participes de esta maravillosa etapa de vida.

Att: Rolando Xavier Avecillas Díaz

DEDICATORIA

La culminación de este proyecto se la dedico a todas las personas que han sido parte fundamental de mi vida durante estos años de formación académica.

En primer lugar, quiero dedicarlo a mis padres Carmita Rodríguez y Celso Cabrera, quienes con la bendición de Dios me brindaron su apoyo incondicional, inculcándome valores como trabajo, perseverancia, constancia y sobre todo humildad, gracias a ellos puedo afirmar que he alcanzado una de mis metas en la vida, y reconozco que fueron los pilares fundamentales que hicieron posible este logro.

A mis hermanos Daymara y Mykec, quienes han sido una fuente de inspiración constante y gran motivación en mi camino.

A todas mis tías, tíos, primos, primas, amigos y familia en general, y sobre todo a mi abuelita María que siempre han creído en mí, sus palabras de aliento y su confianza me han brindado la fuerza necesaria para seguir adelante.

Att: Jhony Javier Cabrera Rodríguez

AGRADECIMIENTO

Dios tu amor no tiene límite. Gracias por brindarme siempre sabiduría y permitirme recibir con humildad este logro importante en mi vida.

Expreso mi gratitud infinita a mis padres Rolando y Maribel, por su muestra más grande de amor, sacrificio y enseñanzas que me han permitido ser la persona que hoy en día soy. Agradezco a mi padre por su ejemplo de trabajo, perseverancia y superación, de igual manera a mi madre por su sabiduría, cariño y comprensión, por ser el pilar fundamental de mi vida y el aliento de superación.

A mis hermanos, Camilita y Juan Diego por su apoyo incondicional y cariño, por ser mi fortaleza para seguirme superando día a día y brindarles lo mejor de mí. A mis abuelitos, por su preocupación, palabras de aliento y apoyo en todo momento.

Agradezco de manera especial a un amigo, hermano y compañero de viaje durante esta etapa maravillosa de vida en la universidad, con quien se hizo posible lo que hoy en día es este proyecto de titulación, Jhony Cabrera, gracias por la colaboración, buena voluntad y por todas las experiencias vividas, el mejor de los éxitos para el futuro.

A todos mis docentes, que, gracias a sus conocimientos impartidos y experiencias, hoy en día me permiten brindar a la sociedad el fruto de este arduo aprendizaje. Agradezco a la Universidad Católica de Cuenca, por ser el espacio de aprendizaje, por brindarme la oportunidad de formarme con excelencia para desarrollar todas mis destrezas y habilidades.

Finalmente, mi gratitud infinita a mi tutor, docente, y amigo el Ing. Juan Barbecho Chuisaca, por brindarme el apoyo para llevar acabo este proyecto de titulación, por los excelentes conocimientos impartidos y la buena voluntad de trabajo durante esta etapa. Gracias a todos por ser partícipes de esta etapa de vida, pongo a la disposición mis conocimientos y brindo este proyecto de investigación a la sociedad.

Att: Rolando Xavier Avecillas Díaz

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que han sido parte de mi recorrido académico hasta alcanzar mi ansiado sueño.

Agradezco a mis padres, Celso y Carmita, por brindarme su amor y apoyo a lo largo de mi vida. Su inquebrantable esfuerzo, sacrificio, consejos y sabiduría me han guiado en mis estudios y me han convertido en la persona que soy hoy. A mis hermanos, Daymara y Mykec, les agradezco por su amor, cariño y por ser mi fuente de inspiración en los momentos más difíciles.

A mis tíos, tías, primos, primas y amigos, les agradezco por su apoyo incondicional y cariño, que han sido mi fortaleza en este camino de formación profesional.

Un agradecimiento especial a Rolando Avecillas, mi compañero de viaje en esta travesía hacia la titulación. Gracias por ser parte de esta experiencia enriquecedora y colaborar conmigo.

Estoy sumamente orgulloso y agradecido a la Universidad Católica de Cuenca por brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente en una institución de tan alta excelencia académica.

A todos mis profesores, que año tras año me han impartido sus conocimientos, sabiduría y consejos, les agradezco de corazón. Quiero destacar especialmente a mi tutor, el ingeniero Juan Barbecho, por permitirme llevar a cabo este proyecto de investigación. Su conocimiento y paciencia fueron fundamentales durante todo el desarrollo del proyecto.

Sin la ayuda y orientación de todas estas personas, no habría alcanzado este logro. Les estoy profundamente agradecido por su contribución a mi crecimiento personal y desarrollo profesional. Espero que mi tesis pueda ser de utilidad y contribuir al conocimiento de nuestra sociedad.

Att: Jhony Javier Cabrera Rodriguez

RESUMEN

La presente investigación busca evaluar el comportamiento tenso-deformacional de vigas perforadas de hormigón armado **bajo condiciones de carga que únicamente produzcan esfuerzos de flexión y cortante**. Dichas perforaciones en vigas son comúnmente usadas para el paso de instalaciones eléctricas, sanitarias o de suministro de gas dentro de una edificación; esta configuración constructiva se ha convertido en una problemática que afecta al comportamiento estructural de estos elementos, ya que como se puede observar en el medio de la construcción las perforaciones generadas en las vigas no consideran recomendaciones previas emitidas por normativas existentes, solo se realizan sin tener conciencia de las afectaciones que se están generando a la capacidad de soporte de los elementos de una estructura, justificando el potencial uso de las mismas. Para cuantificar la influencia que genera una abertura en las vigas, se construirán modelos de elementos finitos usando el módulo Detail del programa IdeaStatica. Los modelos permitirán la evaluación de las vigas en términos de estados límite de resistencia y servicio. Esta evaluación partirá de una viga de control proyectada en condiciones normales que permitirá generar juicios de valor respecto a las diferentes configuraciones planteadas en la investigación.

Se obtendrá una valoración de la pérdida de resistencia, registrando cada uno de los posibles tipos de fallas, daños y patologías estructurales que se pueden presentar ante el caso de análisis; con ello se podrá dotar de información que permitan valorar y evitar posibles daños estructurales tanto para diseñadores como constructores.

Palabras clave: vigas perforadas, comportamiento tenso-deformacional, resistencia, servicio, IdeaStatica.

ABSTRACT

The present investigation aims to evaluate the tensile-deformational behavior of perforated reinforced concrete beams under loading conditions that produce only bending and shear stresses. These beam perforations are commonly used to pass electrical, sanitary, or gas supply installations inside a building. This construction configuration has become a problem that affects the structural behavior of these elements, since, as observed in the construction environment, the perforations generated in the beams do not consider previous recommendations issued by existing regulations; they are only made without being aware of the effects generated on the bearing capacity of a structure's elements, justifying their potential use. Finite element models will be built using the Detail module of the IdeaStatica program to quantify the influence of an opening on the beams. The models will allow the evaluation of the beams in terms of strength and serviceability limit states. This evaluation will be based on a control beam projected under normal conditions, which will enable value judgments to be made regarding the different configurations proposed in the research. An assessment of the loss of resistance will be obtained, recording each of the possible types of failures, damages, and structural pathologies that may occur in the analysis case. This will provide information to assess and avoid possible structural damages for designers and builders.

Keywords: perforated beams, tensile-deformational behavior, strength, IdeaStatica.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. CAPÍTULO I: GENERALIDADES	18
1.1. Introducción.....	18
1.2. Antecedentes.....	19
1.2.1. Estado del arte	19
1.2.2. Criterio de la norma American Concrete Institute (ACI) Publication Series IPS-1	19
1.2.3. Criterio del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10)	21
1.2.4. Criterio del ACI 314 RS-11	22
1.2.5. Criterio de las normativas locales, como la NEC-SE-HM, con respecto a la incorporación de elementos embebidos en vigas de hormigón.....	23
1.2.6. Estudios previos sobre la problemática.....	23
1.3. Objetivos.....	25
1.3.1. Objetivo General	25
1.3.2. Objetivos Específicos.....	25
1.4. Justificación	25
2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	27
2.1. Mecanismos de falla comunes en vigas reforzadas ante cargas gravitacionales	27
2.1.1. Fisuras de corte y flexión	27
2.1.2. Fisuras de esfuerzos de corte por tracción diagonal.....	28
2.1.3. Fisuras debido a cargas concentradas.....	29

2.1.4.	Fisuras en vigas sometidas a una carga uniforme progresiva	30
2.1.5.	Respuesta esperada de una viga simplemente apoyada por distribución de esfuerzos y resistencia última	31
2.2.	Método de elementos finitos.....	34
2.2.1.	Elemento finito.....	35
2.2.2.	Análisis empleando por la metodología de elementos finitos.....	36
2.3.	Consideraciones del módulo Detail del software IdeaStatica	37
2.3.1.	Modelo constitutivo del concreto.....	37
2.3.2.	Modelo constitutivo del refuerzo	39
2.3.3.	Método de campo de tensiones compatible (CSFM)	39
2.3.4.	Consideraciones y limitaciones para CSFM	40
2.3.5.	Regiones B y regiones D.....	41
2.3.6.	Método de solución y definición de carga crítica empleada en el software	42
3.	CAPITULO III: METODOLOGÍA	44
3.1.	Criterios de diseño	44
3.1.1.	Análisis de cargas.....	44
3.1.2.	Combinaciones	47
3.2.	Propiedades de los materiales.....	47
3.2.1.	Concreto $f'_c = 4000$ Psi.....	48
3.2.2.	Acero Grado 60 ksi	49
3.3.	Diseño viga rectangular patrón.....	50

3.3.1.	Diseño a flexión	50
3.3.2.	Diseño a cortante	51
3.3.3.	Control de deflexión.....	51
3.3.4.	Modelación sección rectangular.....	52
3.4.	Diseño viga tee patrón	56
3.4.1.	Diseño a flexión	56
3.4.2.	Diseño a cortante	57
3.4.3.	Control de deflexión.....	57
3.4.4.	Modelación sección tee	58
3.4.5.	Diámetros de perforación	62
3.5.	Patologías de perforación	63
4.	CAPÍTULO IV: RESULTADOS	64
4.1.	Análisis de resultados	64
4.1.1.	Descripción de los modelos patrón	64
4.2.	Viga Rectangular	65
4.2.1.	Propiedades de la viga patrón a nivel de la sección rectangular	65
4.2.2.	Comportamiento de la viga de control ante los casos de carga.....	65
4.3.	Viga Tee	67
4.3.1.	Propiedades de la viga patrón a nivel de la sección tee	67
4.3.2.	Comportamiento de la viga de control ante los casos de carga.....	67
4.3.3.	Análisis general viga rectangular	69
4.3.4.	Análisis general viga tee	70

4.4.	Análisis de la variabilidad en función del diámetro de perforación y punto de ubicación	71
4.4.1	Pérdida de capacidad de carga	72
4.4.2	Deformación unitaria del acero	78
4.4.3	Análisis de resultados a nivel gráfico.....	84
4.4.3.1	Optimización topológica viga rectangular	85
4.4.3.2	Optimización topológica viga tee.....	90
4.4.4	Flecha por condiciones de servicio	97
4.4.5	Ancho de fisuras por condiciones de servicio	101
4.4.6	Variabilidad de capacidad a nivel de ELU y ELS al generar perforaciones en el bloque de compresiones	106
4.5.	Regiones y diámetros adecuados para generar embebidos.....	115
5	CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	117
6	BIBLIOGRAFÍA	121
7	GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	122

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Estudios previos acerca del tema</i>	23
Tabla 2 <i>Resumen de cargas no estructurales</i>	46
Tabla 3 <i>Resumen cargas no estructurales + Peso propio</i>	46
Tabla 4 <i>Resumen Cargas de diseño</i>	47
Tabla 5 <i>Combinaciones de cargas</i>	47
Tabla 6 <i>Diseño viga rectangular</i>	52
Tabla 7 <i>Diseño viga tee</i>	58
Tabla 8 <i>Esfuerzos y deformaciones unitarias del hormigón y acero de refuerzo</i>	65
Tabla 9 <i>Ancho de fisuras próximos a la armadura</i>	65
Tabla 10 <i>Esfuerzos y deformaciones unitarias del hormigón y acero de refuerzo</i>	66
Tabla 11 <i>Ancho de fisuras próximos a la armadura</i>	66
Tabla 12 <i>Deformaciones y ancho de fisura por servicio</i>	66
Tabla 13 <i>Parámetros base</i>	67
Tabla 14 <i>Esfuerzos y deformaciones unitarias del hormigón y acero de refuerzo</i>	67
Tabla 15 <i>Ancho de fisuras próximos a la armadura</i>	68
Tabla 16 <i>Esfuerzos y deformaciones unitarias del hormigón y acero de refuerzo</i>	68
Tabla 17 <i>Ancho de fisuras próximos a la armadura</i>	68
Tabla 18 <i>Deformaciones y ancho de fisura por servicio</i>	69
Tabla 19 <i>Parámetros a analizar</i>	69
Tabla 20 <i>Carga vs Diámetro en función de la región viga rectangular</i>	72
Tabla 21 <i>Carga vs Región en función del diámetro viga rectangular</i>	74
Tabla 22 <i>Carga vs Diámetro en función de la región</i>	76
Tabla 23 <i>Carga vs Región en función del diámetro viga tee</i>	77
Tabla 24 <i>Deformación unit. acero vs. Región en función del diámetro viga rectangular</i>	79

Tabla 25 <i>Deformación unit. acero vs. Diámetro de perforación en función de la región viga tee</i>	82
Tabla 26 <i>Carga vs Zona en función del diámetro (viga rectangular)</i>	85
Tabla 27 <i>Carga vs Diámetro en función de la zona (viga rectangular)</i>	88
Tabla 28 <i>Carga vs Zona en función del diámetro (viga tee)</i>	91
Tabla 29 <i>Carga vs Diámetro en función de la zona</i>	94
Tabla 30 <i>Flecha vs Diámetro en función de la región (viga rectangular)</i>	97
Tabla 31 <i>Flecha vs Diámetro en función de la región (viga tee).</i>	99
Tabla 32 <i>Ancho de fisura vs Región en función del diámetro (viga rectangular)</i>	102
Tabla 33 <i>Ancho de fisura vs Región en función del diámetro (viga tee)</i>	104
Tabla 34 <i>Carga vs. Diámetro en función de la zona (viga rectangular)</i>	107
Tabla 35 <i>Deformación unit. acero vs. Diámetro en función de la región (viga rectangular)</i>	108
Tabla 36 <i>Carga vs. Diámetro en función de la región (viga tee)</i>	112
Tabla 37 <i>Deformación unit. acero vs. Diámetro en función de la región (viga tee)</i>	113
Tabla 38 <i>Clasificación por rangos del porcentaje de pérdida de capacidad para generar un embebido</i>	115

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Representación gráfica de las recomendaciones establecidas por el ACI IPS-1 para la instalación de “ductos, aberturas o tuberías embebidas”</i>	20
Figura 2 <i>Modelo de instalación de tuberías embebidas en vigas recomendado por la norma NRS-10</i>	22
Figura 3 <i>Fisuras por cortante y flexión</i>	27
Figura 4 <i>Grietas de corte y flexión</i>	28
Figura 5 <i>Fisura producida por la fuerza de corte tracción diagonal (Caso 1)</i>	29
Figura 6 <i>Agrietamiento por corte en el alma (Caso 2)</i>	29
Figura 7 <i>Fisuras producidas por la fuerza de corte en el caso de carga concentrada</i>	30
Figura 8 <i>Fisuras en la viga sometida a flexión en la rotura</i>	30
Figura 9 <i>Distribución de esfuerzos por el rectángulo equivalente de Whitney</i>	32
Figura 10 <i>Profundidad teórica mínima que debe cumplir la ubicación de la perforación de refuerzo.</i>	33
Figura 11 <i>Optimización topológica, líneas de distribución de esfuerzos de compresión y tracción</i>	34
Figura 12 <i>Familia de elementos triangulares bidimensionales</i>	36
Figura 13 <i>Mapa mental que conceptualiza el desarrollo del método de elementos finitos</i>	36
Figura 14 <i>Diagramas tensión-deformación del hormigón: a) diagrama parábola-rectángulo; b) diagrama bilineal</i>	38
Figura 15 <i>Diagramas tensión-deformación del refuerzo: a) diagrama bilineal con una rama superior inclinada; b) diagrama bilineal con una rama superior horizontal</i>	39
Figura 16 <i>Diagramas simplificados de Esfuerzos-deformación del concreto y acero</i>	40
Figura 17 <i>Secciones características propias de Regiones B y D</i>	41
Figura 18 <i>Sección transversal y longitudinal viga patrón rectangular</i>	45

Figura 19 <i>Propiedades de concreto</i>	48
Figura 20 <i>Propiedades del acero</i>	49
Figura 21 <i>Diagrama de diseño a flexión viga rectangular</i>	50
Figura 22 <i>Diseño a corte viga rectangular</i>	51
Figura 23 <i>Control de deflexiones viga rectangular</i>	51
Figura 24 <i>Selección de materiales y normativa para modelado viga rectangular</i>	53
Figura 25 <i>Dimensionamiento de la sección transversal</i>	53
Figura 26 <i>Configuración de apoyos</i>	54
Figura 27 <i>Introducción de cargas vivas y muertas</i>	55
Figura 28 <i>Combinaciones de cargas</i>	55
Figura 29 <i>Configuración del acero de refuerzo</i>	56
Figura 30 <i>Diseño a flexión viga tee</i>	56
Figura 31 <i>Diseño a corte viga tee</i>	57
Figura 32 <i>Control de deflexiones viga tee</i>	57
Figura 33 <i>Selección de materiales y normativa para modelado viga tee</i>	59
Figura 34 <i>Dimensionamiento de la sección transversal</i>	59
Figura 35 <i>Configuración de apoyos</i>	60
Figura 36 <i>Introducción de cargas vivas y muertas</i>	61
Figura 37 <i>Combinaciones de cargas</i>	61
Figura 38 <i>Configuración del acero de refuerzo</i>	62
Figura 39 <i>Diagrama de distribución de perforaciones</i>	63
Figura 40 <i>Representación de la configuración de las vigas rectangular y tee</i>	64
Figura 41 <i>Distribución de las regiones de perforación</i>	71
Figura 42 <i>Diagrama de pérdida de carga relacionado con el diámetro de perforación viga rectangular</i>	73

Figura 43 <i>Diagrama de perdida de carga relacionado con la región de perforación viga rectangular.....</i>	74
Figura 44 <i>Diagrama de perdida de carga relacionado con el diámetro de perforación viga tee.....</i>	76
Figura 45 <i>Diagrama de perdida de carga relacionado con la región de perforación viga tee.....</i>	78
Figura 46 <i>Diagrama deformación unit. acero relacionado con la región de perforación viga rectangular.....</i>	80
Figura 47 <i>Diagrama deformaciones unitarias relacionado con el diámetro de perforación viga rectangular.....</i>	81
Figura 48 <i>Diagrama deformaciones unitarias relacionado con el diámetro de perforación viga tee.....</i>	83
Figura 49 <i>Diagrama deformación unit. acero relacionado con la región de perforación viga tee.....</i>	84
Figura 50 <i>Optimización topológica. Carga vs. Distancia eje longitudinal (viga rectangular).....</i>	86
Figura 51 <i>Optimización viga patrón rectangular.....</i>	86
Figura 52 <i>Optimización región de 0 a L/4.....</i>	86
Figura 53 <i>Optimización región L/4.....</i>	87
Figura 54 <i>Optimización región de L/4 a L/3.....</i>	87
Figura 55 <i>Optimización región L/3.....</i>	87
Figura 56 <i>Optimización región L/2.....</i>	87
Figura 57 <i>Carga vs Diámetro (Viga patrón rectangular y perforaciones en la región 0 a L/4).....</i>	88
Figura 58 <i>Optimización viga patrón rectangular.....</i>	88

Figura 59 Optimización viga rectangular perforación de 25 mm	89
Figura 60 Optimización viga rectangular perforación de 50 mm	89
Figura 61 Optimización viga rectangular perforación de 75 mm	89
Figura 62 Optimización viga rectangular perforación de 100 mm	89
Figura 63 Optimización viga rectangular perforación de 200 mm	90
Figura 64 Optimización viga rectangular perforación de 400 mm	90
Figura 65 Optimización topológica. Carga vs. Distancia eje longitudinal (viga tee).....	91
Figura 66 Optimización viga patrón tee	92
Figura 67 Optimización región 0 a $L/4$	92
Figura 68 Optimización región $L/4$	92
Figura 69 Optimización región $L/4$ a $L/3$	92
Figura 70 Optimización región $L/4$	93
Figura 71 Optimización región $L/2$	93
Figura 72 Carga vs Diámetro (viga patrón tee y perforaciones en la región 0 a $L/4$).....	94
Figura 73 Optimización viga patrón.....	95
Figura 74 Optimización viga tee perforación 25 mm	95
Figura 75 Optimización viga tee perforación 50 mm	95
Figura 76 Optimización viga tee perforación 75 mm	96
Figura 77 Optimización viga tee perforación 100 mm	96
Figura 78 Optimización viga tee perforación 200 mm	96
Figura 79 Optimización viga tee perforación 300 mm	97
Figura 80 Diagrama de la flecha relacionado con el diámetro de perforación (viga rectangular)	98
Figura 81 Diagrama de la flecha relacionado con la región de perforación (viga rectangular)	99

Figura 82 <i>Diagrama de la flecha relacionado con el diámetro de perforación (viga tee)...</i>	100
Figura 83 <i>Diagrama de la flecha relacionado con la región de perforación (viga tee)</i>	101
Figura 84 <i>Diagrama del ancho de fisura relacionado con la región de perforación (viga rectangular)</i>	102
Figura 85 <i>Diagrama Ancho de fisura en relación al diámetro de perforación (viga rectangular)</i>	103
Figura 86 <i>Diagrama ancho de fisura en relación a la región de perforación (viga tee).....</i>	105
Figura 87 <i>Diagrama ancho de fisura en relación al diámetro de perforación (viga tee)....</i>	106
Figura 88 <i>Diagrama carga vs. Diámetro de perforación (viga rectangular)</i>	107
Figura 89 <i>Diagrama de deformación unit. acero vs. Diámetro de perforación (viga rectangular)</i>	109
Figura 90 <i>Diagrama de flecha vs. Diámetro en función de la región (viga rectangular)...</i>	110
Figura 91 <i>Diagrama de ancho de fisura vs. Diámetro en función de la región (viga rectangular).</i>	111
Figura 92 <i>Diagrama de carga vs. Diámetro de perforación (viga tee).....</i>	112
Figura 93 <i>Diagrama de deformación unit. acero vs. Diámetro de perforación (viga tee)...</i>	113
Figura 94 <i>Diagrama de flecha vs. Diámetro en función de la región (viga tee).....</i>	114
Figura 95 <i>Diagrama de ancho de fisura vs. Diámetro en función de la región (viga tee)...</i>	115
Figura 96 <i>Clasificación de regiones y diametros por categorias para generar perforaciones para el paso de instalaciones (sección rectangular)</i>	116
Figura 97 <i>Clasificación de regiones y diametros por categorias para generar perforaciones para el paso de instalaciones (sección tee)</i>	116

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1. Introducción

En todo tipo de construcción el tendido de tuberías para el paso de instalaciones es inevitable debido a que es una actividad obligada en cualquier proyecto arquitectónico; no obstante la práctica de aquello conlleva a los constructores a incorporar o generar perforaciones en elementos como columnas, vigas y losas lo cual es una preocupación para los ingenieros estructuralistas, ya que compromete la capacidad resistente de los elementos que conforman el esqueleto de soporte y por ende la seguridad de una estructura.

A pesar de existir manuales o normas de construcción como la NSR-10, ACI 314 RS-11, NEC-SE-HM, que plantean recomendaciones relevantes de esta práctica conocida como “embebidos”, no presentan información completa que muestre los diferentes casos de perforaciones y sus posibles consecuencias en los elementos, lo cual limita al constructor a tomar dichas recomendaciones al momento de generar el paso de instalaciones y se deja llevar por la experiencia adquirida a lo largo de los años, sin considerar los posibles daños estructurales que se puede sufrir el elemento al momento de generar una abertura en el mismo de manera empírica.

Las vigas son los elementos que se ven más afectados por esta práctica de manera frecuente, debido a que las perforaciones se generan en la sección transversal de las mismas afectando directamente a su integridad, ya que se está disminuyendo un área de concreto que fue considerada para el análisis y diseño de estos elementos.

Por lo dicho en el párrafo anterior, en la presente formulación se buscará generar un planteamiento que abarque un patrón amplio de posibles perforaciones en la sección transversal a lo largo del eje longitudinal en las vigas lo cual será analizado bajo condiciones de carga gravitacional mediante la implementación del software IdeaStatica con el fin de dar a conocer el cambio estructural que presentan las vigas frente a esta configuración geométrica

en su estructura. Para tal efecto, se utilizó el asistente de diseño Detail del software IdeaStatica en donde se modelaron vigas de concreto reforzado tipo rectangular y tipo tee; en el caso particular de simplemente apoyadas con carga uniformemente distribuida, considerando límites últimos de resistencia y de servicio para el análisis bajo esfuerzos de flexión y cortante. Para la evaluación de los resultados se partió de una viga de control proyectada en condiciones normales que permitió generar juicios de valor y emitir resultados comparativos de las fallas, patologías y daños que presentan las diferentes configuraciones de perforaciones planteadas en las vigas de análisis.

Finalmente, a partir de los resultados obtenidos, se generan recomendaciones en relación al diámetro y ubicación de las perforaciones con el objetivo de minimizar la pérdida de capacidad en la sección y evitar posibles fallas prematuras.

1.2. Antecedentes

1.2.1. Estado del arte

En este capítulo se presenta la información relevante acerca del comportamiento de las vigas de hormigón armado frente a aberturas transversales, así como las principales recomendaciones normativas nacionales e internacionales relacionadas con este caso de estudio.

1.2.2. Criterio de la norma American Concrete Institute (ACI) Publication Series

IPS-1

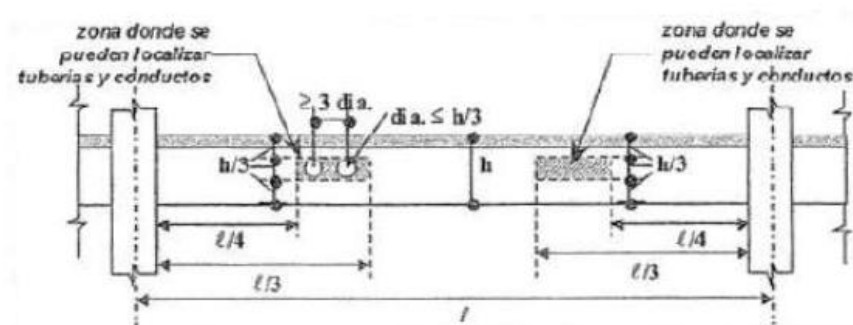
En el documento denominado “Requisitos esenciales para edificios en concreto reforzado”, emitido en colaboración de la American Concrete Institute (ACI), Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS) e Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC); publicado en el año 2002 mediante el ACI IPS-1 y actualizado por última vez por el ACI 314.1R(ACI 314RS-16, 2016), destaca como recomendaciones principales que

todo “ducto, abertura o tubería embebida” en vigas y viguetas deberá cumplir con los requisitos en mención.

- La abertura no debe ser mayor a $1/3$ del peralte de la viga cuando lo atraviesa horizontalmente.(ACI 314RS-16, 2016)
- La abertura no debe ser mayor a $b/3$ de la viga cuando lo atraviesa verticalmente.(ACI 314RS-16, 2016)
- Los ductos que atraviesan la viga deberán ubicarse en planta a no menos de $1/4$ de la longitud de la viga y no más de $1/3$ de la cara del apoyo.(ACI 314RS-16, 2016)
- A nivel de altura, se recomienda ubicar las perforaciones o ductos en el tercio central de la viga.(ACI 314RS-16, 2016)
- La separación entre ductos iguales no puede ser menor que tres veces la abertura del mismo medido entre centro a centro.(ACI 314RS-16, 2016)

Figura 1

Representación gráfica de las recomendaciones establecidas por el ACI IPS-1 para la instalación de “ductos, aberturas o tuberías embebidas”



Nota: Tomado de ACI-AIS-ICONTEC. IPS-1 Requisitos esenciales para edificios en concreto reforzado. Bogotá. Colombia. 2002.(ACI 314RS-16, 2016)

1.2.3. Criterio del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10)

El capítulo C.6 de la norma colombiana NSR-10 establece que se permitirá la colocación de embebidos en concreto, como ductos, tuberías o insertos, siempre y cuando no afecten negativamente la integridad estructural. Es importante tener en cuenta que cualquier instalación de ductos, tuberías, insertos, conductos o conexiones debe estar previamente señalada en los planos de diseño o haber sido aprobada por un profesional facultado para llevar a cabo dicho diseño.(NSR-10, 2010)

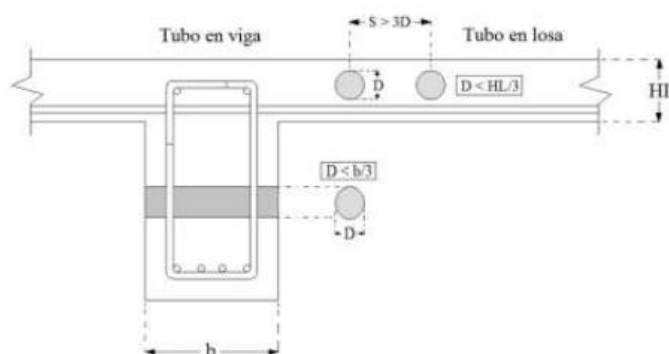
Al analizar la norma NSR-10 para embebidos en concreto, se destaca que se requiere la intervención de un profesional experto en la materia para el diseño y ejecución de tuberías y ductos embebidos en una viga de concreto reforzado. De acuerdo con la norma, solo se permitirá esta labor si se cumplen ciertos parámetros importantes, tales como:

- No afectar significativamente a la resistencia del elemento estructural.(NSR-10, 2010)
- No debe existir entre las perforaciones un espaciado menor que 3 veces su diámetro o ancho medido de centro a centro.(NSR-10, 2010)
- No deben tener dimensiones exteriores mayores que 1/3 del espesor total de la viga, en donde se encuentren embebidos.(NSR-10, 2010)
- Las tuberías, ductos o inserciones realizadas en el elemento estructural no deben superar los 5 cm.(NSR-10, 2010)
- No cortar, doblar o desplazar el refuerzo de su posición apropiada en la viga para la colocación del ducto.(NSR-10, 2010)

Ilustrando lo mencionado anteriormente se tiene:

Figura 2

Modelo de instalación de tuberías embebidas en vigas recomendado por la norma NRS-10



Nota: Tomado de ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. Norma sismo resistente. Título C. Concreto Estructural. Bogotá, Colombia.(NSR-10, 2010)

1.2.4. Criterio del ACI 314 RS-11

La norma ACI 314RS-11 establece diversos requisitos y consideraciones para las perforaciones en vigas de hormigón. En primer lugar, se indica que las perforaciones deben estar ubicadas a una distancia mínima entre ejes que no sea menor al doble de la profundidad de la viga. También se deben evitar las perforaciones en los puntos críticos de las vigas, como las zonas afectadas por momentos de flexión o las áreas cercanas a los apoyos. Además, es necesario evitar perforaciones muy cercanas entre sí, ya que podrían debilitar la integridad estructural de la viga. Asimismo, la norma establece diámetros máximos permitidos para las perforaciones. En resumen, la norma ACI 314RS-11 busca garantizar que las perforaciones en vigas de hormigón no comprometan su resistencia ni su estabilidad estructural.(ACI-ASCE Committee 352. & American Concrete Institute., 2012)

Las recomendaciones establecidas por esta norma a la final son las mismas que se encuentran especificadas en la NSR-10 y todas se fundamentan con base en la ACI 318S-11 e IPS-1. (ACI-ASCE Committee 352. & American Concrete Institute., 2012)

1.2.5. Criterio de las normativas locales, como la NEC-SE-HM, con respecto a la incorporación de elementos embebidos en vigas de hormigón

La norma NEC-SE-HM explica en su capítulo 9.4.4, llamado "Elementos ahogados (embebidos)", la importancia de planificar y diseñar cuidadosamente cualquier perforación o embebido en vigas de hormigón. Esto se hace para evitar debilidades en la estructura que puedan poner en riesgo la seguridad de las personas. Además, se requiere proteger las armaduras de las perforaciones y reducir el riesgo de la corrosión. En caso contrario, se deben tomar medidas especiales para evitar el desprendimiento de trozos de hormigón y respetar las especificaciones técnicas en relación a la capacidad de carga de la viga.(NEC-SE-HM, 2015)

Todas las recomendaciones establecidas en esta norma deben cumplir con lo estipulado en el Capítulo 6 del ACI-318.

1.2.6. Estudios previos sobre la problemática

Durante la revisión bibliográfica se observó que Ecuador hay muy poca información recopilada acerca de las perforaciones en vigas de hormigón para colocar instalaciones. Sin embargo, en países vecinos como Colombia y Perú, se ha documentado información mediante experimentación y se ha respaldado con información obtenida de normativas internacionales.

A continuación, se presenta una síntesis de los documentos más destacados y relevantes relacionados con el tema en estudio.

Tabla 1

Estudios previos acerca del tema

Autor/ Año	Tema	Universidad / País	Tipo de evaluación	Ensayos elaborad os	Resultados obtenidos
Cesar Fonseca & Elkin	Evaluación del comportamiento del concreto hidráulico tras	Universidad Pedagógica y Tecnológica	Teórico- experimental	Flexión	La pérdida de capacidad varía de un

Suarez, 2018	la inclusión de tubos al interior de vigas.(Fonseca & Suarez, 2018)	Colombia/Colombia			5 a 38% respecto a la viga de control, la configuración más segura de perforación es el tubo de 1” ubicado en el límite derecho del tercio central de la viga.
Fabian Cabrera, 2011	Influencia de las aberturas transversales, en la resistencia a corte y flexión de vigas de concreto reforzado.(Cabrera Exeni, 2011)	Universidad Nacional de Colombia/Colombia	Teórico-experimental	Flexión-Cortante	Realizaron un análisis de agrietamiento inicial, rigidez, momento de inercia efectivo, deflexiones y pérdida de capacidad en donde se determinó que el caso más favorable corresponde al caso 2 (un solo ducto de 50 mm de diámetro ubicado a L/2,5)
Lizbeth Orozco, 2021	Estimación porcentual de incidencia de problemas estructurales originados por errores en el diseño y construcción de instalaciones hidrosanitarias en Riobamba.(Orozco, 2021)	Universidad Nacional de Chimborazo/Ecuador	Investigación	NA	Mediante el análisis de influencia de instalaciones hidrosanitarias que afecten la estructura de una viga o columna determinaron que de 477 edificaciones el 35,22% presentan esta problemática, concluyendo que es de vital importancia estudiar a profundidad el comportamiento de estos elementos estructurales con perforaciones.
Jonathan Ramos, 2021	Estudio del comportamiento de vigas de concreto reforzadas y con refuerzo secundario adicional de fibras de acero, que presentan aberturas horizontales transversales(Ramos, 2021)	Universidad Nacional de San Agustín/Perú	experimental	Flexión	Las vigas con aberturas en relación a una viga patrón, su rigidez se reduce en un 7,1% y al añadir fibras de acero se incrementa en un 10% para el caso de aberturas reforzadas, se recomienda una dosificación de fibras de acero de 50kg/m ³ . En este proyecto de investigación el

punto de perforación que presentó menor pérdida de capacidad se localiza entre $L/5$ y $L/4$ del apoyo; con una abertura rectangular de $0,2\text{m} \times 0,1\text{m}$.

1.3. Objetivos

1.3.1. *Objetivo General*

- Evaluar el comportamiento estructural de vigas de hormigón con perforaciones mediante el módulo Detail de IdeaStatica para establecer un patrón de perforaciones en vigas que produzca la menor pérdida de capacidad estructural en las mismas.

1.3.2. *Objetivos Específicos*

- Construir un modelo numérico (base o patrón) de una viga de hormigón armado en el programa IdeaStatica.
- Construir varios modelos numéricos que incorporen las diferentes distribuciones de perforaciones en vigas de hormigón armado usando el programa IdeaStatica.
- Analizar los diferentes patrones de perforaciones en las vigas y su efecto en las propiedades mecánicas de las vigas ante las cargas gravitacionales.

1.4. Justificación

En la práctica constructiva diaria se puede observar el uso de perforaciones que atraviesan las vigas de concreto reforzado para el paso de instalaciones eléctricas, sanitarias o suministro de gas, sin tener conciencia de las posibles afecciones estructurales que generan esta acción.

Investigaciones previas han demostrado que las aberturas en la sección transversal de una viga disminuyen en un rango del 5%-38% de la capacidad portante de la misma en comparación a una viga en condiciones normales. Además, en función del diámetro de la

perforación se pudo evidenciar como este disminuye considerablemente la capacidad de la viga induciendo a una falla prematura.(Fonseca & Suarez, 2018)

Adicionalmente, en el documento denominado: “INFLUENCIA DE LAS ABERTURAS TRANSVERSALES, EN LA RESISTENCIA A CORTE Y FLEXIÓN DE VIGAS DE CONCRETO REFORZADO”, se ha demostrado que un ducto tiene una mayor influencia a cortante que a momentos flectores.(Cabrera Exeni, 2011)

En mención a lo anteriormente citado y en base a investigaciones experimentales previas referentes a la temática se ha visto la necesidad de generar un estudio amplio que abarque todos los posibles tipos de fallas y patologías que puedan presentar dichas vigas al ser sometidos a diferentes patrones de perforaciones mediante modelos computacionales que realizan un análisis minucioso de la variación de las propiedades mecánicas de los elementos en estudio.

Es así que la presente tesis, tiene como objeto principal, emitir los resultados que se pueden esperar en una viga de hormigón armado ante el amplio barrido de posibles perforaciones fundamentado en la validación de recomendaciones de normativas existentes y nuevos criterios establecidos por los investigadores del tema, con la finalidad de ser una guía que permitan valorar y evitar posibles daños estructurales tanto para diseñadores como constructores.

En ese contexto la metodología que se implementará en el proyecto de investigación se basa en la solución de estructuras de hormigón mediante la adaptación del modelo puntal tensor que hace el programa IdeaStática, todos los resultados se emitirán en función a la variación que presentan las diferentes vigas en relación al comportamiento original de la viga patrón en condiciones iniciales.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Mecanismos de falla comunes en vigas reforzadas ante cargas gravitacionales

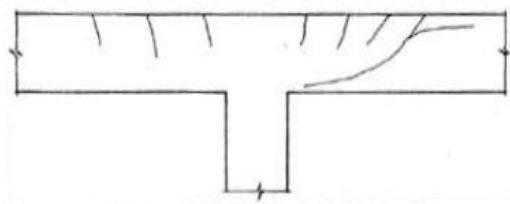
Una viga de concreto reforzado se compone de dos elementos distintos: el acero de refuerzo y el concreto, que trabajan en conjunto. Gracias a esta combinación, la viga es capaz de resistir tanto a momentos como a fuerzas de corte internas. Sin embargo, cuando se producen cambios en la estructura, como una perforación en la sección transversal de una viga, surge la duda sobre el patrón de fisuración que podría aparecer. Para entender mejor este comportamiento, es necesario esquematizar la forma y distribución de las fisuras, lo que permitirá explicar el punto de inicio y la causa que las provocó. Para fines del proyecto en análisis se generará una recopilación de los tipos de fisuras más comunes que presenta una viga de concreto reforzado. (Cabrera Exeni, 2011)

2.1.1. Fisuras de corte y flexión

Debido a la acción de momentos flectores se tiene una combinación de tensiones de tracción por flexiones y tracciones diagonales como se presenta a continuación:

Figura 3

Fisuras por cortante y flexión



Nota: Cabrera Exeni F. Influencia de las aberturas transversales, en la resistencia a corte y flexión de vigas de concreto reforzado. (Cabrera Exeni, 2011)

Otra situación que se relaciona con lo anterior, pero presenta diferencias es aquella donde existen fuerzas de corte y momentos flectores de gran magnitud. En este caso, las

grietas por tensión de flexión se identifican en primer lugar, pero su ancho y longitud son inmediatamente controlados por el acero longitudinal. Sin embargo, cuando la fuerza de tensión diagonal es superior a la resistencia a la tensión del concreto, las fisuras se agrandan y alargan en dirección diagonal, denominándose grietas de "corte y flexión".(Cabrera Exeni, 2011)

Figura 4

Grietas de corte y flexión



Nota: Tomado de Cabrera Exeni F. Influencia de las aberturas transversales, en la resistencia a corte y flexión de vigas de concreto reforzado.(Cabrera Exeni, 2011)

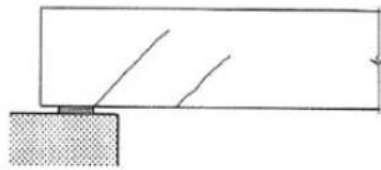
2.1.2. Fisuras de esfuerzos de corte por tracción diagonal

Este tipo de fisuras se caracteriza por tener una inclinación de 45° con respecto a la directriz de la pieza, siempre y cuando no exista un momento flector apreciable en la zona. En caso de existir, el ángulo de inclinación será mayor. Estas fisuras inclinadas son causadas por la excesiva tracción diagonal en el concreto, como ejemplo se observa lo ilustrado en el Caso 1.(Cabrera Exeni, 2011)

Por otro lado, cuando el esfuerzo a tensión diagonal cerca del eje neutro es similar o próximo a la resistencia a la tensión del concreto, se presentan fisuras conocidas como "cortante en el alma". Por lo general, estas fisuras aparecen cerca de los apoyos o puntos de inflexión de vigas continuas. El Caso 2 ilustra este tipo de fisuración.(Cabrera Exeni, 2011)

Figura 5

Fisura producida por la fuerza de corte tracción diagonal (Caso 1)



Nota: Tomado de Cabrera Exeni F. Influencia de las aberturas transversales, en la resistencia a corte y flexión de vigas de concreto reforzado (Cabrera Exeni, 2011)

Figura 6

Agrietamiento por corte en el alma (Caso 2)



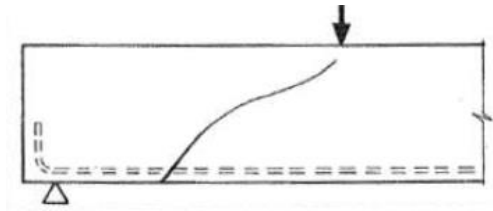
Nota: Tomado de Cabrera Exeni F. Influencia de las aberturas transversales, en la resistencia a corte y flexión de vigas de concreto reforzado. (Cabrera Exeni, 2011)

2.1.3. Fisuras debido a cargas concentradas

Las fisuras se producen debido a una tracción diagonal excesiva que se ve agravada por la presencia de una carga puntual, lo que genera una concentración de esfuerzos. Estas fisuras se originan a un ángulo de 45° con respecto a la armadura de tracción y se inclinan hacia la zona donde se concentran los esfuerzos. (Cabrera Exeni, 2011)

Figura 7

Fisuras producidas por la fuerza de corte en el caso de carga concentrada



Nota: Tomado de Cabrera Exeni F. Influencia de las aberturas transversales, en la resistencia a corte y flexión de vigas de concreto reforzado. (Cabrera Exeni, 2011)

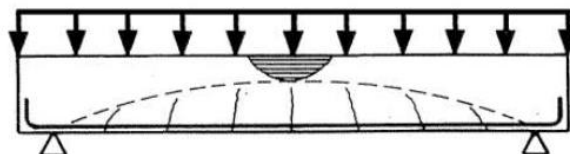
2.1.4. Fisuras en vigas sometidas a una carga uniforme progresiva

Las fisuras que aparecen en una viga sometida a flexión y cuya configuración de diseño presenta una falla dúctil mostrarán un gran número de fisuras de ancho variable. Estas fisuras se cerrarán al llegar al casquete comprimido y en los estados avanzados de carga se podrá observar que la viga ha perdido completamente su adherencia en toda su luz. En este caso, el esquema resistente de la viga se transforma en el de un arco con tirantes.

La rotura se produce visualmente en la zona sombreada de la Figura 8, sin embargo, la causa real es la completa pérdida de capacidad del acero de refuerzo que ha llegado a la fluencia. Para garantizar este tipo de rotura se debe garantizar la cuantía adecuada para que el acero fluya antes de que el concreto falle. (Cabrera Exeni, 2011)

Figura 8

Fisuras en la viga sometida a flexión en la rotura



Nota: Tomado de Cabrera Exeni F. Influencia de las aberturas transversales, en la resistencia a corte y flexión de vigas de concreto reforzado. (Cabrera Exeni, 2011)

2.1.5. Respuesta esperada de una viga simplemente apoyada por distribución de esfuerzos y resistencia última

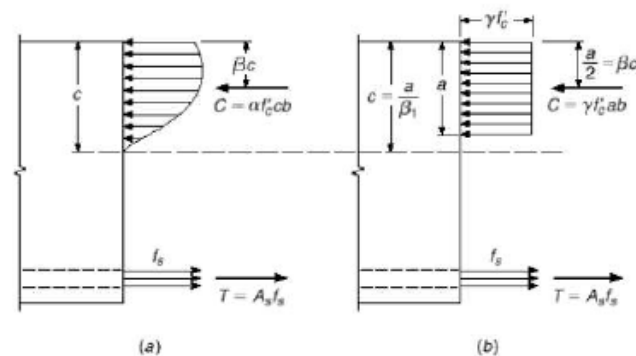
Las vigas de hormigón armado son elementos estructurales que resisten cargas perpendiculares a su eje longitudinal. Estas cargas pueden tener distintas tipologías, aunque para su análisis las más comunes son las cargas puntuales y las cargas distribuidas. Los esfuerzos generados por estas cargas son soportados por la estructura de las vigas. En el presente estudio, que se enfoca en la configuración de las vigas simplemente apoyadas con cargas uniformemente distribuidas y con la presencia de perforaciones, se presentan dos hipótesis para la ubicación de las mismas. Se pretende mostrar posibles patologías y daños que pueden surgir en los elementos si no se siguen las recomendaciones establecidas.

Hipótesis 1: Resistencia última

Esta hipótesis se fundamenta en la distribución de esfuerzos tomada del rectángulo equivalente de Whitney, considerada para el diseño típico a flexión de vigas de concreto reforzado, en este planteamiento se genera una compensación estática de un par de fuerzas generadas por una resultante C (fuerza de compresión) y una resultante T (fuerza de tracción). Al obtener todos los parámetros característicos de este planteamiento como se observa en la Figura 9, surge como hipótesis de trabajo probar que al generar un ducto, perforación o embebido a una altura (h_c) sea mayor o igual a la profundidad del bloque rectangular de compresiones (a), no se verá afectado el comportamiento de la sección, ya que no se genera la reducción de un área de hormigón que aporta directamente en el área de compresión de la viga.(Cabrera Exeni, 2011)

Figura 9

Distribución de esfuerzos por el rectángulo equivalente de Whitney



Nota: Tomado de Cabrera Exeni F. Influencia de las aberturas transversales, en la resistencia a corte y flexión de vigas de concreto reforzado. (Cabrera Exeni, 2011)

Este planteamiento es válido al establecer el equilibrio de fuerzas horizontales, en donde se demuestra que la profundidad del bloque de compresiones (a) es igual a la siguiente ecuación:

$$h_c \geq a$$

$$h_c \geq \frac{A_s * f_y}{0.85 * f'_c * b} \quad (1)$$

Donde:

A_s: Acero de refuerzo de la viga de concreto reforzado.

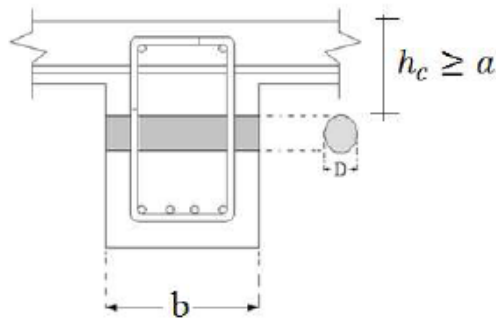
f_y: Resistencia del acero de refuerzo.

f'_c: Resistencia a la compresión.

b: Ancho de sección transversal.

Figura 10

Profundidad teórica mínima que debe cumplir la ubicación de la perforación de refuerzo.



Nota: Tomado de Cabrera Exeni F. Influencia de las aberturas transversales, en la resistencia a corte y flexión de vigas de concreto. (Cabrera Exeni, 2011)

Hipótesis 2: Optimización topológica

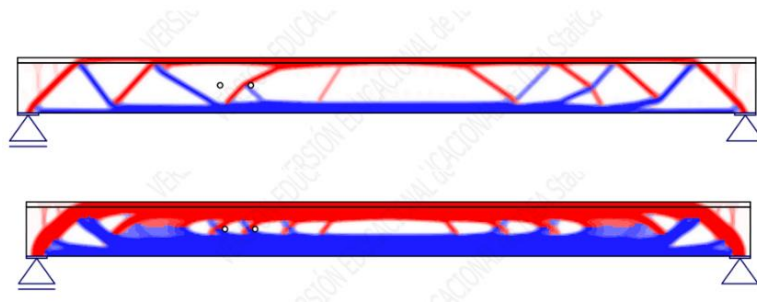
La optimización topológica en vigas de hormigón es un proceso de diseño que utiliza algoritmos computacionales para encontrar la mejor distribución de material dentro de una estructura. El objetivo es reducir su peso sin sacrificar resistencia, eliminando material donde no se necesita y manteniendo la capacidad de soportar cargas y tensiones necesarias.

El módulo Detail del software IdeaStatica ofrece una función de optimización topológica para vigas de hormigón, esta función permite al usuario reducir el uso de materiales, costos y proporciona informes detallados sobre la geometría óptima, las cargas de trabajo, y las tensiones del diseño. (Kaufmann, 2020)

A continuación, se ilustra como trabaja dicha función:

Figura 11

Optimización topológica, líneas de distribución de esfuerzos de compresión y tracción



Nota: Ilustración tomada del módulo Detail de IdeaStática.

En resumen, la hipótesis de esta investigación se basa en la distribución de esfuerzos en puntales y tensores en cada viga de hormigón armado. Se establece que cuando se realizan perforaciones en las vigas, es importante evitar las líneas de tendencia de los esfuerzos, especialmente en los puntos de compresión. Esto se debe a que una disminución del área de concreto podría generar problemas en la resistencia de la viga. Con el fin de encontrar posibles patologías o fallas en las vigas y patrones de perforación estudiados, se realizarán perforaciones que vayan en contra de lo establecido en la hipótesis.

2.2. Método de elementos finitos

La ingeniería considera el método de análisis por elementos finitos como uno de los más destacados debido a que permite obtener una solución numérica aproximada a partir de un cuerpo, estructura o dominio. Este método implica someter un elemento computacional de geometría definida a cargas y restricciones para su análisis. Para llevar a cabo este análisis, el elemento se divide en pequeñas partes o "elementos" que representan el dominio continuo del problema. Esta subdivisión permite al ordenador trabajar con mayor eficiencia y, por lo tanto, generar un estudio amplio y detallado del elemento en cuestión. (Borja & Morocho, 2017)

Este método en términos generales consiste en la discretización de un elemento estructural en partes finitas de las cuales se obtendrán sus matrices de rigidez locales y luego

se generará la matriz global de la unión de todas estas partes finitas para plantear la ecuación básica de solución de estructuras que comprende:

$$F = [K] * \Delta \quad (2)$$

Cada componente es analizado de manera individual a través de ecuaciones matemáticas con el fin de determinar su influencia ante las cargas y fuerzas que recaen sobre el objeto. Estos resultados son combinados para construir un modelo matemático completo que describe el comportamiento integral del objeto.

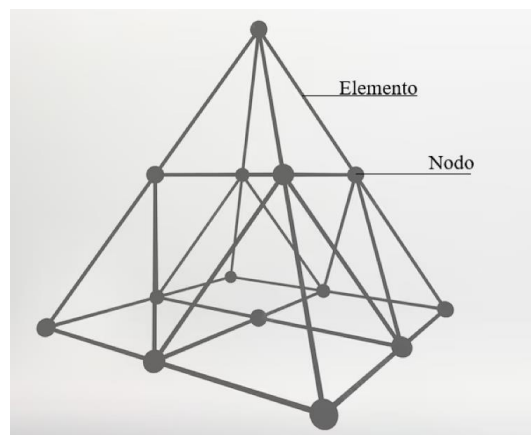
En el área de ingeniería civil, el método de elementos finitos es utilizado para el análisis de factores tales como la tensión, deformación, vibración y fatiga en diversas estructuras. La aplicación de dicho método resulta especialmente beneficiosa en la optimización de diseños, la selección de materiales y la evaluación de la seguridad y resistencia de las estructuras a lo largo del tiempo.(Borja & Morocho, 2017)

2.2.1. Elemento finito

Se basa en considerar una estructura dividida en elementos discretos, como el número de elementos es limitado son llamados elementos finitos. Se fundamenta en la representación de un cuerpo en un ensamble de subdivisiones (elementos) que están conectados por puntos (nodos).(Borja & Morocho, 2017)

Figura 12

Familia de elementos triangulares bidimensionales



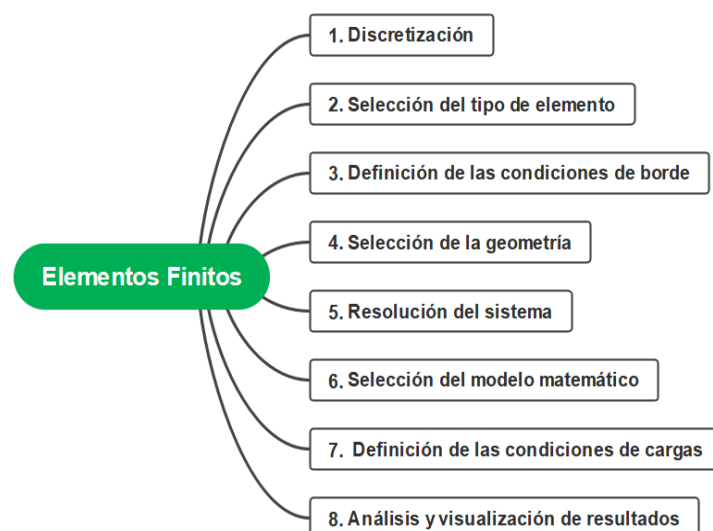
Nota: Whitevector. (Freepik)

2.2.2. Análisis empleando por la metodología de elementos finitos

El análisis por elementos finitos es un método numérico utilizado en ingeniería para resolver problemas en los que se requiere calcular el comportamiento de un sistema. A continuación, se conceptualiza los pasos básicos para realizar un análisis por elementos finitos

Figura 13

Mapa mental que conceptualiza el desarrollo del método de elementos finitos



Nota: Imágenes propias.

En resumen, el análisis por elementos finitos es un proceso iterativo que requiere una planificación cuidadosa y un gran número de cálculos complejos para llegar a una solución óptima.

2.3. Consideraciones del módulo Detail del software IdeaStatica

El módulo Detail del software IdeaStatica ofrece una amplia variedad de herramientas para el diseño, verificación y optimización de detalles constructivos en estructuras de hormigón armado, lo cual permite una mayor seguridad, eficiencia y precisión en la construcción de dichas estructuras.

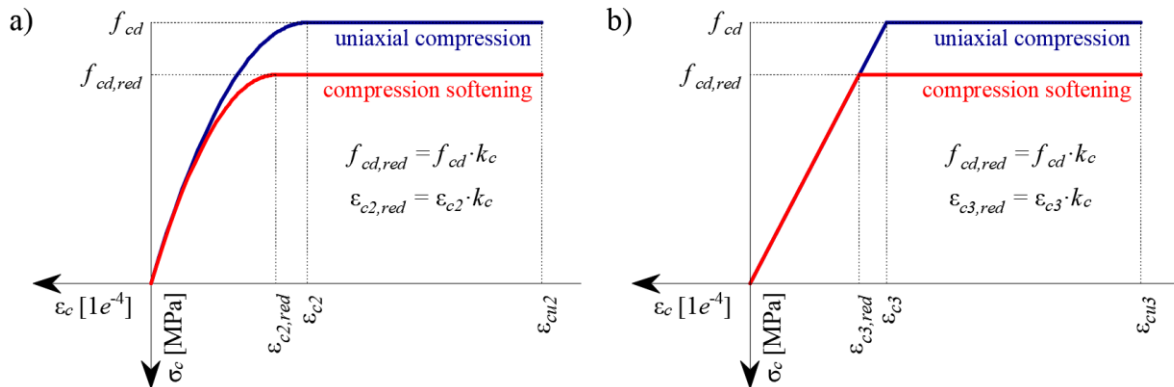
A continuación, se mencionarán las bases teóricas en las cuales se fundamenta este asistente computacional direccionado al caso de estudio en la presente tesis:

2.3.1. Modelo constitutivo del concreto

El modelo de concreto utilizado en el CSFM (Compatible stress field method) se basa únicamente en las leyes de compresión uniaxial establecidas en los códigos de diseño, sin tomar en cuenta la resistencia a la tracción. Se utiliza el diagrama de parábola-rectángulo establecido en el Eurocódigo (EN 1992-1-1) por defecto, aunque los diseñadores también pueden elegir una opción más simplificada. En caso de evaluación según ACI 318-04, es posible usar solo el diagrama de tensión-deformación de parábola-rectángulo. (Kaufmann, 2020)

Figura 14

Diagramas tensión-deformación del hormigón: a) diagrama parábola-rectángulo; b) diagrama bilineal



Nota: Tomado de Diseño estructural de discontinuidades de hormigón |
IdeaStatica.(Kaufmann, 2020)

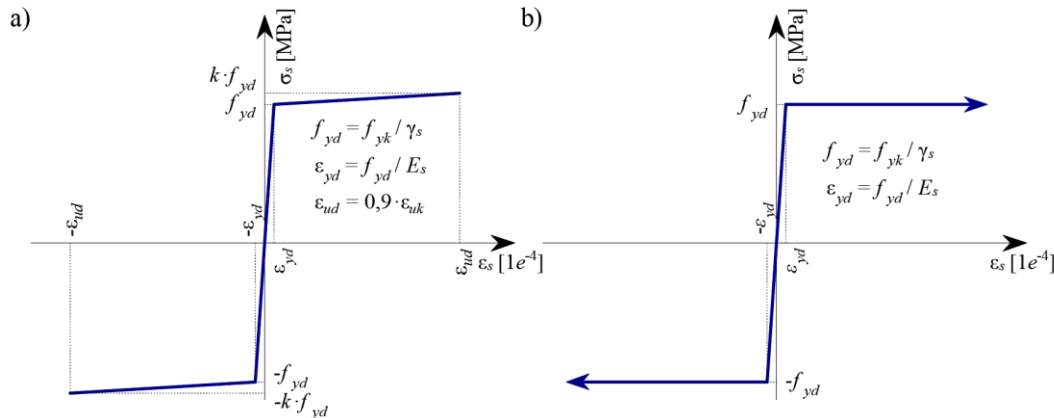
A nivel de servicio en el hormigón se genera una simplificación de los modelos que se usan en el análisis del estado límite último, donde se supone una adherencia perfecta y ciertas ramas de la curva tensión-deformación del hormigón no se consideran. Estas simplificaciones mejoran la estabilidad numérica y la velocidad de cálculo, pero solo son válidas si se cumplen todos los requisitos de verificación y los límites de tensión del material están por debajo de sus puntos de fluencia. (Kaufmann, 2020)

Es importante señalar que el modelo constitutivo del concreto presentado en los diagramas de tensión-deformación muestra un valor característico conocido como ε_{cu2} en el diagrama parábola-rectángulo y ε_{cu3} en el diagrama bilineal. Estos valores son iguales y abarcan un amplio rango de deformación del hormigón que llega a una región plástica del 5%. (Kaufmann, 2020)

2.3.2. Modelo constitutivo del refuerzo

Figura 15

Diagramas tensión-deformación del refuerzo: a) diagrama bilineal con una rama superior inclinada; b) diagrama bilineal con una rama superior horizontal



Nota: Diseño estructural de discontinuidades de hormigón | IdeaStática.(Kaufmann, 2020)

Se considera el diagrama de tensión-deformación bilineal idealizado por defecto para las barras de refuerzo, definido por los códigos de diseño (Eurocódigo 2: Diseño de estructuras de hormigón). Este diagrama depende de las propiedades básicas del refuerzo durante la fase de diseño. Sin embargo, se puede utilizar la relación tensión-deformación real del refuerzo si se conoce. El usuario puede definir el diagrama, pero en este caso, no se puede calcular el ancho de la fisura. El uso del diagrama con rama superior horizontal no permite verificar la durabilidad estructural, por lo que es necesaria la verificación manual de los requisitos de ductilidad estándar.(Kaufmann, 2020)

2.3.3. Método de campo de tensiones compatible (CSFM)

Este método hace referencia a un enfoque de diseño de estructuras de concreto que consideran la distribución de tensiones con mayor precisión. Este enfoque se basa en la teoría de la mecánica de materiales y busca una distribución de tensiones que sea compatible con

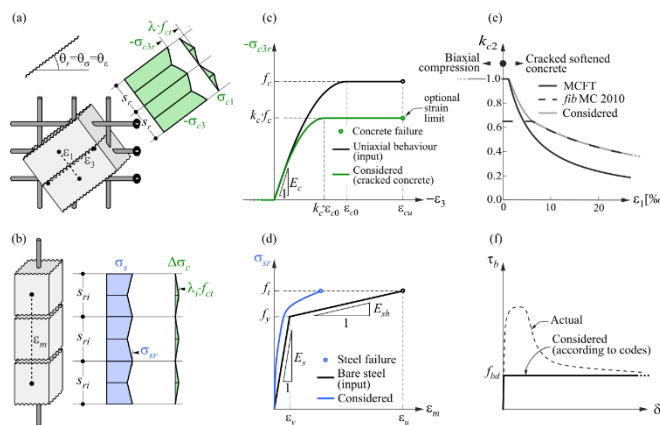
las propiedades del concreto y no cause fallas prematuras. El objetivo es obtener una estructura más segura y eficiente en términos de costos.(Kaufmann, 2020)

2.3.4. Consideraciones y limitaciones para CSFM

“El CSFM considera tensiones máximas del concreto (σ_{c3r}) y del refuerzo (σ_{sr}) en las grietas mientras desprecia la resistencia a la tracción del concreto ($\sigma_{c1r} = 0$), con omisión en el efecto de rigidez del refuerzo. Es así que la rigidización por tracción permite simular las deformaciones medias de las armaduras (ε_m).”(Kaufmann, 2020)

Figura 16

Diagramas simplificados de Esfuerzos-deformación del concreto y acero



Nota: Diseño estructural de discontinuidades de hormigón | IdeaStatica.(Kaufmann, 2020)

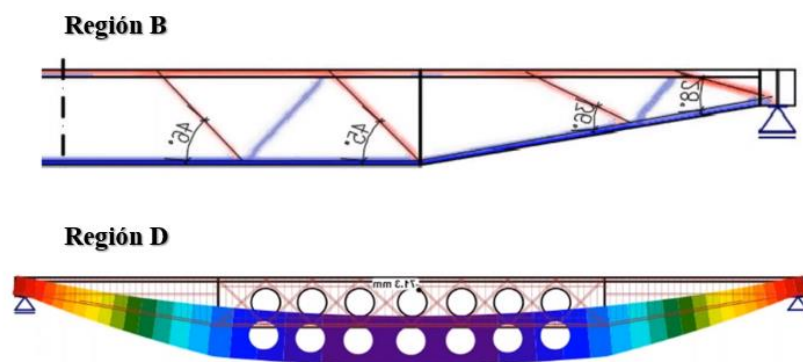
Aunque es una suposición simple, el método CSFM ha demostrado ser efectivo en predecir la resistencia de elementos reforzados con cargas en el plano, siempre y cuando el refuerzo proporcionado evite fallas frágiles. **Sin embargo, esta suposición no es adecuada para elementos sin refuerzo transversal ya que se ignoran los mecanismos relevantes dependientes de la resistencia a la tracción del hormigón.** Aunque algunos estándares permiten su diseño en base a disposiciones semiempíricas, no se recomienda utilizar esta suposición en estructuras potencialmente frágiles.(Kaufmann, 2020)

2.3.5. Regiones B y regiones D

El diseño y evaluación de elementos de hormigón se realiza a nivel de sección o punto, pero solo es aceptable en áreas donde se aplica la hipótesis de Bernoulli-Navier de distribución de deformación plana (regiones B). Las regiones donde esta hipótesis no se aplica se denominan regiones discontinuas (regiones D), y son áreas de soporte, cargas concentradas, cambios abruptos en sección transversal, aberturas, muros, puentes diafragmas, ménsulas, entre otros. (Kaufmann, 2020)

Figura 17

Secciones características propias de Regiones B y D



Nota: Representación de Regiones B y D | IdeaStatica.(Kaufmann, 2020)

“En tiempos anteriores, se empleaban normas de diseño basadas en la experiencia para dimensionar regiones de discontinuidad. Por suerte, en los últimos años, estas normas han sido ampliamente sustituidas por modelos más precisos como los de bielas y tirantes (Schlaich et al., 1987) y campos de tensión (Marti 1985), que se encuentran en los códigos de diseño actuales y que los diseñadores utilizan con frecuencia en la actualidad.”

A pesar de la evolución de las herramientas informáticas, el método de bielas y tirantes se ha mantenido estancado en el tiempo debido a que aún requiere de muchos cálculos manuales e iteraciones, lo cual resulta tedioso y demanda mucho tiempo. Además,

este método no permite verificar deformaciones, anchos de fisura y otros criterios de servicio, lo que limita su utilidad en ciertas aplicaciones.(Kaufmann, 2020)

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, es importante destacar que el módulo Detail de IdeaStática ha desarrollado una herramienta eficaz para el diseño de regiones tipo D mediante el método CSFM, proporcionando rigideces realistas a los elementos y cumpliendo con todas las prescripciones del código de diseño. Además, esta herramienta utiliza leyes constitutivas comunes proporcionadas por los estándares de diseño para el hormigón y el refuerzo, lo que la convierte en una solución fiable y rápida para los ingenieros estructurales.(Kaufmann, 2020)

2.3.6. Método de solución y definición de carga crítica empleada en el software

El software utiliza un algoritmo completo de Newton-Raphson, el cual es un método numérico estándar que se emplea para encontrar raíces de funciones no lineales. Este algoritmo utiliza una aproximación inicial para iterar en un proceso de corrección y encontrar una raíz con la precisión deseada. En cada iteración, se determina la tangente de la función en el punto actual para mejorar la aproximación de la raíz.(Kaufmann, 2020)

El algoritmo no suele converger cuando se aplica la carga completa en un solo paso. Por ello, se suele aplicar la carga secuencialmente en múltiples incrementos y usar el resultado del incremento anterior para iniciar la solución de Newton de uno posterior. Para lograrlo, se implementó un algoritmo de control de carga sobre el Newton-Raphson. Este algoritmo tiene dos propósitos: reducir el incremento de carga actual a la mitad en caso de que las iteraciones de NR no converjan y encontrar la carga crítica utilizando el método de bisección. El criterio de parada para encontrar la carga crítica es la deformación máxima en el concreto, el deslizamiento máximo en los elementos de unión, el desplazamiento máximo en los elementos de anclaje y la deformación máxima en barras de refuerzo. Si se excede el criterio de parada en cualquier parte del modelo, los resultados del último incremento de

carga se descartan y se calcula un nuevo incremento de la mitad del tamaño del anterior. Este proceso se repite hasta encontrar la carga crítica con cierta tolerancia al error. En el caso del hormigón, el criterio de parada se fijó en un 5% de deformación en compresión de tal forma que sea visible los efectos de aplastamiento, pero no afecten a la estabilidad numérica y un 7% en tracción en los puntos de integración de los elementos del revestimiento.(Kaufmann, 2020)

En relación con el proceso de refuerzo, se establece un estándar de detención basado en tensiones. En este sentido, como se realiza una simulación de las tensiones presentes en la fractura, el criterio utilizado para la tracción consiste en la capacidad de resistencia del material de refuerzo, la cual se encarga de garantizar un margen de seguridad adecuado. Este valor se extiende también al criterio de compresión.(Kaufmann, 2020)

CAPITULO III: METODOLOGÍA

En el tercer capítulo se describe el procedimiento de análisis utilizado para determinar el comportamiento de las vigas de estudio en esta investigación. Se detallan los pasos de diseño de las vigas tipo tee y rectangulares utilizadas, así como las consideraciones analizadas en el software IdeaStatica.

3.1. Criterios de diseño

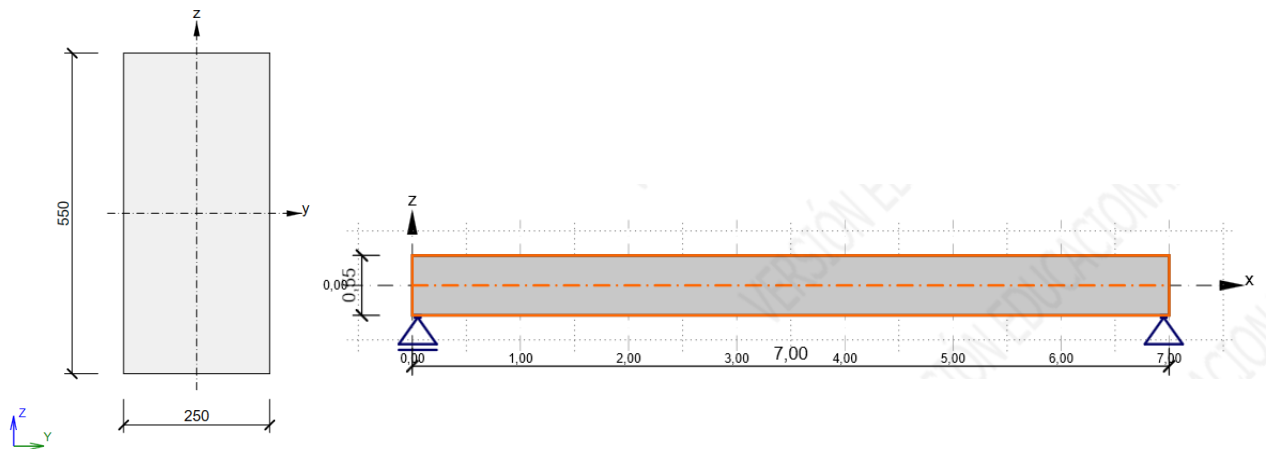
En el presente capítulo se desarrolla el análisis de cargas, que se incluirán en la modelación empleando el software IdeaStatica. Para la cual se siguió los lineamientos de Norma Ecuatoriana de la Construcción - NEC-SE-CG Cargas (NO SÍSMICAS), utilizando el método de resistencia ultima (ELU) y nivel de servicio (ELS).

3.1.1. Análisis de cargas

Para seleccionar las cargas a las que estarán sometidas las viguetas, se ha realizado un análisis de las cargas concurrentes para un diseño de centros comerciales. El diseño se basa en vigas secundarias de grandes luces por concepto de espacio y para mostrar el cambio que presentan las mismas tras la inclusión de perforaciones, es así que se consideró longitudes estándar de 7 metros, a su vez para la adecuada distribución de cargas se definió para el diseño una separación de 1 metro entre viguetas.

Figura 18

Sección transversal y longitudinal viga patrón rectangular



Nota: Sección Rectangular| IdeaStática.

Dada la sección asignada para la modelación, se procedió a obtener el peso propio de la viga. Para ello, se menciona que la resistencia del hormigón empleado es de 4000 psi (27.6 MPa), y su peso específico es de 2307 kgf/m³. La resistencia del hormigón considerado debe ser mayor a 17 MPa ya que se está trabajando con viguetas de grandes luces, para cubrir las grandes tensiones que se van a generar.

$$PP: 23.07 * [(0.55 * 0.25)] = 2.54 \text{ kN/m}$$

Donde:

PP: Peso propio de la viga (kN/m)

Para la carga viva se tomó como base lo que indica la normativa - NEC-SE-CG Cargas (NO SÍSMICAS). (NEC-SE-CG, 2015)

Al considerar el valor de carga viva para almacenes de primer piso de 4.8 kN/m² y tomar en cuenta la separación entre vigas o el ancho unitario de 1 metro, se obtiene una carga lineal uniformemente distribuida de 4.8 kN/m en la luz de la viga.(NEC-SE-CG, 2015)

Los valores mencionados en el capítulo 4 del título “Valores de las cargas muertas y vivas de la NEC-SE-CG” (NEC-SE-CG, 2015) se emplearon para calcular la carga muerta de los componentes no estructurales. Las consideraciones comprenden los siguientes valores:

Tabla 2

Resumen de cargas no estructurales

Cargas muertas Elementos no estructurales	kN/m
Carga Losa e=15cm	3.3
Cerámica	0.2
Cielo Raso	0.2
Total=	3.7

Nota. Valores de cargas no estructurales, criterio del diseñador

Sumatoria de cargas considerando el peso de los elementos no estructurales más el peso propio de la viga.

Tabla 3

Resumen cargas no estructurales + Peso propio

Cargas muertas Elementos no estructurales + PP	kN/m
PP	2.54
Carga Muerta (No estructural)	3.7
Total=	6.24

Nota. Resumen cargas muertas

Una vez consideradas las cargas, tanto vivas como muertas, se procede a determinar la carga total a la cual la viga será sometida, así como las combinaciones de diseño para resistencia última.

Tabla 4*Resumen Cargas de diseño*

Cargas	kN/m
Carga PP	2.54
Carga Muerta	3.7
Carga Viva	4.8
Total=	11.04

Nota. Cargas aplicadas.

3.1.2. Combinaciones

Se decidió utilizar la combinación permitida de acuerdo a la sección 5.3 titulada "Combinaciones y factores de carga" del reglamento ACI 318-19. (ACI 318-19, 2019) Esta combinación implica el uso de las cargas mínimas necesarias, pero incrementadas.

Tabla 5*Combinaciones de cargas*

ELU
U1: 1.4 D= 8.7 kN/m
U2: 1.2 D + 1.6 L= 15.2 kN/m
ELS
S1: D + L= 11.04 kN/m

Nota. Calculo de cargas. Combinaciones tomadas de la ACI 318-19.(ACI 318-19, 2019)

3.2. Propiedades de los materiales



Las vigas utilizadas en la investigación han sido modeladas con propiedades mecánicas predefinidas tanto para el hormigón como para el acero de refuerzo, mediante el software IdeaStática. De esta manera, se ha establecido una resistencia de 4000 Psi (27.5MPa) para el hormigón y un acero de refuerzo Grado60 (60 ksi) con una resistencia de

fluencia de 420 MPa. A continuación, se presentan las propiedades de los materiales proporcionadas por el asistente computacional.

3.2.1. Concreto $f'_c = 4000$ Psi

Figura 19

Propiedades de concreto

Nombre	Tipo		
> Editar de 4000 psi	Hormigón		

Propiedades físicas	
m [kg/m ³]	2307
v	0,15
α [1e-6/K]	10
λ [W/(m.K)]	45
c [kJ/(kg.K)]	0,75
Propiedades específicas de la Norma Americana	
E _{cm} [MPa]	24866,0
G [MPa]	10811,3
f' _c [MPa]	27,6

Nota: Módulo Detail IdeaStática. Los términos se encuentran descritos en el glosario.

3.2.2. Acero Grado 60 ksi

Figura 20

Propiedades del acero

Propiedades físicas	
m [kg/m ³]	7850
E [MPa]	199938,0
ν	0,3
G [MPa]	76899,2
ACI 318-14	
fyk [MPa]	420,0
ϵ_{uk} [1e-4]	50,0

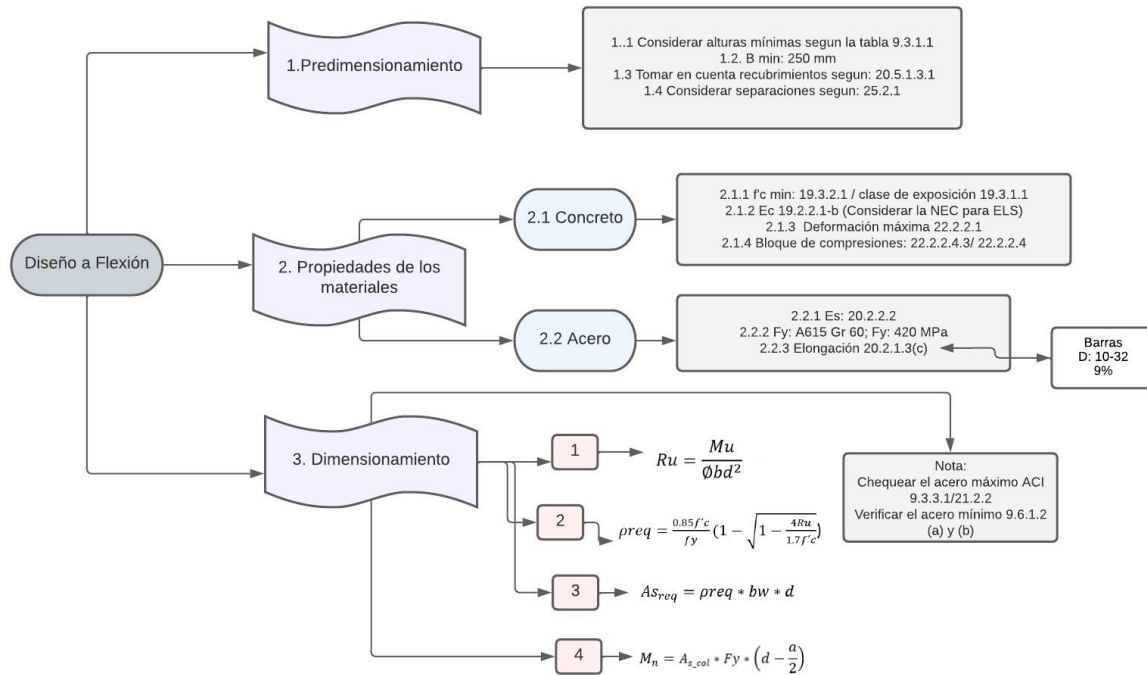
Nota: Modulo Detail IdeaStatica. Los términos se encuentran descritos en el glosario.

3.3. Diseño viga rectangular patrón

3.3.1. Diseño a flexión

Figura 21

Diagrama de diseño a flexión viga rectangular

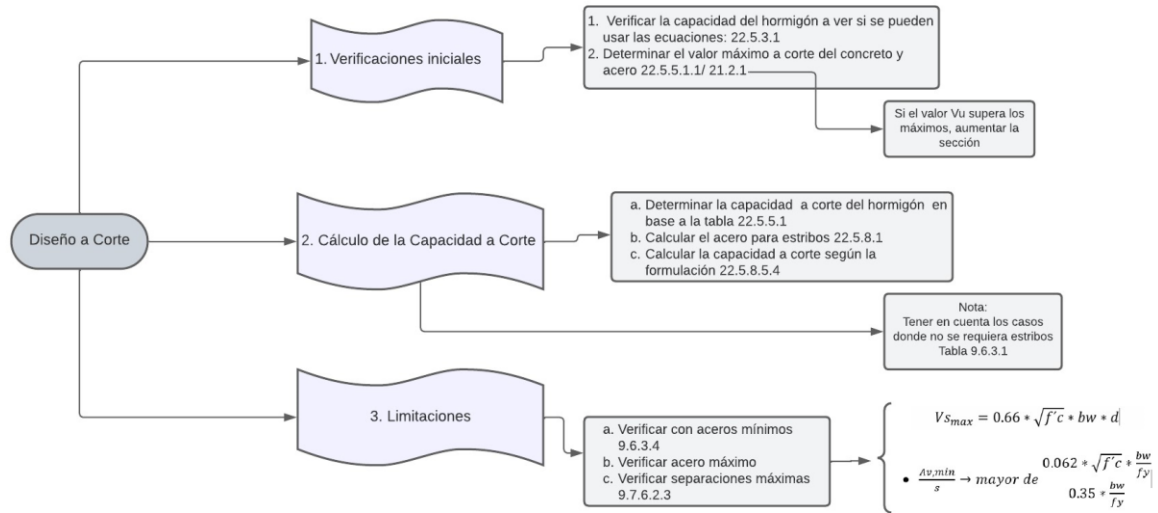


Nota: Diseño a flexión, basado en manual de diseño ACI-318-19.(ACI 318-19, 2019). Los términos se encuentran descritos en el glosario.

3.3.2. Diseño a cortante

Figura 22

Diseño a corte viga rectangular

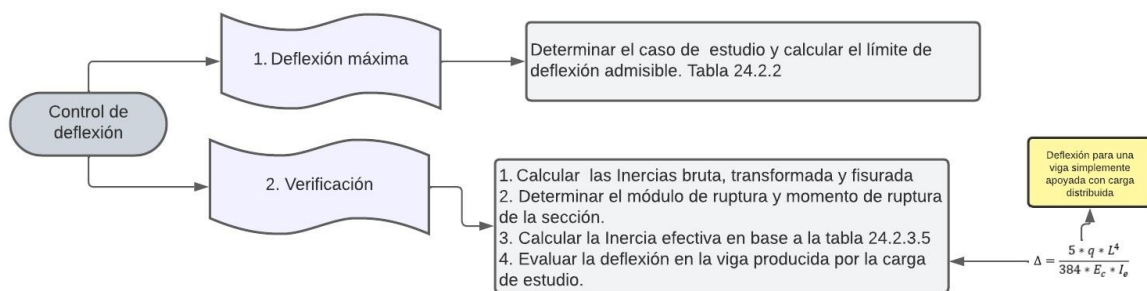


Nota: Diseño a corte, basado en manual de diseño ACI-318-19.(ACI 318-19, 2019). Los términos se encuentran descritos en el glosario.

3.3.3. Control de deflexión

Figura 23

Control de deflexiones viga rectangular



Nota: Control de flecha, basado en manual de diseño ACI-318-19.(ACI 318-19, 2019). Los términos se encuentran descritos en el glosario.

3.3.4. Modelación sección rectangular

Antes de realizar la modelación en IdeaStática y una vez que se haya completado el diseño de la viga, se generará un cuadro de resumen que mostrará la sección y los aceros utilizados para resistir las cargas por E.L.U y E.L.S.

Tabla 6

Diseño viga rectangular

Resumen de diseño viga rectangular			
Sección		Base (mm)	250
		Altura(mm)	550
Demanda de momento y cortante			
Momento (kN*m)	93,1	Cortante (kN)	53,2
Diseño a flexión			
Acero As (mm²)		2φ12 +1φ20mm	
		540,35	
φMn (kN*m)		100,2	
Configuración doblemente armada		A's (mm ²)	226,19
		As (mm ²)	540,35
Diseño a corte			
Acero As (mm²)		2φ10mm @250mm	
		157,08	
φVn (kN)		186,34	
Control de deflexión			
	Deflexión máxima (mm): L/480		14,6
	Deflexión por carga (mm): D+L		11,7

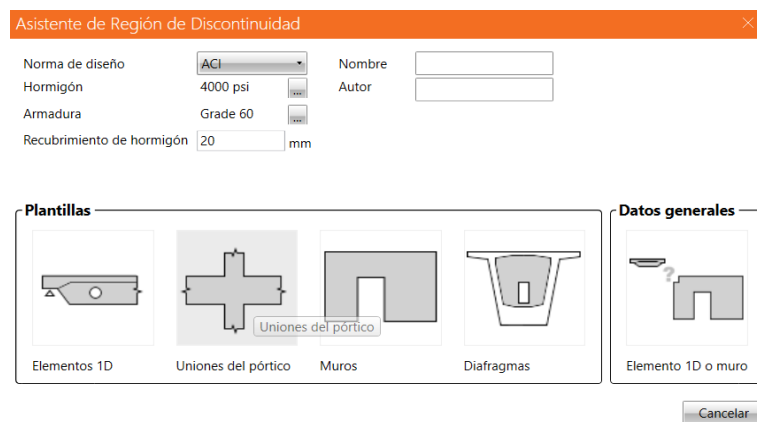
Nota. Resumen del diseño viga rectangular. Los términos se encuentran descritos en el glosario.

Los pasos considerados en la modelación incluyen los siguientes:

- Elección de la norma y materiales para la modelación

Figura 24

Selección de materiales y normativa para modelado viga rectangular

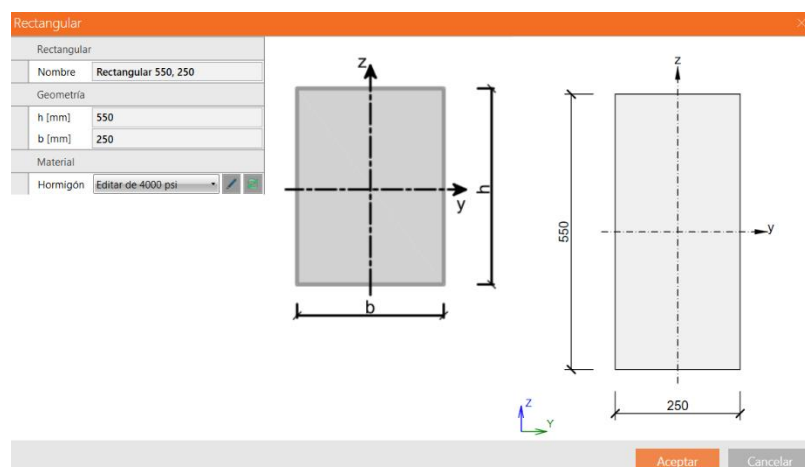


Nota: Selección de materiales.

- Dimensionamiento de la sección

Figura 25

Dimensionamiento de la sección transversal



Nota: Introducción de las medidas de la sección característica.

- Configuración de apoyos

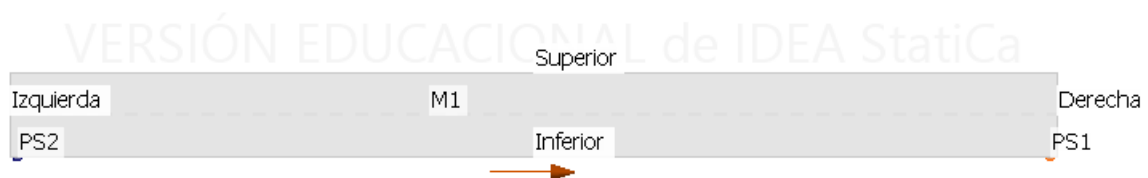
Figura 26*Configuración de apoyos*

Posición	
M - Maestro	M1
Borde	Inferior
Medido desde	Desde el inicio
X - Posición [m]	0,05

Posición	
M - Maestro	M1
Borde	Inferior
Medido desde	Desde el final
X - Posición [m]	0,05

Apoyo puntual	
X	<input checked="" type="checkbox"/>
Z	<input checked="" type="checkbox"/>
Ry	<input type="checkbox"/>
Placa de apoyo para el apoyo puntual	
E - Excentricidad [m]	0,00
Placa de apoyo	
W - Ancho [m]	0,05
T - Espesor [m]	0,02
Material	A36

Apoyo puntual	
X	<input type="checkbox"/>
Z	<input checked="" type="checkbox"/>
Ry	<input type="checkbox"/>
Placa de apoyo para el apoyo puntual	
E - Excentricidad [m]	0,00
Placa de apoyo	
W - Ancho [m]	0,05
T - Espesor [m]	0,02
Material	A36

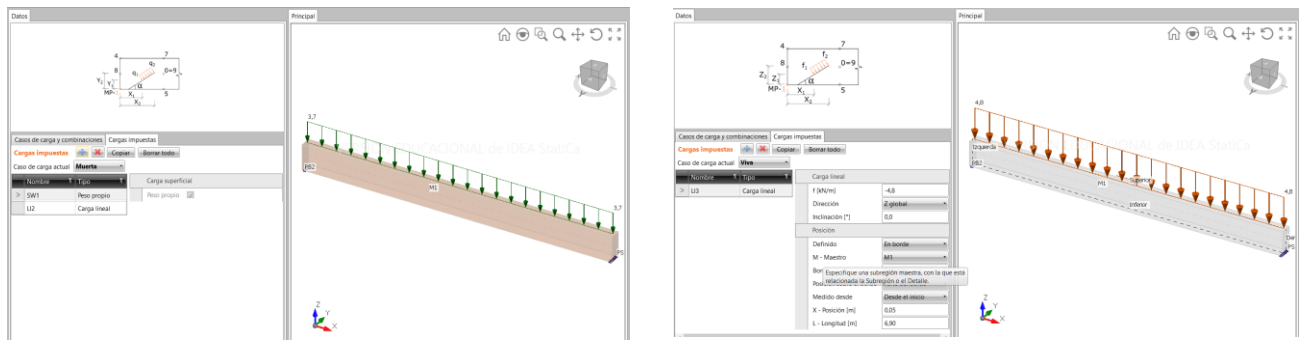


Nota: Configuración de apoyos.

- Cargas

Figura 27

Introducción de cargas vivas y muertas



Nota: Introducción de cargas.

- Combinaciones

Figura 28

Combinaciones de cargas

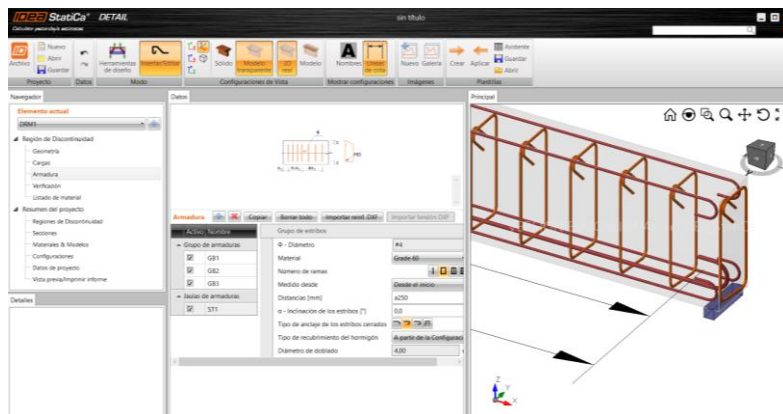
Combinaciones					
Combinaciones no lineales (casos de carga con factores parciales)					
Combinación	Tipo	Mn [-]	Muerta [-]	Viva [-]	
> CMn	ELU	1,00	-	-	
D+L	ELU	-	1,00	1,00	
1,4D	ELU	-	1,40	-	
1,2D+1,6L	ELU	-	1,20	1,60	
D+L	Ancho de fisura + Deformación	-	1,00	1,00	
1,4D	Ancho de fisura + Deformación	-	1,40	-	
1,2D+1,6L	Ancho de fisura + Deformación	-	1,20	1,60	
Mn	Ancho de fisura + Deformación	1,00	-	-	

Nota: Análisis de combinaciones.

- Configuración del acero de refuerzo

Figura 29

Configuración del acero de refuerzo



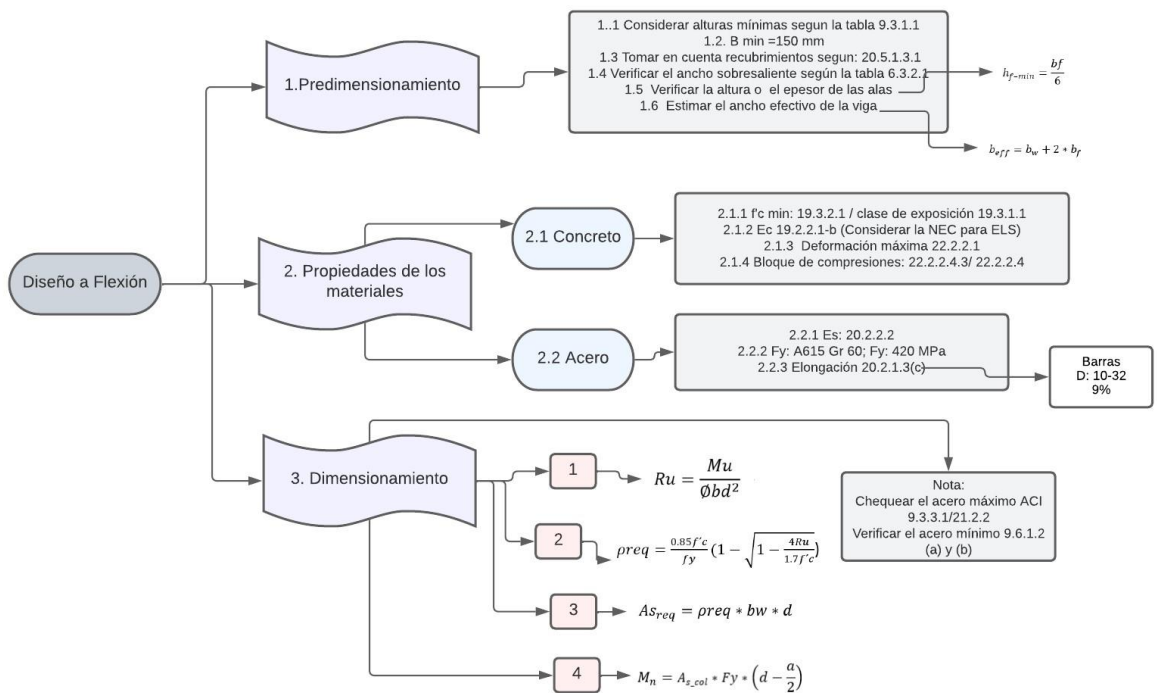
Nota: Distribución de refuerzo transversal y longitudinal de la sección.

3.4. Diseño viga tee patrón

3.4.1. Diseño a flexión

Figura 30

Diseño a flexión viga tee

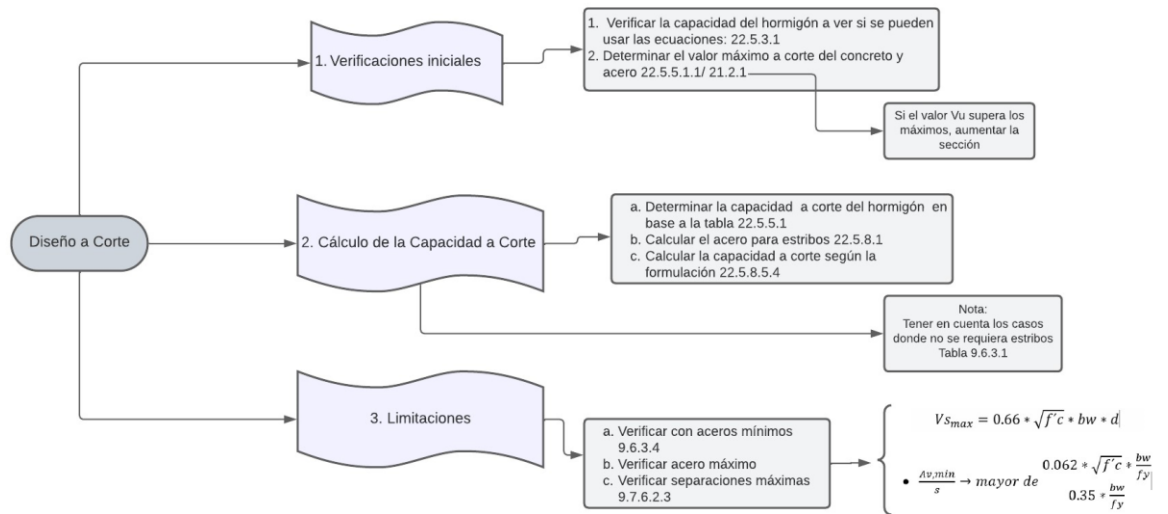


Nota: Diseño a flexión, basado en manual de diseño ACI-318-19.(ACI 318-19, 2019). Los términos se encuentran descritos en el glosario.

3.4.2. Diseño a cortante

Figura 31

Diseño a corte viga tee

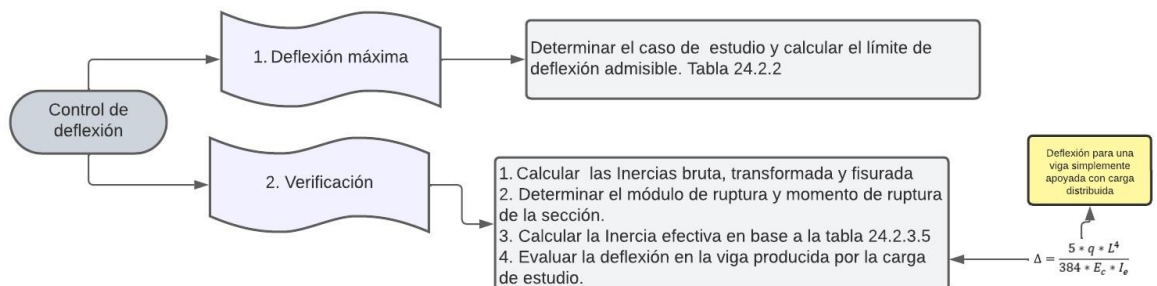


Nota: Diseño a corte, basado en manual de diseño ACI-318-19.(ACI 318-19, 2019). Los términos se encuentran descritos en el glosario.

3.4.3. Control de deflexión

Figura 32

Control de deflexiones viga tee



Nota: Control de flecha, basado en manual de diseño ACI-318-19.(ACI 318-19, 2019). Los términos se encuentran descritos en el glosario.

3.4.4. Modelación sección tee

Tabla 7

Diseño viga tee

Resumen de diseño viga tee		
Sección	H(mm)	525
	B(mm)	500
	bw (mm)	150
	hf (mm)	50
Demanda de momento y cortante		
Momento (kN*m)	93,1	Cortante (kN) 53,2
Diseño a flexión		
Acero As (mm²)	2φ12 + 1φ20mm 540,35	
φMn (kN*m)	107,86	
Configuración Doblemente Armada	A's (mm ²)	157,08
	As (mm ²)	540,35
Diseño a corte		
Acero As (mm²)	2φ10mm @240mm 157,08	
φVn (kN)	148,72	
Control de deflexión		
Deflexión máxima (mm): L/480		14,6
Deflexión por carga (mm): D+L		10,9

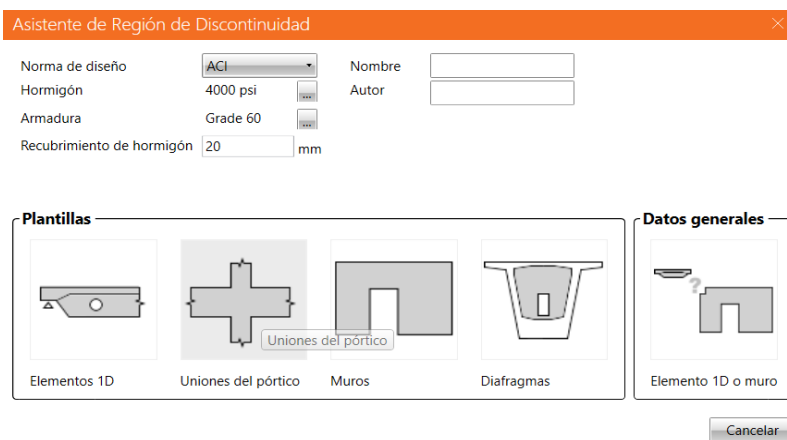
Nota: Cuadro resumen de diseño de la viga tee. Los términos se encuentran descritos en el glosario.

Los pasos considerados en la modelación incluyen los siguientes:

- Elección de la norma y materiales para la modelación

Figura 33

Selección de materiales y normativa para modelado viga tee

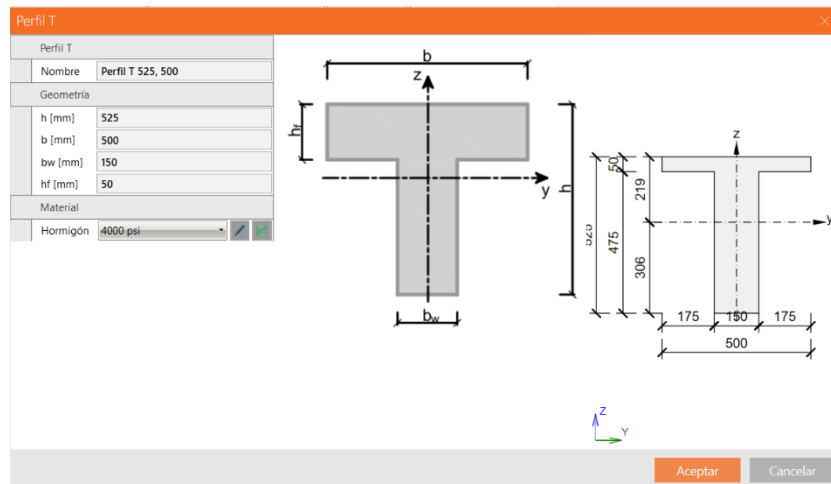


Nota: Selección de materiales.

- Dimensionamiento de la sección

Figura 34

Dimensionamiento de la sección transversal



Nota: Introducción de las medidas de la sección.

- Configuración de apoyos

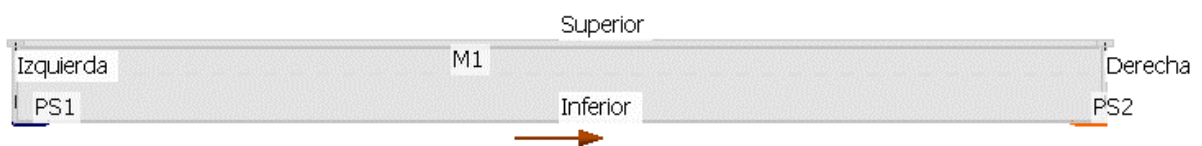
Figura 35*Configuración de apoyos*

Posición	
M - Maestro	M1
Borde	Inferior
Medido desde	Desde el inicio
X - Posición [m]	0,10

Posición	
M - Maestro	M1
Borde	Inferior
Medido desde	Desde el final
X - Posición [m]	0,10

Apoyo puntual	
X	<input type="checkbox"/>
Z	<input checked="" type="checkbox"/>
Ry	<input type="checkbox"/>
Placa de apoyo para el apoyo puntual	
E - Excentricidad [m]	0,00
Placa de apoyo	
W - Ancho [m]	0,20
T - Espesor [m]	0,02
Material	A36

Apoyo puntual	
X	<input checked="" type="checkbox"/>
Z	<input checked="" type="checkbox"/>
Ry	<input type="checkbox"/>
Placa de apoyo para el apoyo puntual	
E - Excentricidad [m]	0,00
Placa de apoyo	
W - Ancho [m]	0,20
T - Espesor [m]	0,02
Material	A36

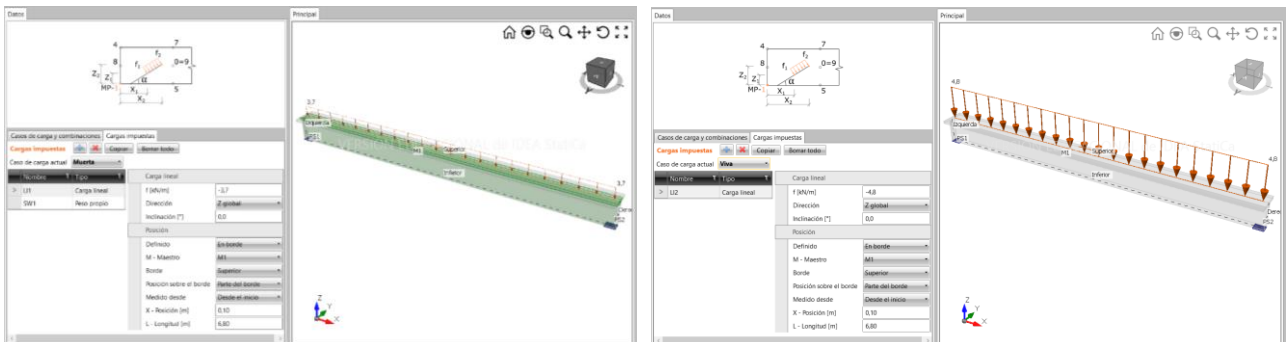


Nota: Configuración de apoyos.

- Cargas

Figura 36

Introducción de cargas vivas y muertas



Nota: Introducción de cargas.

- Combinaciones

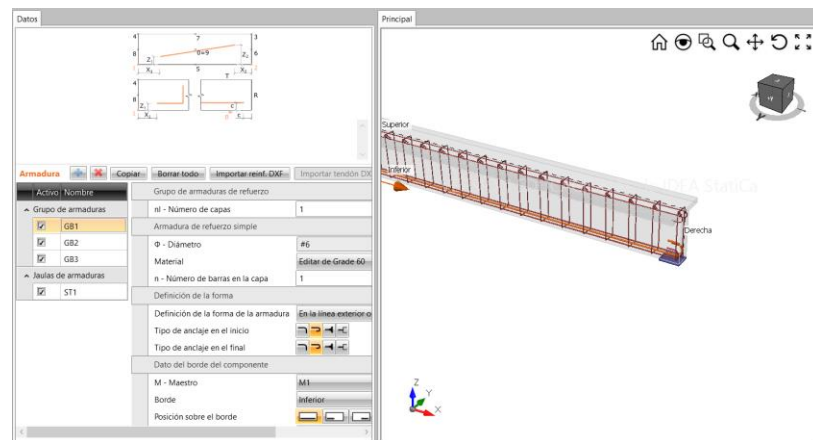
Figura 37

Combinaciones de cargas

Combinaciones					
Combinaciones no lineales (casos de carga con factores parciales)					
Combinación	Tipo	Mn [-]	Muerta [-]	Viva [-]	
> CMn	ELU	1,00	-	-	
D+L	ELU	-	1,00	1,00	
1,4D	ELU	-	1,40	-	
1,2D+1,6L	ELU	-	1,20	1,60	
D+L	Ancho de fisura + Deformación	-	1,00	1,00	
1,4D	Ancho de fisura + Deformación	-	1,40	-	
1,2D+1,6L	Ancho de fisura + Deformación	-	1,20	1,60	
Mn	Ancho de fisura + Deformación	1,00	-	-	

Nota: Análisis de combinaciones.

- Configuración de acero de refuerzo

Figura 38*Configuración del acero de refuerzo*

Nota: Configuración de acero transversal y longitudinal.

3.4.5. Diámetros de perforación

Las tuberías son uno de los elementos más importantes en la construcción de edificaciones, ya que permiten el paso y distribución de diferentes instalaciones, como agua, gas, electricidad, calefacción, ventilación, entre otras. Estas tuberías se instalan de manera estratégica, siguiendo ciertos estándares y normas de seguridad, para garantizar que el suministro de estas instalaciones sea eficiente y seguro para los usuarios. Además, el uso de tuberías facilita el mantenimiento y la reparación de las instalaciones, permitiendo un funcionamiento adecuado de los sistemas en el tiempo.

El diámetro de las tuberías utilizadas en una edificación varía según el tipo de instalación es así que, para las tuberías de agua potable, se suelen utilizar diámetros de entre 1/2 y 2 pulgadas, dependiendo del caudal y la presión necesarios. Por otro lado, para las tuberías de gas, se utilizan diámetros más pequeños, generalmente de 1/2 pulgada. En las tuberías de desagüe, por lo general se utilizan diámetros más grandes, entre 2 y 4 pulgadas. La elección del diámetro adecuado es fundamental para garantizar un correcto

funcionamiento de las instalaciones, así como para prevenir posibles problemas de obstrucción o fugas.

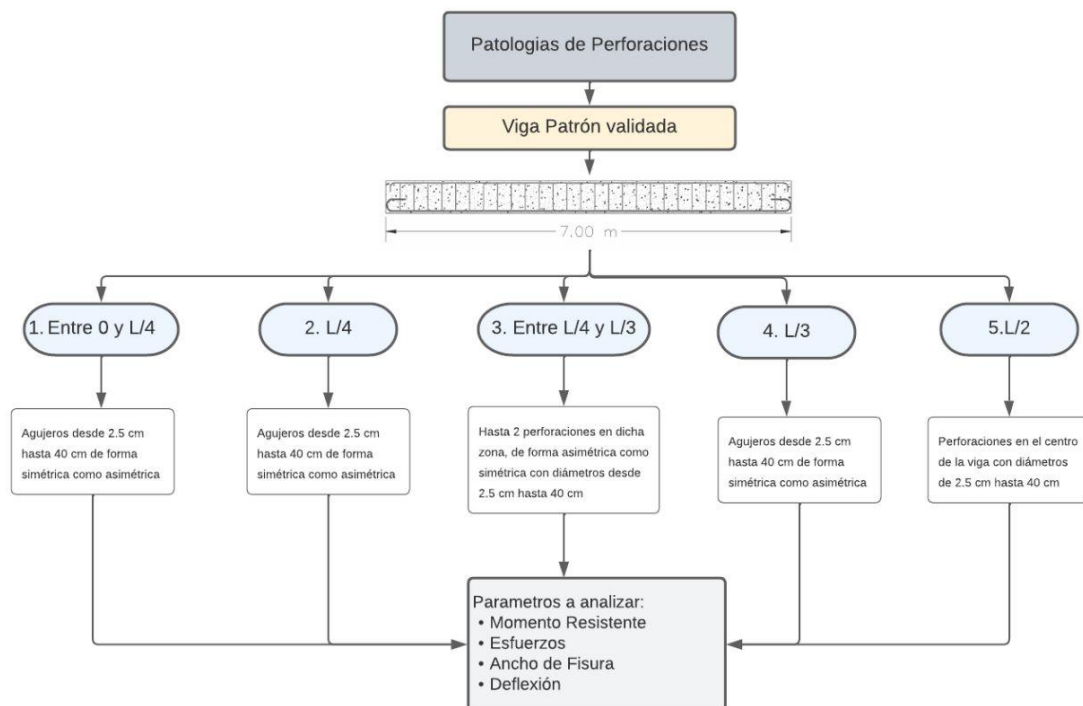
En Ecuador, las tuberías más utilizadas son las tuberías de PVC y las tuberías de cobre. El PVC es utilizado principalmente para la conducción de agua potable y desagües, mientras que el cobre es utilizado en sistemas de conducción de gas y para la instalación de sistemas de aire acondicionado y calefacción en edificaciones. También se utilizan tuberías de hierro fundido y de polietileno de alta densidad (PEAD) en algunas aplicaciones específicas.

3.5. Patologías de perforación

Se han establecido cinco regiones para la distribución de las perforaciones a lo largo del eje longitudinal.

Figura 39

Diagrama de distribución de perforaciones



Nota: Esquema de perforación planteado para el análisis de los casos de estudio.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. Análisis de resultados

En el presente capítulo se dará a conocer los resultados obtenidos de las diferentes tipologías de vigas evaluadas y clasificadas por regiones de análisis en función de los patrones de perforaciones predefinidos en la metodología.

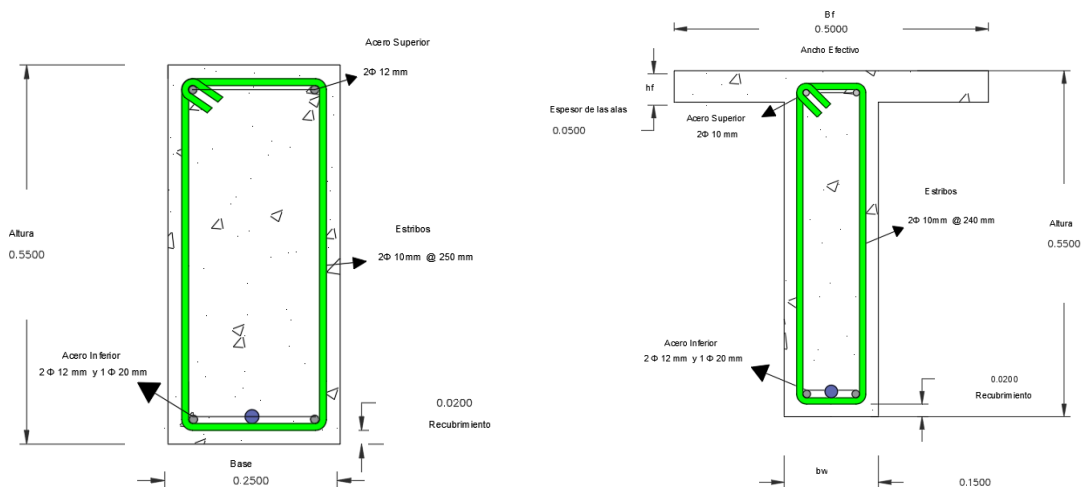
4.1.1. Descripción de los modelos patrón

En función a lo establecido en los capítulos anteriores se destaca que el objeto de esta investigación es realizar una comparación cualitativa y cuantitativa de la variabilidad que presenta una viga tras la inclusión de perforaciones de distintos diámetros respecto a la ubicación de los mismos a lo largo del eje longitudinal. Para valorar la variabilidad existente en los diferentes casos de análisis es necesario definir una viga patrón en condiciones normales, dicho diseño será la base que se utilizará para definir los casos de perforaciones debido a que se mantendrá la misma estructura de hormigón-refuerzo para todo el análisis.

En resumen, las secciones se definieron de la siguiente manera:

Figura 40

Representación de la configuración de las vigas rectangular y tee



Nota: Ilustraciones de las dimensiones y armado de las secciones patrón de análisis, recubrimientos mínimos.

4.2. Viga Rectangular

4.2.1. Propiedades de la viga patrón a nivel de la sección rectangular

La viga de control es aquella viga que comprende una estructura de concreto reforzado con una geometría rectangular cuyas dimensiones contemplan los 550 mm de peralte y 250 mm de base, posee una luz de 7 m, y no presenta ningún ducto o embebido en su estructura, por lo cual será el punto de referencia para cuantificar el desempeño de los demás casos de análisis.

4.2.2. Comportamiento de la viga de control ante los casos de carga

Los valores presentados a continuación son los resultados obtenidos al evaluar la viga rectangular de control ante diferentes casos de carga. Se han destacado los parámetros de análisis de esfuerzo, deformación, ancho de fisura y deflexión.

Caso de carga: 1.2D + 1.6L

Tabla 8

Esfuerzos y deformaciones unitarias del hormigón y acero de refuerzo

Concreto		Refuerzo GB1	Refuerzo GB2	Refuerzo ST	Refuerzo GB1	Refuerzo GB2	Refuerzo ST
σ_c (Mpa)	ϵ_c (m)	σ_s (Mpa)	σ_s (Mpa)	σ_s (Mpa)	ϵ_s	ϵ_s	ϵ_s
11,1	0,00043	363,6	77,7	183,3	0,0016	0,00039	0,00021

Nota. Valores de esfuerzos y deformaciones ante el caso de carga 1.2D+1.6L. Los términos se encuentran descritos en el glosario.

Tabla 9

Ancho de fisuras próximos a la armadura

Refuerzo GB1	Refuerzo GB2	Refuerzo ST
w(mm)	w(mm)	w(mm)
0,166	0	0,088

Nota. Valores de ancho de fisuras ante el caso de carga 1.2D+1.6L. Los términos se encuentran descritos en el glosario.

Caso de carga: Carga máx.

Tabla 10

Esfuerzos y deformaciones unitarias del hormigón y acero de refuerzo

Concreto		Refuerzo GB1	Refuerzo GB2	Refuerzo ST	Refuerzo GB1	Refuerzo GB2	Refuerzo ST
σ_c (Mpa)	ϵ_c (m)	σ_s (Mpa)	σ_s (Mpa)	σ_s (Mpa)	ϵ_s	ϵ_s	ϵ_s
21,9	0,00108	420	120,9	225	0,07706	0,0006	0,00031

Nota. Valores de esfuerzos y deformaciones ante el caso de carga máxima. Los términos se encuentran descritos en el glosario.

Tabla 11

Ancho de fisuras próximos a la armadura

Refuerzo GB1	Refuerzo GB2	Refuerzo ST
w(mm)	w(mm)	w(mm)
17,714	0	0,612

Nota. Valores de ancho de fisuras ante el caso de carga máxima. Los términos se encuentran descritos en el glosario.

Caso de carga actuante: D+L

Tabla 12

Deformaciones y ancho de fisura por servicio

uzst (mm)	uzlt (mm)	Δuz (mm)	Flecha (mm)	Refuerzo GB1 w(mm)
10,1	4,2	7	11,2	0,113

Nota. Valores de ancho de fisuras ante el caso de carga máxima. Los términos se encuentran descritos en el glosario.

Resultados de parámetros fundamentales de análisis de la sección rectangular

Los valores presentados a continuación son tres parámetros fundamentales obtenidos de las condiciones de análisis por E.L.U y E.L.S que servirán como punto de referencia para las comparar con los otros casos de estudio:

Tabla 13

Parámetros base

Carga max (kN/m)	Ancho de fisura (mm)	Deflexión (mm)
20,5	0,113	11,2

Nota. Parámetros base viga rectangular. Los términos se encuentran descritos en el glosario.

4.3. Viga Tee

4.3.1. Propiedades de la viga patrón a nivel de la sección tee

La viga tee sin perforaciones que se analiza en esta sección presenta las siguientes dimensiones: H: 525 mm, b: 500 mm, bw: 150 mm y hf: 50 mm. Tiene una longitud de 7 m y servirá como punto de referencia y comparación con las diferentes patrones de perforaciones.

4.3.2. Comportamiento de la viga de control ante los casos de carga

Los valores presentados a continuación son los resultados obtenidos al evaluar la viga tee de control ante diferentes casos de carga. Se han destacado los parámetros de análisis de esfuerzo, deformación, ancho de fisura y deflexión.

Caso de carga: 1.2D + 1.6L

Tabla 14

Esfuerzos y deformaciones unitarias del hormigón y acero de refuerzo

Concreto		Refuerzo GB1	Refuerzo GB2	Refuerzo ST	Refuerzo GB1	Refuerzo GB2	Refuerzo ST
σ_c (Mpa)	ϵ_c (m)	σ_s (Mpa)	σ_s (Mpa)	σ_s (Mpa)	ϵ_s	ϵ_s	ϵ_s
12,5	0,00052	344,7	56,8	182,2	0,0016	0,00029	0,0002

Nota. Valores de esfuerzos y deformaciones ante el caso de carga 1.2D+1.6L. Los términos se encuentran descritos en el glosario.

Tabla 15

Ancho de fisuras próximos a la armadura

Refuerzo GB1	Refuerzo GB2	Refuerzo ST
w(mm)	w(mm)	w(mm)
0,141	0	0,122

Nota. Valores de ancho de fisuras ante el caso de carga 1.2D+1.6L. Los términos se encuentran descritos en el glosario.

Caso de carga: Carga máx.

Tabla 16

Esfuerzos y deformaciones unitarias del hormigón y acero de refuerzo

Concreto		Refuerzo GB1	Refuerzo GB2	Refuerzo ST	Refuerzo GB1	Refuerzo GB2	Refuerzo ST
σ_c (Mpa)	ϵ_c (m)	σ_s (Mpa)	σ_s (Mpa)	σ_s (Mpa)	ϵ_s	ϵ_s	ϵ_s
26	0,00313	420	186.1	226	0,0302	0,00037	0,00031

Nota. Valores de esfuerzos y deformaciones ante el caso de carga máxima. Los términos se encuentran descritos en el glosario.

Tabla 17

Ancho de fisuras próximos a la armadura

Refuerzo GB1	Refuerzo GB2	Refuerzo ST
w(mm)	w(mm)	w(mm)
3,194	0	0,178

Nota. Valores de ancho de fisuras ante el caso de carga máxima. Los términos se encuentran descritos en el glosario.

Caso de carga actuante: D+L

Tabla 18*Deformaciones y ancho de fisura por servicio*

uzst (mm)	uzlt (mm)	Δ uz (mm)	Flecha	Refuerzo GB1 W(mm)
12,1	6,2	7,6	13,8	0,070

Nota. Valores de ancho de fisuras ante el caso de carga máxima. Los términos se encuentran descritos en el glosario.

Resultados de parámetros fundamentales de análisis de la sección tee

Los valores presentados a continuación son tres parámetros fundamentales obtenidos de las condiciones de análisis por E.L.U y E.L.S que servirán como punto de referencia para las comparar con los otros casos de estudio:

Tabla 19*Parámetros a analizar*

Carga Max (kN/m)	Ancho de fisura (mm)	Deflexión (mm)
19,2	3,194	13,8

Nota. Parámetros base viga tee.

4.3.3. Análisis general viga rectangular

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del análisis y evaluación de los diferentes casos de perforaciones analizados, en relación con el diagrama de flujo que se muestra en la *Figura 39*.

Durante la evaluación general, se ha determinado que, **a medida que aumenta el diámetro de la perforación, disminuye la resistencia de la sección**, lo que indica una pérdida en su capacidad. Es importante destacar que esta **pérdida es muy pequeña hasta alcanzar perforaciones de 75 mm**. Sin embargo, al superar este tamaño, la variación va en un rango de alrededor del 4% al 30%, en el caso de las peores condiciones. Es relevante

mencionar que, **para la perforación máxima de 400 mm, ubicado en la región de 0 a L/4, se excede lo establecido en las normativas. En consecuencia, la sección ya no puede generar una falla dúctil y está controlada directamente por una falla a compresión.**

Además, mediante el análisis numérico se destaca que la carga máxima que la viga puede soportar es directamente proporcional al ancho de fisura.

Por último, en cuanto al parámetro de deflexión, los resultados del análisis muestran que casi todas las secciones cumplen con la condición de servicio de L/480 (ACI 318-19 Tabla 24.2.2), con la excepción del caso cuya perforación presenta un diámetro de 400 mm ubicado en la región de L/4 cuya deflexión es de 15.5 mm.

4.3.4. Análisis general viga tee

A continuación, se describe los resultados obtenidos tras el análisis y evaluación de los diferentes casos de perforaciones analizados en función al diagrama de flujo presentando anteriormente en la *Figura 39*.

Durante la investigación de los casos de perforación, se ha observado una relación directa entre el diámetro del embebido y la resistencia. Se ha detectado una disminución en la capacidad de carga a medida que aumenta el diámetro del embebido en comparación con la viga de control. Este efecto es más evidente en diámetros de 75 a 100 mm, pero puede llegar a ser de hasta un 8% en perforaciones de 300 mm en zonas específicas. Es importante destacar que **las perforaciones con un diámetro de 100 mm o más no cumplen con las normativas establecidas y podrían causar una falla por compresión en lugar de una falla dúctil.**

A medida que aumenta el diámetro y la pérdida de capacidad de carga de la viga, se observa un incremento en el ancho de las fisuras. Además de eso, en cuanto a la metodología

de análisis de carga utilizada en la viga en cuestión, **se impuso una restricción específica: se limitó la deformación máxima del hormigón a 0.0035 y la del acero de refuerzo a 0.09.**

En relación a su uso en condiciones operativas, se ha revelado mediante el estudio que, en ciertas situaciones (en el extremo y en el cuarto de la longitud de la viga), con un diámetro nominal de 300 mm, la deflexión alcanza los 14.6 mm. Este valor supera la condición de servicio diseñada ($L/480$) y, por lo tanto, podría considerarse como inadecuado para su aplicación en esas condiciones específicas.

4.4. Análisis de la variabilidad en función del diámetro de perforación y punto de ubicación

Durante el análisis realizado, se logró tabular una serie de datos que describen el comportamiento de los distintos casos de perforaciones analizadas. Las principales características que los diferencian son la ubicación de la perforación a lo largo del eje longitudinal de la viga y la variación en el diámetro de las mismas. Es importante destacar que el eje longitudinal de la viga se dividió en cinco regiones de análisis, las cuales comprenden los siguientes rangos.

Figura 41

Distribución de las regiones de perforación



Nota. Regiones de perforaciones.

Cada región abarca diferentes casos de análisis en función de diámetro de perforación considerado, es así que mediante un análisis estadístico de un conjunto de 40 casos de

perforaciones estudiadas se logro tabular y definir el comportamiento ante la variabilidad de carga, deformaciones unitarias, deflexiones y anchos de fisura; en función del diámetro y región de perforación, a continuación, se describe los resultados obtenidos:

4.4.1 Pérdida de capacidad de carga

Viga Rectangular

Tabla 20

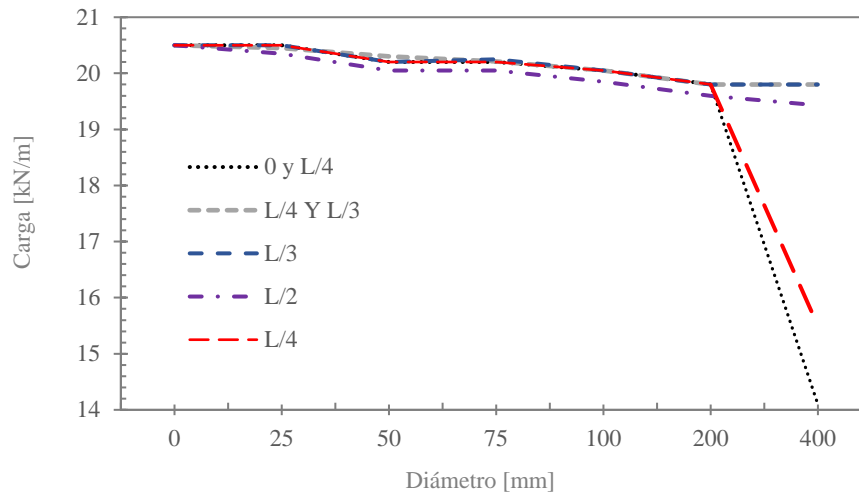
Carga vs Diámetro en función de la región viga rectangular

Φ (mm)	Región de perforación				
	0 a L/4	L/4	L/4 a L/3	L/3	L/2
0	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5
25	20,5	20,5	20,45	20,5	20,35
50	20,2	20,2	20,3	20,2	20,05
75	20,2	20,2	20,213	20,25	20,05
100	20,05	20,05	20,05	20,05	19,85
200	19,8	19,8	19,8	19,8	19,6
400	14,1	15,5	19,8	19,8	19,43

Nota: Valores de perdida de carga obtenidos en la evaluación presente.

Figura 42

Diagrama de pérdida de carga relacionado con el diámetro de perforación viga rectangular



Nota: Diagrama de distribución de la pérdida de capacidad de carga de la viga en función a la variabilidad de la región de perforación.

La gráfica que se muestra a continuación describe el comportamiento que tiene una viga al generar perforaciones que van desde los 25 mm a 400 mm en cada una de las regiones predefinidas en el estudio, como se puede observar las líneas de tendencia son muy similares en cuanto a la pérdida de capacidad de carga hasta llegar a una perforación de 200 mm, a partir de ello decrece significativamente la capacidad de los casos de análisis. Es destacable mencionar que en la región de 0 a L/4 el comportamiento de los casos ubicados en esta zona es el que presenta la mayor pérdida de capacidad cuando alcanza diámetros de perforación superior a los 200 mm, lo cual es lógico ya que en dicha zona junto a los apoyos se encuentran los mayores cortantes, direccionando a tener una falla prematura controlada por el corte.

Si se observa la línea de color morado correspondiente a la región de central, se logra establecer que la pérdida de capacidad es progresiva a medida que aumentan los diámetros de perforación, lo mismo sucede con la región de L/4 a L/3, sin embargo, en función al

comportamiento de las líneas de tendencia azul y gris se establece que la mejor zona de perforación comprende los tercios de la viga.

Tabla 21

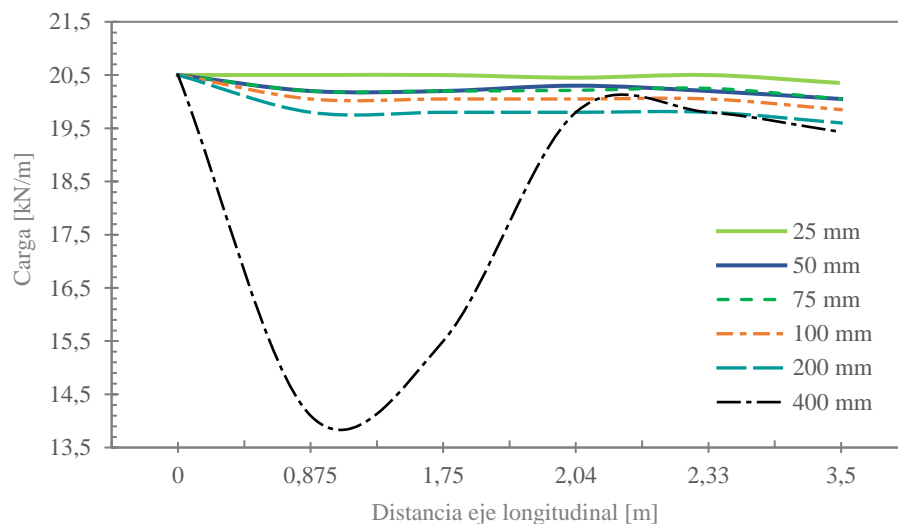
Carga vs Región en función del diámetro viga rectangular

Ubicación (m)	Diámetro de perforación (mm)					
	25 mm	50 mm	75 mm	100 mm	200 mm	400 mm
0	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5
0,875	20,5	20,2	20,2	20,05	19,8	14,1
1,75	20,5	20,2	20,2	20,05	19,8	15,5
2,04	20,45	20,3	20,213	20,05	19,8	19,8
2,33	20,5	20,2	20,25	20,05	19,8	19,8
3,5	20,35	20,05	20,05	19,85	19,6	19,43

Nota: Valores de pérdida de carga obtenidos en la evaluación presente.

Figura 43

Diagrama de pérdida de carga relacionado con la región de perforación viga rectangular



Nota: Diagrama de distribución de la pérdida de capacidad de carga de la viga en función a la variabilidad del diámetro de perforación.

Los resultados recopilados y representados en el gráfico permiten comprender la variación en la pérdida de capacidad de carga a medida que aumenta el diámetro de perforación o embebido en las diferentes regiones establecidas durante el análisis. Es importante destacar que a medida que aumenta la perforación, la capacidad de carga disminuye proporcionalmente.

Se define que, dentro del rango de perforación de 25 mm a 200 mm, las líneas de tendencia son similares, aunque presentan una diferencia en la carga perdida de aproximadamente un 4,4% en comparación con la viga patrón.

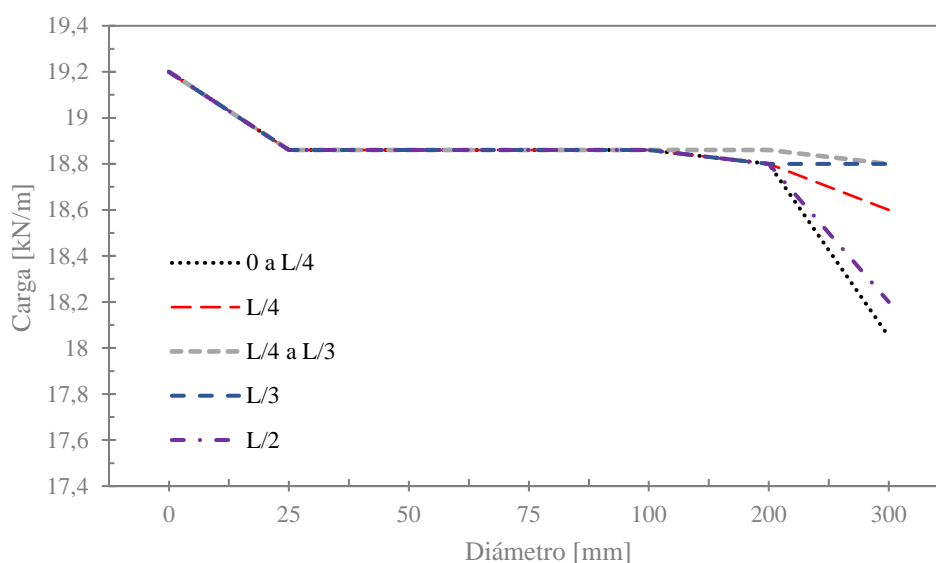
Si se enfocan en los diámetros de perforación más utilizados en el ámbito de la construcción, específicamente en el paso de instalaciones, se puede destacar lo siguiente: para embebidos de 25 mm, la pérdida de capacidad es aproximadamente del 0,7%. En el caso de embebidos de 50 mm y 75 mm, que son los más comunes, la pérdida de capacidad se sitúa alrededor del 2,2%. Para embebidos de 100 mm, que son típicos en bajantes sanitarias, la pérdida de capacidad es del 3,2%. Como se observa, si la perforación se realiza a nivel de los tercios y se considera un diámetro de hasta 75 mm, la pérdida de capacidad es mínima. Por otro lado, si se aprecia la línea punteada que representa el diámetro de perforación de 400 mm, podemos apreciar que las pérdidas de carga pueden alcanzar alrededor del 31,2% si esta se encuentra ubicada en la región de 0 a $L/4$. Esto constituye una afectación crítica para una viga con dicha configuración.

Viga Tee

Tabla 22*Carga vs Diámetro en función de la región*

Φ (mm)	Región de perforación				
	0 y L/4	L/4	L/4 y L/3	L/3	L/2
0	19,2	19,2	19,2	19,2	19,2
25	18,86	18,86	18,86	18,86	18,86
50	18,86	18,86	18,86	18,86	18,86
75	18,86	18,86	18,86	18,86	18,86
100	18,86	18,86	18,86	18,86	18,86
200	18,8	18,8	18,86	18,8	18,8
300	18,05	18,6	18,8	18,8	18,2

Nota: Valores de pérdida de carga obtenidos en la evaluación presente.

Figura 44*Diagrama de pérdida de carga relacionado con el diámetro de perforación viga tee*

Nota: Diagrama de distribución de la pérdida de capacidad de carga de la viga en función a la variabilidad de la región de perforación.

En la gráfica anterior se puede observar el comportamiento de la viga al estar sujeta a perforaciones de diámetros que van desde 25 mm a 400 mm en las regiones previamente definidas. Se puede apreciar que las líneas de tendencia en cuanto a la pérdida de capacidad son muy similares hasta llegar a una perforación de 200 mm, a partir de la cual se ve un

decrecimiento más significativo. **En las 2 secciones de estudio se destaca que el peor comportamiento se observa en la región de 0 a L/4**, lo cual es lógico ya que es la zona donde se concentran los esfuerzos de corte con mayor intensidad, lo que provoca una falla prematura a corte.

Si se observa detenidamente, se puede notar que la región de color gris tuvo el mejor desempeño en términos de pérdida de capacidad para los diferentes diámetros de perforación. Esto lleva a deducir que, para este tipo de viga, la ubicación ideal sería entre L/4 y L/3. De esta forma, se verifica lo que establecen las normativas previamente citadas.

Tabla 23

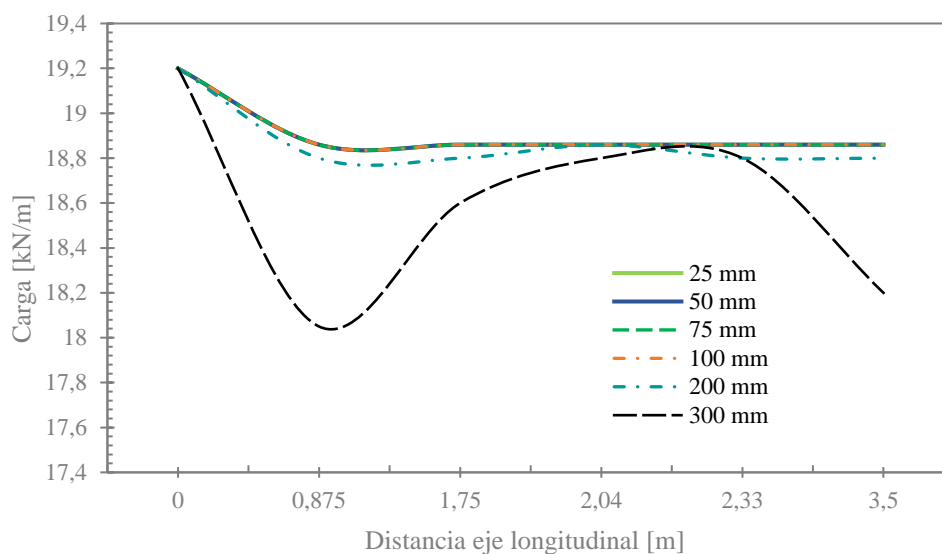
Carga vs Región en función del diámetro viga tee

Ubicación (m)	Diámetro de perforación (mm)					
	25	50	75	100	200	300
0	19,2	19,2	19,2	19,2	19,2	19,2
0,875	18,86	18,86	18,86	18,86	18,8	18,05
1,75	18,86	18,86	18,86	18,86	18,8	18,6
2,04	18,86	18,86	18,86	18,86	18,86	18,8
2,33	18,86	18,86	18,86	18,86	18,8	18,8
3,5	18,86	18,86	18,86	18,86	18,8	18,2

Nota: Valores de pérdida de carga obtenidos en la evaluación presente.

Figura 45

Diagrama de pérdida de carga relacionado con la región de perforación viga tee.



Nota: Diagrama de distribución de la pérdida de capacidad de carga de la viga en función a la variabilidad del diámetro de perforación.

Esta gráfica ofrece información acerca de cómo el incremento del diámetro de las perforaciones en la viga afecta su capacidad de carga en distintas posiciones. Se puede observar que, en general, a medida que el diámetro aumenta, la capacidad de carga disminuye. Sin embargo, se ha notado que, en perforaciones con un diámetro entre 25 y 200 mm, la pérdida de capacidad es mínima, apenas llega al 2.3% en comparación con la viga patrón. Para perforaciones de 200 mm, se puede observar un cambio más significativo en la resistencia de la viga, ya que la pérdida es de aproximadamente el 4%. Sin embargo, en el caso de la perforación de 300 mm, que se considera una patología, la viga pierde hasta un 10% de su capacidad en comparación con la viga patrón.

4.4.2 Deformación unitaria del acero

Viga Rectangular

El comportamiento del hormigón armado depende de las propiedades del acero de refuerzo y del hormigón mismo. Durante la investigación realizada, se analizaron vigas de

hormigón armado con perforaciones utilizando el módulo Detail del software IdeaStática.

Los resultados obtenidos en términos de deformaciones unitarias del acero de refuerzo se calibraron iterativamente para limitarlas a un 0.35%, considerando la deformación unitaria del hormigón. Esto se debe a que el software de diseño contempla un amplio rango de deformación del hormigón, llegando incluso a una deformación plástica (ϵ_{cu3}) del 5%, lo cual no concuerda con el comportamiento real del hormigón.

En la tabla presente se observa la variabilidad de la deformación unitaria del acero en función al diámetro de perforación característico de cada región.

Tabla 24

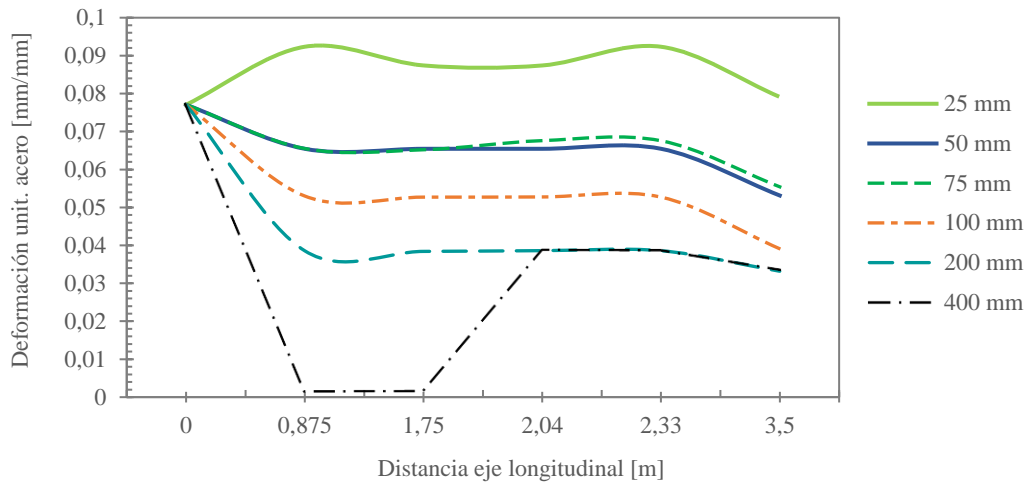
Deformación unit. acero vs. Región en función del diámetro viga rectangular

Ubicación (m)	Diámetro de perforación					
	25 mm	50 mm	75 mm	100 mm	200 mm	400 mm
0	0,07706	0,07706	0,07706	0,07706	0,07706	0,07706
0,875	0,09235	0,06545	0,06551	0,053	0,03856	0,0014
1,75	0,08741	0,06545	0,0652	0,05271	0,03841	0,00156
2,04	0,08741	0,06545	0,0676	0,05276	0,03861	0,03871
2,33	0,09234	0,06545	0,06757	0,05271	0,03859	0,03862
3,5	0,07912	0,05314	0,05543	0,0391	0,03318	0,03348

Nota: Representación numérica de las deformaciones unitarias del acero de refuerzo.

Figura 46

Diagrama deformación unit. acero relacionado con la región de perforación viga rectangular



Nota: Representación gráfica del comportamiento de las deformaciones unitarias del acero en el presente análisis.

La gráfica presente muestra las deformaciones unitarias que experimenta el acero de refuerzo en diferentes regiones y diámetros de análisis. Se observa que las deformaciones unitarias en el eje de las abscisas no superan el 10%, lo cual es apropiado. Además, podemos determinar que a medida que aumenta el diámetro de perforación, las deformaciones unitarias disminuyen debido a un aumento en la pérdida de capacidad, tal como se mostró previamente.

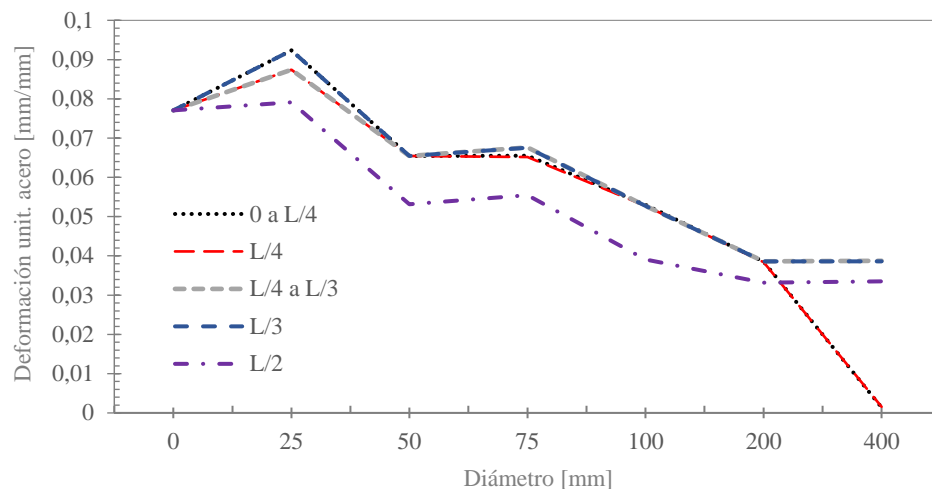
Sin embargo, al analizar la posición de la perforación en distintas regiones, encuentro resultados mixtos. En algunas regiones, las deformaciones unitarias aumentan, mientras que en otras disminuyen. Es importante mencionar que la línea de tendencia de color amarillo, correspondiente a una perforación de 25 mm, muestra que en la región de 0 a $L/4$ y en $L/3$, la deformación unitaria del acero alcanza su límite. En contraste, en los otros diámetros de

perforación, se observa una línea de tendencia constante en el rango de $L/4$ a $L/3$, que luego disminuye al llegar a la zona central de la viga, a una distancia de 3,5 m.

La línea de trazos negros correspondiente a los casos de perforación de 400 mm llama la atención, ya que su comportamiento difiere de los otros casos. Podemos observar que en la región de 0 a $L/4$, esta línea muestra deformaciones unitarias del acero de aproximadamente el 0,01. Anteriormente se ha demostrado que los casos de estudio en la zona de 0 a $L/4$ y con este diámetro no generan una falla dúctil, sino que están controlados por una falla por compresión directa. Esto limita la capacidad de endurecimiento del acero, ya que el hormigón falla antes que el acero.

Figura 47

Diagrama deformaciones unitarias relacionado con el diámetro de perforación viga rectangular



Nota: Representación gráfica del comportamiento de las deformaciones unitarias del acero en el presente análisis.

En la distribución actual de los datos, se determina que la región de perforación en $L/3$ es la más adecuada para generar un embebido. Esto se evidencia en la línea de

tendencia de color naranja, donde las deformaciones unitarias alcanzadas en el acero son óptimas, permitiendo la generación de una falla dúctil de acuerdo al diseño establecido. Esto se logra al tener una perforación de 25 mm. Observamos nuevamente que al perforar cerca de los apoyos y con diámetros grandes, el comportamiento de la viga se ve afectado por fallas de compresión o concentración de esfuerzos de corte, lo cual limita la capacidad de deformación en la zona del refuerzo.

Es importante destacar que las perforaciones en la zona central de la viga muestran una tendencia de disminución progresiva, lo cual establece que la capacidad de carga también es menor para perforaciones de 25 mm a 200 mm en comparación con las otras regiones de estudio.

Viga Tee

Tabla 25

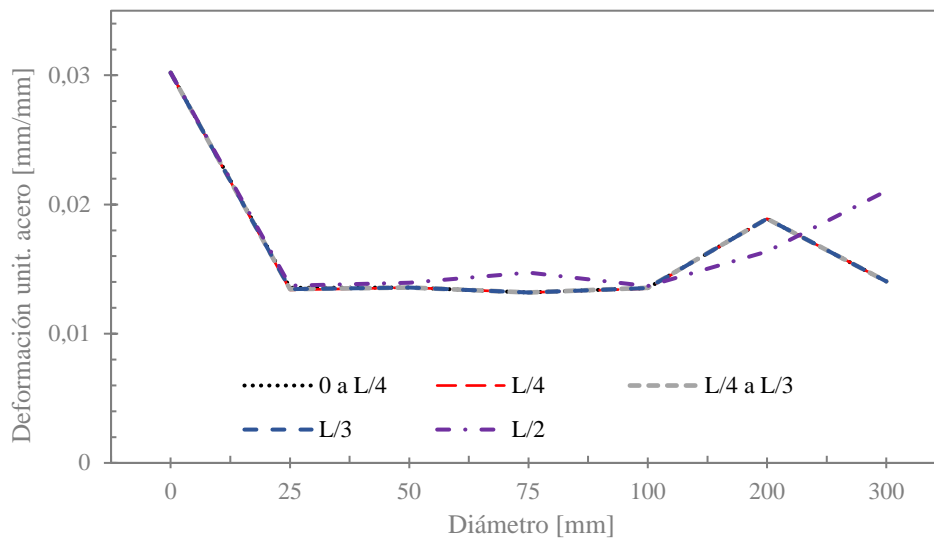
Deformación unit. acero vs. Diámetro de perforación en función de la región viga tee

Φ (mm)	Región de perforación				
	Entre 0 y L/4	L/4	Entre L/4 y L/3	L/3	L/2
0	0,0302	0,0302	0,0302	0,0302	0,0302
25	0,01356	0,01339	0,01344	0,01344	0,01371
50	0,01358	0,01358	0,01358	0,01358	0,01394
75	0,01319	0,01319	0,01319	0,01319	0,01473
100	0,01354	0,0135	0,01355	0,01354	0,01369
200	0,01891	0,0189	0,01891	0,01891	0,01637
300	0,01404	0,01405	0,01404	0,01404	0,02105

Nota: Representación numérica de las deformaciones del acero de refuerzo.

Figura 48

Diagrama deformaciones unitarias relacionado con el diámetro de perforación viga tee



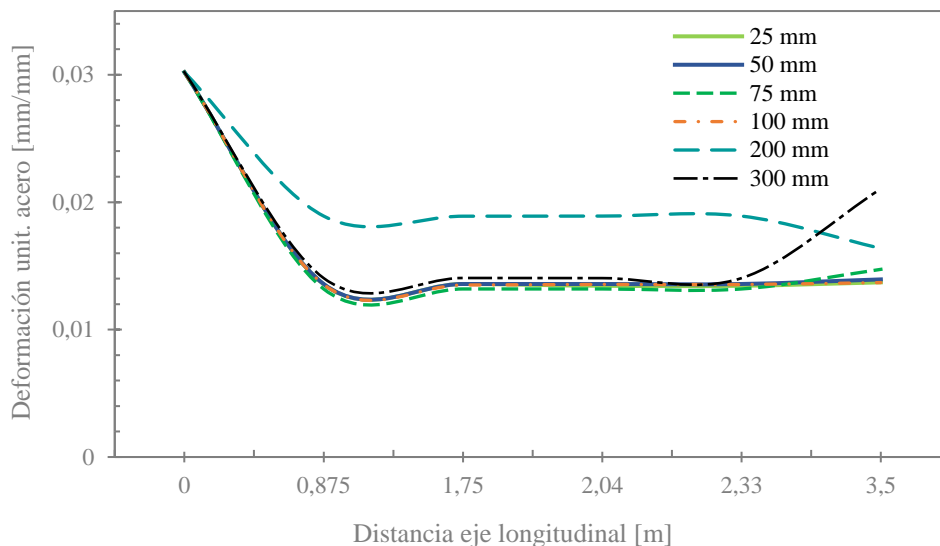
Nota: Representación gráfica de las deformaciones en función de la región.

En el caso específico que se analizó se observó que las deformaciones obtenidas se encuentran dentro del rango de 0,02. Este valor es importante ya que indica el punto en el cual el acero comienza a fluir, siendo también el punto de control. La viga patrón muestra la deformación más significativa, de 0,0302 mm/mm. Al seguir la metodología establecida, se asegura que la deformación máxima del acero sea de 0,09. Sin embargo, es crucial destacar que las deformaciones que no alcanzan el valor de 0,02 nos llevan a una posible situación de fallo frágil.

En cuanto a las regiones con mayores deformaciones, no es fácil apreciar las variaciones a simple vista. No obstante, se puede distinguir que la región en L/2 presenta una mayor deformación en comparación con las otras. Es importante destacar que esta deformación es consecuencia de una sola perforación, a diferencia de las otras regiones que tienen dos perforaciones dispuestas simétricamente.

Figura 49

Diagrama deformación unit. acero relacionado con la región de perforación viga tee



Nota: Representación gráfica del comportamiento de las deformaciones unitarias del acero en el presente análisis.

Como se mencionó anteriormente, las variaciones en la pérdida de la capacidad portante de la viga se observaron hasta diámetros de 200 mm. Es en este diámetro donde se observan las deformaciones más grandes en comparación con los otros diámetros. La perforación para el diámetro de 300 mm está ubicada un poco más abajo, lo cual indica que al superar el diámetro de 200 mm, la viga ya no presenta un diseño dúctil, sino que se produce una falla por compresión, ya que la tendencia en ese momento disminuye en comparación con las otras perforaciones.

En cuanto a la determinación de las regiones con la menor deformación, se observa una tendencia hacia una línea recta entre las zonas que van desde 0 hasta $L/4$ y hasta $L/3$. Esto dificulta la identificación de una región adecuada para realizar el proceso de embebido.

4.4.3 Análisis de resultados a nivel gráfico

4.4.3.1 Optimización topológica viga rectangular

Una vez presentados los resultados y analizado el comportamiento de las regiones y diámetros de perforación, se han definido las recomendaciones más adecuadas para generar un embebido que genere la mínima afectación estructural. Sin embargo, gracias a las facilidades que ofrece el módulo Detail de IdeaStatica, se ha considerado conveniente presentar soluciones viables para los casos de estudio que anteriormente no cumplieron con las condiciones de E.L.U y E.L.S.

En este sentido, se aplicará la acción de optimización topológica, mencionada en el Capítulo II, con el objetivo de generar la mejor distribución de material dentro de la estructura y así mantener su resistencia. Esto se logrará mediante la generación de una distribución adecuada de esfuerzos a nivel de tensores, lo cual es característico del acero de refuerzo. A continuación, se presentarán los casos de análisis sometidos al proceso de optimización topológica.

Tabla 26

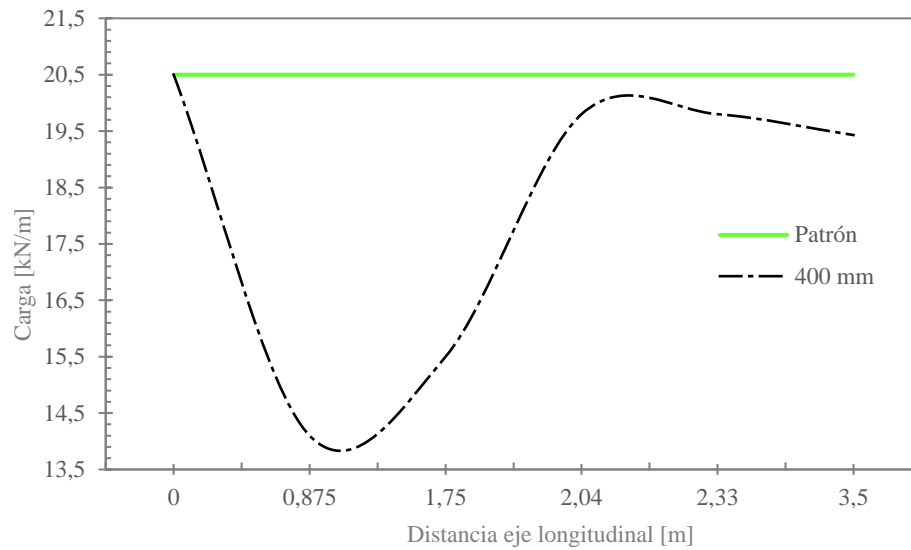
Carga vs Zona en función del diámetro (viga rectangular)

Zona	Caso	Distancia (m)	Carga (kN/m)
Patrón	Patrón	0	20,5
0 y L/4	42	0,875	14,1
L/4	38	1,75	15,5
L/4 a L/3	26	2,04	19,8
L/3	30	2,33	19,8
L/2	34	3,5	19,43

Nota: Representación numérica de la pérdida de capacidad de carga entre la viga patrón y los casos que requiere solución.

Figura 50

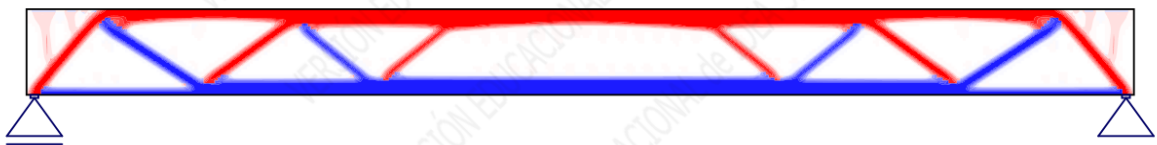
Optimización topológica. Carga vs. Distancia eje longitudinal (viga rectangular)



Nota: Representación viga patrón y vigas con perforación de 400 mm.

Figura 51

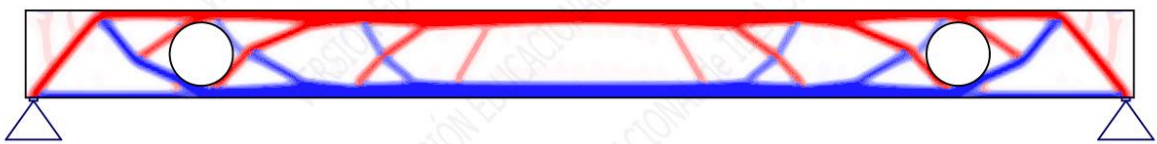
Optimización viga patrón rectangular



Nota: Distribución de líneas de tracción y compresión viga patrón.

Figura 52

Optimización región de 0 a L/4



Nota: Distribución de líneas de tracción y compresión región de 0 a L/4.

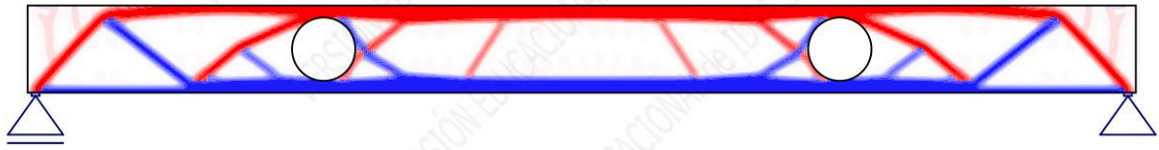
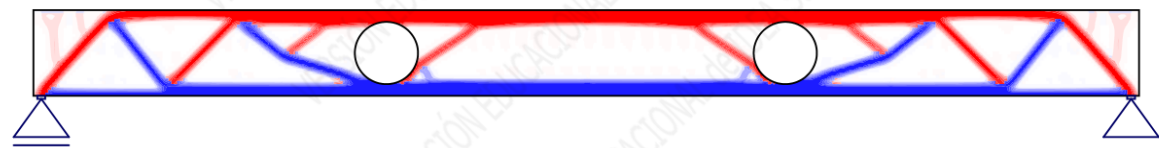
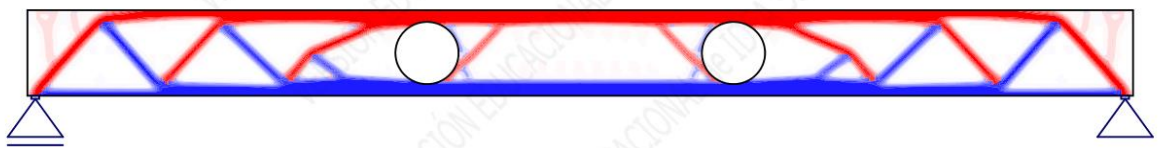
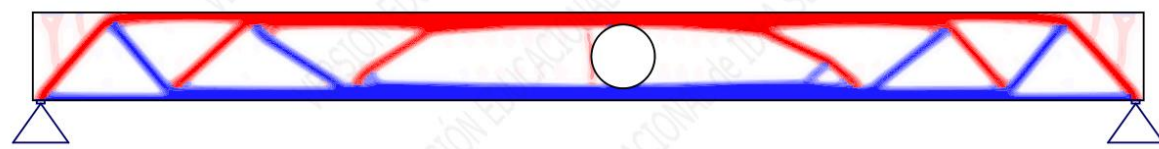
Figura 53*Optimización región L/4**Nota:* Distribución de líneas de tracción y compresión región L/4.**Figura 54***Optimización región de L/4 a L/3**Nota:* Distribución de líneas de tracción y compresión región de L/4 a L/3.**Figura 55***Optimización región L/3**Nota:* Distribución de líneas de tracción y compresión región L/3.**Figura 56***Optimización región L/2**Nota:* Distribución de líneas de tracción y compresión región L/2.

Tabla 27

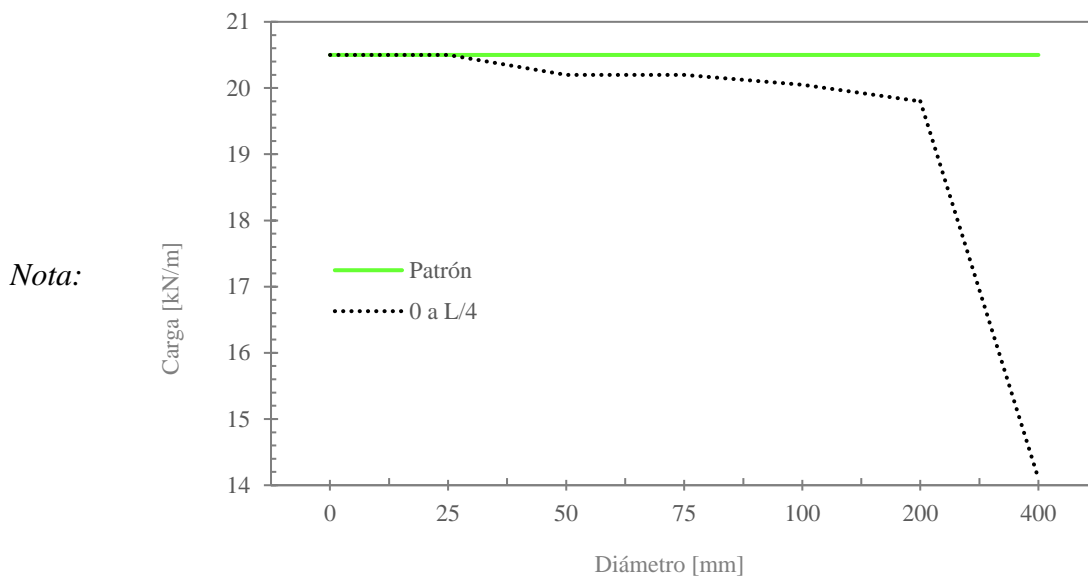
Carga vs Diámetro en función de la zona (viga rectangular)

Φ (mm)	Caso	Región	Carga (kN/m)
-	Patrón	-	20,5
25	20	0 a L/4	20,5
50	22	0 a L/4	20,5
75	39	0 a L/4	20,2
100	40	0 a L/4	20,2
200	41	0 a L/4	20,05
400	42	0 a L/4	19,8

Nota: Representación numérica de la pérdida de capacidad de carga entre la viga patrón y los casos que requiere solución.

Figura 57

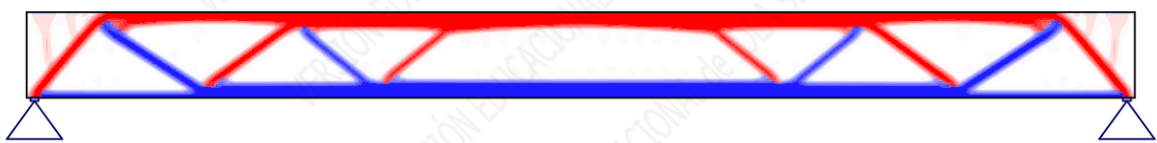
Carga vs Diámetro (Viga patrón rectangular y perforaciones en la región 0 a L/4)



Representación viga patrón y vigas con perforaciones en la región de 0 a L/4.

Figura 58

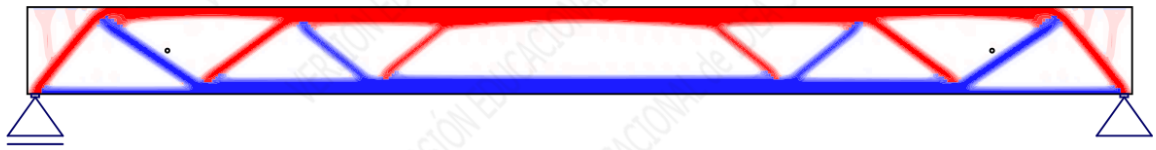
Optimización viga patrón rectangular



Nota: Distribución de líneas de tracción y compresión viga patrón.

Figura 59

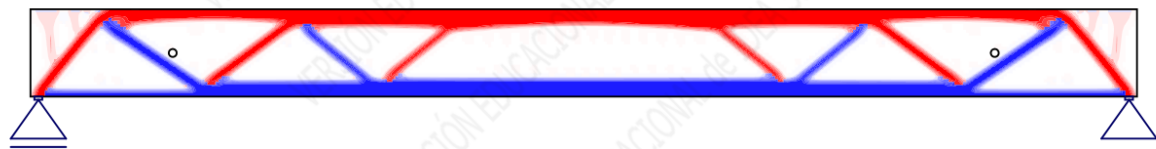
Optimización viga rectangular perforación de 25 mm



Nota: Distribución de líneas de tracción y compresión perforación de 25 mm.

Figura 60

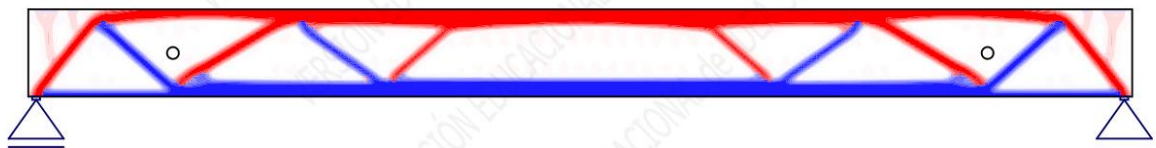
Optimización viga rectangular perforación de 50 mm



Nota: Distribución de líneas de tracción y compresión perforación de 50 mm.

Figura 61

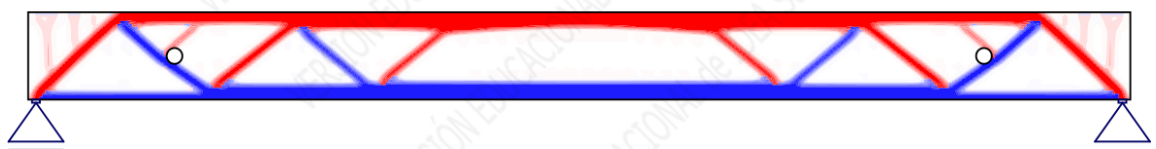
Optimización viga rectangular perforación de 75 mm



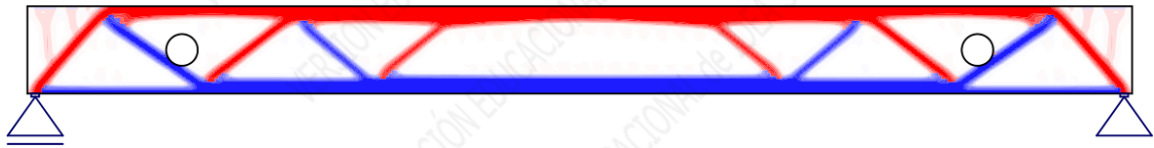
Nota: Distribución de líneas de tracción y compresión perforación de 75 mm.

Figura 62

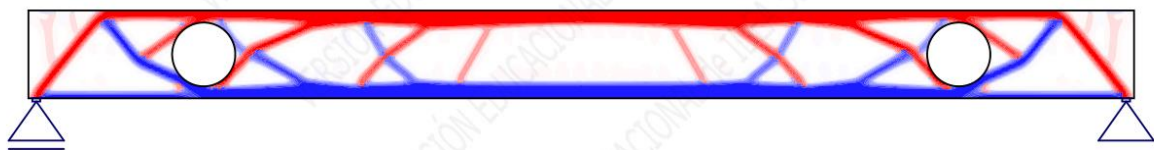
Optimización viga rectangular perforación de 100 mm



Nota: Distribución de líneas de tracción y compresión perforación de 100 mm.

Figura 63*Optimización viga rectangular perforación de 200 mm*

Nota: Distribución de líneas de tracción y compresión perforación de 200 mm.

Figura 64*Optimización viga rectangular perforación de 400 mm*

Nota: Distribución de líneas de tracción y compresión perforación de 400 mm.

Con base en los resultados obtenidos a nivel gráfico, se observa que al analizar la distribución de esfuerzos en puntales y tensores de la viga patrón y compararlos con los casos que incluyen perforaciones de distintos diámetros, se establece que a medida que las perforaciones se acercan a una línea de esfuerzos, ya sea de compresión o tracción, la metodología de optimización topológica redistribuye estos esfuerzos, rodeando el punto de afectación de la viga.

De este modo, esta metodología proporciona soluciones para distribuir los esfuerzos. En este caso, es importante considerar dónde se puede ubicar el acero de refuerzo para mantener la capacidad de la viga. Una posible solución sería tener en cuenta las líneas de tendencia de tracción representadas en azul, con el fin de generar una estructura de fuerza adecuada para las zonas cercanas a las perforaciones.

4.4.3.2 Optimización topológica viga tee

En este apartado, se realizará un análisis gráfico basado en las previas bases estadísticas, con el objetivo de evaluar la pérdida de capacidad de una viga en función de su

diámetro y la zona de perforación. Se determinará el diámetro que genera la mayor pérdida de capacidad y su impacto en las zonas de estudio delimitadas. Asimismo, se identificará la zona que obtuvo los peores resultados y sus efectos en la variación de los diámetros. A través de la herramienta de optimización topológica, se podrá visualizar cómo se distribuyen las líneas de compresión y tensión ante la presencia de perforaciones en su eje transversal.

Tabla 28

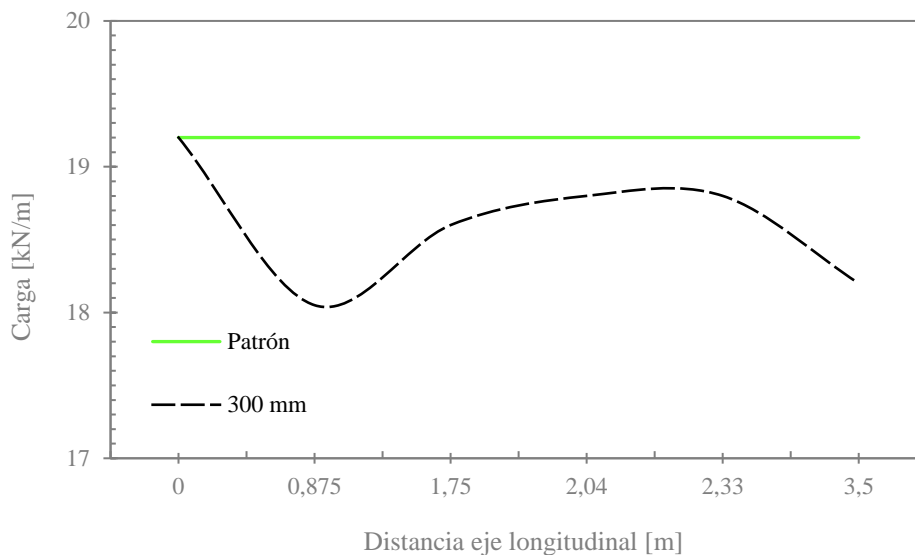
Carga vs Zona en función del diámetro (viga tee)

Zona	Distancia (m)	Carga (kN/m)
-	-	19,2
0 y L/4	0,875	18,05
L/4	1,75	18,6
L/4 y L/3	2,04	18,8
L/3	2,33	18,8
L/2	3,5	18,2

Nota: Representación numérica de la pérdida de capacidad de carga entre la viga patrón y los casos que requiere solución.

Figura 65

Optimización topológica. Carga vs. Distancia eje longitudinal (viga tee)



Nota: Representación viga patrón y viga con perforación de 400 mm.

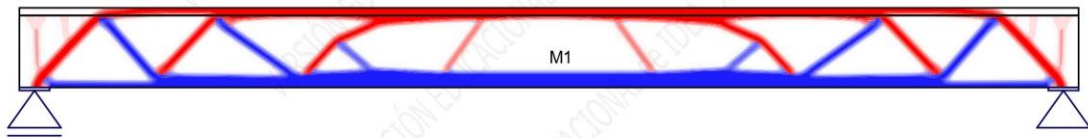
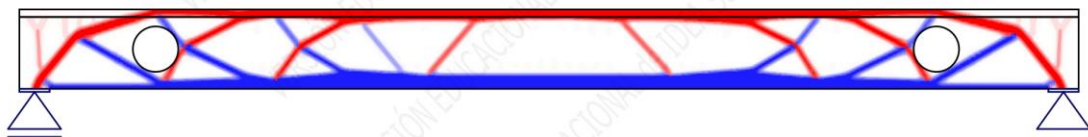
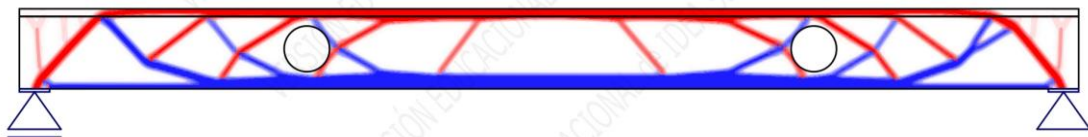
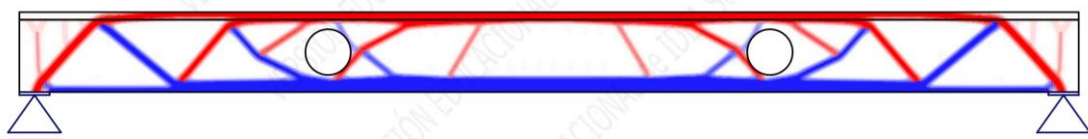
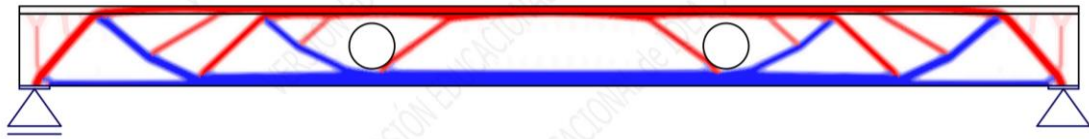
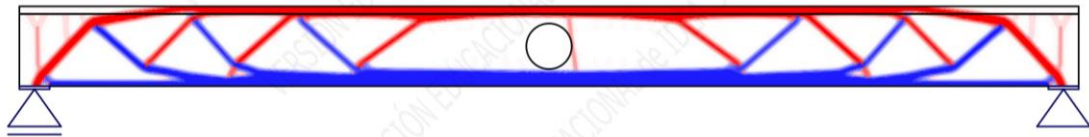
Figura 66*Optimización viga patrón tee**Nota: Distribución de líneas de tracción y compresión viga patrón.***Figura 67***Optimización región 0 a L/4**Nota: Distribución de líneas de tracción y compresión región 0 a L/4.***Figura 68***Optimización región L/4**Nota: Distribución de líneas de tracción y compresión región L/4.***Figura 69***Optimización región L/4 a L/3**Nota: Distribución de líneas de tracción y compresión región entre L/4 a L/3.*

Figura 70*Optimización región L/4*

Nota: Distribución de líneas de tracción y compresión región L/3.

Figura 71*Optimización región L/2*

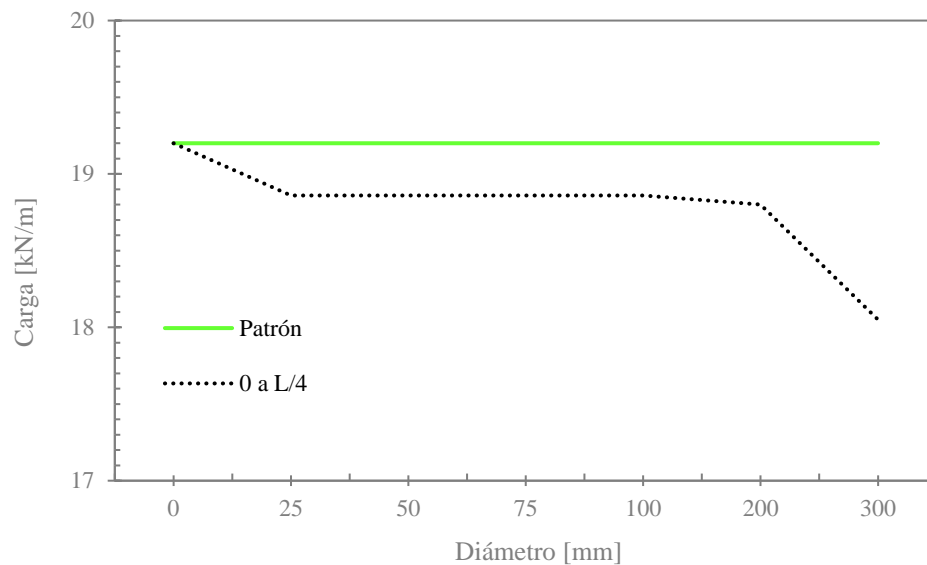
Nota: Distribución de líneas de tracción y compresión región L/2.

Como se puede observar la perforación varía a lo largo de su eje longitudinal y en ciertos puntos van apareciendo más o menos las líneas de compresión y tracción, además cabe recalcar que la finalidad de la optimización topológica es encontrar la forma óptima de material en una estructura, de manera que cumpla con los requisitos de diseño y al mismo tiempo minimice el peso o maximice la rigidez. Se enfoca en la distribución más eficiente del material, eliminando material redundante, para lograr estructuras ligeras y económicas. Es así que gracias a las líneas de tracción representadas por el color azul se identificaría las zonas en donde refuerzos de acero.

Tabla 29*Carga vs Diámetro en función de la zona*

Φ (mm)	Región	Carga (kN/m)
-	-	19,2
25	0 a L/4	18,86
50	0 a L/4	18,86
75	0 a L/4	18,86
100	0 a L/4	18,86
200	0 a L/4	18,8
300	0 a L/4	18,05

Nota: Representación numérica de la pérdida de capacidad de carga entre la viga patrón y los casos que requiere solución.

Figura 72*Carga vs Diámetro (viga patrón tee y perforaciones en la región 0 a L/4)*

Nota: Representación viga patrón y vigas con perforaciones en la región de 0 a L/4.

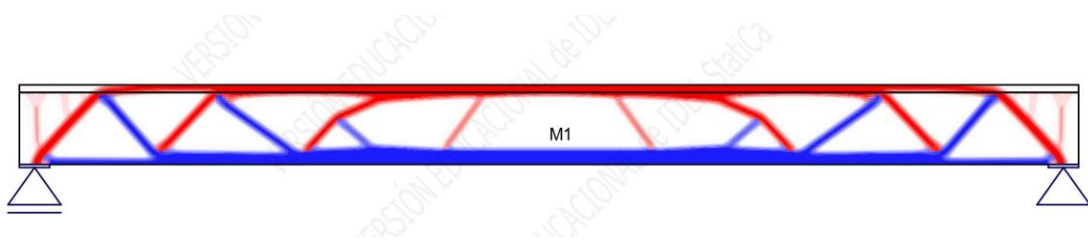
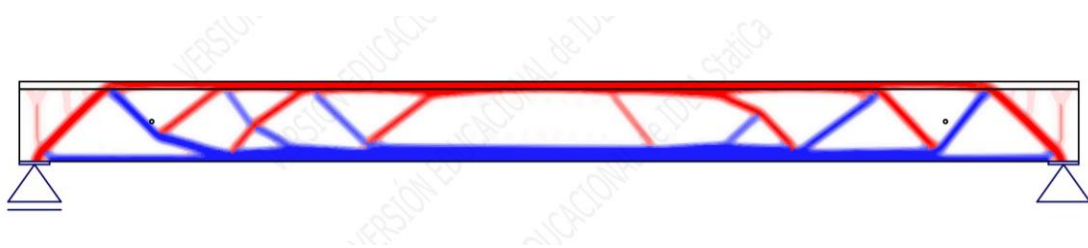
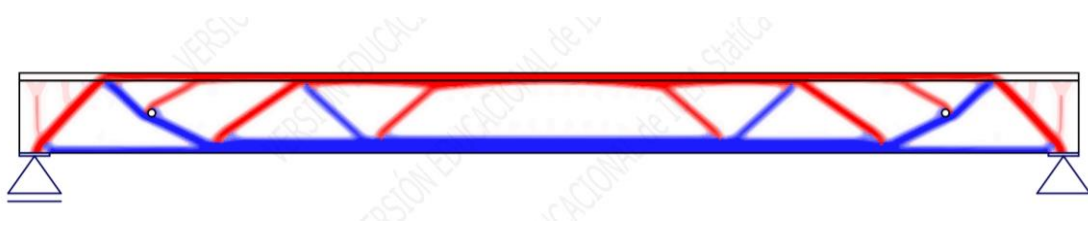
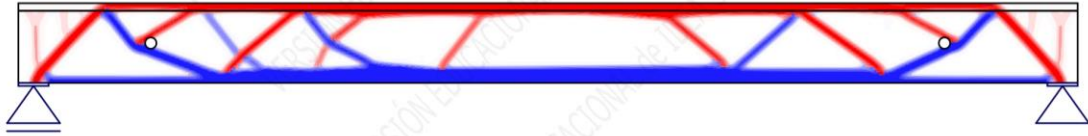
Figura 73*Optimización viga patrón**Nota: Distribución de líneas de tracción y compresión viga patrón.***Figura 74***Optimización viga tee perforación 25 mm**Nota: Distribución de líneas de tracción y perforación 25 mm.***Figura 75***Optimización viga tee perforación 50 mm**Nota: Distribución de líneas de tracción y compresión perforación de 50 mm.*

Figura 76

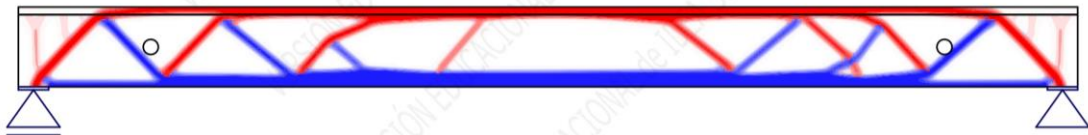
Optimización viga tee perforación 75 mm



Nota: Distribución de líneas de tracción y compresión perforación de 75 mm.

Figura 77

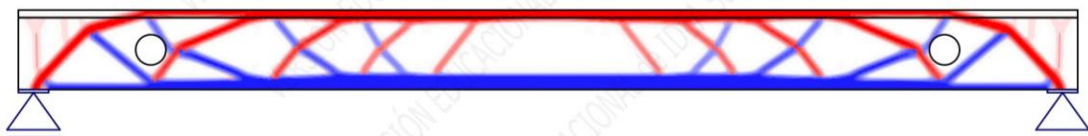
Optimización viga tee perforación 100 mm



Nota: Distribución de líneas de tracción y compresión perforación de 100 mm.

Figura 78

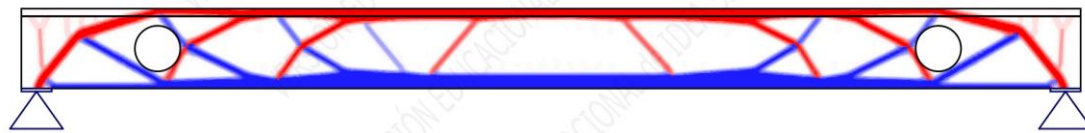
Optimización viga tee perforación 200 mm



Nota: Distribución de líneas de tracción y compresión perforación de 200 mm.

Figura 79

Optimización viga tee perforación 300 mm



Nota: Distribución de líneas de tracción y compresión perforación de 300 mm.

En las gráficas de optimización topológica para perforaciones con diámetros pequeños (25, 50 y 75 mm), se puede observar que las líneas representativas de compresión y tracción rodean la perforación. Sin embargo, en el caso de una perforación de 100 mm, estas líneas pasan por un punto más distante de la ubicación de las perforaciones. Para diámetros de 200 mm y 300 mm, se observan cambios más significativos, ya que aparecen más líneas de compresión y tracción en comparación con los casos anteriores. Además, se evidencian más líneas de compresión y tracción alrededor de las perforaciones, lo cual indica una falta de concentración de esfuerzos en esas zonas.

Estado Limite de Servicio

4.4.4 Flecha por condiciones de servicio

Viga Rectangular

Tabla 30

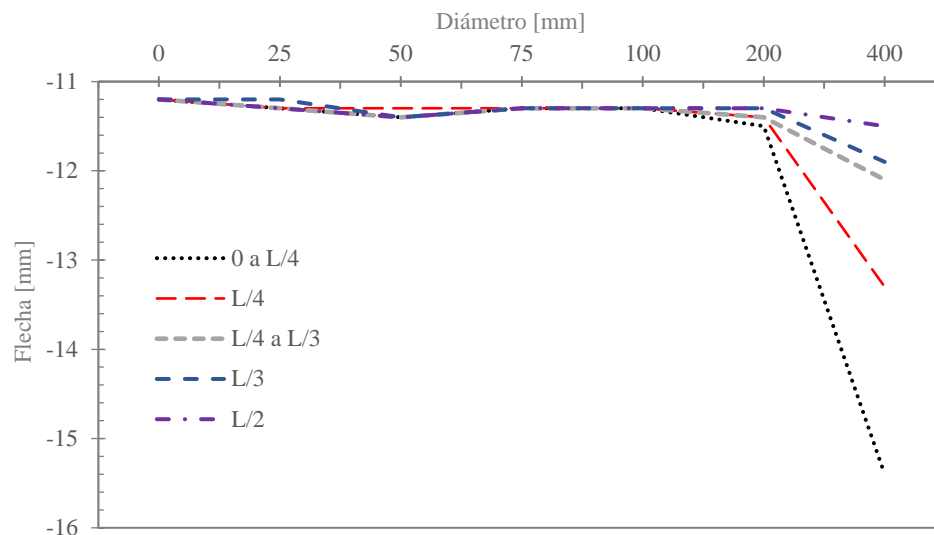
Flecha vs Diámetro en función de la región (viga rectangular)

Φ (mm)	Región de perforación				
	0 a L/4	L/4	L/4 a L/3	L/3	L/2
0	-11,2	-11,2	-11,2	-11,2	-11,2
25	-11,3	-11,3	-11,3	-11,2	-11,3
50	-11,4	-11,3	-11,4	-11,4	-11,4
75	-11,3	-11,3	-11,3	-11,3	-11,3
100	-11,3	-11,3	-11,3	-11,3	-11,3
200	-11,5	-11,4	-11,4	-11,3	-11,3
400	-15,4	-13,3	-12,1	-11,9	-11,5

Nota: Representación numérica de las deflexiones producidas.

Figura 80

Diagrama de la flecha relacionado con el diámetro de perforación (viga rectangular)

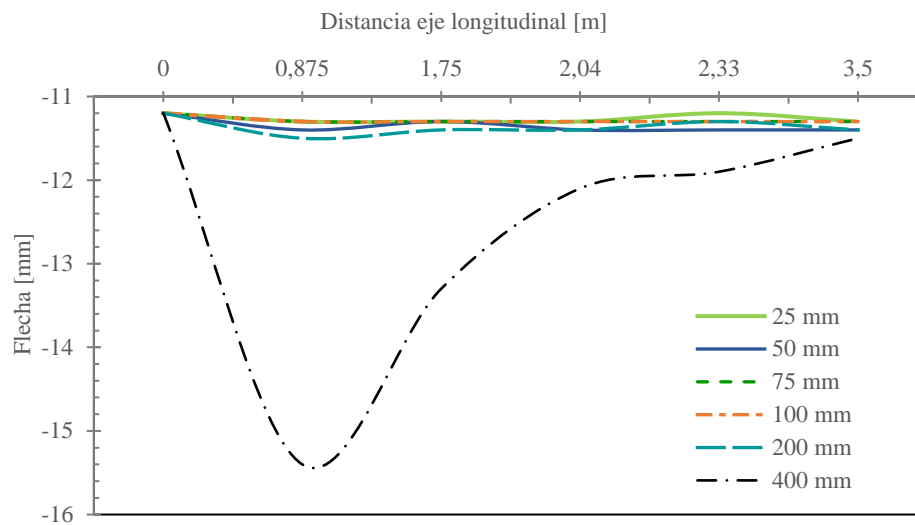


Nota: Representación gráfica del comportamiento de las flechas por servicio en el presente análisis.

En cuanto al servicio, es necesario limitar la flecha de las vigas de estudio a un valor de $L/480$, que numéricamente equivale a 14,58 mm. La gráfica y tabla previas muestran que todos los casos de estudio, excepto el caso 38 de una perforación de 400 mm en la región de 0 a $L/4$, cumplen con esta restricción de flecha bajo las condiciones de carga $D+L$. Es interesante notar que la línea de tendencia correspondiente a la región de perforación en $L/2$ presenta las deflexiones más pequeñas, lo cual es lógico debido a la menor capacidad de carga en diámetros de 25 mm a 200 mm, como se mencionó anteriormente. **Además, se observa que la flecha es muy similar en todas las regiones para perforaciones de 25 mm a 200 mm, con una variación solo cuando se supera este rango de diámetros.**

Figura 81

Diagrama de la flecha relacionado con la región de perforación (viga rectangular)



Nota: Variación de la flecha en función a los diámetros de perforación.

Observamos que la línea punteada de color negro, que indica un diámetro de perforación de 400 mm, presenta las mayores desviaciones. Sin embargo, es importante destacar que estas desviaciones exceden el nivel de servicio cuando se ubican perforaciones en la región de 0 a $L/4$. Por lo tanto, es evidente que esta zona no es la más adecuada para generar una perforación, basándonos en los resultados obtenidos hasta ahora.

Viga Tee

Tabla 31

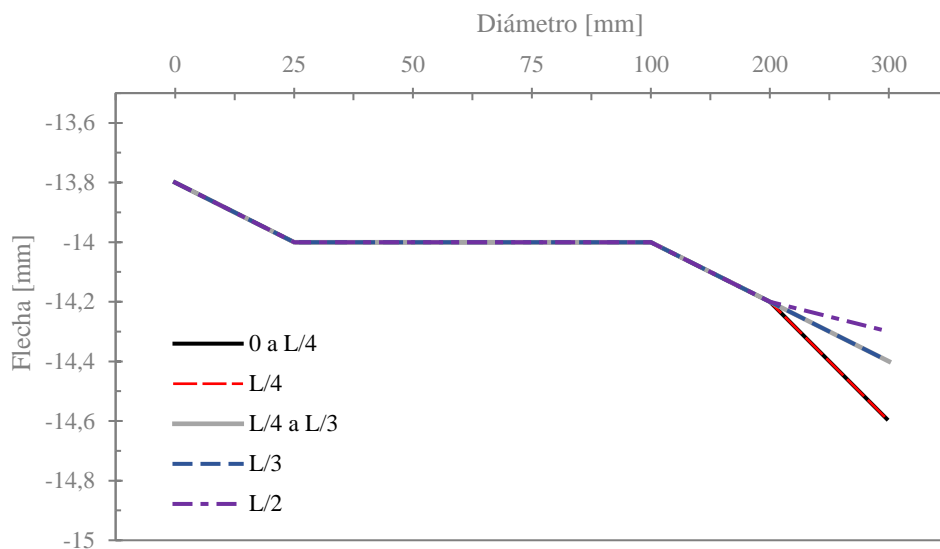
Flecha vs Diámetro en función de la región (viga tee).

Φ (mm)	Región de perforación				
	0 y $L/4$	$L/4$	$L/4$ y $L/3$	$L/3$	$L/2$
0	-13,8	-13,8	-13,8	-13,8	-13,8
25	-14	-14	-14	-14	-14
75	-14	-14	-14	-14	-14
50	-14	-14	-14	-14	-14
100	-14	-14	-14	-14	-14
200	-14,2	-14,2	-14,2	-14,2	-14,2
300	-14,6	-14,6	-14,4	-14,4	-14,3

Nota: Representación numérica de las deflexiones producidas.

Figura 82

Diagrama de la flecha relacionado con el diámetro de perforación (viga tee).



Nota: Representación gráfica del comportamiento de las flechas por servicio en el presente análisis.

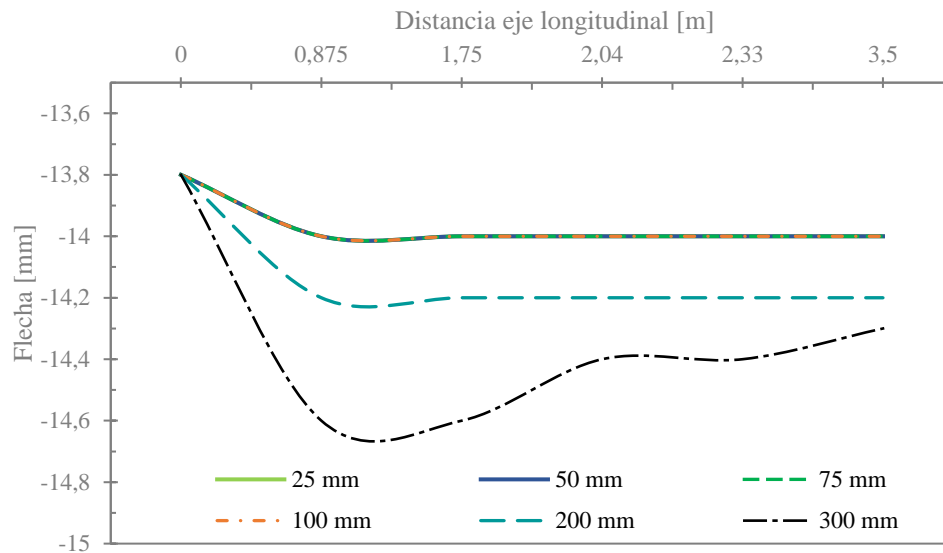
Para garantizar una calidad de servicio adecuada, es importante que las vigas diseñadas cumplan con ciertas especificaciones de flecha. En particular, el capítulo 22 del ACI318-19 establece que esta flecha debe limitarse a $L/480$ (es decir, 14.56 mm). Al observar la tabla y gráfica previas, se puede comprobar que este criterio se cumple en la mayoría de los casos. Sin embargo, es importante mencionar que existen dos situaciones puntuales, ubicadas dentro de la zona de entre 0 y $L/4$ y $L/4$ respectivamente, en las que se cuenta con perforaciones de 300 mm de diámetro nominal y que cumple con la norma pues alcanzan un valor de 14.6 mm.

Se puede observar que entre los diámetros de 25 - 100 mm, no se registran variaciones en la flecha, ya que en todos estos casos esta alcanza un valor de 14 mm. Solo en

las perforaciones de 200 mm se registra un aumento de 0.2 mm en la flecha, aunque este cambio no es significativo.

Figura 83

Diagrama de la flecha relacionado con la región de perforación (viga tee)



Nota: Variación de la flecha en función a los diámetros de perforación.

De acuerdo a la gráfica presentada, no es posible identificar claramente la zona más adecuada para la perforación en diámetros de 25 mm a 200 mm, ya que la perforación a lo largo de la viga produjo el mismo resultado. Por otro lado, en el caso de perforaciones de 300 mm se puede observar una variación en la flecha, lo que indica que la posición óptima se encuentra en el rango de $L/4$ a $L/3$.

4.4.5 Ancho de fisuras por condiciones de servicio

Viga Rectangular

Tabla 32

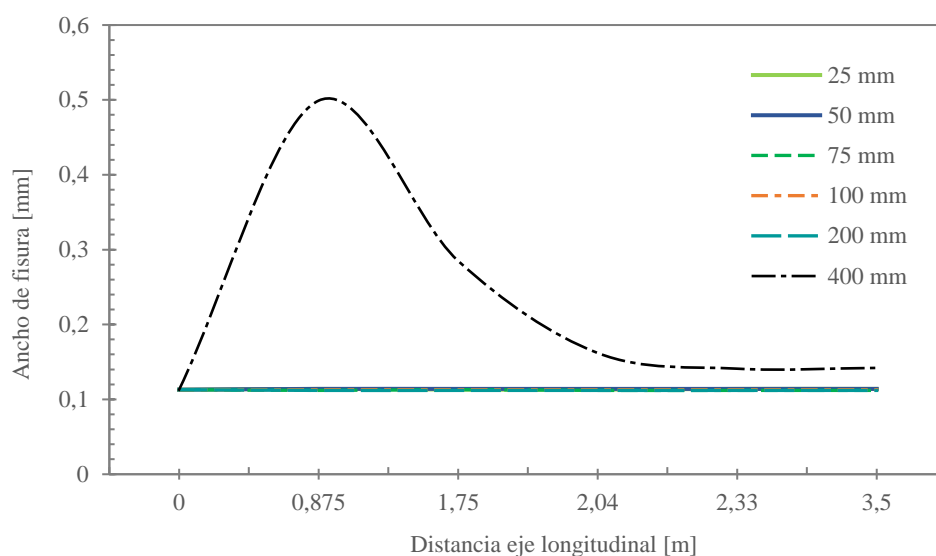
Ancho de fisura vs Región en función del diámetro (viga rectangular)

Ubicación (m)	Diámetro de perforación					
	25 mm	50 mm	75 mm	100 mm	200 mm	400 mm
0	0,113	0,113	0,113	0,113	0,113	0,113
0,875	0,114	0,114	0,112	0,113	0,112	0,499
1,75	0,113	0,114	0,113	0,113	0,112	0,285
2,04	0,113	0,114	0,112	0,113	0,112	0,162
2,33	0,114	0,114	0,112	0,113	0,112	0,141
3,5	0,114	0,114	0,112	0,113	0,112	0,142

Nota: Representación numérica del ancho de fisura producido.

Figura 84

Diagrama del ancho de fisura relacionado con la región de perforación (viga rectangular)



Nota: Variación del ancho de fisura en función de los diámetros de perforaciones.

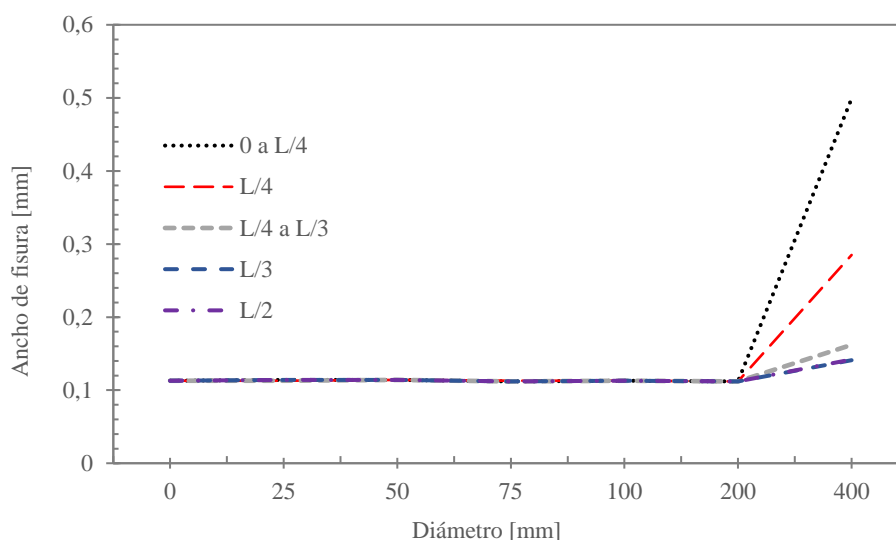
Para evaluar el ancho de fisura, es importante tener en cuenta que el software IdeaStática, en su módulo Detail, implementa una metodología de cálculo basada en las direcciones principales de tensión y deformación. Esta metodología permite determinar la inclinación de las grietas y proyectar el ancho de la fisura en la dirección de la barra de refuerzo.

En condiciones de servicio, es necesario que el ancho de fisura en la sección sea menor a 0,30 mm, de acuerdo con los estándares de control establecidos en el artículo 8 de la normativa española sobre el cálculo y seguridad en estructuras de hormigón(EHE-08). Esto se fundamenta en relación a las categorías de exposición II, que abarca la corrosión originada por causas distintas de los cloruros. Además, se modifica la definición del proceso a "corrosión causada por carbonatación" y se desglosa en cuatro categorías adicionales según el nivel de humedad del entorno.(EHE-08, 2023)

La gráfica que se muestra a continuación proporciona los resultados obtenidos para perforaciones que van desde 25 mm hasta 200 mm. Podemos observar que se cumple con el ancho de fisura establecido por los códigos de control, ya que la fisura más desfavorable en este rango se encuentra al 62% del límite máximo de funcionamiento.

Figura 85

Diagrama Ancho de fisura en relación al diámetro de perforación (viga rectangular)



Nota: Representación de la variación del ancho de fisura en las diferentes regiones de perforación.

En la gráfica, se puede observar claramente que las perforaciones de 400 mm de diámetro, ubicadas en la región de 0 a L/4 según la línea negra punteada de la Figura 85, exceden las condiciones de servicio por ancho de fisura. Además, se establece que a medida que la capacidad de carga disminuye, también lo hacen la deformación y el ancho de fisura, siendo todos estos parámetros proporcionales en el análisis de resultados.

Viga Tee

Tabla 33

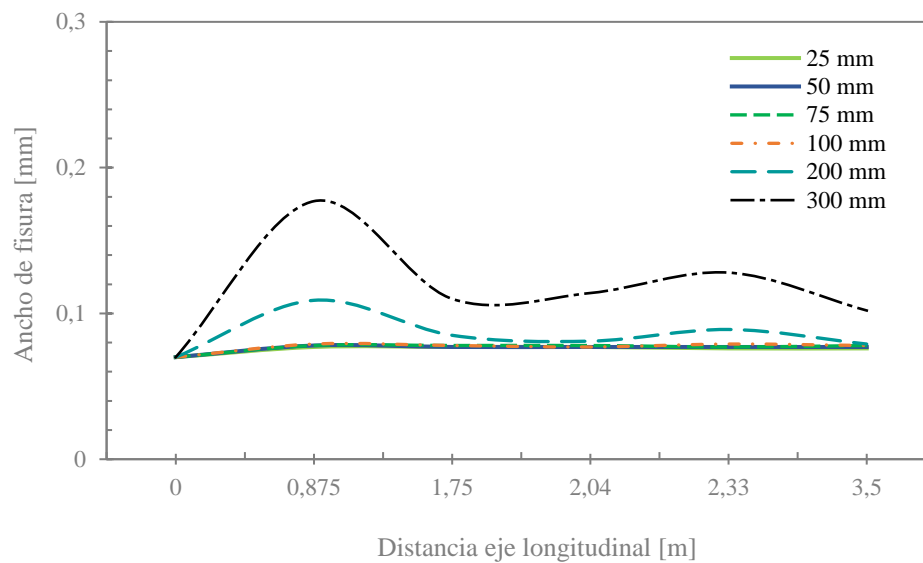
Ancho de fisura vs Región en función del diámetro (viga tee)

Φ (mm)	Región de perforación				
	0 y L/4	L/4	L/4 y L/3	L/3	L/2
0	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
25	0,077	0,077	0,077	0,076	0,076
50	0,078	0,077	0,077	0,077	0,077
75	0,078	0,078	0,078	0,077	0,078
100	0,079	0,078	0,077	0,079	0,078
200	0,109	0,085	0,081	0,089	0,079
300	0,177	0,11	0,114	0,128	0,102

Nota: Representación numérica del ancho de fisura producido.

Figura 86

Diagrama ancho de fisura en relación a la región de perforación (viga tee)



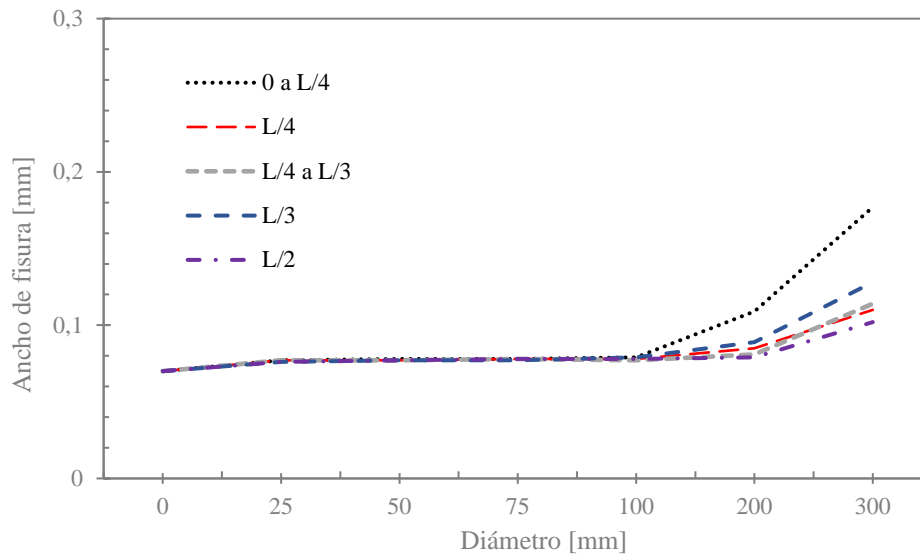
Nota: Variación del ancho de fisura en función de los diámetros de perforaciones.

Al analizar la gráfica, se aprecia que a medida que aumenta el diámetro del embebido, también aumenta el ancho de la fisura. Esta conclusión es bastante coherente. En los casos de diámetros de 25 mm hasta 100 mm, los cambios son mínimos, pero en los casos de 200 mm y 300 mm, se observa un mayor desfase con respecto a los valores anteriores.

En cuanto a la ubicación de la peor situación, esta se sitúa en la región de 0 a $L/4$, donde el ancho máximo de la fisura alcanza los 0,177 mm. Sin embargo, es importante destacar que este valor representa el 60% del ancho máximo definido por las normativas.

Figura 87

Diagrama ancho de fisura en relación al diámetro de perforación (viga tee)



Nota: Variación del ancho de fisura en función de la región de perforación.

Para evaluar el ancho de fisura, se utiliza la metodología de cálculo implementada por el software IdeaStática en su módulo detail. Esta metodología se basa en que las direcciones principales de tensión y deformaciones determinan la inclinación de las grietas. En condiciones de servicio, se establece un límite de ancho de 0.30 mm.

Observando la gráfica, se puede apreciar que la mayor fisura se encuentra en el rango de 0 a L/4, mientras que la mejor zona se encuentra entre L/4 y L/3. Es importante destacar que L/2 es un caso especial, ya que solo hay una perforación en lugar de dos como en los otros casos.

4.4.6 Variabilidad de capacidad a nivel de ELU y ELS al generar perforaciones en el bloque de compresiones

Viga Rectangular

A continuación, se presentan los resultados obtenidos tras la verificación de la hipótesis planteada en el capítulo 2. El objetivo es determinar los cambios en la capacidad de

carga, deformación unitaria, ancho de fisura y deflexión de una viga con perforaciones en la parte superior del bloque de compresión.

Tabla 34

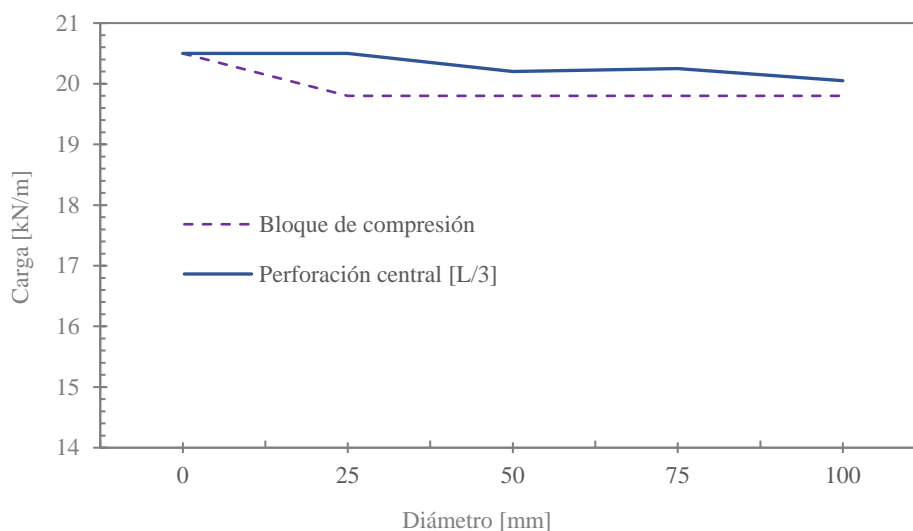
Carga vs. Diámetro en función de la zona (viga rectangular)

Φ (mm)	Perforación central [L/3] Carga (kN)	Bloque de compresión Carga (kN)
0	20,5	20,5
25	20,5	19,8
50	20,2	19,8
75	20,25	19,8
100	20,05	19,8

Nota: Tabla comparativa de la pérdida de carga al generar perforaciones en el tercio central del peralte de la viga y en la parte superior del bloque de compresiones.

Figura 88

Diagrama carga vs. Diámetro de perforación (viga rectangular)



Nota: Representación gráfica de la pérdida de capacidad.

Al observar la ilustración presente que muestra las perforaciones en el bloque de compresión, podemos notar que la línea característica de las perforaciones disminuye en relación a la línea de datos de las perforaciones centrales en términos de capacidad de carga.

Sin embargo, esta disminución se mantiene constante en el rango de perforación de 25 mm a 100 mm. Esto se debe a que a medida que aumenta el diámetro de la perforación, es necesario reducir la altura del punto central de la perforación para evitar cortar el acero superior de la sección.

El porcentaje de pérdida de capacidad de carga al realizar perforaciones en el bloque de compresión es aproximadamente del 3,4%. No obstante, es importante destacar que a medida que se disminuye la altura del punto central de perforación, nos alejamos del bloque de compresión y, como resultado, la capacidad de carga tiende a aumentar o equilibrarse nuevamente. No pudimos observar esto en esta ocasión ya que se encontraba en un rango límite, pero si analizamos las deformaciones unitarias del hormigón, se puede ver cómo disminuyen a medida que nos alejamos del bloque de compresión.

Tabla 35

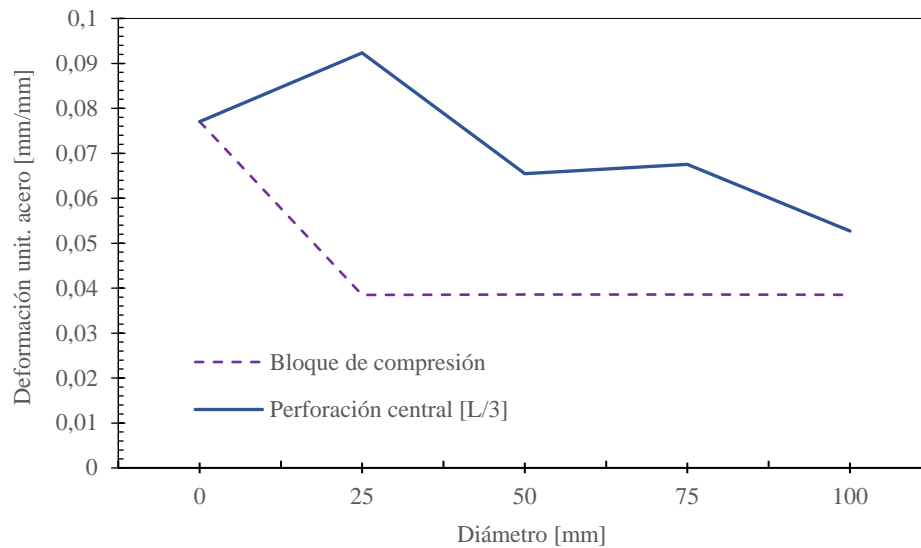
Deformación unit. acero vs. Diámetro en función de la región (viga rectangular)

Φ (mm)	Perforación central [L/3]	Bloque de compresión
0	0,07706	0,07706
25	0,09234	0,03849
50	0,06545	0,03857
75	0,06757	0,03856
100	0,05271	0,03852

Nota: Tabla comparativa del comportamiento a nivel de deformaciones unitarias del acero de los datos analizados.

Figura 89

Diagrama de deformación unit. acero vs. Diámetro de perforación (viga rectangular)



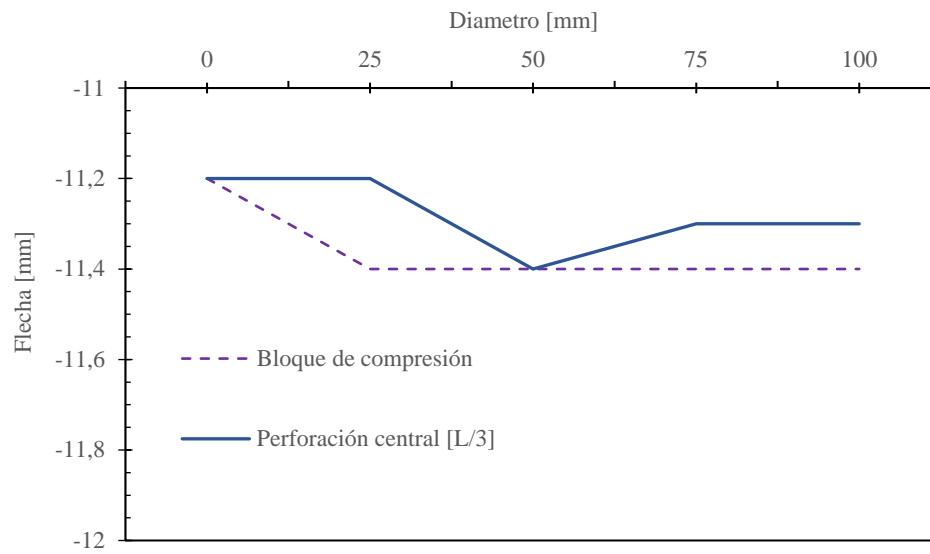
Nota: Representación gráfica de las deformaciones unitarias del acero de refuerzo.

En la ilustración anterior, se puede observar que las perforaciones realizadas en el bloque de compresión tienen un efecto negativo en la capacidad de carga. Sin embargo, estas perforaciones no causan deformaciones significativas en el acero de refuerzo inferior. Esto se debe a que los esfuerzos se concentran en la zona de perforación y se redistribuyen a través del acero superior, los estribos y el hormigón. Por lo tanto, la capacidad de carga de la sección se ve afectada más rápidamente, pero no se ve comprometido el acero a tracción.

En cuanto al comportamiento en servicio, cuando se realizan perforaciones de este tipo, el impacto en la flecha y el ancho de las fisuras es mínimo. No obstante, se establece que generar perforaciones en el bloque de compresión afecta en los diferentes parámetros evaluados anteriormente.

Figura 90

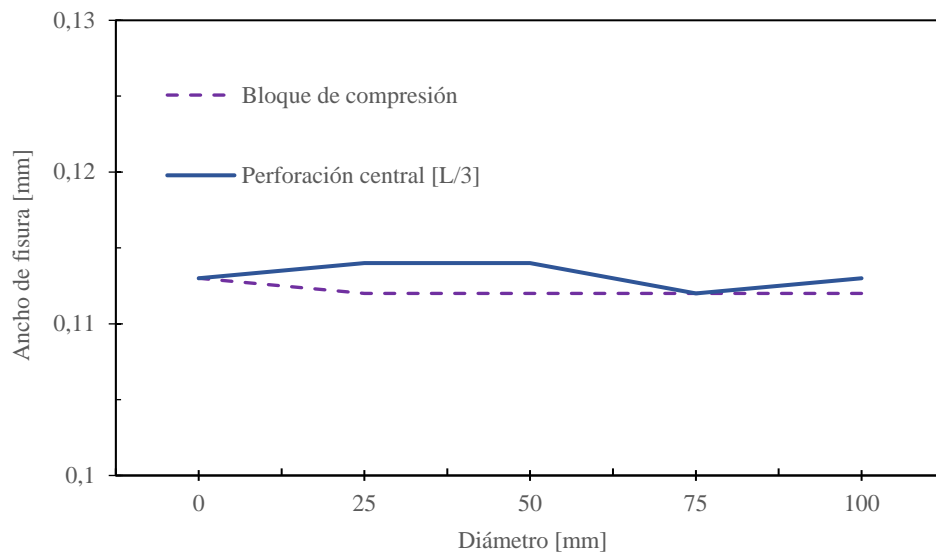
Diagrama de flecha vs. Diámetro en función de la región (viga rectangular).



Nota: Representación gráfica del comportamiento de los casos de estudio a nivel de servicio evaluado su deflexión.

Figura 91

Diagrama de ancho de fisura vs. Diámetro en función de la región (viga rectangular).



Nota: Representación gráfica del ancho de fisura por servicio.

Viga Tee

En cuanto a las verificaciones al realizar perforaciones en el bloque de perforaciones o cerca de él, se considerará la zona que haya mostrado un mejor comportamiento ante los diferentes diámetros de perforaciones. Para esta viga en particular, se ha identificado que dicha zona se encuentra entre $L/4$ y $L/3$. Por lo tanto, se llevarán a cabo perforaciones con diámetros que van desde 25 mm hasta 100 mm, que son las dimensiones más comunes para el paso de instalaciones.

Una vez que se hayan modelado y obtenido los resultados, se realizará un análisis comparativo entre las perforaciones que se encuentran a la altura $H/2$ de la viga y las perforaciones en la zona del bloque de compresiones.

Tabla 36

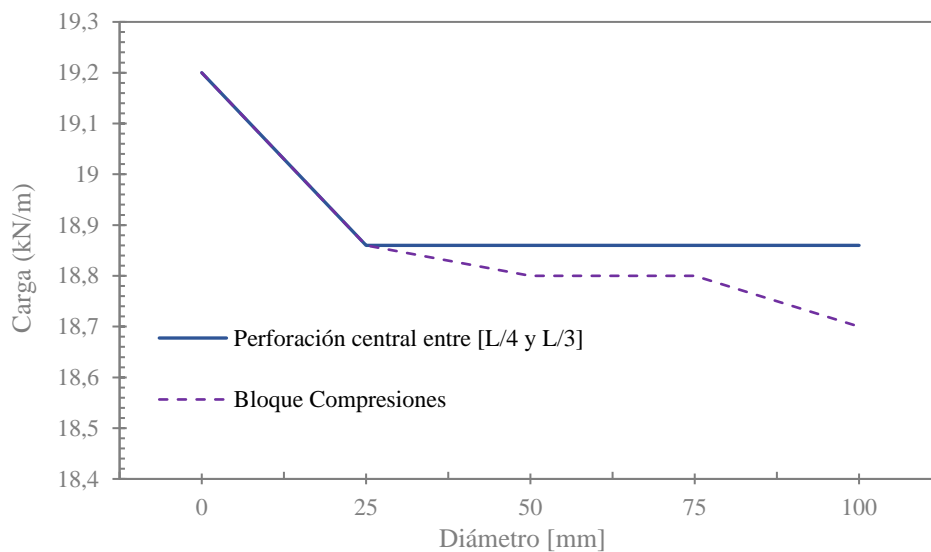
Carga vs. Diámetro en función de la región (viga tee)

Φ (mm)	Perforación central [L/4 y L/3] Carga (kN)	Bloque de compresión Carga (kN)
0	19,2	19,2
25	18,86	18,86
50	18,86	18,8
75	18,86	18,8
100	18,86	18,7

Nota: Tabla comparativa de la pérdida de carga al generar perforaciones en el tercio central del peralte de la viga y en la parte superior del bloque de compresiones.

Figura 92

Diagrama de carga vs. Diámetro de perforación (viga tee)



Nota: Representación gráfica de la pérdida de capacidad.

La gráfica muestra que la línea de tendencia de las perforaciones en el bloque de compresiones es más baja que la perforación en la mitad de la viga. Sin embargo, este fenómeno solo se nota a partir de una perforación de 50 mm, momento en el cual se empieza

a observar una disminución. A pesar de esto, la reducción es insignificante en comparación con las perforaciones en la mitad de la viga, ya que la diferencia es de tan solo 0.16 kN/m, equivalente a un 1% del total.

Tabla 37

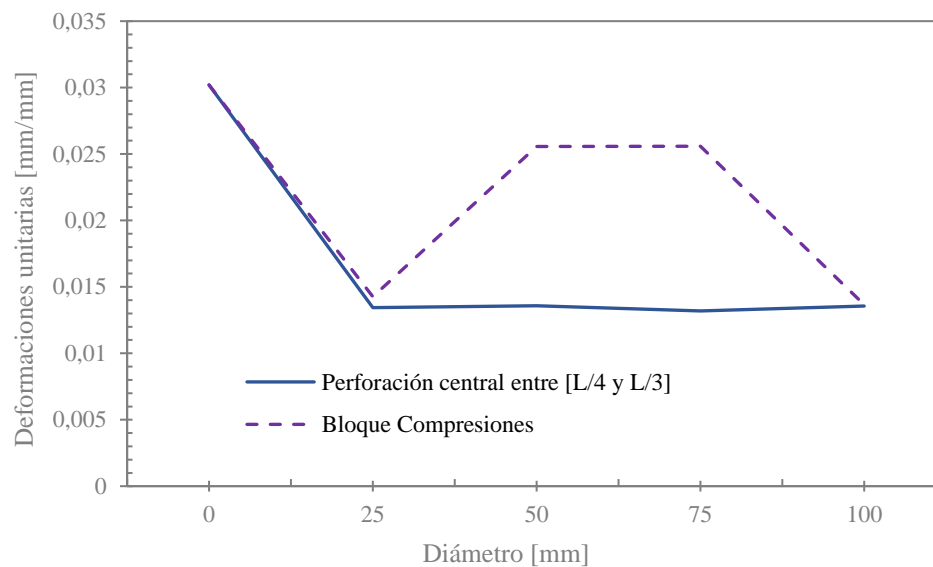
Deformación unit. acero vs. Diámetro en función de la región (viga tee)

Φ (mm)	Perforación central [L/4 y L/3]	Bloque de compresión
0	0,0302	0,0302
25	0,01344	0,01426
50	0,01358	0,02556
75	0,01319	0,02558
100	0,01355	0,01366

Nota: Tabla comparativa del comportamiento a nivel de deformaciones unitarias del acero de los datos analizados.

Figura 93

Diagrama de deformación unit. acero vs. Diámetro de perforación (viga tee)

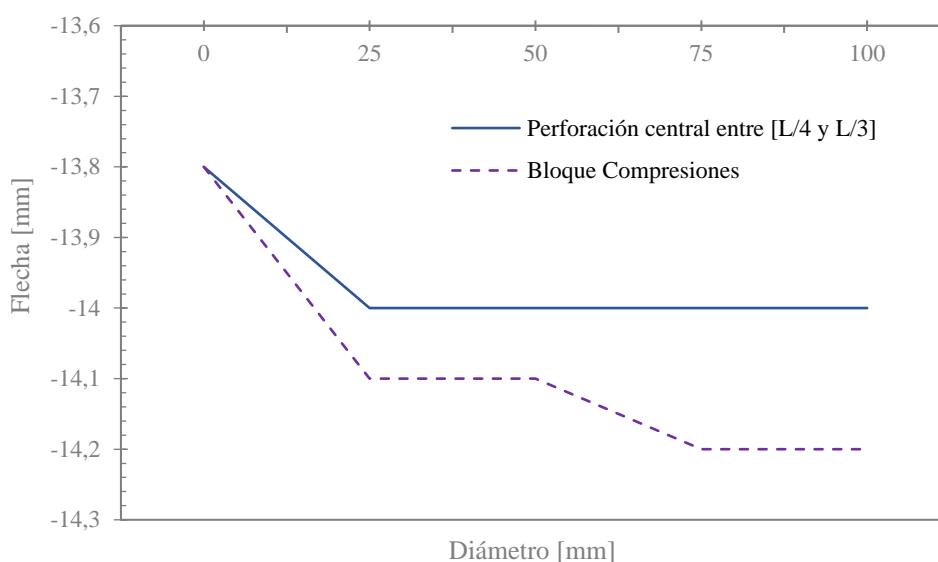


Nota: Representación gráfica de las deformaciones unitarias del acero de refuerzo.

La ilustración de la deformación muestra un fenómeno relevante en las perforaciones efectuadas en el bloque de compresión. Se destaca un cambio específico en solo dos de los cuatro diámetros estudiados, los cuales son de 50 y 75 mm. En particular, se ha observado un incremento en la deformación del acero en estos casos, alcanzando valores de 0.025 en comparación con los valores de 0.015 obtenidos para las perforaciones realizadas a una distancia $H/2$ de la viga.

Figura 94

Diagrama de flecha vs. Diámetro en función de la región (viga tee)

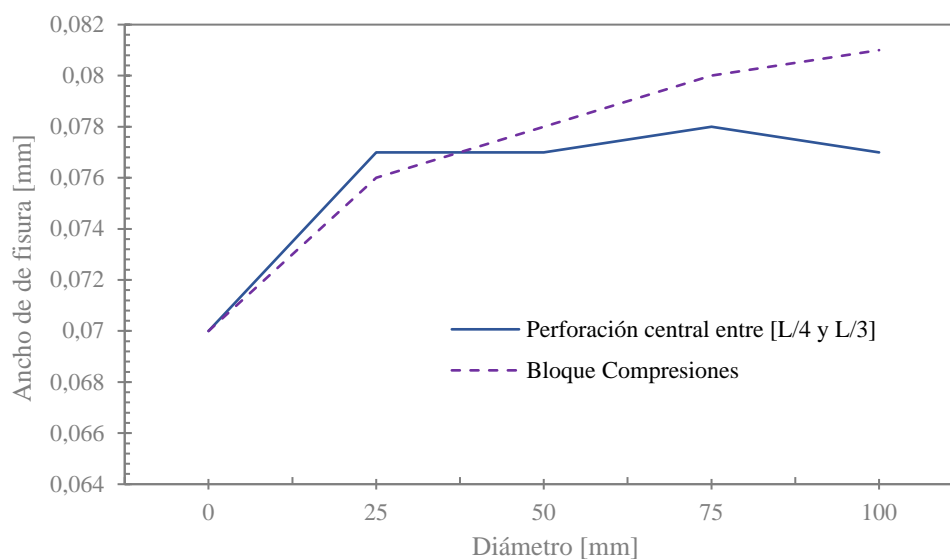


Nota: Representación gráfica del comportamiento de los casos de estudio a nivel de servicio evaluado su deflexión.

En relación al análisis a nivel de servicio, se ha observado que al perforar la zona de compresión, todos los diámetros analizados experimentan cambios en su deformación. Para los diámetros de 25 mm y 50 mm, la deformación alcanza un valor de 14.1 mm, en comparación con el valor inicial de 14 mm. Para los diámetros de 75 mm y 100 mm, la flecha alcanza un valor de 14.2 mm. Al analizar estos resultados, se puede concluir que existe un ligero perjuicio al realizar las perforaciones en la parte superior de la viga, con un cambio mínimo que oscila entre 0.1 mm y 0.2 mm.

Figura 95

Diagrama de ancho de fisura vs. Diámetro en función de la región (viga tee)



Nota: Representación gráfica del ancho de fisura por servicio.

Al analizar el ancho de la fisura en relación al nivel de servicio, se ha detectado un leve cambio en todos los casos estudiados. En las perforaciones de 25 mm, el ancho osciló entre 0.076 mm y 0.077 mm, mientras que para las de 100 mm de diámetro, la variación fue de 0.077 mm a 0.081 mm. Tomando los valores máximo y mínimo, se observa una diferencia de 0.004 mm.

4.5. Regiones y diámetros adecuados para generar embebidos

Tabla 38

Clasificación por rangos del porcentaje de pérdida de capacidad para generar un embebido

Rangos (%)	Si	Daño medio	No
0 a 2	X		
2 a 3		X	
3 a 5			X
>5			X

Figura 96

Clasificación de regiones y diámetros por categorías para generar perforaciones para el paso de instalaciones (sección rectangular)

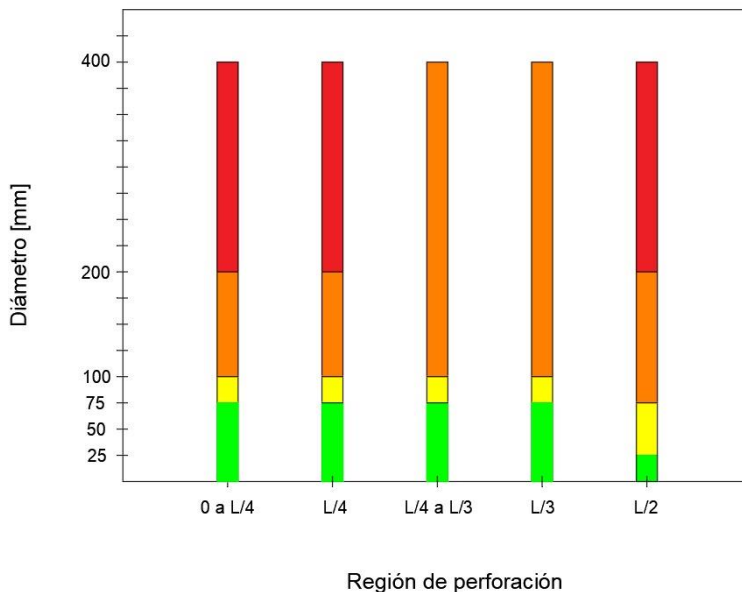
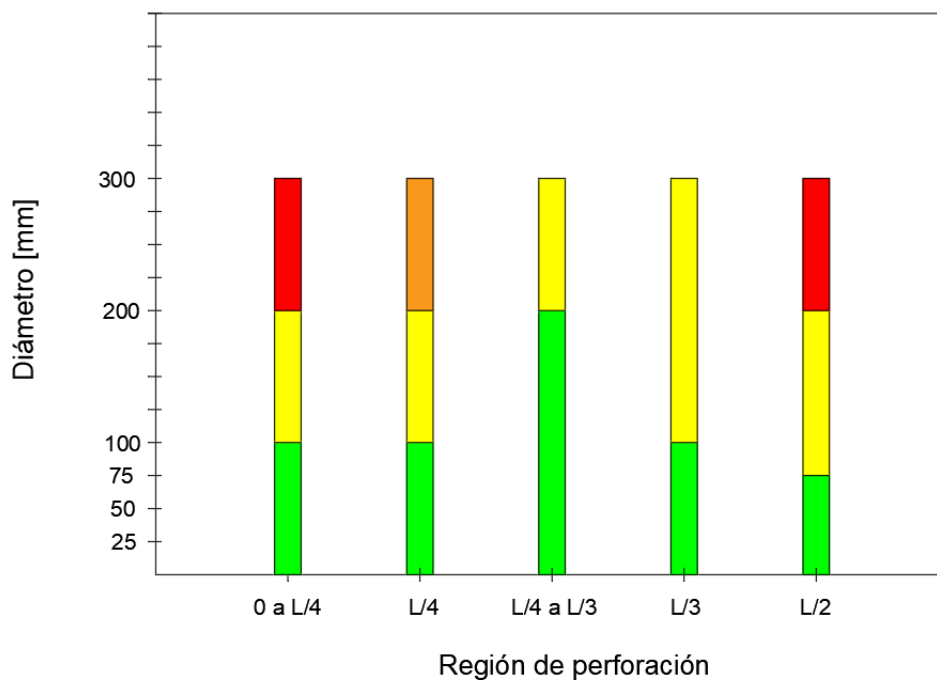


Figura 97

Clasificación de regiones y diámetros por categorías para generar perforaciones para el paso de instalaciones (sección tee)



5 CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los modelos de IdeaStatica replican modelos analíticos convencionales de diseño por resistencia última. Sin embargo, existe un problema con respecto a la falla controlada por compresión, ya que no se considera una pérdida de capacidad debido al diseño por compresión. Esto se debe a que los límites de deformaciones unitarias abarcan un amplio rango de deformación del hormigón, llegando a una región plástica idealizada del 5%. En conclusión, el programa IdeaStatica modela correctamente la falla controlada por tracción y la falla a corte.

Considerando las variables establecidas en la investigación, se llega a la conclusión de que es importante mencionar los cambios en las propiedades mecánicas de las vigas perforadas en función del diámetro y la región de perforación para condiciones de ELU y ELS. Es necesario resaltar que las perforaciones con diámetros mayores a 200 mm presentan cambios significativos. Además, se registraron los siguientes resultados para los diámetros característicos de perforaciones que permiten el paso de instalaciones: para embebidos de 25 mm, la capacidad de carga disminuye aproximadamente un 0.7%. En el caso de embebidos de 50 mm y 75 mm, que son los más comunes en el ámbito de la construcción, la pérdida de capacidad se sitúa alrededor del 2.2%. Para embebidos de 100 mm, que son típicos en bajantes hidrosanitarias, la pérdida de capacidad es del 3.2%. Es importante destacar que si se estandarizara el uso de instalaciones con diámetros de 75 mm ubicadas a nivel de los tercios, la pérdida de capacidad sería mínima.

Por otra parte, en términos de flexión, se registró que una viga de sección rectangular con una perforación de 400 mm en la región central pierde un 5% de capacidad de carga en comparación con la viga patrón. Además, al analizar el cortante, se establece que una viga

con perforaciones de 400 mm ubicadas en la región de 0 a $L/4$ (junto a los apoyos), experimenta una pérdida de capacidad de carga del 32%.

En cuanto al servicio, en la región de 0 a $L/4$, se registra una flecha de 15,4 mm, lo que representa un aumento de la deflexión del 37% con respecto a la deflexión original de la viga de control (11,2 mm). Además, este caso de perforación incumpliría el criterio de servicio establecido en la norma correspondiente a $L/480$.

En relación a la sección tee, se puede concluir que la variabilidad de la pérdida de capacidad de carga en términos de flexión es de aproximadamente 2%. En cuanto al cortante, la pérdida de capacidad disminuye en alrededor del 5% para la perforación más crítica de 300 mm en la región de 0 a $L/4$. A nivel de servicio, se registró un aumento del 5,5% en la deflexión en dicha región, lo cual destaca que los cambios podrían considerarse despreciables para esta sección.

Se establece que, para las dos tipologías de vigas estudiadas, la ubicación de la perforación que genera mayor afectación en las propiedades mecánicas de las vigas se encuentra en la región de 0 a $L/4$. Además, se observó un mejor comportamiento en la región de $L/3$ para la viga rectangular y de $L/4$ a $L/3$ para la viga tee.

En cuanto a la variabilidad del diámetro, se pudo observar que, para la sección rectangular con perforaciones de 100 mm, la pérdida de momento es de 4 kN*m. Para diámetros de 200 mm, la pérdida es de 5,5 kN*m, y para diámetros críticos de 400 mm, la pérdida supera los valores y alcanza un valor de 39,2 kN*m. Para cada perforación, se comparó la disminución característica con la viga patrón, cuyo momento resistente es de 125,56 kN*m.

Por otro lado, el comportamiento presentado por la sección tee muestra que, para perforaciones de 100 mm, la pérdida de momento es de 2,08 kN*m. Para diámetros de 200 mm, la pérdida es de 2,45 kN*m, y para el caso más crítico correspondiente a un diámetro de

300 mm, la pérdida alcanza los 7,08 kN*m, en función del momento resistente de 117,6 kN*m de la viga patrón.

Al observar los resultados obtenidos de las deformaciones unitarias, se establece que a medida que aumenta el diámetro de perforación, las deformaciones unitarias disminuyen. Esto se debe a que la pérdida de capacidad aumenta, como se mostró anteriormente. Como resultado, se registra un cambio en el tipo de falla, pasando de tracción a compresión. Además, se limita la deformación unitaria del acero a 0,0035 de ϵ_{\max} . El análisis realizado indica que en el caso de perforaciones de 400 mm en la región de 0 a L/4, la falla de la sección no llega a ser dúctil y está controlada por la compresión, alcanzando deformaciones unitarias máximas del acero del 1% en secciones rectangulares.

Considerando lo mencionado anteriormente, el ELS no condiciona el resultado, sin embargo, los análisis correspondientes registraron que el ancho de las fisuras presentadas en la sección rectangular, en el caso de la perforación más crítica, alcanzó un valor de 0,49 mm, excediendo el límite establecido por la normativa de 0,3 mm. Por otro lado, en el caso de una viga tee, el cambio fue mínimo, alcanzando un valor de 0,17 mm.

Mediante el uso de los recursos del modelo Detail de IdeaStatica y empleando el proceso de optimización topológica, se pudo evidenciar que al colocar una perforación en una biela de compresión, la fuerza interna se redistribuye hacia los extremos adyacentes. Cuando la perforación no corta ni intersecta esta biela, no se produce un cambio significativo en la redistribución de las fuerzas internas. Por lo tanto, se logró identificar las zonas donde se podrían generar agujeros sin la necesidad de un refuerzo adicional.

Se recomienda que para el uso del software IdeaStatica direccionado al modulo Detail que fue utilizado durante esta investigación, el usuario debe tener conocimiento de cada proceso analítico para así estar seguro de la validez de los resultados emitidos por el programa.

Ratificando lo establecido en las normativas, se recomienda que en el caso de ser necesarias las perforaciones, estas se realicen a no menos de un $\frac{1}{4}$ de la longitud y no más allá de $\frac{1}{3}$ de la viga. Además, al ubicar estas perforaciones, es importante tener en cuenta que estén alineadas con el tercio central del peralte de la viga. A la vez se destaca que para diámetros de perforación de hasta de 75 mm la afectación es mínima.

En el caso de vigas prefabricadas, es posible obviar las normas, pero se debe considerar un análisis topológico para identificar las zonas sin bielas de compresión donde se puedan realizar dichas perforaciones.

6 BIBLIOGRAFÍA

- ACI 314RS-16. (2016). *Guía para el diseño simplificado de edificaciones en concreto reforzado*. <http://concrete.org/Publications/Documenterrata.asp>.
- ACI 318-19. (2019). *Requisitos del reglamento para Concreto Estructural (ACI 318-19)*.
- ACI-ASCE Committee 352., & American Concrete Institute. (2012). *Guide for design of slab-column connections in monolithic concrete structures*. American Concrete Institute.
- Borja, R., & Morocho, P. (2017). *UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA UNIDAD DE POSGRADOS MAESTRÍA EN MÉTODOS MATEMÁTICOS Y SIMULACIÓN NUMÉRICA EN INGENIERÍA ANÁLISIS ESTRUCTURAL MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS DEL CHASIS DEL VEHÍCULO FORMULA SAE ELÉCTRICO DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA*.
- Cabrera Exeni, F. (2011). *UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA INFLUENCIA DE LAS ABERTURAS TRANSVERSALES, EN LA RESISTENCIA A CORTE Y FLEXIÓN DE VIGAS DE CONCRETO REFORZADO*.
- EHE-08. (2023). *Clases de Exposición Ambiental | Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana*. https://www.mitma.gob.es/organos-colegiados/comision-permanente-del-hormigon/cph/clases_de_exposicion_ambiental
- Fonseca, C., & Suarez, E. (2018). *EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO HIDRÁULICO TRAS*.
- Kaufmann. (2020). *IDEA StatiCa Detail – Structural design of concrete discontinuities*. <https://www.ideastatica.com/>
- NEC-SE-CG. (2015). *NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN-NEC NEC-SE-CG CARGAS (NO SÍSMICAS)*.
- NEC-SE-HM. (2015). *NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN-NEC NEC-SE-HM ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO*.
- NSR-10. (2010). *Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente*.
- Orozco, L. (2021). *UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL “ESTIMACIÓN PORCENTUAL DE INCIDENCIA DE PROBLEMAS ESTRUCTURALES ORIGINADOS POR ERRORES EN EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE INSTALACIONES HIDROSANITARIAS EN RIOBAMBA.”*
- Ramos, J. (2021). *“ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE VIGAS DE CONCRETO REFORZADAS Y CON REFUERZO SECUNDARIO ADICIONAL DE FIBRAS DE ACERO, QUE PRESENTAN ABERTURAS HORIZONTALES TRANSVERSALES.”*

7 GLOSARIO DE TÉRMINOS

a	Profundidad del bloque rectangular equivalente de esfuerzos, mm.
A_s	Área del acero de refuerzo longitudinal a tracción, mm ² .
A'_s	Área del acero de refuerzo longitudinal a compresión, mm ² .
$A_{s_{req}}$	Área de acero requerido, mm ² .
A_v	Área de acero de refuerzo a cortante, mm ² .
$A_{s_{col}}$	Área de acero colocado, mm ² .
b	Ancho de la sección del elemento estructural, mm.
b_w	Ancho del alma del elemento estructural, mm.
c	Distancia medida desde la fibra extrema en compresión al eje neutro de la viga, mm.
c_e	Calor específico, [kJ/(kg*K)].
d	Distancia medida desde la fibra extrema en compresión hasta el centroide del refuerzo longitudinal en tracción, mm.
E_{cn}	Módulo de elasticidad secante del hormigón, MPa.
f'_c	Resistencia máxima a la compresión del concreto, MPa.
f_{yk}	Resistencia elástica característica de la armadura, MPa.
f_y	Resistencia a la fluencia del acero de refuerzo, MPa.
G	Módulo de elasticidad transversal, MPa.
GB1	Acero de refuerzo inferior.
GB2	Acero de refuerzo superior.
I_{cr}	Momento de inercia de la sección fisurada transformada a concreto, mm ⁴
I_e	Momento de inercia efectivo para el cálculo de las deflexiones, mm ⁴ .
I_g	Momento de inercia de la sección bruta con respecto al eje que pasa por el centroide, sin tener en cuenta el refuerzo, mm ⁴ .
I_{tr}	Momento de inercia de la sección no fisurada transformada a concreto, mm ⁴ .
k_c	Factor de reducción global de la resistencia a la compresión.
L	Longitud de la viga, m.
m	Unidad de masa, kgf/m ³ .
M_n	Resistencia nominal a flexión en la sección, N·mm.

M_u	Momento último en la sección, N·mm.
PP	Peso propio de la viga, [kN/m].
ST	Acero de refuerzo a corte.
ν	Coficeinte de Poisson.
$uzst$	Deformación inmediata causada por la carga total, mm.
$uzlt$	Efecto de la larga duración por cargas de larga duración, mm.
V_c	Esfuerzo cortante proporcionado por el concreto, MPa.
V_n	Resistencia nominal a cortante en la sección, N·mm.
V_s	Esfuerzo cortante proporcionado por el acero de refuerzo, MPa.
V_{smax}	Esfuerzo cortante máximo proporcionado por el acero de refuerzo, MPa.
α	Coficiente de expansión térmica, [$1 \cdot 10^{-6}/K$].
ϵ_c	Deformación unitaria del concreto a compresión.
ϵ_{cu}	Máxima deformación unitaria utilizable en la fibra extrema de concreto a compresión.
ϵ_{uk}	Deformación característica del armado, [$1 \cdot 10^{-6}$].
ϵ_s	Deformación unitaria neta en tracción del acero de refuerzo longitudinal.
ϵ_y	Deformación unitaria en fluencia del acero de refuerzo longitudinal.
ϕ	Factor de reducción de resistencia.
σ_c	Esfuerzo de compresión del hormigón, MPa.
σ_s	Esfuerzo de tracción del acero, MPa.
ρ_{req}	Cuantía requerida.
Δ_{max}	Deflexión máxima de la viga debido a cargas de servicio, mm.
Δ	Deflexión de la viga, mm.
Δ_{uz}	Incremento de flecha causado por la carga variable, mm.
λ	Conductividad térmica, [$W/(m \cdot K)$].

AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Nosotros, Rolando Xavier Avecillas Díaz y Jhony Javier Cabrera Rodríguez portadores de las cédulas de ciudadanía N.º 0605694843 y 1400985337. En calidad de autores y titulares de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “Análisis del Comportamiento estructural de vigas de hormigón con perforaciones para el paso de instalaciones usando el Software IdeaStática” de conformidad a lo establecido en el artículo |114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconocemos a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizamos a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 12 de septiembre de 2023

F: 
.....
Rolando Xavier Avecillas Díaz
0605694843

F: 
.....
Jhony Javier Cabrera Rodríguez
1400985337