

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A CORTE DE LOS CONECTORES
TIPO ÁNGULO DE 4 MILÍMETROS DE ESPESOR EN LOSAS TIPO
DECK SOBRE ESTRUCTURA METÁLICA

TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

AUTORES:

VALENZUELA CHINCHERO HERNÁN DARÍO

hernan.valenzuela@epn.edu.ec

VELASCO GONZALEZ FREDY ANDERSON

fredy.velasco@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. LUIS TINERFE HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ, PhD

luis.hernandezr@epn.edu.ec

QUITO, DICIEMBRE 2021

DECLARACIÓN

Nosotros, ***Valenzuela Chinchero, Hernán Darío y Velasco Gonzalez, Fredy Anderson***, declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Valenzuela Chinchero Hernán Darío

Velasco Gonzalez Fredy Anderson

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Valenzuela Chinchero, Hernán Darío y Velasco Gonzalez, Fredy Anderson, bajo mi supervisión.

ING. LUIS TINERFE HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ, PhD
DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi padre Pedro Valenzuela y en especial a mi amada madre Martha Chinchero por su apoyo incondicional en cada momento de mi vida y formación profesional.

A mis abuelos Gerónimo Chinchero y Elena Mejía por su apoyo y confianza a lo largo de mi carrera y que ahora pueden compartir conmigo este nuevo logro.

A mi director de proyecto Ing. Luis Hernández por su guía y apoyo en el desarrollo de este proyecto.

A la Escuela Politécnica Nacional, en especial a la carrera de Ingeniería Civil y al personal académico por su guía y enseñanzas durante mi formación profesional.

Darío Valenzuela

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, quiero agradecer a mis padres FREDY MESIAS VELASCO ZURITA y PULINA BIBIBANA GONZALEZ GUILLEN, porque, yo soy lo que soy gracias a sus esfuerzos y sacrificios, por eso os quiero decir; Gracias papá por ser mi refugio, consejero, abogado y guía, por darme los valores que hoy definen mi vida. Gracias mamá por darme la vida, porque velaste mis sueños y moldeaste mi corazón.

A mis hermanos, David y Tiffany por ser fuente de estímulo y dedicación ante mi carrera profesional.

A mis tíos, que han sido mi fuente de sustento y consejeros, a la familia en general donde cada uno de sus integrantes ha contribuido a la construcción de este logro.

A mi director de proyecto Ing. Luis Hernández, por brindar su guía y experiencias, que acertadamente ha sabido direccionar mis conocimientos.

A la Escuela Politécnica Nacional por abrirme las puertas en su seno científico y dejarme ser parte de ella, así como los diferentes docentes que brindado sus conocimientos y apoyo me han permitido evolucionar profesionalmente día a día.

Al Centro de Investigación de la Vivienda, LEMSUR y el Laboratorio de Soldadura por su profesionalismo y asistencia en el proceso proyecto.

Fredy Velasco

DEDICATORIA

Se lo dedico a mi familia a quienes les debo todo en mi vida, en especial a mi madre Martha Chinchero.

Darío Valenzuela

DEDICATORIA

Dedicado a mis padres Bibiana y Fredy, pues sin ellos no lo habría logrado, siempre presentes apoyándome moral y psicológicamente.

Fredy Velasco

ÍNDICE

DECLARACIÓN	I
CERTIFICACIÓN	II
AGRADECIMIENTOS	III
DEDICATORIA.....	V
ÍNDICE	VII
ÍNDICE DE TABLAS	XII
ÍNDICE DE FIGURAS	XV
SIMBOLOGÍA.....	XVIII
RESUMEN	XXII
ABSTRACT	XXIII
CAPÍTULO I	1
GENERALIDADES.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. OBJETIVOS	2
1.2.1. OBJETIVO GENERAL	2
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	3
1.3.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA	3
1.3.2. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA.....	3
1.3.3. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA	3
1.4. NORMATIVA DE REFERENCIA	4
1.5. ANTECEDENTES.....	4
1.5.1. ESTUDIOS INTERNACIONALES	5

1.5.2. ESTUDIOS REALIZADOS EN LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL.....	8
CAPÍTULO II	10
MARCO TEÓRICO.....	10
2.1. CONSTRUCCIONES COMPUESTAS.....	10
2.1.1. COMPORTAMIENTO DE ELEMENTOS COMPUESTOS	10
2.1.2. VIGAS COMPUESTAS	11
2.1.3. LOSAS COMPUESTAS	13
2.2. CONECTORES DE CORTE.....	15
2.2.1. TIPOS DE CONECTORES DE CORTE.....	17
2.2.2. CRITERIOS DE DISEÑO	17
2.2.3. DISTRIBUSION DE LOS CONECTORES DE CORTE.....	18
2.2.4. ENSAYOS DE CONECTORES DE CORTE	20
2.2.5. MODOS DE FALLA EN CONECTORES DE CORTE	22
CAPÍTULO III	25
METODOLOGÍA.....	25
3.1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE MATERIALES.....	25
3.1.1. HORMIGÓN	25
3.1.2. PLACA COLABORANTE	25
3.1.3. MALLA DE ACERO DE REFUERZO	26
3.1.4. PERFIL TIPO ÁNGULO (CONECTOR DE CORTE).....	27
3.2. SELECCIÓN DE VARIABLES	28
3.2.1. NÚMERO DE PROBETAS POR VARIABLE	28
3.2.2. PARÁMETROS FIJOS.....	29
3.2.3. PARÁMETROS VARIABLES	30

3.3. DIMENSIONAMIENTO DE ELEMENTOS	32
3.3.1. PLACA COLABORANTE	32
3.3.2. DIMENSIONAMIENTO DE LOSA COMPUESTA	32
3.3.3. CONECTOR Y ESPESOR DE LOSA	34
3.3.4. REFUERZO POR RETRACCIÓN Y TEMPERATURA.....	36
3.3.5. VIGA METÁLICA.....	37
3.4. INSTRUMENTACIÓN DEL ENSAYO	55
3.4.1. TRANSDUCTORES DE DESPLAZAMIENTO (LVDT).....	55
3.4.2. STRAIN GAUGE O GALGA EXTENSIOMÉTRICA.....	56
3.5. ENSAMBLE DE PROBETAS PUSH-OUT	57
3.5.1. ENCOFRADO	58
3.5.2. SOLDADURA DE CONECTORES DE CORTE A LA VIGA.....	59
3.5.3. UBICACIÓN DE LÁMINA DECK Y MALLA ELECTROSOLDADA	61
3.5.4. UBICACIÓN DE STRAIN GAUGES.....	62
3.5.5. HORMIGONADO DE LOSAS	64
3.6.5.1. Determinación del asentamiento	65
3.6.5.2. Elaboración de cilindros.....	66
3.6.5.3. Fundición de losas.....	68
3.5.6. CONFORMACIÓN DEL PERFIL I.....	70
3.6. PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO.....	70
CAPÍTULO IV.....	72
ANÁLISIS DE RESULTADOS	72
4.1. CONSIDERACIONES ESTADÍSTICAS.....	72
4.2. ENSAYO DE MATERIALES.....	73
4.2.1. ENSAYOS DE HORMIGÓN	74

4.2.1.1. Resistencia a la compresión del hormigón ($f'c$)	74
4.2.1.2. Módulo de elasticidad del hormigón	75
4.2.2. ENSAYOS DE ACERO	76
4.3. RESULTADOS DEL ENSAYO PUSH-OUT	77
4.3.1. MODOS DE FALLA	77
4.3.2. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	80
4.3.3. EVALUACIÓN DE RESULTADOS EN BASE AL EUROCÓDIGO	84
4.3.3.1. Valor característico de resistencia PRk	85
4.3.3.2. Capacidad de deslizamiento δu	86
4.3.3.3. Capacidad de deslizamiento característica δuk	88
4.3.3.4. Verificación del PRd	89
4.4. DUCTILIDAD, RIGIDEZ Y TENACIDAD	89
4.4.1. DUCTILIDAD	89
4.4.2. RIGIDEZ	92
4.4.2.1. Rigidez característica	94
4.4.3. DISIPACIÓN DE ENERGÍA	95
4.4.4. TABULACIÓN DE RESULTADOS	97
4.5. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS ECUACIONES DE DISEÑO	99
4.5.1. COMPARACIÓN CON NORMAS DE DISEÑO INTERNACIONALES....	99
4.5.2. COMPARACIÓN CON ECUACIONES DE DISEÑO DE VARIOS AUTORES.....	100
4.5.3. COMPARACIÓN CON INVESTIGACIONES PREVIAS.....	101
CAPÍTULO V	105
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	105
5.1. CONCLUSIONES	105

5.2. RECOMENDACIONES.....	107
BIBLIOGRAFÍA	109
ANEXOS	116
ANEXO 1.....	117
REGISTRO DE ENTREGA DE HORMIGÓN PREMZCLADO EN OBRA	117
ANEXO 2.....	119
ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN	119
ANEXO 3.....	121
ENSAYO DE MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN	121
ANEXO 4.....	125
ENSAYOS A TRACCIÓN DEL MATERIAL BASE DE LOS CONECTORES TIPO ÁNGULO L40 X 4 mm.....	125
ANEXO 5.....	131
ENSAYO EN JUNTA DE SOLDADURA.....	131

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de placa colaborante	26
Tabla 2. Propiedades a tracción para barras lisas y corrugadas.....	27
Tabla 3. Propiedades a tensión especificadas por la Norma ASTM.....	27
Tabla 4. Valores de $Z\alpha$ para diferentes niveles de confianza	28
Tabla 5. Valores de $Z\beta$ para diferentes niveles de poder estadístico	29
Tabla 6. Número de probetas por variable	29
Tabla 7. Variables empleadas y número de probetas	31
Tabla 8. Propiedades Novalosa 55	32
Tabla 9. Dimensiones y propiedades de ángulos de lados iguales	35
Tabla 10. Valoración de coeficientes R_g y R_p según el caso.....	38
Tabla 11. Límite superior <i>kt, max</i> para el coeficiente de reducción <i>kt</i>	41
Tabla 12. Determinación de elementos esbeltos o no esbeltos por razón ancho espesor	44
Tabla 13. Aplicaciones de las secciones del Capitulo E AISC-360	46
Tabla 14. Valores aproximados del factor K.....	50
Tabla 15. Resultados del ensayo a corte de soldadura.....	60
Tabla 16. Requisitos para determinar el método de compactación	67
Tabla 17. Requisitos para el moldeo mediante varillado	67
Tabla 18. Valores críticos para T.....	73
Tabla 19. Resultados <i>f'c</i> experimentales	74
Tabla 20. Resultados de <i>f'c</i> experimentales y análisis estadístico	74
Tabla 21. Resultados de <i>Ec</i> experimentales y análisis estadístico	75
Tabla 22. Análisis comparativo de módulos de elasticidad teóricos.....	76

Tabla 23. Resultados de las propiedades mecánicas del acero de conectores ...	76
Tabla 24. Resultados de Fut experimental y análisis estadístico	77
Tabla 25. Resultados de ensayos monotónicos	81
Tabla 26. Análisis estadístico de Pu con conectores a 90°	83
Tabla 27. Análisis estadístico de Pu con conectores a 45°	83
Tabla 28. Segundo análisis estadístico de Pu con conectores a 45°	84
Tabla 29. Cálculo de resistencia característica PRk de ensayos monotónicos....	85
Tabla 30. Cálculo de resistencia característica PRk de ensayos cíclicos	86
Tabla 31. Deslizamiento último de ensayos monotónicos	87
Tabla 32. Análisis estadístico de δu con conectores a 90°	87
Tabla 33. Análisis estadístico de δu con conectores a 45°	87
Tabla 34. Segundo análisis estadístico de δu con conectores a 45°	88
Tabla 35. Presentación de PRk y δuk de ensayos monotónicos.....	88
Tabla 36. Presentación de Prk y δuk de ensayos cíclicos.....	89
Tabla 37. Cálculo de la resistencia de diseño PRd	89
Tabla 38. Resultados del cálculo del factor de ductilidad en los ensayos monotónicos.....	91
Tabla 39. Resultados del cálculo del factor ductilidad en los ensayos cíclicos	91
Tabla 40. Clasificación de componentes por demanda de ductilidad	92
Tabla 41. Resultados del cálculo de la rigidez característica KRk	95
Tabla 42. Energía disipada en ensayos cíclicos con conectores a 90°	96
Tabla 43. Energía disipada en ensayos cíclicos con conectores a 45°	97
Tabla 44. Resumen de resultados.....	97
Tabla 45. Comparación de Prk con las ecuaciones de códigos internacionales	100
Tabla 46. Comparación de Prk con las ecuaciones de varios autores	101

Tabla 47. Comparación de resultados experimentales con investigaciones previas	102
Tabla 48. Comparación ductilidad y rigidez con investigaciones previas	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Conectores propuestos por Bamaga.....	7
Figura 2. Interacción entre viga de acero y losa de hormigón.....	11
Figura 3. Deformación de viga compuesta.....	13
Figura 4. Sistema losa compuesta usando Steel Deck.....	14
Figura 5. Formas típicas de unión en losas mixtas.....	15
Figura 6. Detalle del prototipo.....	15
Figura 7. Mecanismo de distribución de fuerzas de corte en conectores corte esparrago.....	16
Figura 8. Posibles posiciones de conectores de corte.....	18
Figura 9. Flujo de corte en vigas colectoras.....	20
Figura 10. Montaje de ensayo de viga compuesta.....	21
Figura 11. Probeta de ensayo Push-Out acorde al Eurocódigo 4.....	21
Figura 12. Probeta de ensayo Push-Out acorde a la norma BS 5400.....	22
Figura 13. Fractura del conector de corte por encima del filete de soldadura.....	23
Figura 14. Falla de prueba de corte por: (a) desprendimiento de hormigón circundante al conector (b) arracamiento del homigón.....	23
Figura 15. Falla de conectores de corte en: (a) losa maciza (b) losa con perfil metálico.....	24
Figura 16. Falla de nervadura.....	24
Figura 17. Variación de la posición del conector de corte en planta.....	31
Figura 18. Geometría Novalosa 55.....	32
Figura 19. Propuesta de probeta Push-Out.....	33
Figura 20. Dimensionamiento del conector y la losa de la probeta.....	35
Figura 21. Esquema del perfil tipo ángulo.....	35

Figura 22. Viga con placa colaborante transversal.....	41
Figura 23. Dimensiones de la viga tipo I.....	44
Figura 24. Esquema del perfil con el centro de gravedad.	48
Figura 25. Ubicación de LDVT en probeta.	55
Figura 26. Ubicación de strain gauges en conectores a 90°	57
Figura 27. Ubicación de strain gauges en conectores a 45°	57
Figura 28. Diseño definitivo de la probeta.	58
Figura 29. Diseño del encofrado de las probetas	59
Figura 30. Tipos de probetas para calificación de soldadura.	60
Figura 31. Soldadura de conectores	61
Figura 32. Perforado en lámina deck	61
Figura 33. Ubicación de malla electrosoldada.....	62
Figura 34. Limpieza del conector	62
Figura 35. Instalación de strain gauges.....	63
Figura 36. Medición de resistencia de strain gauges	64
Figura 37. Entrega de hormigón premezclado	64
Figura 38. Ensayo del cono de Abrams	66
Figura 39. Cilindros de hormigón	68
Figura 40. Hormigonado de losas	69
Figura 41. Curado de losas	69
Figura 42. Conformación de perfil I.....	70
Figura 43. Falla en las losas de hormigón.....	78
Figura 44. Fuerzas internas en los conectores de corte.....	78
Figura 45. Efectos de flexión en la losa de hormigón.....	79
Figura 46. Rotación en los conectores de corte.	79

Figura 47. Propuesta para conectores en láminas deck trapezoidales.	80
Figura 48. Curvas carga-deslizamiento de ensayos monotónicos	81
Figura 49. Curvas carga-deslizamiento de ensayos cíclicos con conectores a 90°.....	82
Figura 50. Curvas carga-deslizamiento de ensayos cíclicos con conectores a 45°.....	82
Figura 51. Determinación de la capacidad de deslizamiento δ_u	86
Figura 52. Definición de factor de ductilidad.	90
Figura 53. Determinación de Δ_{max} y Δy	91
Figura 54. Variación de la rigidez en ensayos monotónicos	93
Figura 55. Variación de la rigidez en ensayos cíclicos con conectores a 90°	93
Figura 56. Variación de la rigidez en ensayos cíclicos con conectores a 45°	94
Figura 57. Cálculo de la energía disipada por ciclo de carga	96
Figura 58. Comparación de resultados de carga y deslizamiento	98
Figura 59. Comparación de resultados de rigidez y ductilidad	98
Figura 60. Comparación de resultados de disipación de energía.....	99
Figura 61. Comparación de resultados experimentales de investigaciones previas.....	102
Figura 62. Comparación ductilidad y rigidez con investigaciones previas	103

SIMBOLOGÍA

A_g = Área de la sección de la viga.

A_s = Área del acero de refuerzo.

A_{sa} = Área de la sección transversal del conector de corte.

b_c = Ancho de diseño de la sección de hormigón.

b_f = Longitud del patín de la sección de la viga.

b_o = Ancho promedio del nervio

β_v = Coeficiente de reducción de la resistencia de un conector con placa colaborante en base al GB50017.

C_w = Constante de alabeo.

d = Diámetro del conector de corte.

DA = Desviación absoluta.

Δ_{max} = Deslizamiento máximo registrado en la falla

Δy = Deslizamiento de fluencia

δ_u = Capacidad de deslizamiento último del conector de corte.

δ_{uk} = Valor característico del deslizamiento del conector de corte

e = Error porcentual respecto a la media.

E_c = Módulo de elasticidad del hormigón.

E_{cm} = Módulo de elasticidad del hormigón determinado por ensayo experimental

E_s = Módulo de elasticidad del acero.

e_{mid-ht} = Distancia desde el borde del conector hasta el alma de la placa de acero.

f'_c = Resistencia a la compresión del hormigón.

f'_{ck} = Resistencia a compresión del hormigón especificada para la investigación.

f'_{cm} = Resistencia a compresión del hormigón determinada por ensayo experimental

F_{cr} = Esfuerzo crítico de pandeo por flexión.

F_e = Esfuerzo de pandeo elástico.

F_u = Resistencia mínima a la tracción para el conector de corte.

F_{ut} = valor mínimo de la resistencia última real obtenido de los ensayos.

F_y = Esfuerzo mínimo de fluencia especificada para acero empleado

G = Módulo elástico de corte del acero.

γ = Relación de resistencia a tracción mínima y el límite elástico.

γ_v = Coeficiente parcial de seguridad, recomendado de 1.25.

h_p = Altura nominal del nervio.

h_{sc} = Altura nominal total del perno.

h_w = Altura del alma de la sección de la viga.

I_{xx} = Inercia de la sección de la viga respecto al eje x.

I_{yy} = Inercia de la sección de la viga respecto al eje y.

J = Constante torsional.

K = factor de longitud efectiva.

K_c = Coeficiente para elementos no atiesados formados por patines de vigas I soldadas.

k_n = Valor característico dado en la tabla D1 de la UNE-EN 1990.

K_{Rk} = Valor característico de rigidez del conector de corte.

k_t = Coeficiente de reducción de la resistencia de un conector con placa colaborante en base al Eurocódigo 4.

K_z = Factor de longitud efectiva para pandeo torsional respecto al eje longitudinal.

λ_r = Razón Límite Ancho-Espesor.

μ = Coeficiente de Poisson.

n = Número mínimo de muestras u observaciones que deben efectuarse en el estudio.

n_r = Número de conectores en un nervio.

P_{Rd} = Resistencia de diseño para comprobación de la resistencia característica del conector de corte.

P_{Rk} = Valor característico de resistencia.

P_u = Carga última de falla en ensayo Push-Out

Q_n = Resistencia de diseño del conector de corte.

r = Radio de giro sección transversal.

R_g = Coeficiente para considerar efecto de grupo.

R_p = Factor de efecto posicional debido al conector de corte.

S = Desviación estándar.

S_{max} = espaciamiento máximo del acero de refuerzo.

t_c = Espesor de losa por encima de la cresta.

t_f = Espesor del patín la sección de la viga.

T_n = Criterio de prueba para tiramiento de datos atípicos.

t_w = Espesor del alma la sección de la viga.

\bar{x} = Media de los resultados del espacio muestral.

w = Rendimiento mínimo esperado, eficiencia mínima esperada o diferencia mínima observable.

Z_α = Valor correspondiente al nivel de confianza asignado (Riesgo de cometer un error tipo I).

Z_β = Valor correspondiente al poder estadístico o potencia asignada a la prueba.

RESUMEN

La presente investigación expone el análisis técnico experimental del comportamiento de conectores de corte tipo ángulo en sistemas compuestos. Las propiedades geométricas, mecánicas y ubicación de los conectores influyen en el comportamiento del sistema dando un amplio campo de estudio. Los conectores tratados poseen una altura de 95 mm con alas iguales de 40 mm y espesor de 4 mm, ubicados en planta a 45° y 90°, soldados en una viga metálica de sección I y embebidos en losa compuesta de lámina metálica y hormigón de 22.2 MPa a los 28 días.

La función de los conectores es transmitir los esfuerzos cortantes de la losa a la viga o viceversa, además de presentar otras características físicas como ductilidad, rigidez o disipación de energía. Normativas internacionales como el Eurocódigo 4, presenta un ensayo enfocado a este estudio denominado “Push-Out”, el cual consiste en la aplicación de cargas cíclicas sobre especímenes, partiendo de un ensayo monotónico. Se emplearon 7 probetas por cada posición del conector, en total 14, adicionalmente, se detalla el proceso constructivo, normativas regidas y estudios previos para el respectivo ensamblaje.

Se describe el comportamiento de los conectores de corte tipo ángulo en el sistema compuesto a partir del modo de falla presentado (“back-breaking” o “rolling fracture”) y el análisis de los resultados bases dados por el ensayo Push-Out (curvas carga-deslizamiento) en conjunto con otras investigaciones similares, así como criterios presentados por normativas internacionales.

ABSTRACT

This investigation presents an experimental technical analysis of the behavior of angle-type shear connectors in composite systems. The geometric and mechanical properties and location of the connectors influence the behavior of the system, producing a wide field of study. The connectors treated in this study have a height of 95 mm with equal wings of 40 mm and a thickness of 4mm, located in plan at angles of 45° and 90°, welded in a metal beam of section I and embedded in a slab composed of metal sheet and 22.2 MPa concrete at 28 days.

The function of the connectors is to transmit the shear forces of the slab to the beam or vice versa, in addition to presenting other physical characteristic such as ductility, rigidity or energy dissipation. International regulations such as Eurocode 4 present a test focused on this study called “Push-Out”, which consists of the application of cyclical loads on specimens, starting from a monotonic load. 7 specimens were used for each position of the connector, for a total of 14, additionally, the construction process, standards and previous studies for the respective assembly are detailed.

The behavior of the angle-type shear connector in the composite system is described of the presented failure mode (“back-breaking” o “rolling fracture”) and the analysis of the base results given by the Push-Out test (curves load-slip) in conjunction with other similar investigations, as well as criteria presented by international regulations.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la Ingeniería Estructural está asociado con la evolución de la Mecánica de Materiales y del Análisis Estructural, al desarrollo de aplicaciones computacionales, a la inclusión de nuevos materiales en la construcción, la creación de nuevos sistemas estructurales y al desarrollo de las técnicas de construcción tradicionales (OCW, 2015). Desde tiempo atrás, se ha venido generando cambios en los métodos constructivos tradicionales, dando paso a nuevos sistemas, especialmente la construcción compuesta de acero y hormigón como una buena opción para puentes y edificios de varios pisos. Sin embargo, se debe fomentar el uso de estructuras compuestas con toda su eficiencia y ventajas estructurales e incluso podrían volverse más populares para construcciones medianas y pequeñas (Bezerra et al., 2018).

En Ecuador el uso del sistema de losas compuestas con placa colaborante o lámina deck ha venido creciendo debido sus ventajas como: menor tiempo de armado, estructura liviana, otorga mayor facilidad a las instalaciones eléctricas e hidrosanitarias (Gallegos & Morales, 2014). La acción compuesta entre el acero y el hormigón presenta una transferencia de corte debida a la fricción resultante, siendo necesario la inclusión de anclajes en el sistema conocido como conectores de corte (Verduzco, 2006). Los conectores de corte más frecuentes usados en losas con placa colaborante son: pernos (Stud) y perfiles tipo canal (UPN), aunque también varillas corrugadas de acero, varillas en arco, entre otros. Los investigadores ahora están buscando mecanismos de conexión innovadores para superar la debilidad de los conectores de corte convencionales, la Escuela Politécnica Nacional presenta estudios referentes al comportamiento de estos tipos de anclajes.

El presente estudio describe el comportamiento a corte de conectores tipo ángulo, como nueva propuesta para un adecuado trabajo monolítico del sistema de

losa compuesta con lámina deck; ya que actualmente no hay normativa que especifique este comportamiento y valide su uso en sistemas de estructuras compuestas. Existen algunos estudios centrados en el uso de estos tipos de conectores, por lo que el presente trabajo se enfocará en el reforzamiento de dichos resultados para brindar más alternativas y variedades en el uso de conectores que dependerán de las solicitaciones presentadas en el sistema (Galán & Jaramillo, 2012).

Utilizando ensayos Push-Out, se han investigado los efectos de los conectores de corte en losas macizas y compuestas junto con los diferentes parámetros que afectan su comportamiento. El comportamiento de los conectores angulares será obtenido considerando estudios previos de este tipo, proyectado en 14 modelos experimentales divididos en dos series, variando el posicionamiento del conector.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar la resistencia a corte de los conectores tipo ángulo de 4 milímetros de espesor en sistemas de losa compuesta con lámina deck, mediante la experimentación de probetas, usando el método Push-Out.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer las variables que se estudiarán en el ensayo, por medio de la revisión de prácticas similares, para relacionar este estudio con otros semejantes.
- Estudiar experimentalmente la capacidad resistente del conector de corte tipo ángulo variando la forma de colocación a 45° y 90°, cumpliendo con las especificaciones establecidas en la normativa nacional.
- Determinar los parámetros que son directamente proporcionales a la resistencia del conector.
- Proponer una configuración conveniente de los conectores de corte, referente a su posición, para su aplicación en obra.

1.3. JUSTIFICACIÓN

1.3.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

En construcciones compuestas como losas con lámina deck, la transferencia de esfuerzos a los elementos que la soportan se logra a través de conectores de corte. Los conectores tienen un rol importante en la respuesta sísmica ya que estos deben garantizar el comportamiento monolítico del sistema (Galán & Jaramillo, 2012). De tal manera que el conector tipo ángulo presentaría una mejor adherencia con el hormigón por presentar mayor área superficial en comparación a conectores convencionales (Talavera, 2013). Este comportamiento puede ser determinado por métodos analíticos a través de programas que usan métodos como el de elementos finitos, sin embargo, estos métodos deben ser justificados mediante ensayos prácticos (Toghroli & Safa, 2018).

El presente estudio experimental de conectores de corte tipo ángulo en losas compuestas con lámina deck, proporcionará un soporte teórico que valide su uso, mediante ensayos Push-Out de probetas compuestas de hormigón y acero en un sistema de loseta con lámina deck. Al momento en el Ecuador existen pocos estudios de este tipo de conector en losas con placa colaborante, presentado en la tesis de pregrado de los autores (Rogel & Tenorio, 2018), teniendo como recomendación continuar con el estudio de estos conectores para reforzar los resultados.

1.3.2. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA

Se realizará el análisis de este tipo de conector desde la condición de inicio hasta su falla, en base a gráficas carga-deslizamiento generadas a partir de los resultados de deformaciones y capacidades, obtenidas de los ensayos de Push-Out realizados a probetas elaboradas en base a las normativas nacionales e internacionales. El modelo experimental trabajará hasta el rango inelástico permitiendo generar valores de ductilidad, rigidez y disipación de energía más próximos a la realidad (Hurtado et al., 2008).

1.3.3. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

El presente estudio experimental servirá de respaldo teórico que permita a constructores e investigadores el uso de conectores tipo ángulo y se tome como una nueva alternativa en sociedades que han acogido el acero como material

principal en las construcciones de edificaciones, como es el caso del Ecuador, donde entidades públicas y privadas están usando el acero por sus beneficios en ahorro de tiempo en procesos constructivos, bajo peso y alta capacidad sismo resistente (El Diario, 2017).

1.4. NORMATIVA DE REFERENCIA

En cada país se disponen normas de calidad y seguridad en función del medio de construcción local. En Ecuador se tiene la Normativa Técnica INEN encargada de evaluar la calidad y funcionalidad de los materiales para cada método constructivo. La configuración de las probetas parte de las recomendaciones dadas por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), tomando en cuenta la sección de estructuras de hormigón armado NEC-SE-HM y estructuras de acero NEC-SE-AC. Esta normativa es una combinación de normas extranjeras encabezando las de origen estadounidense (NEC, 2015).

La sección de estructuras de acero dispone el diseño de los anclajes mediante instrucciones dadas por la norma ANSI/AISC 360 (2016), donde presenta un apartado con los detalles del diseño de conectores de tipo perno. En adición, la normativa europea UNE-EN-1994 (2013) o Eurocódigo 4 presenta las diferentes bases del diseño de conectores de corte tipo perno. Al no existir una normativa referente al diseño de conectores tipo ángulo específicamente, se genera incertidumbre en su aplicación.

El comportamiento de los conectores de corte será obtenido mediante un ensayo de corte Push-Out. La norma más actual referente a este tipo de ensayo es el Eurocódigo 4, presentando en su anexo B todas las especificaciones necesarias tanto para la preparación de la probeta, como el procedimiento del ensayo (UNE-EN-1994, 2013).

1.5. ANTECEDENTES

Como se expuso anteriormente existe pocas normativas referentes al diseño de anclajes y en su totalidad se refieren solo a conectores de corte tipo tornillo (Stud). La falta de información para el diseño de estos obliga a realizar estudios que ayuden a predecir el comportamiento y reducir el grado de incertidumbre para su aplicación en obra.

En las décadas recientes se han venido realizando ensayos por diferentes instituciones y autores reforzando el conocimiento para el diseño de conectores de corte.

1.5.1. ESTUDIOS INTERNACIONALES

Comportamiento de conectores de cortante tipo tornillo de resistencia grado dos para un sistema de sección compuesta

Estudio realizado por Hurtado X., Molina M. & Linero D. (2008) publicada por la revista de ingeniería e investigación en su vol. 28. Esta investigación expone información de fabricación y falla de 18 probetas con conectores tipo tornillo de diámetro de 1/2", 5/8" y 3/4", sometidas a ensayo de corte directo. El trabajo presenta una descripción detallada de los resultados, así como un análisis de la probeta en un software que aplica la metodología de elementos finitos. La investigación usa como viga metálica un perfil I y concreto de 21 MPa para las losas macizas.

Comportamiento de conectores de cortante tipo tornillo en secciones compuestas con lámina colaborante

Este trabajo es una tesis de investigación realizada en la Universidad Nacional de Colombia por Luis Erazo (2017). El estudio presenta como objetivo, analizar los conectores en posición fuerte y débil en un sistema de losa compuesta con lámina colaborante, el efecto del cambio de diámetros de conectores tipo tornillo y la disposición de la placa colaborante con respecto a la viga metálica. Los ensayos se realizaron en 63 probetas aplicando el ensayo de corte directo, teniendo como resultado modelos matemáticos que determinan cómo se comportan los conectores tipos tornillos en función de las variables de entrada.

Estudio experimental de conectores de cortantes desmontables en losas mixtas con lámina deck

Trabajo enfocado en conectores tipo perno con tuerca en losas compuestas con lámina deck. Publicado en el vol. 122 de la revista "Journal of Constructional Steel Research" por los autores Rehman N., Lam D., Dai X. & Ashour A.F. (2016). En el estudio se realiza el ensayo Push-Out de 12 probetas para obtener y describir

la resistencia corte, ductilidad y rigidez de las conexiones desmontables. El trabajo determina que las cualidades indicadas del conector desmontable son similares a los soldados, sin embargo, encuentra que estos poseen una rigidez ligeramente menor.

Comportamiento de angulares como conectores de cortante en vigas de acero de sección compuesta

Proyecto de titulación para la obtención de licenciatura en ingeniería civil en la universidad de Costa Rica realizado por Chacón Vega (2012). Este estudio se enfoca en la observación de la conducta de conectores de corte tipo ángulo en vigas compuesta. Mediante el ensayo Push-Out se analiza 4 espesores diferentes con 3 probetas cada uno, obteniendo modos de fallas por agrietamiento del concreto y deterioro de los conectores. En sus resultados indica que las formulaciones dadas por el AISC-360 para conectores tipo tornillo lisos con cabeza redonda sobreestiman la capacidad de los conectores tipo ángulo en un 40% aproximadamente.

Resistencia de los conectores tipo tornillo a cortante en vigas mixtas utilizando láminas de acero perfilado

Estudio realizado por los autores Bonilla J., Bezerra L. & Mirambell E. (2019), publicado en el volumen 187 de la revista "Engineering Structures". El trabajo describe como se comportan los conectores de corte en vigas compuestas con lámina deck por medio de la modelación con el programa ABAQUS que usa la metodología de elementos finitos. Para la simulación utiliza los modelos dados por Jayas & Hosain (1988), aplicando la carga en el alma de la viga con el algoritmo RIKS modificado. Esta investigación estudia la influencia de la posición de los conectores en la lámina y la resistencia del hormigón.

El estudio concluye que los conectores de corte en la posición fuerte permiten una resistencia mayor al 40% que al estar en la posición débil. Por otra parte, especifica que los conectores también adquieren mejor resistencia a corte a mayor capacidad a compresión del hormigón especialmente al estar ubicado en la posición fuerte.

Comportamiento estático y a la fatiga de conectores de corte para una viga de material compuesto de acero y hormigón.

Deng et al. (2019) estudia el conector tipo canal como nuevo conector de corte para puentes compuesto de acero y hormigón. El estudio brinda un análisis experimental y comparativa con conectores de corte más comunes como los conectores en ángulo y conectores de nervadura doble perforada (T-PBL). Se realiza 36 pruebas de corte directo en tres grupos de 12, analizando el comportamiento estático y de fatiga.

Los resultados presentan que los conectores tipo canal tienen una capacidad a corte mayor seguidos por los conectores tipo ángulo, además de presentar una degradación de rigidez más lenta, con respecto a la disipación de energía los conectores tipo canal se asemejan a colectores tipo ángulo.

Pruebas Push-Out en tres conectores de corte innovadores para vigas compuestas hormigón- viga de acero conformada en frío.

Bamaga et al. (2019) presenta el estudio de 3 conectores innovadores utilizados en secciones compuestas con losas deck y una viga a base de dos perfiles metálicos tipo C conformado en frío.

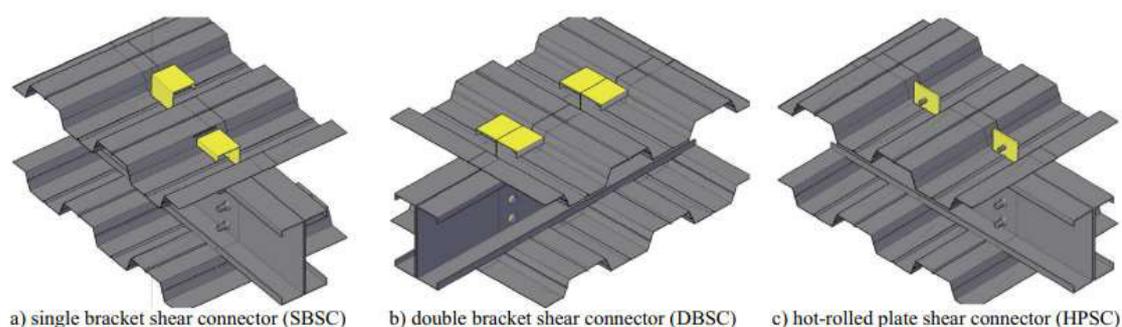


Figura 1. Conectores propuestos por Bamaga

Fuente: (Bamaga et al., 2019)

Se ejecutaron pruebas Push-Out en base al Eurocódigo 4 en un total de 12 probetas, con la intención de establecer la resistencia a corte, ductilidad y rigidez de los conectores propuestos. El estudio determina que la capacidad de un conector depende de su deformación y el aplastamiento del hormigón, además concluye que los conectores propuestos son adecuados para la construcción de

vigas compuestas ya que se encuentran dentro del rango de ductilidad estándar y poseen mayor resistencia que conectores tipo tornillo u otros disponibles en el mercado.

Evaluación de resistencia de conectores de corte de nervadura perfora tipo Y bajo cargas repetidas.

S.-H. Kim et al. (2021) describe el comportamiento de conectores de corte de nervadura perforada tipo Y bajo cargas cíclicas, las cargas fueron seleccionadas en 4 intensidades diferentes en función de una carga monótona oscilante entre el 35% y 65% de la carga máxima, presenta como objetivo, analizar la disipación de energía de los conectores de corte bajo diferentes intensidades de carga.

El experimento se llevó a cabo en 12 probetas bajo 5 magnitudes de cargas cíclicas, como resultado obtiene una expresión que predice la capacidad a corte residual producto al desgaste por cargas repetitivas.

1.5.2. ESTUDIOS REALIZADOS EN LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

Ensayo experimental de los conectores de corte de las losas tipo deck

Proyecto realizado por Galán V. & Jaramillo D. (2012) para la obtención del título de ingeniero civil. El trabajo presenta una reproducción de losas compuestas con lámina deck usando diferentes tipos de conectores de corte, empleando el método de corte indirecto. Los casos presentados son: sin restricción a corte y con conectores tipo varilla, arco y UPN aplicados en 4 losas. El resultado del estudio presenta el análisis del comportamiento de las losas compuestas en cada caso, en base a los resultados de esfuerzo-deformación, rigidez y agrietamiento obtenidos.

Ensayo experimental de los conectores de corte tipo ángulo en losas tipo deck sobre estructura metálica

Proyecto realizado por Rogel J. & Tenorio G. (2018) para obtención de título de ingeniero civil. La investigación tiene por objeto el análisis de conectores de corte tipo ángulo L 40x4 en losas compuestas con lámina deck. Los ensayos se dan en 20 probetas analizando el comportamiento en función del posicionamiento de los ángulos y la capacidad a compresión del hormigón. El estudio obtuvo como

resultado que los conectores posicionados a 45° soportan mayor carga de corte que los de 90°; con respecto a la resistencia del hormigón, se determina que a 280 kg/cm² se obtiene un mejor comportamiento independiente de la posición del conector.

Análisis de la resistencia a corte de los conectores tipo ángulo en losas de hormigón armado sobre estructura metálica

Proyecto realizado por Franco J. & Martínez M. (2020) para obtención de título de ingeniero civil, tiene por objeto el análisis de conectores de corte tipo ángulo en sistemas de viga metálica con losa maciza. El análisis se realiza en base a ensayos Push-Out de 14 probetas con conectores de dimensiones similares a los propuestos por Rogel & Tenorio (2018), en función de su posición con un hormigón de 24 MPa de resistencia. El estudio compara la experimentación con los valores teóricos basados en formulaciones descritas por las normativas para determinación de las resistencias a corte de los conectores, presentando en los resultados un error promedio del 26%.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. CONSTRUCCIONES COMPUESTAS

El término “construcción compuesta” en ingeniería civil se aplica al uso de dos o más materiales diferentes que cuando se combinan, presentan un mejor desempeño que sus componentes individuales. Sin embargo, el término se utiliza a menudo para el caso particular de sistemas construidos con acero y hormigón. El caso más simple es el uso de losas de hormigón en la construcción de estructuras metálicas. En otros casos, se utilizan elementos rellenos o embebidos, lo que permite un uso óptimo de ambos materiales (Crisafulli, 2018).

El Eurocódigo 4 (2013) define a los elementos compuestos o mixtos como: *“Elemento estructural compuesto por hormigón y acero, vinculados mediante una conexión de forma que se limite el deslizamiento longitudinal relativo entre ambos, así como la separación de un componente respecto al otro”*.

La combinación correcta de acero y hormigón permite minimizar los problemas de inestabilidad del acero, además compensa la baja resistencia a tracción del hormigón, permitiendo aumentar la resistencia y rigidez de los miembros (Crisafulli, 2018). Además de las ventajas estructurales, la alta relación resistencia/peso permite tener losas de menor espesor y vanos que cubren mayores claros. Adicionalmente, es posible agilizar el proceso constructivo ya que en el caso de losas se puede evitar el uso de encofrados, apuntalamiento y se puede continuar con el montaje de la estructura sin esperar el fraguado del hormigón; estos beneficios permiten un aprovechamiento óptimo del material y estructuras más ligeras (Alvarez & Cházaro, 2010).

2.1.1. COMPORTAMIENTO DE ELEMENTOS COMPUESTOS

La característica fundamental que define a las estructuras compuestas es la acción simultánea del acero y el hormigón para resistir las solicitaciones. Estos materiales, aunque en esencia diferentes, son completamente compatibles y se

complementan entre sí; poseen casi la misma dilatación térmica y una combinación idónea de resistencia, ya que el hormigón es efectivo compresión mientras que el acero lo es a tracción (*Construcción Mixta*, 1997). Para que exista un comportamiento compuesto es indispensable que haya transferencia de esfuerzos entre el acero y el concreto y viceversa. Esto es posible por la adherencia entre la superficie de acero y el hormigón pero su resistencia es limitada, cuando esta adherencia es insuficiente para asegurar el intercambio de esfuerzos, se emplean uniones mecánicas, través de conectores de cortante embebidos en el hormigón armado y soldados al acero (Alvarez & Cházaro, 2010).

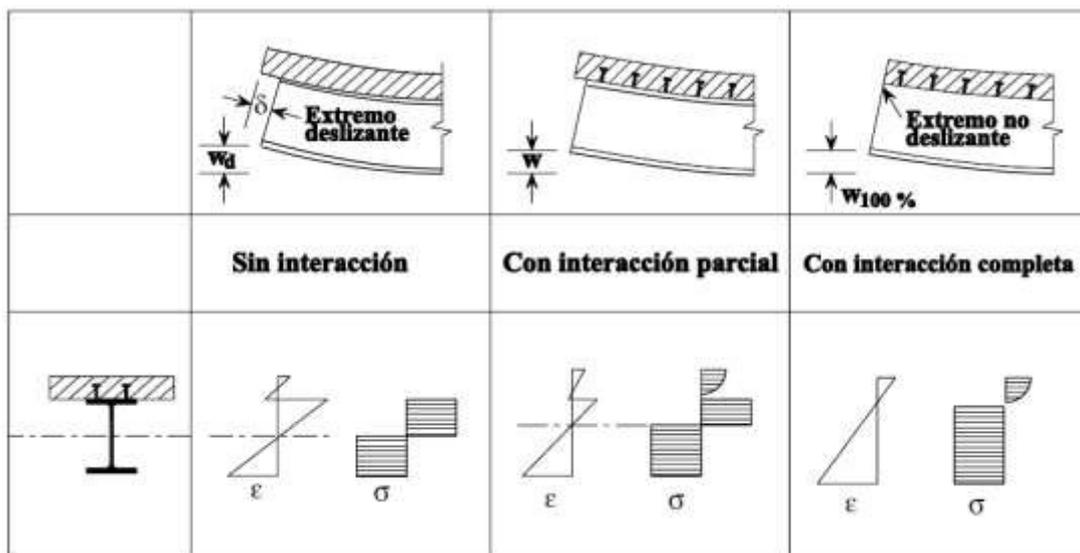


Figura 2. Interacción entre viga de acero y losa de hormigón

Fuente: (*Construcción Mixta*, 1997)

2.1.2. VIGAS COMPUESTAS

Las vigas compuestas son elementos creados a partir de la combinación de una sección de acero (generalmente secciones I o U) y una losa de hormigón armado. La acción compuesta entre el acero y el hormigón se consigue por medio de conectores soldados al ala superior de la viga. Dichos conectores deben poseer una resistencia adecuada para tolerar los esfuerzos cortantes que surgen de la acción compuesta entre ambos elementos de la sección. Este tipo de viga compuesta comúnmente se usa en edificios aporricados con elementos de acero con el fin de disminuir las dimensiones de la sección y costos de construcción (Crisafulli, 2018).

La deformación de una viga compuesta continua bajo cargas verticales se observa en la figura 3a. La distribución de fuerzas en la región positiva o sección entre los puntos de inflexión es diferente al comportamiento en la región negativa o sección entre un punto de inflexión y el soporte adyacente (Oehlers & Bradford, 2013).

La sección de una viga compuesta entre los puntos de inflexión se puede visualizar como simplemente apoyada como se observa en la figura 3b. La resultante de las fuerzas de flexión en la sección de hormigón es de compresión, mientras que las fuerzas resultantes en la sección de la viga son de tracción, entonces se puede considerar que la sección transversal de la viga está compuesta de hormigón y acero como se muestra en la figura 3c (Oehlers & Bradford, 2013).

La fibra de hormigón adyacente a la unión acero/hormigón está tratando de expandirse bajo las fuerzas de flexión, mientras que la fibra de acero está tratando de contraerse bajo las cargas de flexión como se aprecia en la figura 3b. Esta deformación relativa distorsiona los conectores, provocando que se apoyen en el hormigón en las zonas marcadas con asteriscos en la figura 3. Por lo tanto, los conectores están aplicando un empuje sobre el hormigón en dirección al centro de la viga compuesta y están sujetos a fuerzas horizontales de corte. La distorsión por flexión también intenta inducir la separación vertical entre los elementos de hormigón y acero, el componente de tracción generado por estas fuerzas es resistido por los conectores de corte, mediante la adherencia generada por el área lateral del conector, además del área de sección transversal que forma la cabeza en los conectores tipo perno (Oehlers & Bradford, 2013).

En la región de momento negativo entre un punto de inflexión y el soporte adyacente, la viga compuesta actúa como un voladizo como se aprecia en la figura 3d. El hormigón está en tensión y generalmente presenta grietas, por lo que no contribuye a la resistencia de la estructura. Por lo tanto, se puede considerar que la viga consta solo del elemento de acero y los elementos de barras de refuerzo como se observa en la figura 3e. La sección ya no es compuesta sino una estructura de acero, aunque todavía se conoce como viga compuesta, ya que el hormigón es necesario para transferir la carga a las barras de refuerzo. La deformación por flexión de los elementos provoca la misma distorsión en los conectores de corte

que ocurre en la región positiva, de modo que estos conectores también están aplicando un empuje sobre el hormigón dirigido hacia el centro de la viga (Oehlers & Bradford, 2013).

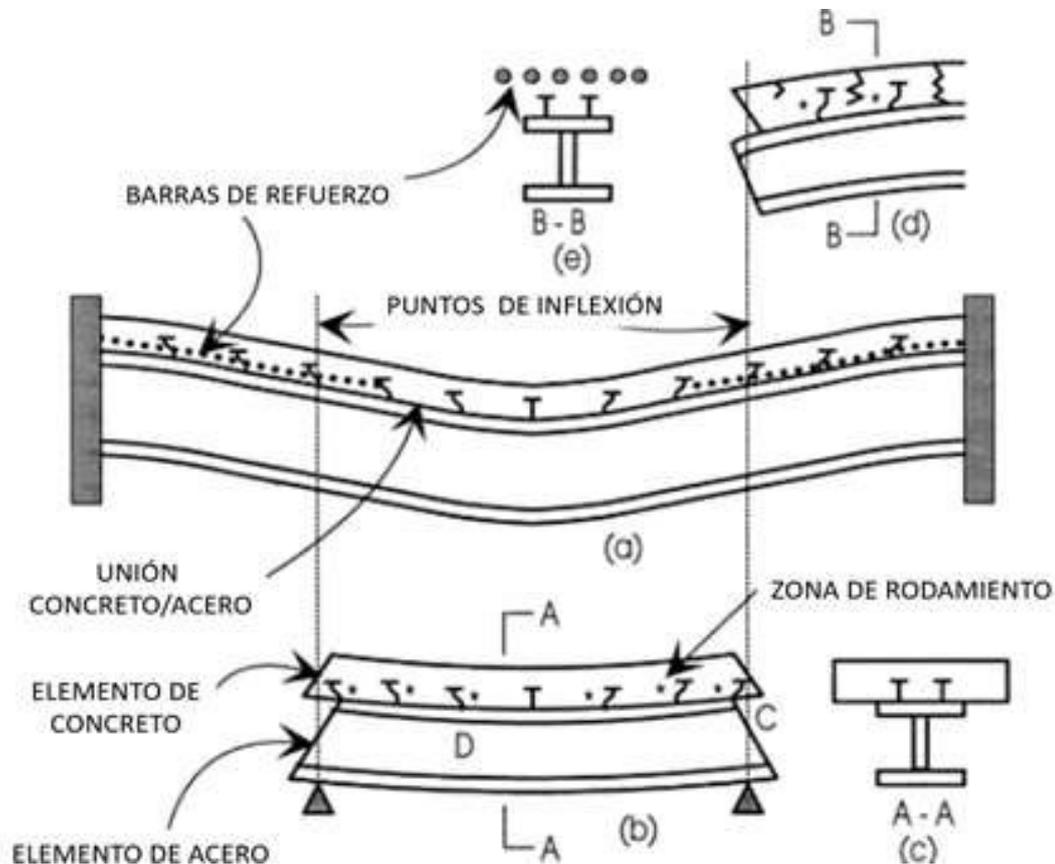


Figura 3. Deformación de viga compuesta

Fuente: (Oehlers & Bradford, 2013)

2.1.3. LOSAS COMPUESTAS

Una losa compuesta consiste en utilizar láminas de acero perfiladas (Steel Deck) como encofrado capaz de soportar el vertido del hormigón, el acero de refuerzo y las cargas de ejecución. Consecuentemente las láminas se acoplan con el hormigón endurecido en un solo sistema estructural actuando como refuerzo a tracción. El trabajo conjunto del hormigón y la lámina posibilita minimizar los espesores de hormigón en las losas de entrepiso, reduciendo así el peso propio y costos de estructura (López et al., 2007).

El papel principal de las losas es conformar superficies horizontales que reciben las cargas gravitatorias y transferirlas a las columnas. Además, bajo la

acción de fuerzas sísmicas tiene un comportamiento parecido a diafragmas horizontales que distribuyen las fuerzas entre los elementos verticales, en relación a sus rigideces relativas. Generalmente las losas compuestas se apoyan sobre vigas principales y vigas secundarias, las cuales descansan sobre las principales y reducen las luces de las losas como se muestra en la figura 4, estos elementos de acero pueden ser perfiles laminados o contruidos con placas soldadas (López de Heredia, 2004).

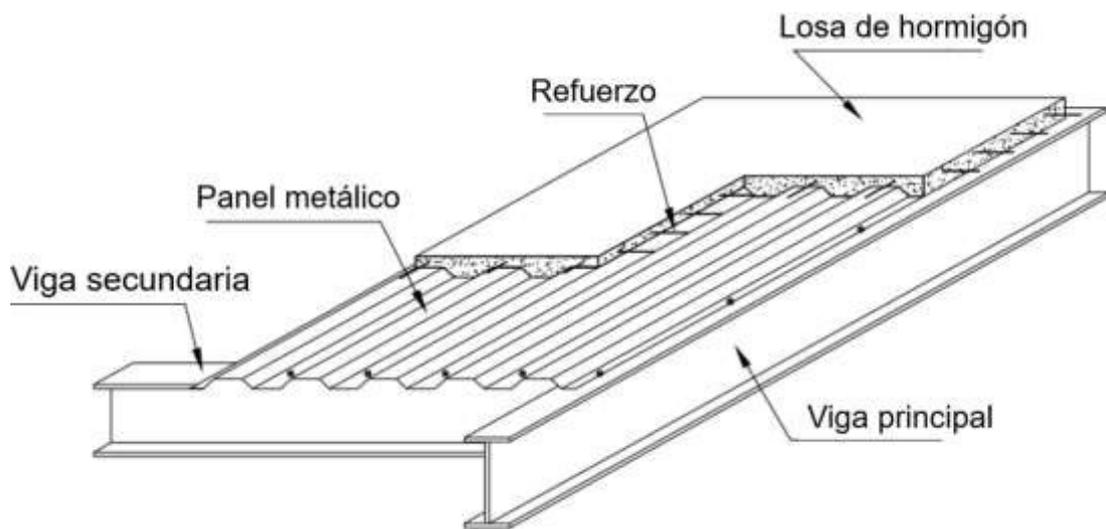


Figura 4. Sistema losa compuesta usando Steel Deck

Fuente: (Vizuetete, 2007)

La lámina de acero debe ser capaz de transmitir esfuerzos rasantes en su unión con el hormigón, la adherencia por sí misma entre la lámina y el hormigón no se considera eficaz en la acción compuesta. Para asegurar un adecuado comportamiento se emplean uno o varios de los siguientes procedimientos: muescas o resaltos en la superficie de la lámina (figura 5a), que se desempeñan como conectores mecánicos para transferir esfuerzos; adherencia por fricción para perfiles con las alas de los nervios formando un ángulo agudo con la base (figura 5b), el uso de anclajes a los extremos de la lámina proporcionados por conectores de corte embebidos en el hormigón (figura 5c) y anclajes proporcionados por la deformación de los nervios al final de la lámina (figura 5d) (UNE-EN-1994, 2013).

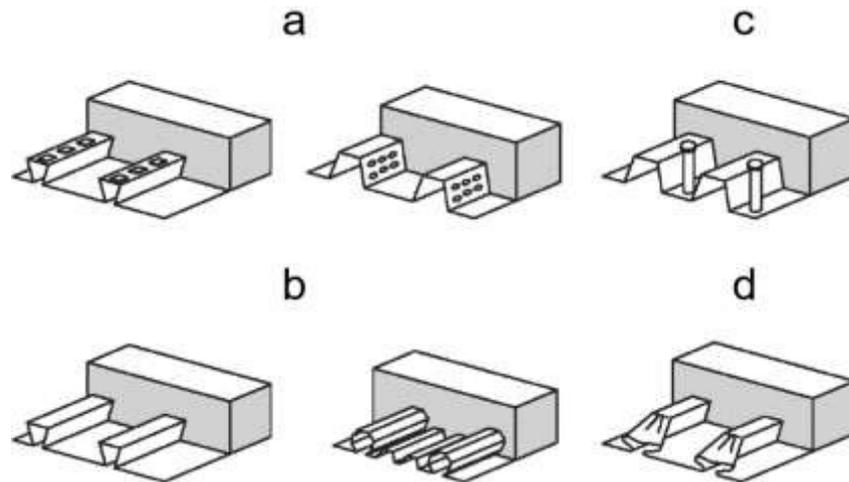


Figura 5. Formas típicas de unión en losas mixtas

Fuente: (UNE-EN-1994, 2013)

Para la presente investigación, se plantea el uso de lámina de acero perfilada trapezoidal (Steel Deck) apoyada en una sección de acero I como viga, ambos elementos se unen mediante conectores de corte tipo ángulo soldados y embebidos en una capa de hormigón reforzados, en adelante descrito como losa deck. Los materiales y procesos son los establecidos por la norma INEN, en la figura 6 se detallan los elementos que conforman el prototipo.

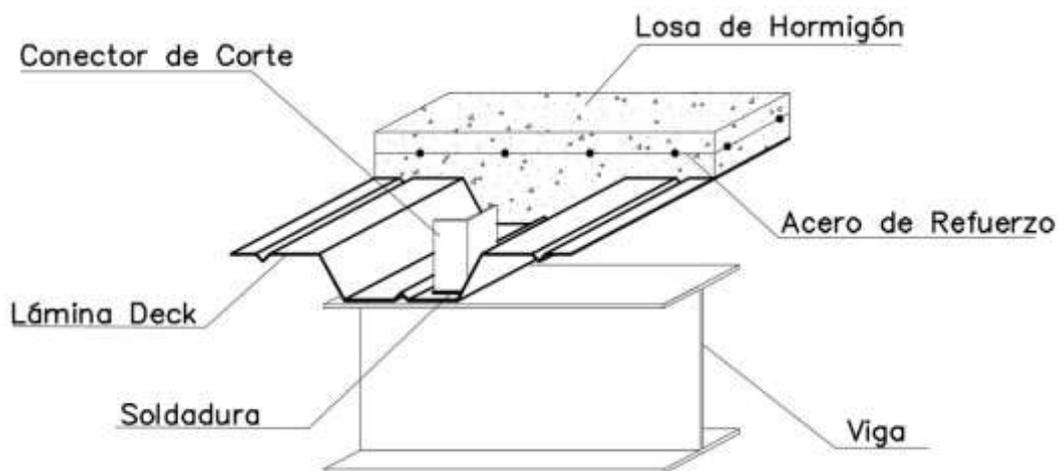


Figura 6. Detalle del prototipo

Elaborado: Valenzuela & Velasco

2.2. CONECTORES DE CORTE

En construcciones compuestas la adherencia entre el hormigón y los elementos de acero con superficie lisa como los perfiles metálicos es despreciable.

Estos dos materiales deben trabajar de manera conjunta, siendo necesario la colocación de conectores de corte usualmente soldados en la estructura metálica (Crisafulli, 2018).

Los conectores de corte pueden jugar un papel importante en el desempeño sísmico de una estructura. Se comportan como una conexión de cortante necesaria para la acción compuesta en flexión, y puede repartir las fuerzas inerciales horizontales en la losa a los principales elementos resistentes a cargas laterales en la estructura (A. Shariati et al., 2012).

Para un mejor entendimiento de las acciones en un conector de corte, en la figura 7 se ilustra la transferencia de la fuerza cortante a un conector tipo tornillo. La fuerza cortante P ingresa a través de la base del conector en la capa de hormigón. La acción P_w se introduce con una inclinación en la soldadura que une el conector con la viga. Con el aumento de la presión en el hormigón en la base del conector, se produce el aplastamiento del hormigón transmitiendo las fuerzas de corte P_B al vástago del conector, esto provoca deformaciones plásticas D , resultantes de la flexión del vástago del conector dando como resultado fuerzas de tracción en el conector de corte, lo que evita la elevación vertical. Debido a estas fuerzas se genera un esfuerzo por la presión del hormigón, especialmente en el extremo superior del conector, que además, activa las fuerzas de fricción en el contacto entre el hormigón y el ala de la viga (Ranković & Drenić, 2002).

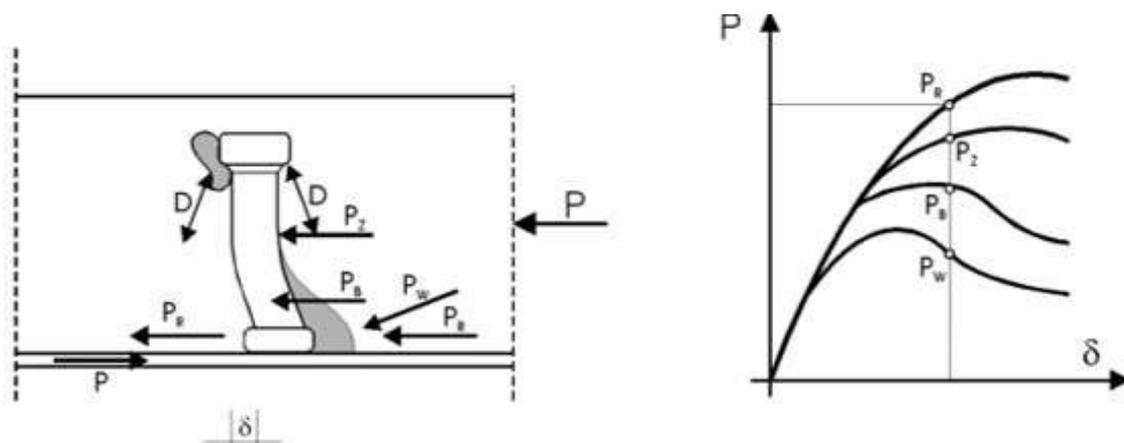


Figura 7. Mecanismo de distribución de fuerzas de corte en conectores corte esparrago.

Fuente: (Ranković & Drenić, 2002)

2.2.1. TIPOS DE CONECTORES DE CORTE

En la actualidad existen diferentes tipologías de conectores de corte, y en función de la distribución de las fuerzas de corte y el comportamiento entre resistencia y deformación, se puede dividirlos como rígidos o flexibles. Los conectores rígidos resisten la fuerza cortante a través del lado frontal, y sus deformaciones son insignificantes hasta el punto de rotura. Este tipo de conector produce esfuerzos concentrados más fuertes en el hormigón circundante, dando fallas en el hormigón o la soldadura. En cambio, los conectores de corte flexibles, las fuerzas de corte son resistidas mediante flexión, tensión o corte en la base del conector, generando deformaciones plásticas pasada la resistencia de diseño. Los conectores flexibles se caracterizan por su ductilidad siendo más resistentes en cuestión de falla, incluso en situaciones de gran movimiento entre la viga y la losa (A. Shariati et al., 2012).

2.2.2. CRITERIOS DE DISEÑO

La función principal del conector de corte es absorber los esfuerzos cortantes horizontales y de separación vertical en el sistema compuesto, siendo necesario la estimación de una fuerza última de corte para el posterior diseño del conector por el método de estado límite de resistencia. Por el comportamiento de la fuerza cortante se tiene 3 tipos de estados límites; compresión del hormigón, tensión en la viga, y una resultante de corte que puede ser generada por la aportación de los conectores de corte (Navarro, 2012).

Para dar una acción compuesta al sistema, los conectores deben tener un comportamiento plástico, considerando únicamente falla por compresión del hormigón o falla a tensión de la viga metálica. Incorporando la filosofía de sismo resistencia es necesario que la falla sea de carácter dúctil, priorizando la falla en la viga (Navarro, 2012).

En caso de tratar parcialmente con una acción compuesta, el estado límite vendría a ser la resultante de corte de la suma de todos los conectores, ya que este determinará el esfuerzo resistente de la sección. La condición dada solo es válida en zonas de momento positivo. En zonas de momento negativo también se debe

considerar el esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo longitudinal de la losa (Navarro, 2012).

2.2.3. DISTRIBUSION DE LOS CONECTORES DE CORTE

Para la ubicación de los conectores en la viga de sección compuesta se tienen dos tendencias comunes; como primera consideración, se tiene la distribución de los conectores en función de los cortantes actuantes. Es decir, en la zona donde existe una mayor concentración de esfuerzos cortantes se requiere un menor espaciamiento entre los conectores, y mayor espaciamiento en zonas de menor corte, similar a la distribución de estribos en una viga de hormigón armado (Navarro, 2012).

Otra alternativa, es ubicar los conectores de forma progresiva, permitiendo mayor facilidad y rapidez en el montaje, como limitantes se tiene que, en situaciones donde se tenga la acción de cargas puntuales y se considere una reducción en el espaciamiento, el profesional a cargo debe procurar que se lleve dicha reducción, debido a que esto genera una menor atención de estos puntos por el personal de trabajo (Navarro, 2012).

En la actualidad, los perfiles metálicos vienen incorporados de una pestaña rigidizadora en el centro de los valles de las ondulaciones que forman el panel, dando una consideración adicional en la ubicación de los conectores. Los conectores no pueden ser soldados en la mitad de los valles, por consecuencia dando dos posibles ubicaciones vistas en la figura 8 (Navarro, 2012).

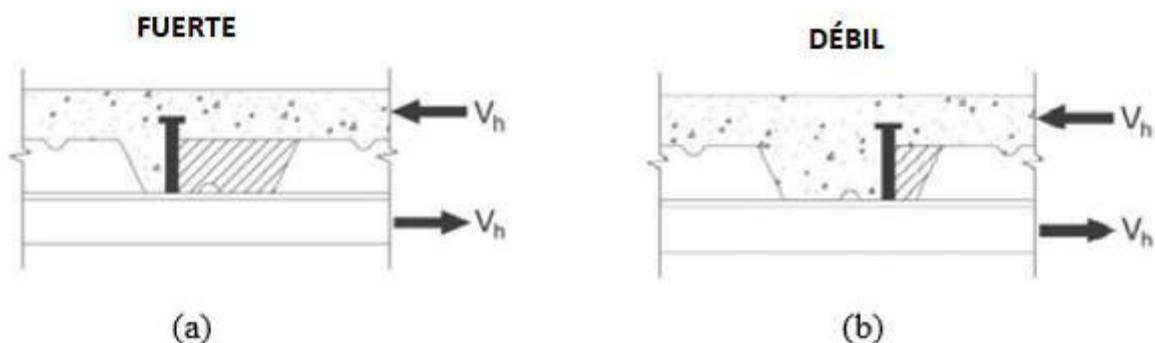
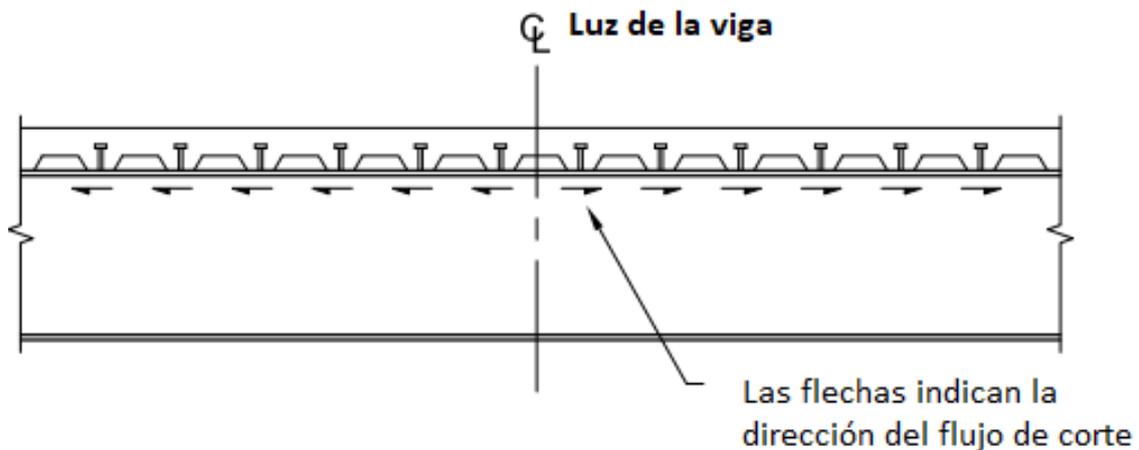


Figura 8. Posibles posiciones de conectores de corte

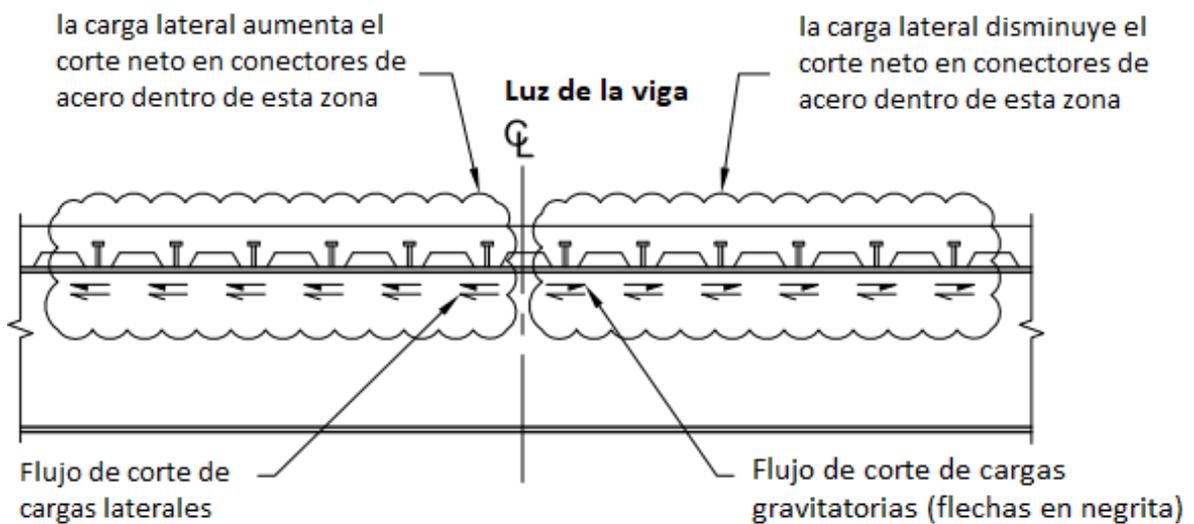
Fuente: (Samuelson, 2019)

Ambas posiciones producen distintos esfuerzos por lo que son tratados como: a) posición fuerte y b) posición débil. Diversos ensayos han logrado determinar que la posición fuerte puede tener 1.45 veces mayor resistencia que la posición débil. Por este motivo, el lado más fuerte es el más favorable, sin embargo, para determinar este tipo de ubicación es necesario un análisis matemático, que por consiguiente debe ser bien detallado estructuralmente por el analista (Navarro, 2012).

El flujo de corte cuando la estructura se encuentra solo bajo acción de cargas gravitatorias es del centro del vano hacia afuera. En la realidad la estructura puede estar bajo cargas laterales, estas cargas pueden superponerse con las gravitatorias, contrarrestando el flujo de corte en un lado del vano y aumentarlo en la otra mitad como se observa en la figura 9. La posición fuerte debe encontrarse al lado donde las cargas sean incrementadas (ANSI/AISC 360, 2016).



(a) Flujo de corte únicamente por cargas gravitatorias.



(b) Flujo de corte por combinación de cargas gravitatorias y laterales

Figura 9. Flujo de corte en vigas colectoras

Fuente: (ANSI/AISC 360, 2016)

2.2.4. ENSAYOS DE CONECTORES DE CORTE

Existen diferentes modelos matemáticos que ayudan a predecir el comportamiento de los diferentes tipos de conectores de corte, estos modelos matemáticos son resultado de ensayos experimentales. Para la evaluación del comportamiento de corte de los conectores se tiene conocimiento de la prueba de viga compuesta y prueba Push-Out. Sin embargo, por preferencia económica se opta por el uso de la prueba Push-Out (Verduzco, 2006).

El ensayo de viga compuesta se caracteriza por desarrollarse a escala real, siendo el ensayo más completo para analizar el comportamiento de los elementos que intervienen en la probeta. Sin embargo, al ser de gran tamaño resulta una desventaja, por necesidad de implementar una mayor cantidad de materiales (Chacón, 2012). La viga compuesta se ensaya con apoyos simples en los extremos y una carga puntual en medio de la luz, con el fin de generar un flujo de corte constante entre la losa de hormigón y la viga metálica (García & Molina, 2008). El montaje del ensayo se encuentra ilustrado en la figura 10.

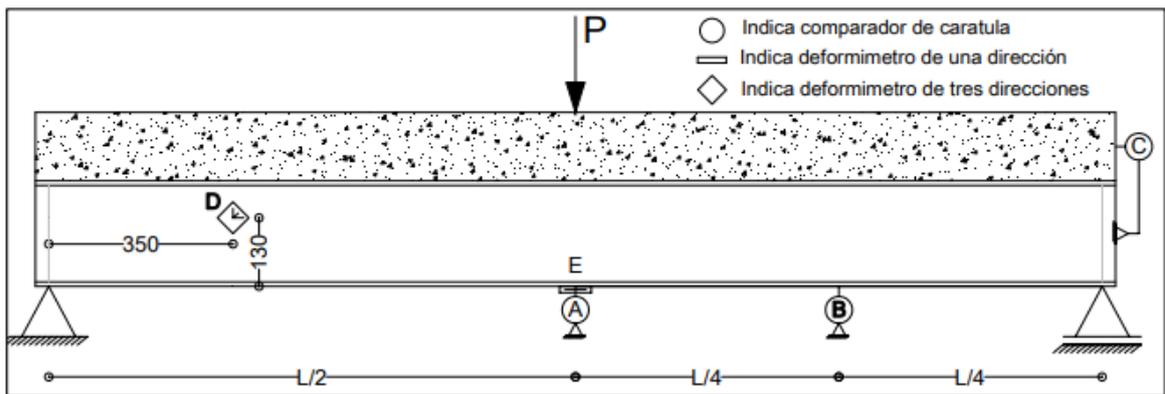


Figura 10. Montaje de ensayo de viga compuesta

Fuente:(García & Molina, 2008)

En la mayoría de las investigaciones referentes al comportamiento de los conectores de corte, como se tiene los casos de Viest (1956) y Ollgaard, Slutter & Fisher (1971), han ensayado con el método Push-Out, el cual consiste en una probeta conformada por un perfil metálico unido en las alas con dos bloques de hormigón por medio de los conectores de corte; la probeta apoyada en los bloques de concreto es sometida a una fuerza axial aplicada sobre el perfil metálico de forma que se genere el flujo de corte entre los dos elementos (El-lobody, 2002).

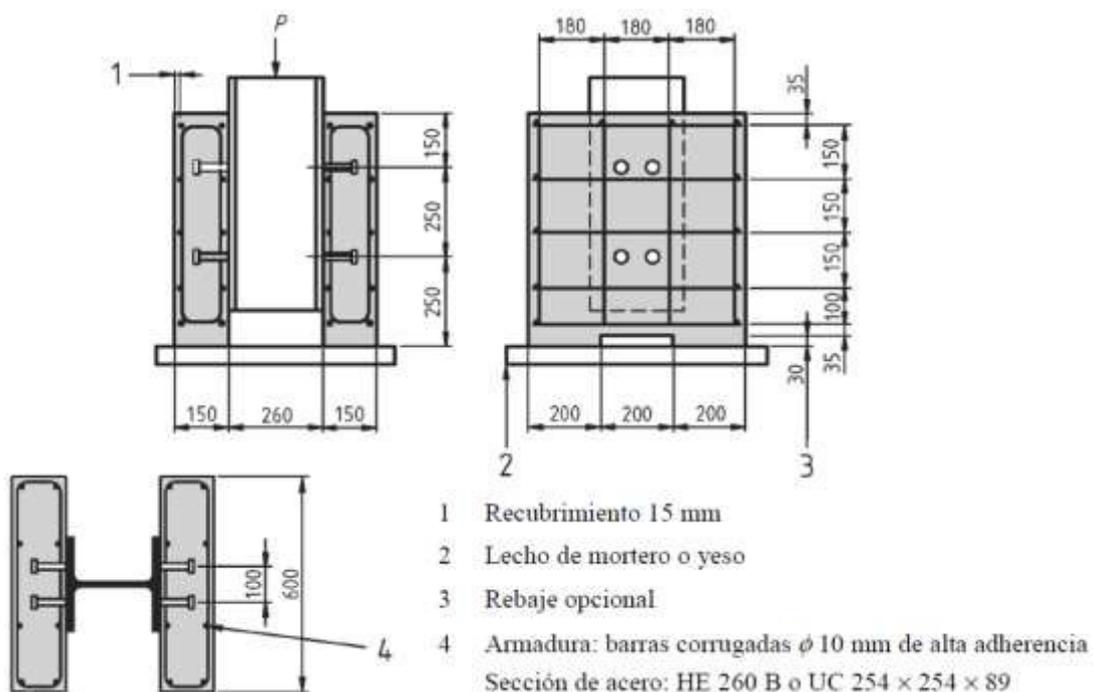


Figura 11. Probeta de ensayo Push-Out acorde al Eurocódigo 4

Fuente: (UNE-EN-1994, 2013)

El detalle de la prueba Push-Out se encuentra especificado en el Eurocódigo 4 con las dimensiones mostradas en la figura 11. El diseño de la prueba debe especificarse en detalle debido a que el comportamiento carga-deslizamiento se encuentra influenciado por muchas variables como, las geometrías y propiedades mecánicas de la losa, conectores de corte y la armadura (El-lobody, 2002).

Otra alternativa, para el montaje de las probetas es la dispuesta por la norma británica BS 5400 (2005). La cantidad de refuerzo y el tamaño de la losa es menor a comparación al dispuesto en el Eurocódigo 4 como se presenta en la figura 12. Reduciendo el número de conectores en el ensayo, obteniendo resultados más imprecisos sobre el comportamiento de los conectores de corte (El-lobody, 2002).

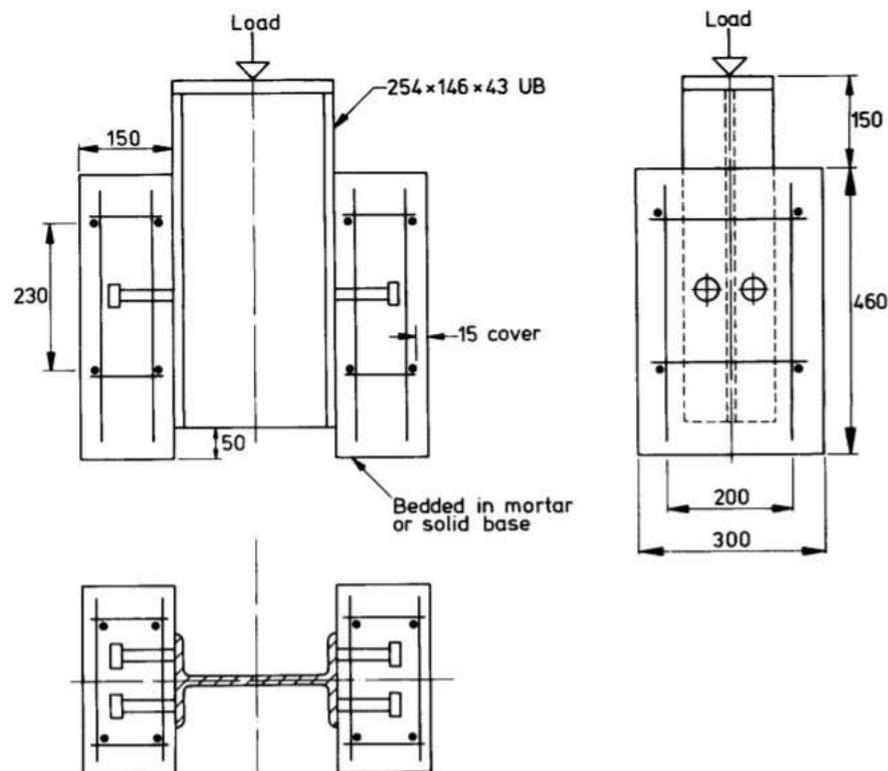


Figura 12. Probeta de ensayo Push-Out acorde a la norma BS 5400.

Fuente: (BS 5400, 2005)

2.2.5. MODOS DE FALLA EN CONECTORES DE CORTE

Los modos de fallas en conectores de corte suelen ser diversos, en algunas normativas como el ACI-318 y el Eurocódigo 4, muestran distintas formas de falla. En general los modos de falla resultados de ensayos Push-Out vienen dados en dos tipos (M. Shariati et al., 2010).

Fallo del conector.- Se caracteriza por la fractura del alma del conector cerca del filete de soldadura (M. Shariati et al., 2010).

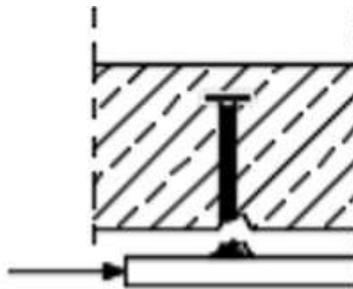


Figura 13. Fractura del conector de corte por encima del filete de soldadura.

Fuente: (ACI 318, 2019)

Falla en el concreto. - Sucede cuando el concreto pierde la resistencia a la carga, y provoca la presencia de una grieta longitudinal creciendo desde la parte inferior de la losa (M. Shariati et al., 2010). Por consiguiente, resulta el desprendimiento del hormigón en dos formas: desprendimiento del hormigón que rodea el conector de corte o arrancamiento del concreto, como se presenta en la figura 14.

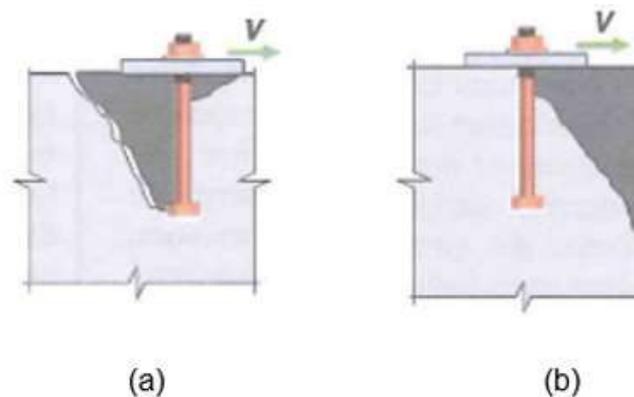


Figura 14. Falla de prueba de corte por: (a) desprendimiento de hormigón circundante al conector.

(b) arrancamiento del hormigón

Fuente: (ACI 318, 2019).

Las losas compuestas con perfil metálico a diferencia de las macizas tienden a ser más susceptibles a fallas que están relacionadas con el concreto, debido a que existe una mayor concentración de esfuerzos de tensiones en un área menor, y no es posible el desarrollo total del bloque de fuerzas de compresión (Pashan & Hosain, 2009). Esta diferencia puede ser vista en la figura 15.

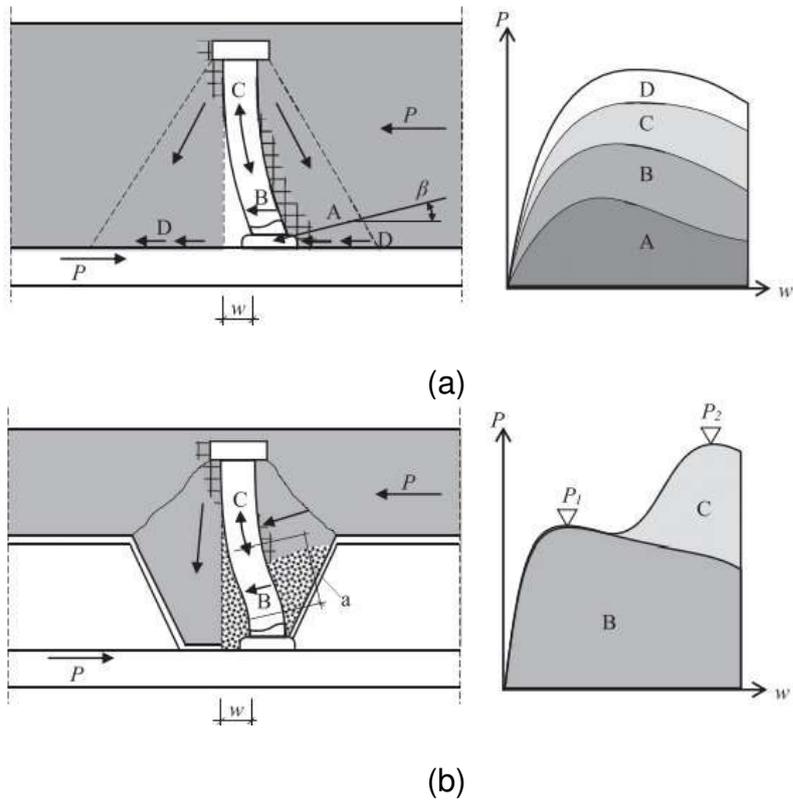


Figura 15. Falla de conectores de corte en: (a) losa maciza (b) losa con perfil metálico

Fuente: (Nellinger et al., 2017)

El comportamiento del conector de corte en losa compuesta se ve influenciado por la geometría de la lámina metálica y del propio conector. Las condiciones de empotramiento de los conectores pueden generar otro tipo de falla conocida como falla de la nervadura como se presenta en la figura 16 (Nellinger et al., 2017).

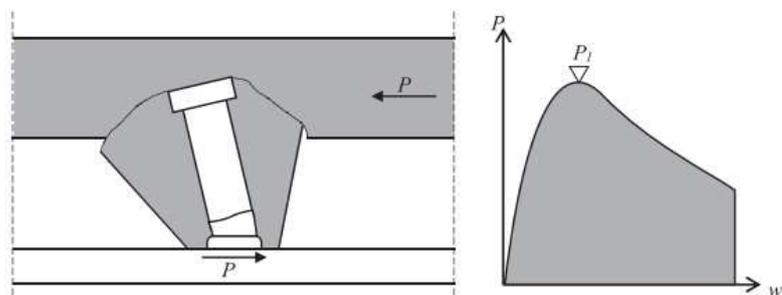


Figura 16. Falla de nervadura.

Fuente: (Nellinger et al., 2017)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE MATERIALES

3.1.1. HORMIGÓN

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2015) define al hormigón como: “*la mezcla de cemento Pórtland o cualquier cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivos*”. Las especificaciones del hormigón están establecidas en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1855 (2015) con título “HORMIGONES. HORMIGÓN PREMEZCLADO. REQUISITOS”. Los materiales usados en la fabricación del hormigón deben acatar los respectivos requisitos establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana.

La propiedad más fácil medir del hormigón es su resistencia a la compresión, obtenida del ensayo establecido en la norma INEN 1573 (2010). Este es un parámetro de referencia para determinar otras propiedades mecánicas, ya que está directamente relacionado con la mayoría.

3.1.2. PLACA COLABORANTE

La placa colaborante es una lámina de acero corrugado, utilizada en losas compuestas, donde actúa como refuerzo a flexión, eliminando la necesidad de refuerzo inferior, encofrados y aliviamientos. Adicionalmente, cuando las placas se encuentran correctamente ubicadas en la estructura estas sirven como plataforma para el hormigonado de la losa (Novacero, 2015). Las características y requisitos de la placa colaborante están establecidas en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2397 (2015) con título “PLACA COLABORANTE DE ACERO. REQUISITOS Y MÉTODOS DE ENSAYO”.

La norma presenta dos tipos de placas colaborantes en base a la presencia de resaltes en su superficie y el ángulo de inclinación entre el valle y la cresta como se muestra en la tabla 1. El tipo de placa colaborante usada para el estudio es del tipo A, por su disponibilidad en el mercado.

Tabla 1.

Tipos de placa colaborante

Fuente: (INEN 2397, 2015)

Tipo	Descripción	Geometrias	Comentarios
A	Con resaltes		Cuando el ángulo de inclinación θ entre el valle y la cresta es inferior a 90°
B	Sin resaltes		Cuando el ángulo de inclinación θ entre el valle y la cresta es superior a 90°

El acero utilizado es de tipo laminado en frío, con un comportamiento elastoplástico y debe cumplir como mínimo los requisitos del grado 250; es decir un límite de fluencia de 250 MPa, resistencia a la tracción mínima de 330 MPa y una elongación mínima del 19%. La placa debe ser galvanizada con una masa mínima de recubrimiento de 275 g/m². El fabricante debe proporcionar las propiedades geométricas y sobrecarga en función del distanciamiento de los apoyos para cada espesor de placa colaborante (INEN 2397, 2015).

3.1.3. MALLA DE ACERO DE REFUERZO

La malla de acero se usa en losas compuestas con el fin de impedir problemas de fisuración, también se suele colocar una mayor armadura superior en situaciones donde se posea losas continuas con el objeto de resistir los momentos negativos (Crisafulli, 2018). La malla electrosoldada de acero es un elemento compuesto por una serie de barras de acero corrugado o liso dispuestas perpendicularmente entre sí y soldadas por el proceso de resistencia eléctrica, en todos los puntos de intersección. Las características y requisitos de las mallas de acero están establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2209 (2012) con título “MALLAS ELECTROSOLDADAS PARA REFUERZO DE HORMIGÓN ELABORADAS CON ALAMBRE DE ACERO CONFORMADOS EN FRIO. REQUISITOS”.

Los espaciamientos entre barras serán múltiplos de 50 mm, es preferible que el espaciamiento mínimo sea de 100 mm, con una tolerancia de 6 mm. La malla estándar presenta dimensiones de 6.25 m de largo y 2.40 m, con barras longitudinales y transversales del mismo diámetro y misma separación. En un metro de malla no puede haber un número de barras menor al especificado por el

fabricante. La resistencia a la tracción de las barras que componen la malla debe cumplir con los valores establecidos en la tabla 2 en función a su grado (INEN 2209, 2012). En la construcción del modelo se usó malla electrosoldada estándar de grado 50.

Tabla 2.

Propiedades a tracción para barras lisas y corrugadas

Fuente: (INEN 1511, 2016)

Grado	Límite elástico nominal mínimo (Re) MPa	Resistencia a la tracción mínimo (Rg)^a MPa	Alargamiento mínimo De rotula (%): lo = 10 d
45	440	470	6
50	490	540	5
60	588	640	4

3.1.4. PERFIL TIPO ÁNGULO (CONECTOR DE CORTE)

El perfil estructural tipo ángulo de alas iguales, se usa como conector de corte en la probeta de ensayo. La norma que establece los requisitos de este material es la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1623 (2015) con título “PERFILES ABIERTOS DE ACERO CONFORMADOS EN FRIO NEGROS O GALVANIZADOS PARA USO ESTRUCTURAL. REQUISITOS E INSPECCIÓN”. El fabricante proporcionará las propiedades mecánicas del acero conforme con los valores mínimos normados por la NEC, resumidos en la tabla 3 en función a su especificación por la norma ASTM.

Tabla 3.

Propiedades a tensión especificadas por la Norma ASTM

Fuente: (NEC,2015)

Modificado: Valenzuela & Velasco

Especificación ASTM	Esfuerzo de Fluencia (Fy) (MPa)	Resistencia a la Tensión (Fu) (MPa)
ASTM A36	250	400-550
ASTM A572 Gr50	345	450
ASTM A588 Gr50	345	483

3.2. SELECCIÓN DE VARIABLES

3.2.1. NÚMERO DE PROBETAS POR VARIABLE

En un estudio o experimento, siempre se debe determinar con anticipación el tamaño de la muestra a analizar y procesar, lo que proporcionará datos estadísticamente confiables para verificar la hipótesis propuesta. El número de observaciones o muestras es lo que se denomina como “Tamaño Muestral”; si este aspecto no se define con el debido cuidado, puede conducir a dos situaciones inaceptables: primero, realizar una cantidad innecesaria de pruebas, lo que resulta en una pérdida de tiempo y recursos; en segundo lugar, tomar insuficientes datos, generando impresión y posiblemente ocasionando a que no se encuentren disconformidades relevantes (Lozano, 2011). El número de probetas a ensayar se determinó utilizando la ecuación 1 presentada por Zimmermann (2004) en su libro “Estadística para investigadores” y modificada por Lozano (2011).

$$n = \frac{w - w^2 \cdot Z_{\beta} + 1.4 \cdot Z_{\alpha}}{w^2} \quad (1)$$

Donde:

n = Número mínimo de observaciones o muestras que deben efectuarse en el estudio.

w = Rendimiento o eficiencia mínima esperada.

Z_{α} = Valor correspondiente al nivel de confianza asignado (Riesgo de cometer un error tipo I). Tabla 4.

Z_{β} = Valor correspondiente al poder estadístico o potencia asignada a la prueba (Riesgo de cometer un error tipo II). Tabla 5.

Tabla 4.

Valores de Z_{α} para diferentes niveles de confianza

Fuente: (Lozano, 2011)

α	Nivel de Confianza (1- α)		Z_{α}
	(%)		
0,050	95,0		1,960
0,025	97,5		2,240
0,010	99,0		2,576

Tabla 5.

Valores de Z_β para diferentes niveles de poder estadístico

Fuente: (Lozano, 2011)

β	Poder estadístico (1- β) (%)	Z_β
0,20	80,0	0,842
0,15	85,0	1,036
0,10	90,0	1,282

Lozano (2011) indica que el valor del Nivel de Confianza depende del nivel de seguridad que se otorga al estudio, generalmente del 95%; y para este valor de Nivel de Confianza se considera preciso dar un Poder Estadístico del 80%. El nivel del rendimiento indica un buen funcionamiento de los materiales y del ensayo, entre mayor es el rendimiento menor número de probetas se va a requerir, por tal motivo, se establece un rendimiento del 97% para los ensayos.

Tabla 6.

Número de probetas por variable

Elaborado: Valenzuela & Velasco

$w=$	97%	0.97
$Z_c=$	95%	1.96
$Z_\beta=$	80%	0.842
$n=$	5.90	

La tabla 6 resume los parámetros para determinar el número de probetas para los ensayos, obteniendo como resultado 6 probetas. Adicionalmente, se utilizará una probeta para realizar un ensayo monotónico, dando un total de 7 probetas a ensayar por variable.

3.2.2. PARÁMETROS FIJOS

Dentro de la parte experimental se establecen los parámetros que permanecerán constantes en cada una de las probetas del ensayo.

a) Geometría de las probetas

El presente estudio se basa en el comportamiento de los conectores de corte, de tal manera que se mantendrán constantes las dimensiones de las probetas determinadas en las secciones 3.3.2. y 3.3.3.

b) Resistencia del hormigón

La NEC establece para construcciones sismo resistentes una resistencia mínima a la compresión de hormigón normal de 21 MPa. Para un comportamiento más realista dentro de la práctica constructiva del Ecuador en estructuras livianas se utilizará un valor de resistencia de 24 MPa o 244.73 kg/cm², comprobado mediante ensayo de probetas cilíndricas en base a la norma.

c) Número de conectores de corte

El Eurocódigo 4 (2013) en la sección 10.2 “*Ensayos de conectores*” establece el uso de dos conectores de corte a cada lado de la sección de acero, sin embargo, para analizar el comportamiento del conector en el ensayo se considera el uso de un solo conector por lado (2 en total), para que todo el esfuerzo suministrado por lado se concentre en un único conector.

d) Espesor del conector de corte

En los ensayos realizados por Roger & Tenorio (2018) y Franco & Martínez (2020) se emplearon ángulos de dimensiones de 40x40x4 mm, para este estudio se mantiene estas dimensiones.

3.2.3. PARÁMETROS VARIABLES

Para el desarrollo del experimento, se considera un cambio de variable en las probetas.

a) Posición del conector de corte en planta

La expresión 2 define el comportamiento del esfuerzo de corte de un elemento, e indica que la acción es inversamente proporcional al momento de inercia. La posición de los conectores variará el valor de inercia y por consiguiente el esfuerzo cortante, es decir, si existe un aumento en la inercia del elemento el esfuerzo será disminuido (Popov, 1992).

$$\tau = \frac{V \cdot Q}{I \cdot t} \quad (2)$$

En la figura 17 se muestra las formas de rotar el conector de corte respecto al vértice, para el ensayo se eligió las posiciones de 90 y 45 grados en las cuales existe variación en el valor de inercia.

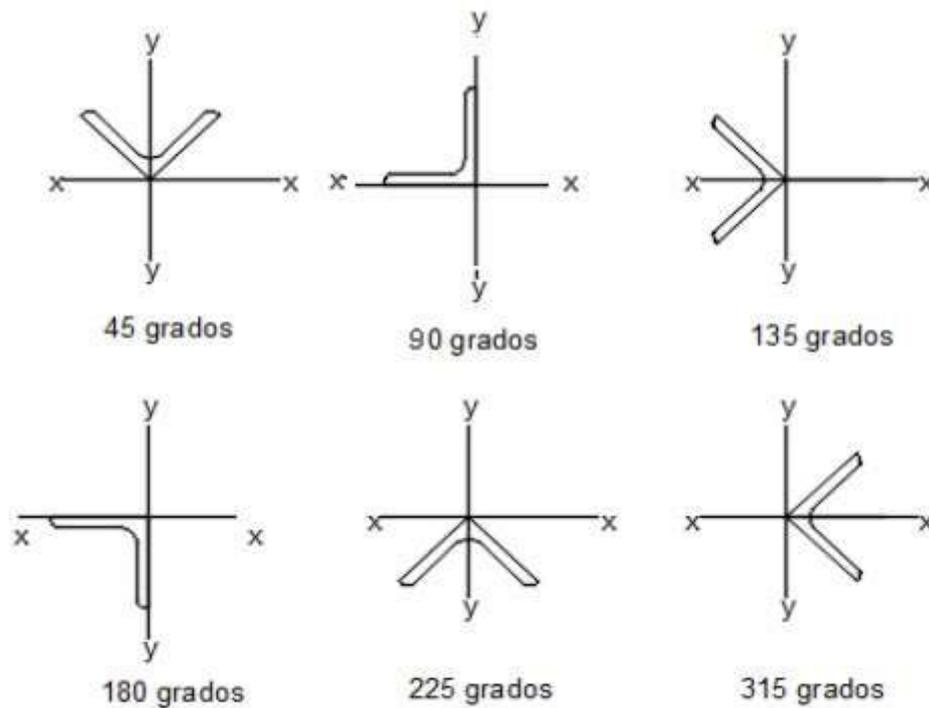


Figura 17. Variación de la posición del conector de corte en planta.

Fuente: (Rogel & Tenorio, 2018)

En la tabla 7 se resumen el número de probetas a ensayar con respecto a los parámetros descritos previamente.

Tabla 7.

Variables empleadas y número de probetas.

Fuente: Valenzuela & Velasco

f_c (MPa)	Espesor (mm)	Forma del conector	Ángulo (°)	Posición del conector	# de probetas
24	4	L 40x40	90	L	7
24	4	L 40x40	45	Λ	7
Total de Probetas					14

3.3.DIMENSIONAMIENTO DE ELEMENTOS

3.3.1. PLACA COLABORANTE

La empresa Novacero en su línea de producción Novalosa dispone de dos tipos de placa colaborante: Novalosa 55 y Novalosa 76, siendo el 55 y 76 la altura de la onda en milímetros. El tipo de placa colaborante elegida es la de 55 mm como se muestra en la figura 18, ya que se usa comúnmente en entrepisos y pisos. El fabricante garantiza el cumplimiento de la normativa detallada en la sección 3.1.2 y proporciona las propiedades geométricas presentadas en la tabla 8.

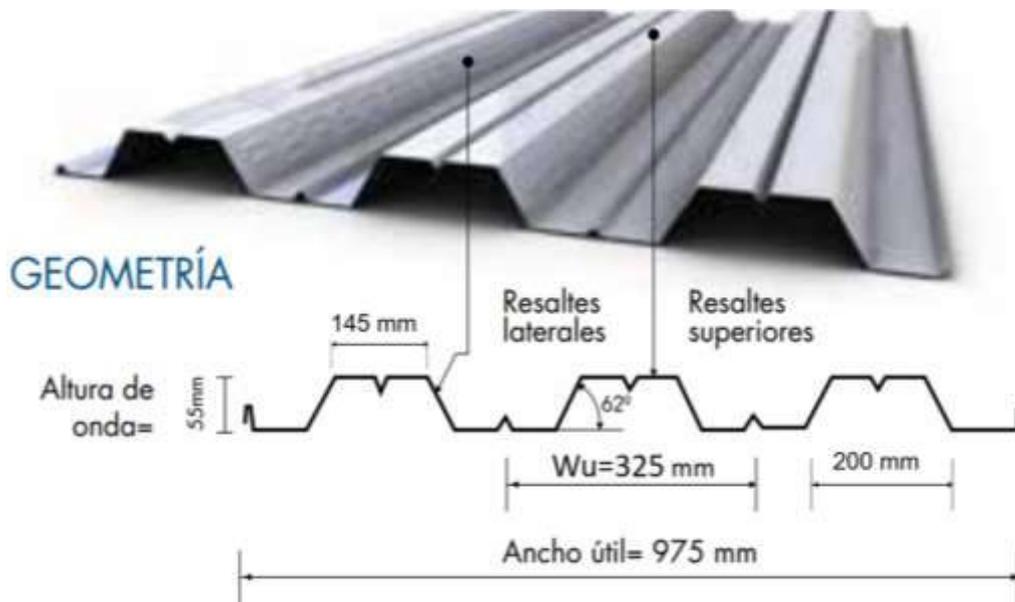


Figura 18. Geometría Novalosa 55.

Fuente: (Novacero, 2015)

Tabla 8.

Propiedades Novalosa 55.

Fuente: (Novacero, 2015)

Altura (h)	Espesor (e)	Ancho útil (W)	Wu	Peso	I+	S+	S-	As
mm	mm	mm	mm	kg/m ²	(cm ⁴ /m)	(cm ³ /m)	(cm ³ /m)	(cm ² /m)
55	0.76	975	325	7.47	39.37	12.43	13.29	9.51

3.3.2. DIMENSIONAMIENTO DE LOSA COMPUESTA

La configuración geométrica de la losa con lámina deck es diseñada en base a las consideraciones dispuestas por la norma AISC 360 (2016), en base a los criterios de la Norma Ecuatoriana de la construcción (NEC, 2015). Los detalles del

ensayo Push-Out proporcionados en el Eurocódigo 4 (2013) son para conectores de corte soldados en losas de hormigón macizas, Rehman et al. (2016) sugiriere un ajuste geométrico a la prueba Push-Out estándar para conectores de pernos con cabeza soldada en losas compuesta con placa colaborante, como se observa en la figura 19. Para el presente trabajo adapta esta propuesta en función a geometría de la placa colaborante descrita en la sección 3.3.1. y las siguientes consideraciones:

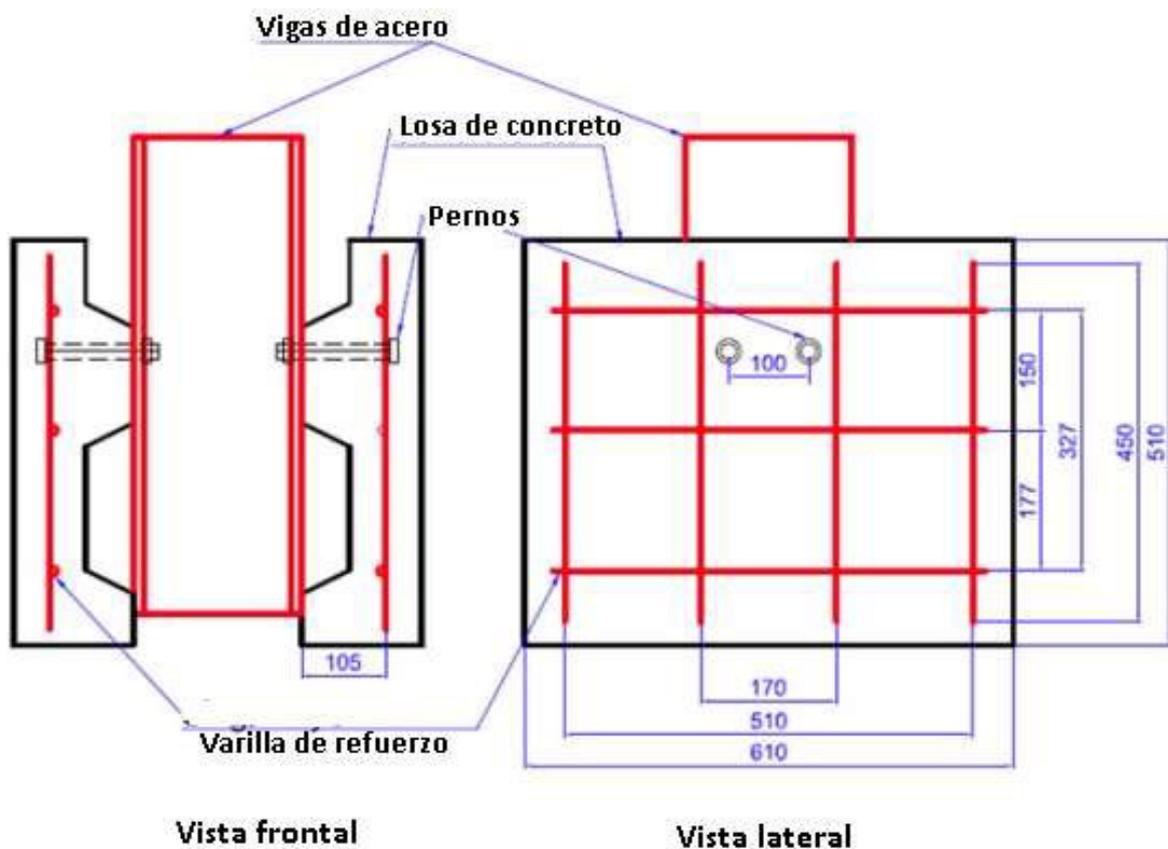


Figura 19. Propuesta de probeta Push-Out

Fuente: (Rehman et al., 2016)

Ancho

En base a la recopilación de ensayos de conectores, como las de Rogel & Tenorio (2018), Franco & Martínez (2020) en Ecuador y Hurtado et al. (2008) en Colombia, se han venido implementando un ancho de probeta de 30 cm acorde a las dimensiones descritas por la norma británica BS 5400. Se establece que esta medida es eficiente por el aprovechamiento que tienen de la placa colaborante y en adición se obtiene probetas livianas.

Longitud

En el Eurocódigo 4 (2013) se establece que la longitud de la probeta se dispone en base a la separación de los conectores, en los estudios realizados por Rogel & Tenorio (2018) se presenta una longitud de 60 cm, obtenida por llevar 2 conectores de corte a cada lado y en base a la geometría de la lámina colaborante, Franco & Martínez (2020) presentan probetas donde se analizan un solo conector de tipo ángulo en bloques de hormigón armado disponiendo una longitud de losa de 40 cm. Según Rehman et al. (2016) la configuración geométrica propuesta para un solo conector a cada lado presenta un largo de probeta de 51 cm, como se muestra en la figura 19. En el presente estudio se busca estimar la resistencia a corte de los conectores, colocando uno por cada lado de la probeta, por dicha condición y criterios obtenidos de la investigación antes expuesta se estableció usar una longitud de probeta de 50 cm.

3.3.3. CONECTOR Y ESPESOR DE LOSA

La altura de la losa y longitud del conector de corte se determina en base a las siguientes consideraciones establecidas en la ANSI/AISC 360 (2016):

- a) No se debe tener un espesor de losa sobre la placa colaborante menor a 50 mm
- b) Después de su instalación, el conector debe extenderse sobre el borde superior de la placa colaborante no menos que 38 mm.
- c) Se debe asegurar un recubrimiento mínimo de 13 mm por encima de la cabeza de los conectores.
- d) El acero de temperatura y retracción o para refuerzo negativo debe estar localizado entre 20 y 25 mm bajo el nivel superior de hormigón.

Dando cumplimiento a la normativa se establece una longitud de 9.5 cm para el conector de corte tipo ángulo y un espesor de losa de 11 cm como se detalla en la figura 20.

3.3.4. REFUERZO POR RETRACCIÓN Y TEMPERATURA

El hormigón tiende a fisurarse por consecuencia de retracción y temperatura, necesitando un área de acero mínima en cada cara de la losa para evitar dicho efecto. El ACI 318 (2019) sección 7.6.1 establece la cuantía mínima requerida para barras corrugadas o refuerzo electrosoldados de alambre con esfuerzo de fluencia de 420 MPa.

Para obtener la cantidad de acero necesario en un área bruta en función de la cuantía dispuesta se presenta la expresión 3.

$$A_{s, \min} = 0.0018 \cdot b_c \cdot t_c \quad (3)$$

Donde:

b_c = ancho de diseño de la sección de hormigón, cm.

t_c = espesor de losa encima de la cresta, cm.

El ancho de diseño b_c está dispuesto para 1 metro de análisis, y el espesor t está en base a lo expuesto en la sección 3.3.3.

Desarrollo:

$$A_{s, \min} = 0.0018 \cdot 100\text{cm} \cdot 5.5\text{cm}$$

$$A_{s, \min} = 0.99 \text{ cm}^2 \cong (10 \text{ } \emptyset 4\text{mm})_{s, \min} = \emptyset 4 \text{ mm @ } \mathbf{10 \text{ cm}}$$

En la sección 7.7.2.4 del ACI 318 se especifica que el espaciamiento máximo requerido no debe superar a 5 veces el espesor de losa y 450 mm.

$$S_{\max} = \min(5 \cdot t, 45\text{cm})$$

$$S_{\max} = \min(27.5 \text{ cm}, 45\text{cm})$$

Se tienen un espaciamiento máximo de 27.5 cm cumpliendo dicha condición al tener un espaciamiento dispuesto de 10 cm.

3.3.5. VIGA METÁLICA

Para dimensionar la viga se requiere estimar la carga máxima que esta soportaría en el ensayo, ya que los conectores de corte son el objeto de estudio se utiliza el valor teórico de resistencia nominal de un conector.

Determinación de la resistencia del conector de corte.

- **ANSI/AISC 360 (2016)**

La resistencia nominal de un perno a corte en una losa de hormigón maciza o en una losa compuesta con placa colaborante de acero puede ser obtenida con la siguiente expresión de ANSI/AISC 360 (2016):

$$Q_n = 0.50 \cdot A_{sa} \cdot \sqrt{f'c \cdot Ec} \leq R_g \cdot R_p \cdot A_{sa} \cdot Fu \quad (4)$$

Donde:

A_{sa} = área de la sección transversal del perno de corte, mm².

$f'c$ = resistencia a la compresión del hormigón, MPa.

Ec = módulo de elasticidad del concreto, MPa.

Fu = resistencia mínima a la tracción para el conector de corte, MPa.

R_g = coeficiente para considerar efecto de grupo.

R_p = factor de efecto posicional debido al conector de corte.

Desarrollo:

Se emplea el área de la sección transversal del conector de corte o ángulo de mayor espesor, este valor se obtiene de la tabla 9.

$$A_{sa} = 290 \text{ mm}^2$$

El módulo de elasticidad para hormigones de densidad normal es determinado con la expresión 5, según lo establecido en la sección 3.3.3. de la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC, 2015).

$$Ec = 4700 \cdot \sqrt{f'c} \quad (5)$$

Donde:

Ec = módulo de elasticidad del concreto, MPa.

$f'c$ = resistencia a la compresión del hormigón, MPa.

Desarrollo:

$$f'c = 24 \text{ MPa}$$

$$Ec = 4700 \cdot \sqrt{24 \text{ MPa}}$$

$$Ec = 23025.20 \text{ MPa}$$

La ANSI/AISC 360 (2016) en el capítulo I8 sección 2a, especifica los criterios para valorizar los coeficientes R_g y R_p , resumidos en la tabla 10.

Tabla 10.

Valoración de coeficientes R_g y R_p según el caso.

Fuente: (ANSI/AISC 360, 2016)

CONDICIÓN	R_g	R_p
Sin placa colaborante de acero	1.00	0.75
Placa colaborante orientada paralelamente al perfil de acero		
$\frac{w_r}{h_r} \geq 1.50$	1.00	0.75
$\frac{w_r}{h_r} < 1.50$	0.85 ^(a)	0.75
Placa colaborante orientada perpendicularmente al perfil de acero		
Número de conectores ocupando el mismo nervio		
1	1.00	0.60 ^(b)
2	0.85	0.60 ^(b)
3 o más	0.70	0.60 ^(b)
h_r = altura nominal del nervio, mm (cm). w_r = ancho promedio del nervio, mm (cm). (a) = valor para perno individual. (b) = este valor puede aumentar a 0.75 cuando $e_{mid-ht} \geq 50 \text{ mm}$. e_{mid-ht} = distancia desde el borde del conector hasta el alma de la placa de acero, mm.		

Desarrollo:

En el estudio se tiene la lámina o plataforma metálica perpendicular a la viga de acero, con un conector por nervio y un $e_{mid-ht} = 98.6 \text{ mm}$ como se muestra en la figura 20, por lo tanto, se asumen los siguientes valores de R_g y R_p .

$$R_g = 1; R_p = 0.75$$

$$F_u = 400 \text{ MPa}$$

$$Q_n = 0.50 \cdot 290 \cdot \sqrt{24 \cdot 23025.2} \leq 1 \cdot 0.75 \cdot 290 \cdot 400$$

$$Q_n = 107.79 \text{ kN} > 87 \text{ kN}$$

$$Q_n = 87 \text{ kN}$$

Se obtiene un mayor valor en la parte izquierda de la ecuación, por lo tanto, se determina que la falla de la probeta del ensayo Push-Out se producirá por parte del acero y no por parte del hormigón. Se emplea el menor valor obtenido para el diseño.

- **UNE-EN-1994: Eurocódigo 4 (2013)**

El Eurocódigo 4 (2013) establece el cálculo de la resistencia a cortante de un perno con cabeza con soldadura, considerando el uso y disposición de placa colaborante mediante las siguientes ecuaciones:

$$Q_n = \frac{0.8 \cdot F_u \cdot \pi \cdot \frac{d^2}{4}}{\gamma_v} \quad \text{ó} \quad Q_n = \frac{0.29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \sqrt{f'c \cdot Ec}}{\gamma_v} \quad (6)$$

Donde:

$$\alpha = 0.2 \cdot \left(\frac{h_{sc}}{d} + 1 \right) \quad \text{para } 3 \leq \frac{h_{sc}}{d} \leq 4$$

$$\alpha = 1 \quad \text{para } \frac{h_{sc}}{d} > 4$$

γ_v = coeficiente parcial de seguridad, recomendado de 1.25.

d = diámetro del perno, $16 \text{ mm} \leq d \leq 25 \text{ mm}$.

F_u = resistencia mínima a la tracción para el conector, no mayor que 500 MPa.

$f'c$ = resistencia a la compresión del hormigón, MPa.

Ec = módulo de elasticidad del concreto, MPa.

h_{sc} = altura nominal total del perno, mm.

Desarrollo:

Aplicando para conectores tipo ángulo se determina un diámetro equivalente correspondiente al área.

$$A_{sa} = 2.90 \text{ cm}^2$$

$$A_{sa} = \frac{\pi \phi^2}{4}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A_{sa}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2.90 \text{ cm}^2}{\pi}}$$

$$d = 1.92 \text{ cm} = 19.2 \text{ mm}$$

$$\frac{h_{sc}}{d} = \frac{95\text{mm}}{19.2\text{mm}} = 4.94 > 4 \quad \text{Entonces } \alpha = 1$$

$$Qn = \frac{0.8 \cdot 400 \cdot \pi \cdot \frac{19.2^2}{4}}{1.25} \quad \text{ó} \quad Qn = \frac{0.29 \cdot 1 \cdot 19.2^2 \cdot \sqrt{24 \cdot 23025.20}}{1.25}$$

$$Qn = 74240 \text{ N} \quad \text{ó} \quad Qn = 63576.67 \text{ N}$$

$$Qn = 63.58 \text{ kN}$$

Para una sección mixta de losa de hormigón y nervios de la placa colaborante de acero orientados perpendicularmente al eje de la viga I, es necesario reducir el valor de Qn obtenido multiplicando por el coeficiente (k_t) derivado de la expresión 7, el resto de los datos requeridos se definen en la figura 22.

$$k_t = \frac{0.7}{\sqrt{n_r}} \cdot \frac{b_0}{h_p} \cdot \left(\frac{h_{sc}}{h_p} - 1 \right) \quad (7)$$

Donde:

n_r = Número de conectores en un nervio, sin superar a 2.

El coeficiente k_t no deberá ser mayor que el valor correspondiente a $k_{t,max}$ indicado en la tabla 11.

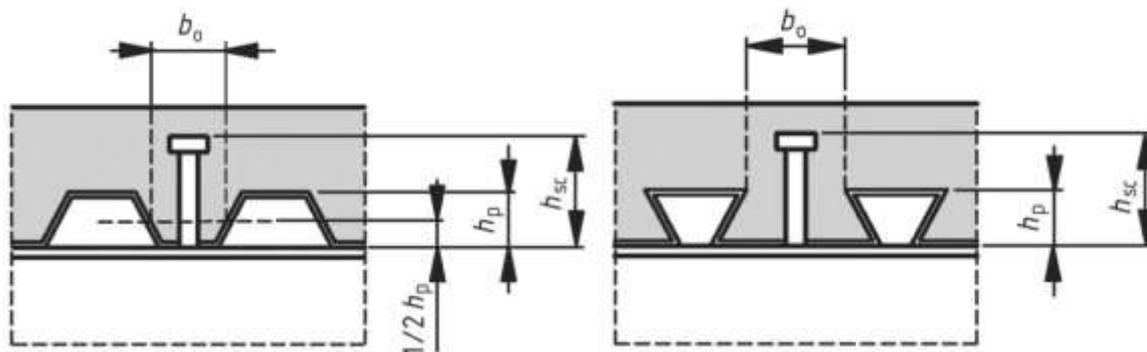


Figura 22. Viga con placa colaborante transversal.

Fuente: (UNE-EN-1994, 2013)

Tabla 11.

Límite superior $k_{t,max}$ para el coeficiente de reducción k_t

Fuente: (UNE-EN-1994, 2013)

Número de pernos conectadores por nervio	Espesor t de la chapa (mm)	Pernos de diámetro no mayor que 20 mm y soldados a través de la chapa nervada de acero	Chapa nervada con agujeros y pernos de 19 mm o 22 mm de diámetro
$n_t = 1$	$\leq 1,0$	0,85	0,75
	$> 1,0$	1,0	0,75
$n_t = 2$	$\leq 1,0$	0,70	0,60
	$> 1,0$	0,8	0,60

Desarrollo:

$$n_r = 1; \quad b_0 = 162.5\text{mm}; \quad h_p = 55\text{mm} \quad h_{sc} = 95\text{mm};$$

$$k_t = \frac{0.7}{\sqrt{1}} \cdot \frac{162.5}{55} \cdot \left(\frac{95}{55} - 1 \right)$$

$$k_t = 1.50$$

Considerando un espesor de lámina colaborante de 0.76 mm y un diámetro equivalente de 19.2 mm, en base a la tabla 11 se adopta un valor de $k_{t,max}$ de 0.85, mismo que se emplea como coeficiente de reducción para nuestro Q_n .

$$Q_n = 63.58 \text{ kN} \cdot 0.85$$

$$\mathbf{Q_n = 54.04 \text{ kN}}$$

- **GB50017 (2003)**

La norma GB50017 (2003) describe el diseño de conectores de corte especialmente para conectores tipo perno con cabeza, canales y barras dobladas. En el presente estudio solo se considerará la expresión dada para conectores tipo tornillo con cabeza, ya que en adición presenta disipaciones para losas tipo deck.

$$Q_n = 0.43 \cdot A_{sa} \cdot \sqrt{f'c \cdot Ec} \leq 0.7 \cdot A_{sa} \cdot \gamma \cdot Fu \quad (8)$$

Donde:

A_{sa} = área de la sección transversal del perno de corte, mm².

$f'c$ = resistencia a la compresión del hormigón, MPa.

Ec = módulo de elasticidad del concreto, MPa.

γ = relación de resistencia a tracción mínima y el límite elástico.

Fu = resistencia mínima a la tracción para el conector de corte, MPa.

Desarrollo:

$$Q_n = 0.43 \cdot 290 \cdot \sqrt{24 \cdot 23025.2} \leq 0.7 \cdot 290 \cdot 1.67 \cdot 400$$

$$Q_n = 92.70 \text{ kN} \leq 135.33 \text{ kN}$$

$$Q_n = 92.70 \text{ kN}$$

Para losas con placas colaborantes con nervadura perpendicular a la viga se debe multiplicar el valor de resistencia obtenido por un factor dado por la siguiente expresión:

$$\beta_v = \frac{0.85}{\sqrt{n_r}} \frac{b_0}{h_p} \left(\frac{h_{sc} - h_p}{h_p} \right) \leq 1 \quad (9)$$

Donde:

n_r = Número de conectores en un nervio, sin superar a 3.

La descripción de las demás variables requeridas se las puede obtener en la figura 22.

Desarrollo:

$$\beta_v = \frac{0.85}{\sqrt{1}} \frac{162.5}{55} \left(\frac{95 - 55}{55} \right) \leq 1$$

$$\beta_v = 1.82 > 1$$

Para los conectores de cortante en la región de momento negativo, el valor de diseño de la capacidad de corte se multiplicará por un factor de reducción de 0.9 y 0.8 en las regiones de momento positivo. Se considera la posición la crítica y se toma el valor de 0.9 (GB50017, 2003).

$$Q_n = 92.70 \text{ kN} \cdot 0.90$$

$$\mathbf{Q_n = 83.43 \text{ kN}}$$

De los resultados obtenidos en las ecuaciones 4, 6 y 8 se elige la carga máxima con la cual se diseña el elemento a compresión, se duplica esta carga debido a que existen 2 conectores en la probeta.

$$Q_i = 87 \text{ kN}$$

$$Q = \sum Q_i = 2 \cdot 87 \text{ kN} = \mathbf{174 \text{ kN}}$$

Diseño del elemento a compresión

El ANSI/AISC 360 (2016) en su capítulo B presenta los requisitos generales para el diseño y análisis de estructuras metálicas, como este perfil en particular será ensayado a compresión el diseño está basado a lo establecido en el capítulo E con título "DISEÑO DE MIEMBROS EN COMPRESIÓN".

Datos para el diseño de la viga:

- Carga de diseño: 174 kN
- Longitud del elemento a compresión 50 cm o 0,50 m.

En la figura 23 se detalla las dimensiones de la sección tipo I que se va emplear como viga en la probeta, basada en la ensayada por Rogel & Tenorio (2018) conservando el espesor del alma y patín.

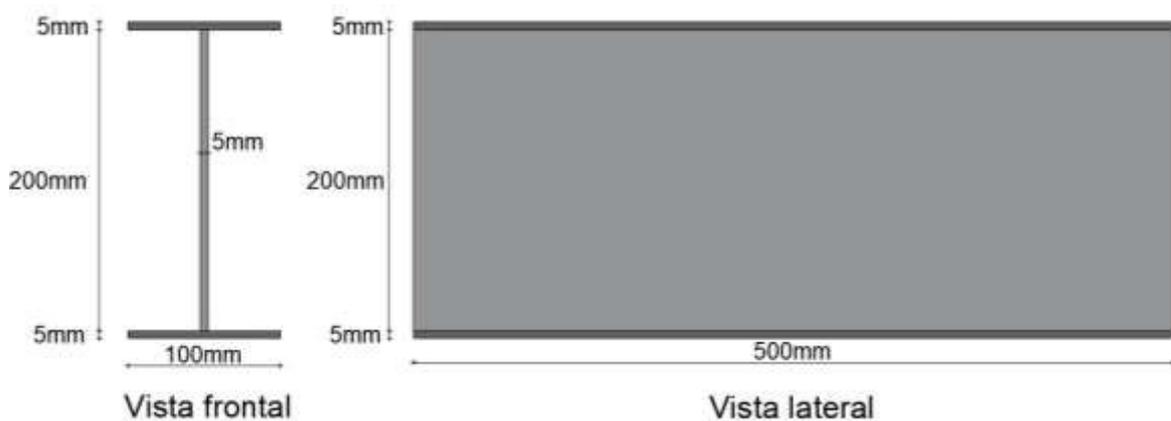


Figura 23. Dimensiones de la viga tipo I

Elaborado: Valenzuela & Velasco

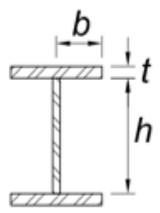
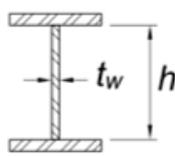
Clasificación de la sección I según pandeo local

El ANSI/AISC 360 (2016) en la sección B4.1b establece el análisis del perfil propuesto, para determinar si es esbelto o no esbelto, los casos usados de la tabla B4.1a del AISC-360 se presentan en la tabla 12.

Tabla 12.

Determinación de elementos esbeltos o no esbeltos por razón ancho espesor.

Fuente: (ANSI/AISC 360, 2016)

Caso	Descripción del elemento	Razón Ancho-Espesor	Razón Límite Ancho-Espesor λ_r (Esbelto-No Esbelto)	Ejemplo
Elementos No Atiesados				
2	Alas de perfiles I soldados y planchas o ángulos conectados a secciones soldadas.	b/t	$0.64 \sqrt{\frac{k_c E}{F_y}}$ (a)	
Elementos Atiesados				
5	Almas de secciones I con doble simetría y secciones canal.	h/t_w	$1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
(a) $k_c = 4/\sqrt{h/t_w}$, pero no se tomará menos de 0.35 ni mayor de 0.76 para propósitos de cálculo.				

a) Para elementos no atiesados (ala de la sección)

Razón Ancho-Espesor

$$\frac{b_f/2}{t_f} = \frac{50mm}{5mm} = 10$$

Razón Límite Ancho-Espesor λ_r (Esbelto-No Esbelto)

$$\lambda_r = 0.64 \cdot \sqrt{\frac{K_c \cdot E_s}{F_y}} \quad (10)$$

Donde:

K_c = coeficiente para elementos no atiesados formados por patines de vigas I soldadas.

E_s = módulo de elasticidad del acero, kg/cm² o MPa.

F_y = esfuerzo mínimo de fluencia especificada para acero empleado, kg/cm² o MPa.

Desarrollo:

$$K_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{t_w}}} = \frac{4}{\sqrt{\frac{200mm}{5mm}}} = 0.63$$

$$0.35 < 0.632 < 0.76 \quad \mathbf{OK}$$

$$E_s = 2 \cdot 10^5 \text{ MPa}$$

$$F_y = 250 \text{ MPa}$$

$$\lambda_r = 0.64 \cdot \sqrt{\frac{0.632 \cdot 2.1 \cdot 10^5}{250}} = 14.4$$

Como en el ala de la sección a compresión, la razón ancho-espesor no sobrepasa la razón límite, es decir $\lambda_r > \frac{b_f}{t_f}$, se determina que el ala de la sección es no esbelta.

b) Para elementos atiesados (alma de la sección)

Razón Ancho-Espesor

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{200\text{mm}}{5\text{mm}} = 40$$

Razón Límite Ancho-Espesor λ_r (Esbelto-No Esbelto)

$$\lambda_r = 1.49 \cdot \sqrt{\frac{E_s}{F_y}} \quad (11)$$

Desarrollo:

$$\lambda_r = 1.49 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 10^5}{250}} = 42.14$$

Como en el alma de la sección a compresión, la razón ancho-espesor no sobrepasa la razón límite, es decir $\lambda_r > \frac{h_w}{t_w}$, se determina que el alma de la sección es no esbelta.

Por lo tanto, como el ala y el alma son elementos no esbeltos, la sección es no esbelta.

Diseño de miembro a compresión.

El diseño está basado en la sección E de ANSI/AISC 360 (2016), las aplicaciones de este capítulo se presentan en la tabla E1.1 de la norma, para una sección tipo "I" con doble simetría se presenta un fragmento en la tabla 13.

Tabla 13.

Aplicaciones de las secciones del Capítulo E AISC-360

Fuente: (ANSI/AISC 360, 2016)

Aplicaciones de las Secciones del Capítulo E				
Sección transversal	Sin elementos esbeltos		Con elementos esbeltos	
	Secciones en Capítulo E	Estados Límites	Secciones en Capítulo E	Estados Límites
	E3 E4	FB TB	E7	LB FB TB

Como se tiene elementos no esbeltos y se quiere analizar los estados límites, se debe revisar FB "Pandeo por Flexión" y TB "Pandeo Torsional".

Pandeo por flexión de miembros sin elementos esbeltos.

Para comenzar con el análisis de pandeo, se requiere calcular el esfuerzo de pandeo elástico en base a la siguiente ecuación:

$$F_e = \frac{\pi^2 \cdot E_s}{\left(\frac{K \cdot L}{r}\right)^2} \quad (12)$$

Donde:

E_s = módulo de elasticidad del acero, MPa.

K = factor de longitud efectiva.

L = longitud del elemento a compresión, mm.

r = radio de giro sección transversal, mm.

F_e = esfuerzo de pandeo elástico, MPa.

Desarrollo:

Para determinar el radio de giro de la sección, se debe calcular la inercia y área de esta ya que el radio de giro está en función de estos valores, como explica la siguiente ecuación:

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (13)$$

a) Cálculo del área de sección:

$$A_g = 2 \cdot (b_f \cdot t_f) + (h_w \cdot t_w) \quad (14)$$

$$A_g = 2 \cdot (100 \cdot 5) + (200 \cdot 5)$$

$$A_g = 2000 \text{ mm}^2$$

b) Posición del centro de gravedad

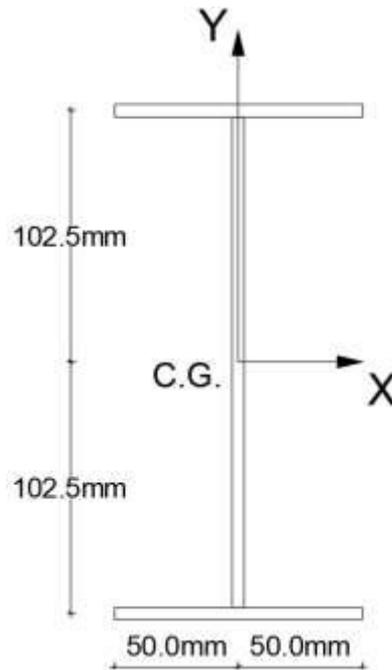


Figura 24. Esquema del perfil con el centro de gravedad.

Elaborado: Valenzuela & Velasco

c) Inercia alrededor del eje X (I_{xx})

Inercia del patín.

$$I_{patin1} = I_{patin2} = \frac{b_f \cdot t_f^3}{12} + A_{patin} \cdot d_y^2 \quad (15)$$

$$I_{patin1} = \frac{100 \cdot 5^3}{12} + (5 \cdot 100) \cdot 102.5^2$$

$$I_{patin1} = 5254166.67 \text{ mm}^4$$

Inercia del alma.

$$I_{alma} = \frac{t_w \cdot h^3}{12} \quad (16)$$

$$I_{alma} = \frac{5 \cdot 200^3}{12} = 3333333.33 \text{ mm}^4$$

La inercia total es la sumatoria de inercias de las partes.

$$I_{xx} = I_{patin1} + I_{patin2} + I_{alma}$$

$$I_{xx} = 5254166.67 + 5254166.67 + 3333333.33$$

$$I_{xx} = 13841666.67 \text{ mm}^4$$

a) Inercia alrededor del eje Y (I_{yy})

Inercia del patín.

$$I_{patín1} = I_{patín2} = \frac{t_f \cdot b_f^3}{12} \quad (17)$$

$$I_{patín1} = \frac{5 \cdot 100^3}{12} = 416666.67 \text{ mm}^4$$

Inercia del alma.

$$I_{alma} = \frac{h \cdot t_w^3}{12} \quad (18)$$

$$I_{alma} = \frac{200 \cdot 5^3}{12} = 2083.33 \text{ mm}^4$$

La inercia total es la sumatoria de inercias de las partes.

$$I_{yy} = I_{patín1} + I_{patín2} + I_{alma}$$

$$I_{yy} = 416666.67 + 416666.67 + 2083.33$$

$$I_{yy} = 835416.67 \text{ mm}^4$$

Para el cálculo del radio de giro se escoge el valor de la I_{yy} , al ser el menor valor obtenido, siendo esta la dirección más débil en cuanto a inercia se refiere.

b) Radio de giro

$$r = \sqrt{\frac{I_{yy}}{A_g}}$$

$$r = \sqrt{\frac{835416.67}{2000}} = 20.44 \text{ mm}$$

$$r = 20.44 \text{ mm}$$

c) Factor de longitud efectiva (K)

Para determinar el valor de la longitud efectiva “ K ” se utiliza la tabla 14.

Tabla 14.

Valores aproximados del factor *K*

Fuente: (ANSI/AISC 360, 2016)

Valores aproximados del factor de longitud efectivo, <i>K</i>						
Las líneas discontinuas muestran la forma pandeada de la columna.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Valor teórico de <i>K</i>	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Valor de <i>K</i> recomendados para el diseño cuando las condiciones reales son parecidas a las ideales.	0.7	0.8	1.2	1.0	2.1	2.0
Condiciones de extremo	<ul style="list-style-type: none"> Rotación fija y translación fija Rotación libre y translación fija Rotación fija y translación libre Rotación libre y translación libre 					

Como el elemento a ensayar está simplemente apoyado en la parte superior por el marco de carga que simula una articulación y en la parte inferior está limitado lateralmente por las losas, se opta por un factor de longitud efectiva de $K=1$.

d) Esfuerzo para pandeo flexura

$$F_e = \frac{\pi^2 \cdot E_s}{\left(\frac{K \cdot L}{r}\right)^2}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 \cdot 2.1 \cdot 10^6}{\left(\frac{1 \cdot 50}{2.044}\right)^2}$$

$$F_e = 3298.09 \text{ MPa}$$

Resistencia de pandeo torsional a compresión de elementos no esbeltos.

Se usa la siguiente ecuación para determinar el esfuerzo de pandeo elástico torsional o flexo-torsional para aquellos elementos que tienen simetría doble:

$$F_{et} = \left[\frac{\pi^2 \cdot E_s \cdot C_w}{(K_z \cdot L)^2} + G \cdot J \right] \cdot \frac{1}{I_{xx} + I_{yy}} \quad (19)$$

Donde:

E_s = módulo de elasticidad del acero, MPa.

C_w = constante de alabeo, mm⁶.

K_z = factor de longitud efectiva para pandeo torsional respecto al eje longitudinal.

G = módulo elástico de corte del acero, MPa.

J = constante torsional, mm⁴.

I_{xx} = momento de inercia en torno de eje x, mm⁴.

I_{yy} = momento de inercia en torno de eje y, mm⁴.

Desarrollo:

a) Constante de alabeo

Para secciones I con simetría doble C_w puede tomarse como:

$$C_w = \frac{I_{yy} \cdot h_o^2}{4} \quad (20)$$

Donde h_o es la distancia entre centroides de alas.

$$C_w = \frac{835416.67 \cdot 205^2}{4} \quad (21)$$

$$C_w = 8.77 \cdot 10^7 \text{ mm}^6$$

b) La constante K_z se mantendrá con el valor de 1 optado también en el análisis de pandeo flexural.

c) Módulo elástico de corte del acero

El módulo elástico de corte del acero se lo determina mediante la siguiente expresión:

$$G = \frac{E_s}{2 \cdot (1 + \mu)} \quad (22)$$

Donde μ es el coeficiente de Poisson, para el acero toma el valor de 0.3.

$$G = \frac{2 \cdot 10^5}{2 \cdot (1 + 0.3)}$$

$$G = 76923.08 \text{ MPa}$$

d) Constante torsional

$$J = 2 \cdot k1 + k2 + 2 \cdot \alpha \cdot D^4 \quad (23)$$

Donde:

$$k1 = b_f \cdot t_f^3 \cdot \left[\frac{1}{3} - 0.21 \cdot \left(\frac{t_f}{b_f} \right) \cdot \left(1 - \frac{t_f^4}{12 \cdot b_f^4} \right) \right] \quad (24)$$

$$k1 = 100 \cdot 5^3 \cdot \left[\frac{1}{3} - 0.21 \cdot \left(\frac{5}{100} \right) \cdot \left(1 - \frac{5^4}{12 \cdot 100^4} \right) \right]$$

$$k1 = 4035.42 \text{ mm}^4$$

$$k2 = \frac{(ht - 2 \cdot t_f) \cdot t_w^3}{3} \quad (25)$$

$$k2 = \frac{(210 - 2 \cdot 5) \cdot 5^3}{3} = 8333.33 \text{ mm}^4$$

$$\alpha = 0.15 \cdot \frac{t_w}{t_f} \quad (26)$$

$$\alpha = 0.15 \cdot \frac{5}{5} = 0.15$$

$$D = \frac{t_f^2 + \frac{t_w^2}{4}}{t_f} \quad (27)$$

$$D = \frac{5^2 + \frac{5^2}{4}}{5} = 6.25 \text{ mm}$$

$$J = 2 \cdot 4035.42 + 8333.33 + 2 \cdot 0.15 \cdot 6.25^4$$

$$J = 16861.93 \text{ mm}^4$$

e) Momentos de inercia

$$I_{xx} = 13841666.67 \text{ mm}^4 = 1384.167 \text{ cm}^4$$

$$I_{yy} = 835416.667 \text{ mm}^4 = 83.542 \text{ cm}^4$$

f) Esfuerzo de pandeo elástico torsional o flexo-torsional

$$F_{et} = \left[\frac{\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 8.77 \cdot 10^7}{(1 \cdot 500)^2} + 76923.08 \cdot 16861.93 \right] \cdot \frac{1}{13841666.67 + 835416.67}$$

$$F_{et} = 4810.1 \text{ MPa}$$

Se selecciona el menor valor de F_e de los obtenidos por FB y TB.

$$F_{et} = 3298.09 \text{ MPa (Pandeo flexural "FB")}$$

Esfuerzo crítico de pandeo por flexión

El esfuerzo crítico de pandeo a flexión (F_{cr}) se lo determina de la siguiente manera:

a) Cuando $\frac{KL}{r} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ ó $\frac{F_y}{F_e} \leq 2.25$ (Trabajo inelástico)

$$F_{cr} = \left[0.658 \frac{F_y}{F_e} \right] \cdot F_y \quad (28)$$

b) Cuando $\frac{KL}{r} > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ ó $\frac{F_y}{F_e} > 2.25$ (Trabajo elástico)

$$F_{cr} = 0.877 \cdot F_y \quad (29)$$

Desarrollo:

$$\frac{KL}{r} = \frac{1 \cdot 500}{20.44} = 24.46$$

$$4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4.71 \sqrt{\frac{2 \cdot 10^5}{250}} = 133.22$$

$$\frac{F_y}{F_e} = \frac{250}{3298.09} = 0.0758$$

Entonces:

$$24.46 < 133.22 \quad \text{ó} \quad 0.0758 < 2.25 \quad \text{Trabajo inelástico}$$

$$F_{cr} = [0.658^{0.0758}] \cdot 250$$

$$\mathbf{F_{cr} = 242.19 MPa}$$

Resistencia a la compresión nominal

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g \quad (30)$$

Donde:

F_{cr} = esfuerzo crítico de pandeo por flexión, MPa.

A_g = área bruta de la sección transversal del miembro, mm².

$$A_g = 2000 \text{ mm}^2$$

$$P_n = 242.19 \cdot 2000 = 484385.66 \text{ N}$$

Resistencia de diseño a compresión

$$\phi \cdot P_n = 0.9 \cdot 484385.66$$

$$\phi \cdot P_n = 435947.09 \text{ N} = 435.95 \text{ kN}$$

Se realiza la comprobación de si la viga resistirá la carga máxima teórica de los conectores de corte a ensayar, este valor es de 174 kN que se representará como Q , para cumplir con lo anterior se debe comprobar lo siguiente:

$$Q \leq \phi \cdot P_n$$

$$174 \text{ kN} \leq 435.95 \text{ kN} \quad \mathbf{OK}$$

Por lo tanto, la viga de sección I sometida a compresión axial no fallará por pandeo a flexión o por pandeo torsional durante el ensayo.

3.4. INSTRUMENTACIÓN DEL ENSAYO

3.4.1. TRANSDUCTORES DE DESPLAZAMIENTO (LVDT)

El Eurocódigo 4 establece como variable el desplazamiento producido por el deslizamiento entre las losas y la sección de acero. En estudios realizados por Rehman et al. (2016) se propone la medición con transductores de desplazamientos (LVDT) colocados en la parte superior de las alas de la viga y las losas, en los ensayos realizados por Pavlović et al. (2013) se realizan adicionalmente mediciones de desplazamiento transversal. Titoum et al. (2016) el deslizamiento es medido mediante 4 relojes comparadores ubicado a nivel del perfil metálico. De las investigaciones tratadas, la aplicación de la carga viene dando por marco de carga indiferentemente del tipo de capacidad y mecanismo.

En el presente estudio se toma como instrumentos de medición los transductores de desplazamiento lineal variable o LVDT ubicados en partes estratégicas de la probeta en función de los estudios antes expuestos, uno en la parte inferior del perfil metálico, otros dos dispuestos para cada losa ubicados en la parte superior central y dos dispositivos en el marco de carga (figura 25). Las posiciones indicadas tienen como fin medir el desplazamiento vertical en cada elemento mencionado.

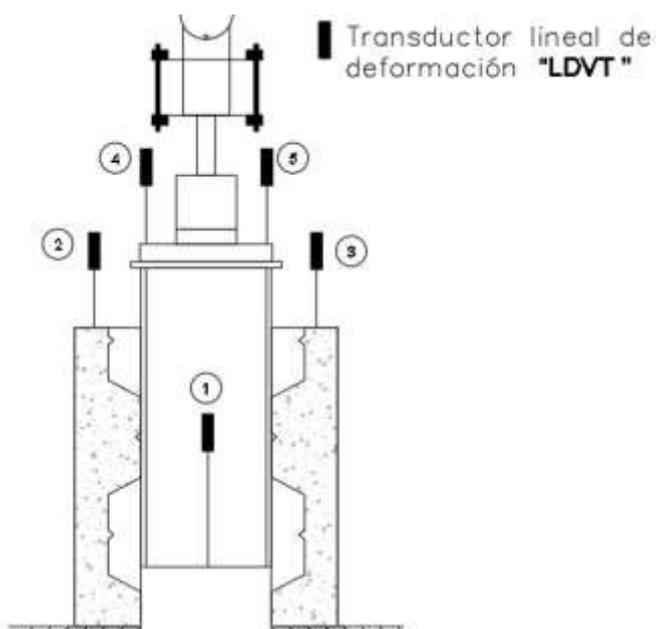


Figura 25. Ubicación de LDVT en probeta.

Elaborado: Valenzuela & Velasco

3.4.2. STRAIN GAUGE O GALGA EXTENSIOMÉTRICA

Los strain gauges son sensores que trabajan adheridos a sólidos con la finalidad de medir deformaciones unitarias, la lectura se realiza por la transferencia de la deformación que existe en el área de contacto al sensor. Los esfuerzos que deforman al sensor generan cambios en la resistencia eléctrica. Dicha variación es relacionada por un factor de galga “ f_g ” como se representa en la expresión 31 (Rodríguez et al., 2016).

$$\frac{dR}{R} = f_g \cdot \frac{dl}{l} = f_g \cdot \varepsilon \quad (31)$$

El factor de galga depende de la composición, temperatura y el rango de medición; existen varios tipos de strain gauges con funcionalidades diferentes, sin embargo, por bajo costo y mayor versatilidad las más frecuentes en el mercadeado son las metálicas con un factor aproximado de 2. En cuanto a resistencia se encuentran disponibles con valores nominales de 30 hasta 3000 ohmios (Salinas, 2018).

Ubicación

Debido a que este tipo de sensores miden deformaciones unitarias, es preciso instalar los strain gauges en las zonas de mayores esfuerzos para obtener el comportamiento del objeto de análisis. El presente estudio trabaja con conectores tipo ángulos de alas iguales de 40x4mm, la distribución de esfuerzos de dichos conectores producto de la carga cortante es analizada en estudio previos como el de Franco J. & Martínez M. (2020), donde se determina que los conectores angulares a posición e 90° presentan las zonas de mayor esfuerzo en la esquina inferior del ala perpendicular a la carga. En cambio, a la posición de 45° los mayores esfuerzos se encuentran en las dos esquinas inferiores de los conectores de corte. Con los parámetros establecidos se establece la ubicación de los strain gauges para cada posicionamiento de los conectores como se presenta en la figura 26 y 27 respectivamente.

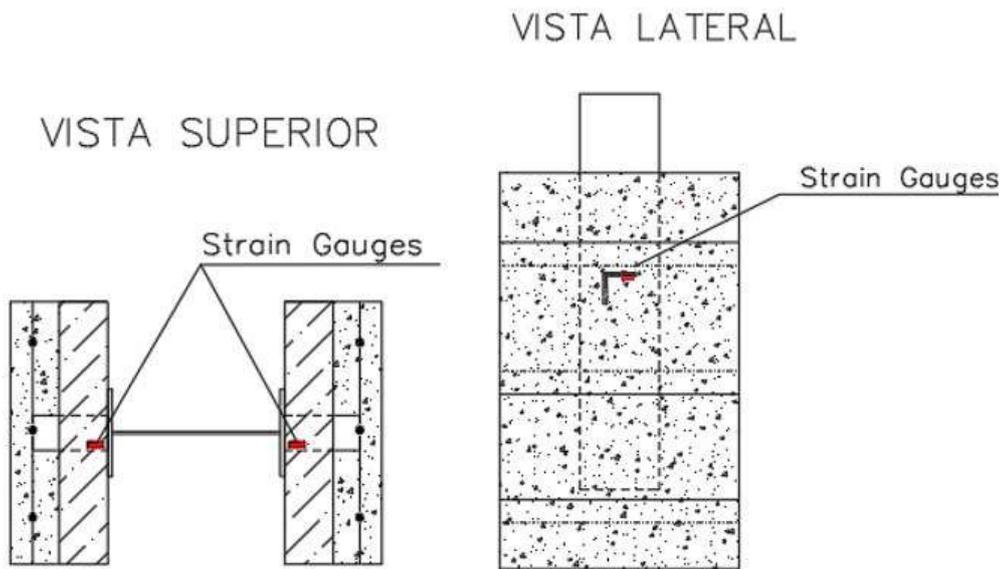


Figura 26. Ubicación de strain gauges en conectores a 90°

Elaborado: Valenzuela & Velasco

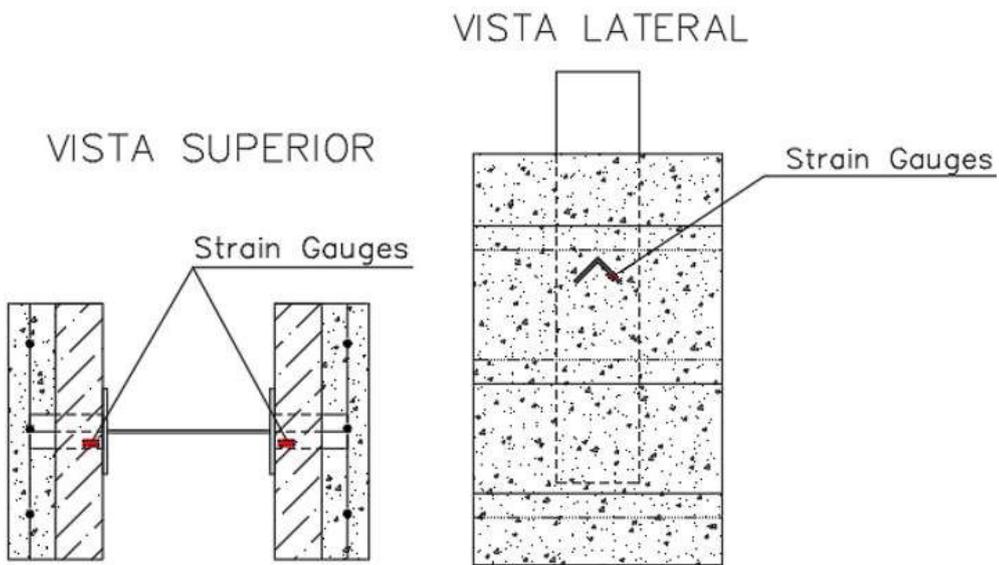


Figura 27. Ubicación de strain gauges en conectores a 45°.

Elaborado: Valenzuela & Velasco

3.5. ENSAMBLE DE PROBETAS PUSH-OUT

El presente capítulo describe de manera detallada el procedimiento y consideraciones para la construcción de las probetas Push-Out, en base a las condiciones planteadas por el Eurocódigo 4 (2013) y las dimensiones establecidas en la figura 28.

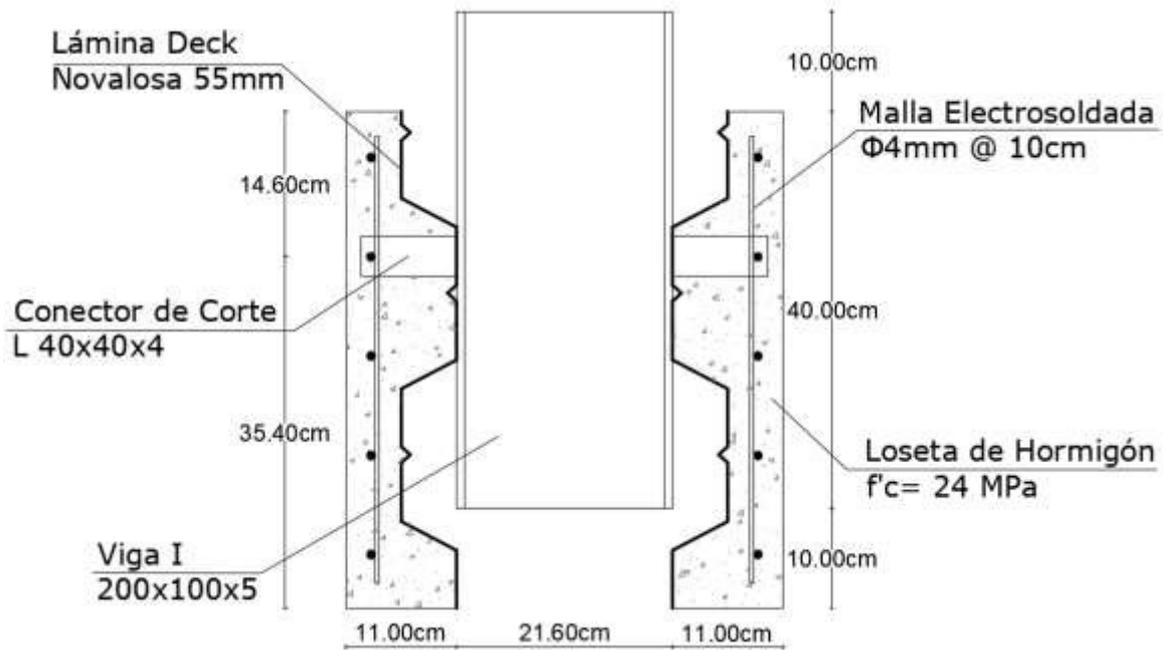


Figura 28. Diseño definitivo de la probeta.

Elaborado: Valenzuela & Velasco

La identificación de las probetas se realiza con un código alfanumérico XY-Z, donde:

- “X” representa la ubicación del conector en la probeta siendo “V” para conectores ubicados a 45° y “L” para conectores ubicados a 90°.
- “Y” representa el número de probeta Push-Out para cada ubicación del conector numerado del 1 al 7.
- “Z” diferencia las losas con strain gauge en cada probeta, siendo “1” para losas con sensores y “2” sin sensores.

3.5.1. ENCOFRADO

El Eurocódigo 4 (2013) especifica que las losas de deben ser hormigonadas en posición horizontal con los conectores de corte embebidos. Los encofrados se dimensionaron en función a las dimensiones de las losas y se construyen con madera tríples de 12 mm, en la figura 29 se presenta el diseño del encofrado.

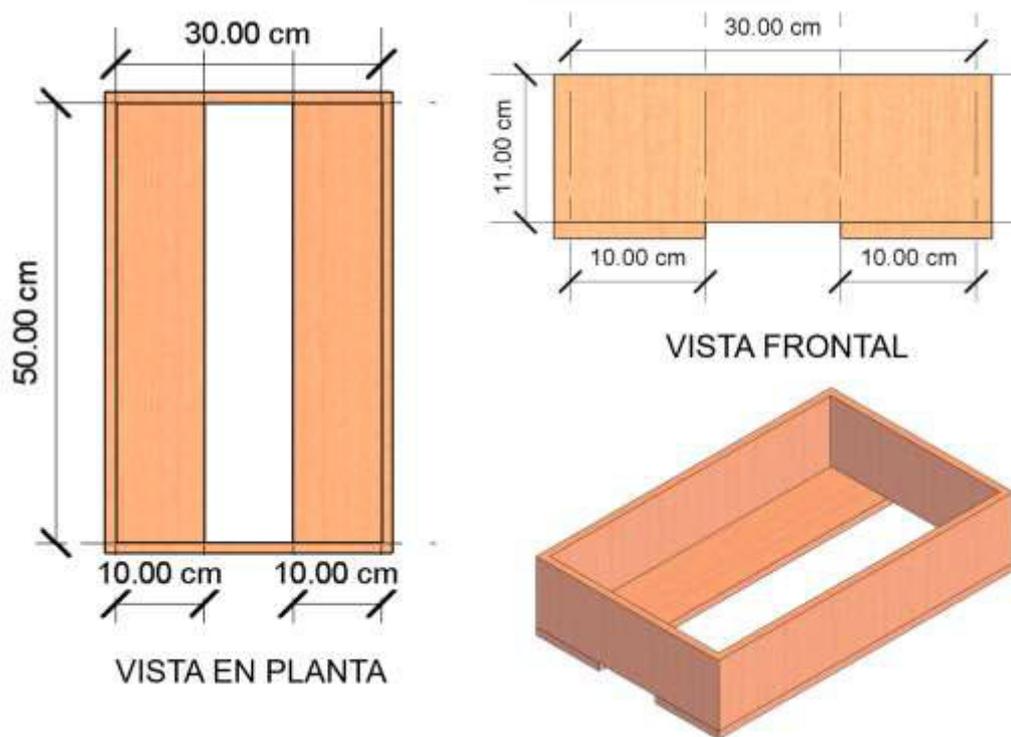


Figura 29. Diseño del encofrado de las probetas

Elaborado: Valenzuela & Velasco

3.5.2. SOLDADURA DE CONECTORES DE CORTE A LA VIGA

Las vigas y conectores son previamente cortados acorde al dimensionamiento detallado anteriormente, la soldadura de estos dos elementos se lleva a cabo por personal calificado del laboratorio de soldadura de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional. El proceso de soldadura sigue los requerimientos presentados por la norma AWS D1.1/D1.1 (2015).

Para la presente investigación, se trabajó con el mismo personal técnico y criterios de soldadura que investigación previa de Franco & Martínez (2020) y Ayala & Chicaiza (2021), además las características de materiales son similares. Razón por la cual se omite los ensayos de calificación de soldadura WPS.

La falla debe ocurrir en el conector de corte durante el ensayo Push-Out y no en la junta de soldadura. Con el fin garantizar esta condición se preparan probetas para un ensayo de corte de soldadura. El objetivo es medir la resistencia de la junta mediante un ensayo de corte. El ensayo intenta reproducir como se comportan los conectores de acero en los ensayos Push-Out (Ayala & Chicaiza,

2021). Se probó 3 tipos de soldadura: a un lado (M1), a dos lados (M2) y tres lados (M3) como se observa en la figura 30.

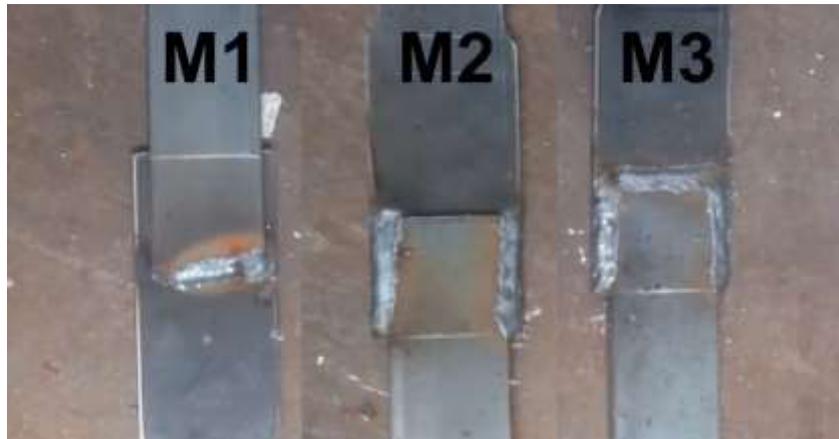


Figura 30. Tipos de probetas para calificación de soldadura.

Elaborado: Valenzuela & Velasco

Tabla 15.

Resultados del ensayo a corte de soldadura.

Fuente: Valenzuela & Velasco

Muestra	Tipo	Carga Máxima		Observación
		kN	t	
M21.064.01	M1	46.01	4.69	Falla en la junta de soldadura
M21.064.02	M2	72.41	7.38	Falla en el material de conector y al inicio de la junta de soldadura
M21.064.03	M3	74.78	7.63	Falla en material de conector

Los resultados presentados en la tabla 15 de los ensayos a corte sugieren que la soldadura a tres lados permite la falla del conector a 74.78 kN. La carga de diseño estimada para cada conector en la sección 3.3.5 es de 92.67 kN, con el fin de garantizar el fallo del conector se opta por realizar una soldadura a los 4 lados, como se muestra en la figura 31.



Figura 31. Soldadura de conectores

Elaborado: Valenzuela & Velasco

3.5.3. UBICACIÓN DE LÁMINA DECK Y MALLA ELECTROSOLDADA

Previo a la instalación de la lámina deck se realiza una perforación en la zona del conector de corte con soldadura MIG/MAG (Metal Inert Gas o Metal Active Gas), el objetivo es permitir el paso del conector de corte para la posterior fijación de la lámina deck a la viga, el perforado final se muestra en la figura 32.



Figura 32. Perforado en lámina deck

Elaborado: Valenzuela & Velasco

Se pasa el conector de corte por la lámina deck y con ayuda de puntos de suelda se la fija, el trabajo se realiza con ayuda del encofrado para impedir el desface entre los materiales. Posteriormente, se coloca la malla electrosoldada soldada a un centímetro de la parte superior del conector de corte, contribuyendo de esta manera a evitar el levantamiento entre la losa y la viga, similar al efecto dado por el cabezal en conectores tipo stud.



Figura 33. Ubicación de malla electrosoldada

Elaborado: Valenzuela & Velasco

3.5.4. UBICACIÓN DE STRAIN GAUGES

Se consideró el uso de un strain gauge por probeta, colocado en los conectores. La instalación de los strain gauge es supervisado por personal técnico del Centro de Investigación de la Vivienda (CIV) de la Escuela Politécnica Nacional, el procedimiento usado se encuentra detallado a continuación:

a) Lijado y limpieza de la superficie

Los strain gauges son sensibles a deformaciones imperceptibles por lo que es necesario la eliminación de irregularidades en la superficie de contacto, para esto se realiza lijado por medio de lijas de grano 80 y 200. Posteriormente se procede a limpiar el área con ayuda de hisopos empapados con alcohol metílico, la limpieza debe ser en un solo sentido (de abajo hacia arriba o viceversa) y repetitivo hasta obtener un hisopo relativamente limpio.



Figura 34. Limpieza del conector

Elaborado: Valenzuela & Velasco

b) Colocación del strain gauge

Primero se debe identificar la cara de contacto del strain gauge, se la puede distinguir por la presencia de números y caracteres legibles. Como siguiente paso se procede a fijar el strain gauge en el conector de corte con ayuda de cinta adhesiva y pegamento instantáneo, se recomienda esperar un tiempo estimado de 24 horas para lograr una correcta adherencia.

c) Conexión y aislamiento del strain gauge

Para la conexión se debe retirar la cinta adhesiva hasta liberar los filamentos del strain gauge, con ayuda de una pinza quirúrgica se procede a conectar con cable gemelo de 2.5 mm por medio de un entorchado entre el filamento y el cable. La unión se fija con soldadura eléctrica por cautín y estaño.

Para dar aislamiento se hace uso de esparrago impermeable colocando uno bajo la conexión del strain gauge y el cable para evitar el contacto con el conector de corte, se coloca un segundo esparrago sobre la conexión y el strain gauge como protección ante el posterior vertido del hormigón.



Figura 35. Instalación de strain gauges

Elaborado: Valenzuela & Velasco

d) Medición de la resistencia

Para comprobar el correcto funcionamiento de los strain gauges se mide su resistencia antes y después de la instalación, esto se realiza mediante un multímetro y debe verificarse que se encuentre dentro del rango dado por el fabricante. Para el presente estudio se trabajó con sensores con resistencia entre $120 \pm 0.3 \Omega$.



Figura 36. Medición de resistencia de strain gauges

Elaborado: Valenzuela & Velasco

3.5.5. HORMIGONADO DE LOSAS

La fundición de las losas se realiza con un hormigón provisto por la empresa HOLCIM, al ser un hormigón premezclado se sigue las disposiciones técnicas presentadas por la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1855 (2015) en su sección 6.2.1. con título “*Información para pedidos, opción A*”, donde especifica la entrega de un informe dado por el productor que detalla la cantidad y tipo de materiales usados en el desarrollo del hormigón además de la calidad y propiedades especificadas. Adicionalmente, especifica la evaluación de los requisitos de resistencia y consistencia por medio de ensayos normalizados de muestras tomadas en el lugar.



Figura 37. Entrega de hormigón premezclado

Elaborado: Valenzuela & Velasco

La toma de muestras del hormigón para los ensayos especificados, se realiza en base a las consideraciones dadas por la norma INEN 1763 (2010), la cual dispone la toma de una muestra de 28 litros como mínimo a la mitad de la descarga del hormigón y debe ser transportada a un lugar libre de vibraciones.

3.6.5.1. Determinación del asentamiento

El ensayo de asentamiento sigue las disposiciones de la norma INEN 1578 (2010) con título "*Hormigón de cemento hidráulico. Determinación del asentamiento*", que detalla el procedimiento estándar para determinar el asentamiento en hormigón hidráulico. La instrumentación que se requiere es un cono truncado con dimensiones estandarizadas y una varilla de compactación recta y lisa de acero de 16mm de diámetro y 600mm de longitud con puntas de compactación semiesféricas a los extremos. El procedimiento realizado se detalla a continuación:

- Humedecer el cono y colocar en una superficie rígida, regular y no absorbente, el cono debe estar bien fijo durante el llenado.
- Llenar el cono con hormigón obtenido de la muestra en 3 capas, cada capa debe tener un aproximado de 1/3 del volumen del cono. El llenado debe ser llevado a cabo con un cucharón con un tamaño que permita tomar cantidades representativas y no permita el derrame durante la colocación de la muestra en el molde.
- Cada capa debe ser compactada con 25 golpes con la varilla de compactación, los golpes deben ser distribuidos de manera uniforme por el contorno y en espiral hacia el centro.
- La capa superior debe ser llenada con un exceso de hormigón, debe quedar por encima de la parte superior del cono después de la compactación, el excedente debe ser enrasando con la parte superior del molde y posteriormente limpiar el hormigón residual alrededor del molde.
- Levantar el molde verticalmente a una altura de 300 mm en un tiempo de 5 segundos, sin movimientos laterales o de torsión.
- El proceso de llenado hasta el levantamiento del cono debe hacer en un tiempo de 2 minutos y medio.

- El asentamiento es medido como la diferencia entre la parte superior del molde y el centro del espécimen desplazado.



Figura 38. Ensayo del cono de Abrams

Elaborado: Valenzuela & Velasco

Se realizó dos pruebas con resultados de asentamiento de 187mm y 193mm respectivamente, el asentamiento está dentro del rango de aceptación de la norma, la tolerancia permitida para asentamientos mayores a 100 mm es de ± 40 mm. Al tener una diferencia entre ensayos de 6mm el hormigón empleado es calificado como consistente.

3.6.5.2. Elaboración de cilindros

La norma INEN 1576 (2011) con título “*Hormigón de cemento hidráulico. Elaboración y curado en obra de especímenes para ensayos*” establece el proceso para extraer y curar cilindros, tomados de muestras representativas del hormigón fresco. A continuación, se describe el procedimiento para el moldeo.

- El método de compactación debe ser seleccionado a partir del asentamiento del hormigón como se muestra en la tabla 16. En base al asentamiento obtenido se toma el varillado como método de compactación.

Tabla 16.

Requisitos para determinar el método de compactación.

Fuente: (INEN 1576, 2011)

Asentamiento (mm)	Método de compactación
≥ 25	Varillado o vibración
< 25	Vibración

- Una vez seleccionado el método de compactación, la norma presenta los requisitos para el moldeado en base a las dimensiones de los cilindros como se muestra en la tabla 17. Los moldes seleccionados son de 100 x 200 mm, el moldeado se realiza en dos capas con 25 golpes de compactación por capa. La varilla de compactación debe ser de acero con puntas semiesféricas y un diámetro de 10 ± 2 mm, ya que los cilindros tienen un diámetro menor a 150mm (INEN 1576, 2011).

Tabla 17.

Requisitos para el moldeado mediante varillado

Fuente: (INEN 1576, 2011)

Tipo de espécimen y tamaño	Número de capas de aproximadamente igual altura	Número de golpes con la varilla por capa
Cilindros:		
Diámetro (mm)		
100	2	25
150	3	25
225	4	50

- Los moldes se llenan según lo establecido con un cucharón de tamaño compatible, este debe moverse alrededor del perímetro para asegurar una buena distribución del hormigón. La última capa debe tener un excedente para asegurar el completo llenado del recipiente después de la compactación. Después de la compactación se procede a golpear el contorno del molde de 10 a 15 veces con un mazo de goma o materiales similares (INEN 1576, 2011).
- El terminado debe realizarse con la mínima intervención para conseguir una superficie plana y nivelada, que no tenga proyecciones o depresiones mayores a 3.3 mm (INEN 1576, 2011).



Figura 39. Cilindros de hormigón

Elaborado: Valenzuela & Velasco

- El curado de los cilindros se lo realiza en el cuarto de curado del laboratorio de ensayos de materiales, suelos y rocas (LEMSUR) de la Escuela Politécnica Nacional bajo los requerimientos dados por la norma INEN 1576 (2011).
- Se obtienen 15 cilindros con el fin de asegurar el ensayo de resistencia de tres probetas para los 7, 14 y 28 días después de la fundición de las losas y tres probetas para la obtención de módulo de elasticidad a los 35 días. El cronograma y resultado de ensayos realizados se presentan en el ANEXO 2

3.6.5.3. Fundición de losas

Continuando con el proceso de ensamblaje, se procede a verter el hormigón con ayuda del canal abatible del camión mixer a una carretilla y posteriormente a los encofrados, el hormigón es distribuido uniformemente con ayuda de una varilla de acero, teniendo mayor cuidado en las zonas cercanas a un strain gauge. Se golpea ligeramente la parte exterior de los encofrados con un mazo de goma para asegurar un mejor asentamiento y distribución del hormigón evitando formación de burbujas de aire. El proceso descrito puede evidenciarse en la figura 40.



Figura 40. Hormigonado de losas
Elaborado: Valenzuela & Velasco

El curado de losas se realiza durante los primeros 15 días después del hormigonado, bajo los requerimientos de la norma INEN 1576 (2011), evitando la exposición de las losas al sol o cambios bruscos de temperatura. El procedimiento del curado es realizado mediante el derrame de agua sobre las losas y se coloca una capa de arena mojada sobre la superficie asegurando una humedad continua. El proceso se realiza dos veces al día y se cubre las losas con lona plástica.



Figura 41. Curado de losas
Elaborado: Valenzuela & Velasco

3.5.6. CONFORMACIÓN DEL PERFIL I

Para culminar el ensamblaje de los especímenes Push-Out se procede a soldar las placas metálicas para la formación del perfil I, la soldadura es de tipo ranura en junta de penetración completa (CJP) con GMAW, los trabajos son ejecutados por personal técnico calificado del laboratorio de soldadura de la Escuela Politécnica Nacional en base al código AWS D1.1/D1.1M (2015). Durante este proceso se debe verificar que los elementos se encuentren nivelados.



Figura 42. Conformación de perfil I

Elaborado: Valenzuela & Velasco

Con el fin de eliminar imperfecciones en las superficies de contacto de la sección I, se procede a limar las mismas hasta lograr un correcto nivel para la colocación de la placa del gato hidráulico y lograr una distribución de fuerza uniforme durante el ensayo.

3.6. PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

El ensayo Push-Out es de carácter cíclico, y su forma de aplicación está estipulado en el Eurocódigo 4 (2013). La resistencia teórica del conector de corte debe ser comprobada mediante un ensayo individual, asegurando los resultados al realizar la experimentación con las probetas.

Como primer paso se procede a realizar el ensayo cargando la probeta en intervalos hasta llegar a un 40% de la carga de rotura esperada y después realizar 25 ciclos con una variación de la carga entre el 5% y el 40% de la carga de rotura

esperada. Al finalizar, se reinicia la carga al valor inicial de 5% y se aplica el incremento de carga de manera que la falla de la probeta no suceda antes de los 15 minutos (UNE-EN-1994, 2013).

El deslizamiento que existe entre la losa de hormigón y el perfil metálico debe medirse de forma continua durante la fase de carga para cada incremento. El deslizamiento debe medirse hasta que la carga haya descendido hasta un 20% del valor máximo de carga esperado (UNE-EN-1994, 2013).

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. CONSIDERACIONES ESTADÍSTICAS

La consistencia de los datos debe revisarse con el fin de determinar posibles datos experimentales que pueden considerarse atípicos. Un valor atípico puede ser el resultado de variaciones durante el proceso experimental, errores en el cálculo o registro del valor numérico. La norma ASTM E178-16 (2016) con título Standard Practice for Dealing With Outlying Observations, describe los criterios para identificar observaciones atípicas en muestras y como probar su importancia estadística. En nuestro caso, se emplea el siguiente criterio:

- Criterio para un único valor atípico

El cual consiste en obtener un valor adimensional llamado criterio de prueba T_n , siendo diferente para los valores máximos y mínimos (ASTM E178-16, 2016).

$$\text{Valor máximo } T_n = \frac{(x_n - \bar{x})}{s} \quad (32)$$

$$\text{Valor mínimo } T_n = \frac{(\bar{x} - x_1)}{s} \quad (33)$$

Donde:

$$x_1 < x_2 < \dots < x_n \quad (34)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (35)$$

El criterio T_n debe compararse el valor T de la tabla 18 en función del tamaño de la muestra para un nivel de significancia. Si $T_n > T$ el dato es considerado como atípico, pero si $T_n < T$ el dato debe mantenerse para los demás análisis (ASTM E178-16, 2016).

Tabla 18.*Valores críticos para T***Fuente:**(ASTM E178-16, 2016)

Number of Observations, <i>n</i>	Upper 10% Significance Level	Upper 5% Significance Level	Upper 1% Significance Level
3	1.1484	1.1531	1.1546
4	1.4250	1.4625	1.4925
5	1.602	1.672	1.749
6	1.729	1.822	1.944
7	1.828	1.938	2.097
8	1.909	2.032	2.221
9	1.977	2.110	2.323
10	2.036	2.176	2.410
11	2.088	2.234	2.485
12	2.134	2.285	2.550
13	2.175	2.331	2.607
14	2.213	2.371	2.659
15	2.247	2.409	2.705

Adicionalmente, el Eurocódigo (UNE-EN-1994, 2013) establece un límite del 10% en la desviación del resultado de cualquier ensayo individual en relación a la media. Para comprobar esto se requiere obtener el error porcentual, desviación estándar y absoluta con las siguientes expresiones:

$$DAi = |x_i - \bar{x}| \quad (36)$$

$$ei(\%) = \frac{DAi}{\bar{x}} \cdot 100\% \quad (37)$$

Si el porcentaje de error respecto a la media supera el 10%, el Eurocódigo (UNE-EN-1994, 2013) establece que la evaluación del ensayo se debe determinar estadísticamente de acuerdo con el anexo D de la norma EN 1990.

4.2. ENSAYO DE MATERIALES

El Eurocódigo (UNE-EN-1994, 2013) para ensayo de conectores de corte dispone necesario determinar las propiedades de los materiales, consideradas como variables de la investigación.

4.2.1. ENSAYOS DE HORMIGÓN

4.2.1.1. Resistencia a la compresión del hormigón ($f'c$)

En la tabla 19 se muestran los valores medios de los resultados a compresión del hormigón ($f'c$) a distintas edades.

Tabla 19.

Resultados $f'c$ experimentales

Elaborado: Valenzuela & Velasco

Edad (días)	$f'c$ (MPa)
7	14.2
14	18.7
28	22.2
31	23.8

La resistencia del hormigón especificada para la investigación ($f'ck$) es de 24 MPa a los 28 días establecida en el apartado 3.2.2. La comprobación experimental de esta propiedad y su análisis estadístico para revisar la consistencia de los datos, se presenta en la tabla 20.

Tabla 20.

Resultados de $f'c$ experimentales y análisis estadístico

Elaborado: Valenzuela & Velasco

Probeta N°	$f'c$ ensayos (MPa)	Desviación absoluta	Error (%)
P8	22.6	0.37	1.65%
P9	23.3	1.07	4.80%
P10	20.8	1.43	6.45%
Media	22.2		
Desviación estándar	1.29		

La tabla 20 muestra que el error obtenido para cada ensayo a compresión a 28 días no supera el 10% respecto a la media, de tal manera se establece para posteriores análisis el valor de $f'cm$ como 22.2 MPa.

4.2.1.2. Módulo de elasticidad del hormigón

En base a los resultados obtenidos experimentalmente del módulo de elasticidad se procede a realizar un análisis comparativo con los valores teóricos obtenidos de ecuaciones procedentes las normativas. El módulo de elasticidad teórico del estudio se estableció en la sección 3.3.5 en base a la expresión (5) establecida en la NEC (2015) y ACI 318 (2019) en su capítulo 19.

$$E_c = 4700 \cdot \sqrt{f'_c} \quad (MPa) \quad (5)$$

El comité 363 del ACI para determinar el módulo de elasticidad presenta la siguiente expresión para valores de f'_c entre 21 MPa y 83 MPa (ACI 363, 2010).

$$E_c = 3320 \cdot \sqrt{f'_c} + 6900 \quad (MPa) \quad (38)$$

El Eurocódigo 2 (UNE-EN 1992, 2013) presenta la siguiente expresión para la determinación del módulo del elasticidad.

$$E_c = 22000 \cdot \left(\frac{f'_c}{10}\right)^{0.3} \quad (MPa) \quad (39)$$

Tabla 21.

Resultados de E_c experimentales y análisis estadístico

Elaborado: Valenzuela & Velasco

Muestra	E_c ensayos (MPa)	Desviación absoluta	Error (%)
P13	19123	7.67	0.04%
P14	19491	360.33	1.88%
P15	18778	352.67	1.84%
Media (E_{cm})	19130.67		
Desviación estándar	356.56		

Tabla 22.*Análisis comparativo de módulos de elasticidad teóricos.***Elaborado:** Valenzuela & Velasco

Norma	E_c teórico (MPa)	E_{cm} (MPa)	Error (%)
ACI 318	22144.93	19130.67	15.76%
ACI 363	22542.80		17.84%
Eurocódigo 2	24795.66		29.61%

La tabla 21 muestra los resultados experimentales del módulo de elasticidad, el porcentaje de error se encuentra dentro del 10% respecto a la media, de tal manera se establece para posteriores análisis el valor de E_{cm} como 19130.67 MPa. En la comparación con los valores teóricos de la tabla 22, se presenta una sobre estimación por parte de las normas respecto al valor obtenido.

4.2.2. ENSAYOS DE ACERO

El ensayo a tracción del acero correspondiente al conector de corte se realiza con el objeto de conseguir las cualidades reales del material empleado, necesarias para la evaluación de los ensayos, según lo establecido en el Eurocódigo (UNE-EN-1994, 2013). En la tabla 23 se presentan los resultados obtenidos de los ensayos a tracción.

Tabla 23.*Resultados de las propiedades mecánicas del acero de conectores.***Elaborado:** Valenzuela & Velasco

Muestra	P_y (kN)	P_{ut} (kN)	F_y (MPa)	F_{ut} (MPa)	Elongación (%)
T1	19.32	25.28	403.00	527.00	27.00
T2	19.02	25.32	397.00	528.00	26.60
T3	17.93	25.06	364.00	509.00	28.10
Media	18.76	25.22	388.00	521.33	27.23
Desviación estándar	0.73	0.14	21.00	10.69	0.78

Es necesario establecer la resistencia a la tracción del material de los conectores (F_{ut}) para la evaluación del ensayo en base al Eurocódigo. En la tabla 24, se realiza la validación estadística de este valor obtenido en los ensayos.

Tabla 24.

Resultados de F_{ut} experimental y análisis estadístico

Elaborado: Valenzuela & Velasco

Muestra	F_{ut} (MPa)	Desviación absoluta	Error (%)
T1	527	5.67	1.09%
T2	528	6.67	1.28%
T3	509	12.33	2.37%
Media	521.33		
Desviación estándar	10.69		

En los resultados experimentales, el porcentaje de error se encuentra dentro del 10% respecto a la media de la resistencia a la tracción, de tal manera se establece para posteriores análisis el valor de F_{ut} como 521.33 MPa.

4.3. RESULTADOS DEL ENSAYO PUSH-OUT

4.3.1. MODOS DE FALLA

El modo de falla característico durante los ensayos Push-Out, se presenta como una grieta transversal en todo el ancho de la losa de concreto, ubicada al nivel de la transición del valle al nervio de la lámina deck como se presenta en la figura 43.





Figura 43. Falla en las losas de hormigón.

a) Conector a 90° b) Conector a 45°

Elaborado: Valenzuela & Velasco

Algunos autores como Qureshi et al. (2011) y (Zaki et al., 2015) nombran este tipo de falla como “*back-breaking*” o “*rolling fracture*”. Esta falla se describe como una combinación de falla de la nervadura como se muestra en la figura 16 y rotación del último conector en caso de tener más de uno (Qureshi et al., 2011). La figura 44 ilustra las fuerzas internas y los momentos aplicados en una muestra de losa compuesta durante el ensayo Push-Out sin arriostramiento lateral. Se observa que existen momentos flectores en la zona de la losa de hormigón de menor sección (Wang, 2009).

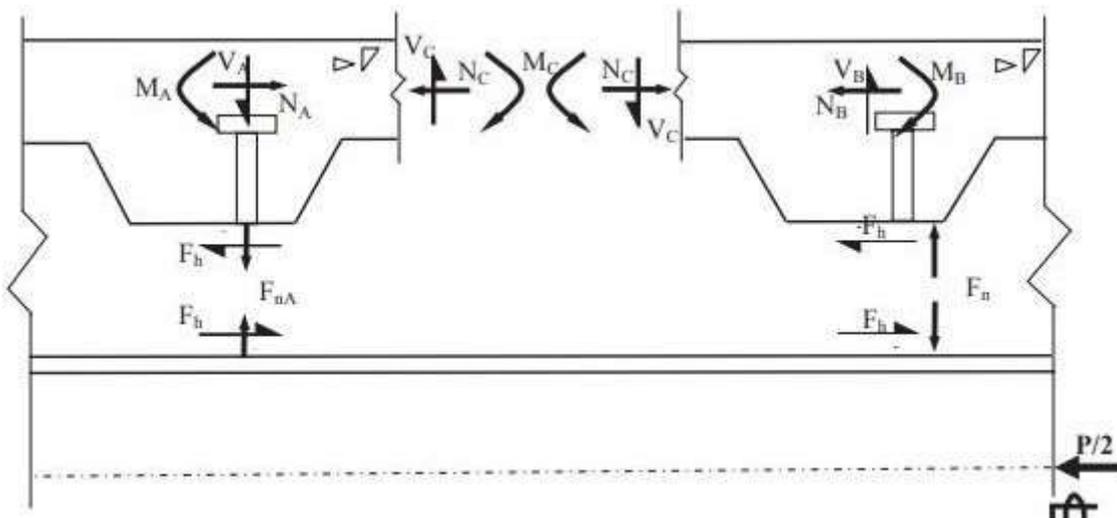


Figura 44. Fuerzas internas en los conectores de corte

Fuente: (Wang, 2009)

El momento flector que se experimenta en la losa de hormigón es directamente proporcional a la distancia vertical entre la parte inferior de los conectores y el centroide de la losa de hormigón de menor sección, este valor depende del ancho de la losa, el ancho y la altura de la nervadura de la lámina deck, como se muestra en la figura 45 (Ernst, 2006).

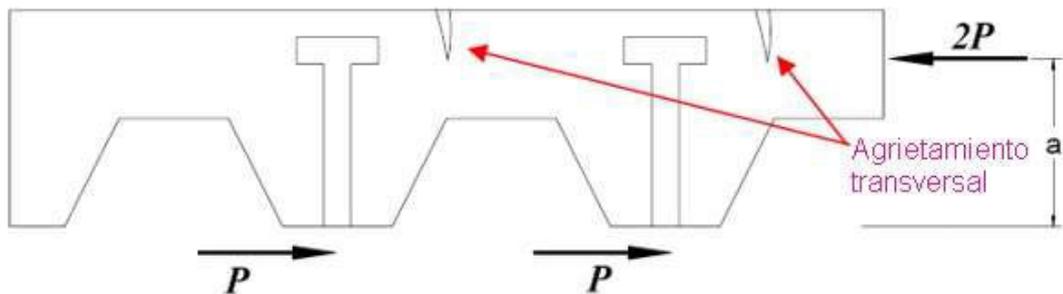


Figura 45. Efectos de flexión en la losa de hormigón

Fuente: (Ernst, 2006)



Figura 46. Rotación en los conectores de corte.

Elaborado: Valenzuela & Velasco

En la figura 46 se observa una rotación en los conectores de corte con respecto a la viga. Hicks et al. (2017) sugiere que se provea a la losa una nervadura sin conector de corte en la parte superior para evitar este tipo de falla, adicionalmente propone un modelo de ensayo para conectores de corte soldados en láminas deck basado en el Eurocódigo y el AISC donde propone la aplicación

de una carga normal a la losa no mayor al 10% de la carga de corte, como se muestra en la figura 47.

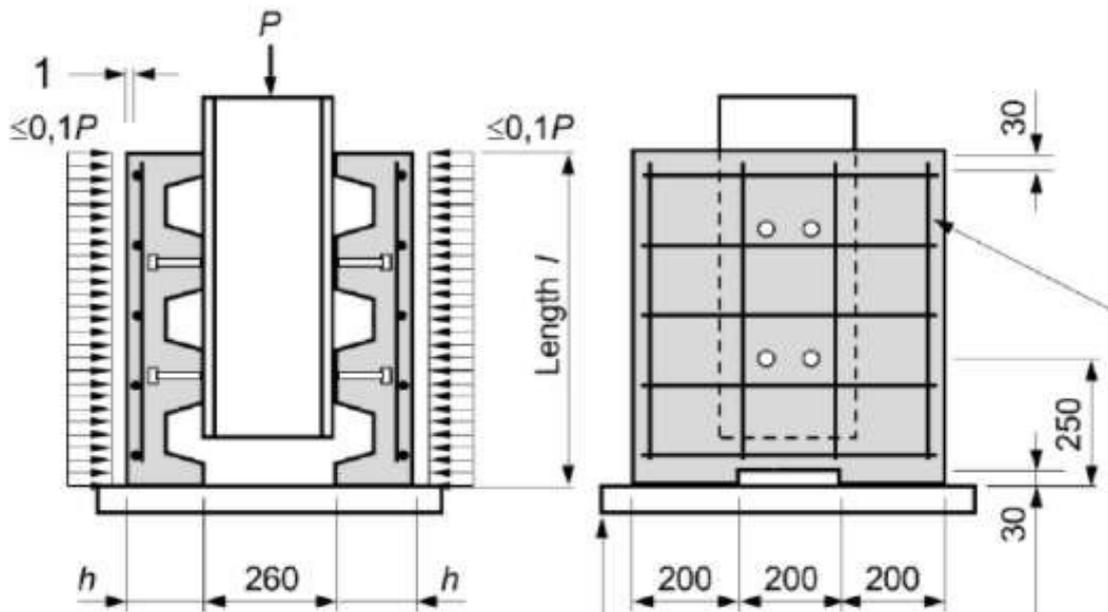


Figura 47. Propuesta para conectores en láminas deck trapezoidales.

Fuente:(Hicks et al., 2017)

4.3.2. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

El comportamiento de los conectores en los ensayos Push-Out se analiza con el mismo procedimiento seguido por autores como Deng et al. (2019), considerando la curva carga-deslizamiento después de los 25 ciclos de carga y descarga. La carga por conector se obtiene dividiendo la carga registrada para el número de conectores y se emplea el promedio de los deslizamientos relativos entre las losas y la viga.

Los valores de carga se dividen para 2 (número de conectores) y se toman los deslizamientos relativos como la diferencia de los valores registrados por los LVDTs en la viga con respecto a las losas, conforme a la configuración presentada en la figura 25.

Se procede a realizar un ensayo Push-Out monotónico por cada grupo de muestras, con el fin de establecer los límites de 5% y 40% para los ensayos cíclicos. La figura 48 se presenta las curvas obtenidas en estos ensayos, mientras que en

la tabla 25 se resumen los valores de P_u obtenidos y los límites calculados para los ensayos cíclicos.

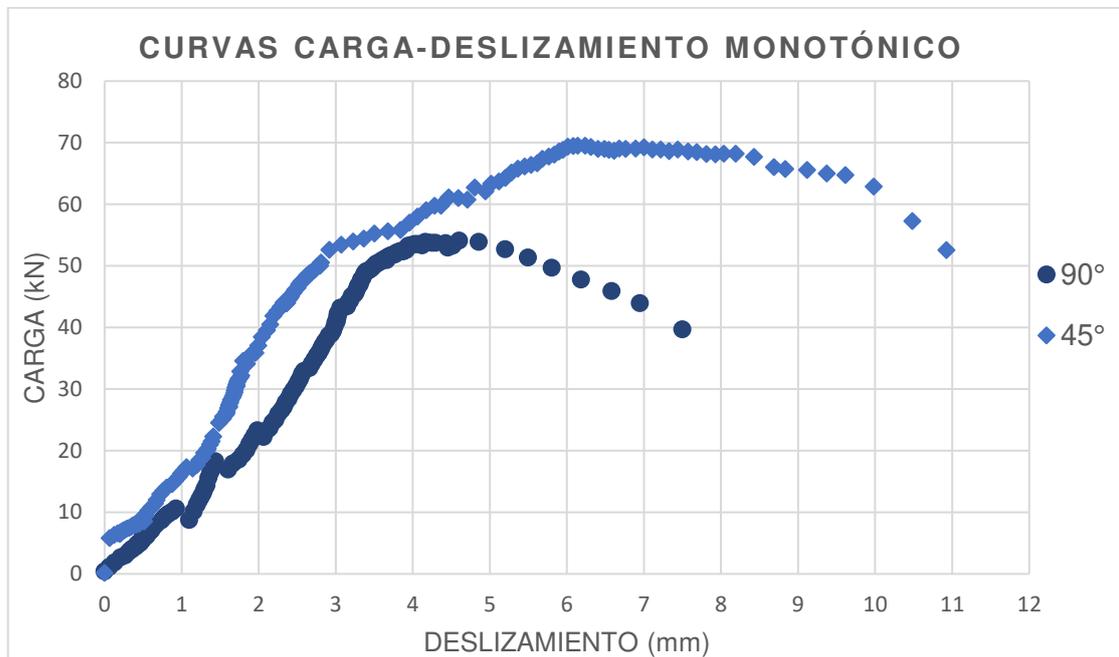


Figura 48. Curvas carga-deslizamiento de ensayos monotónicos

Elaborado: Valenzuela & Velasco

Tabla 25.

Resultados de ensayos monotónicos

Elaborado: Valenzuela & Velasco

Ubicación	Probeta	P_u (kN)	5% P_u (kN)	40% P_u (kN)
90°	L7	54.09	2.70	21.63
45°	V7	69.51	3.48	27.80

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de los ensayos cíclicos Push-Out, se ensayaron 12 probetas: 6 con el ángulo dispuesto a 90° (probetas tipo L) y 6 con el ángulo ubicado a 45° (probetas tipo V).

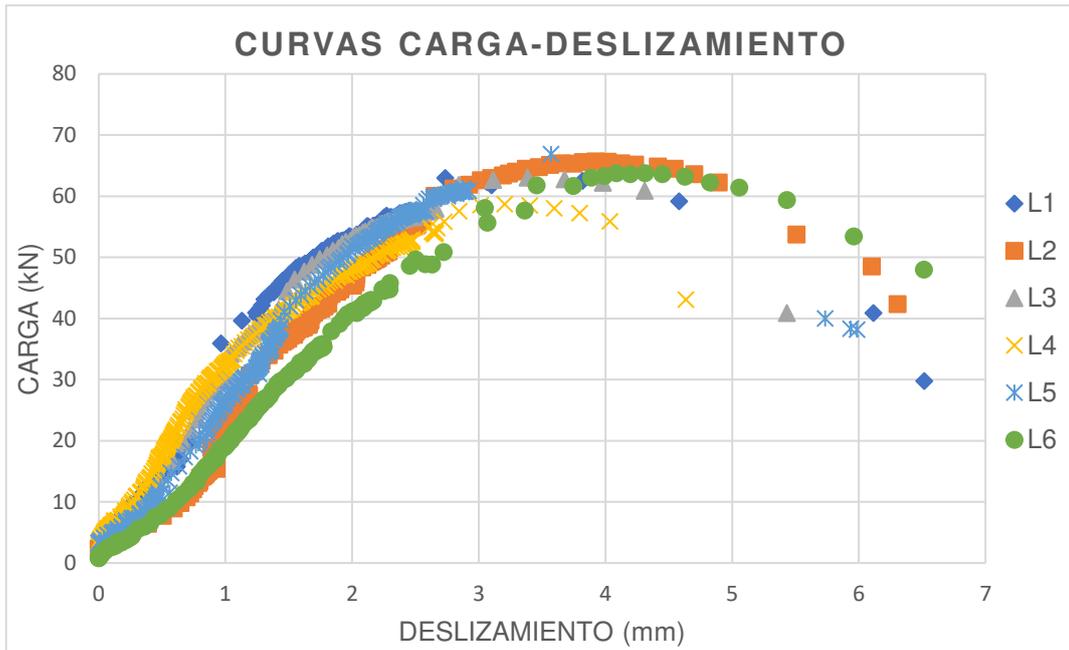


Figura 49. Curvas carga-deslizamiento de ensayos cíclicos con conectores a 90°.

Elaborado: Valenzuela & Velasco

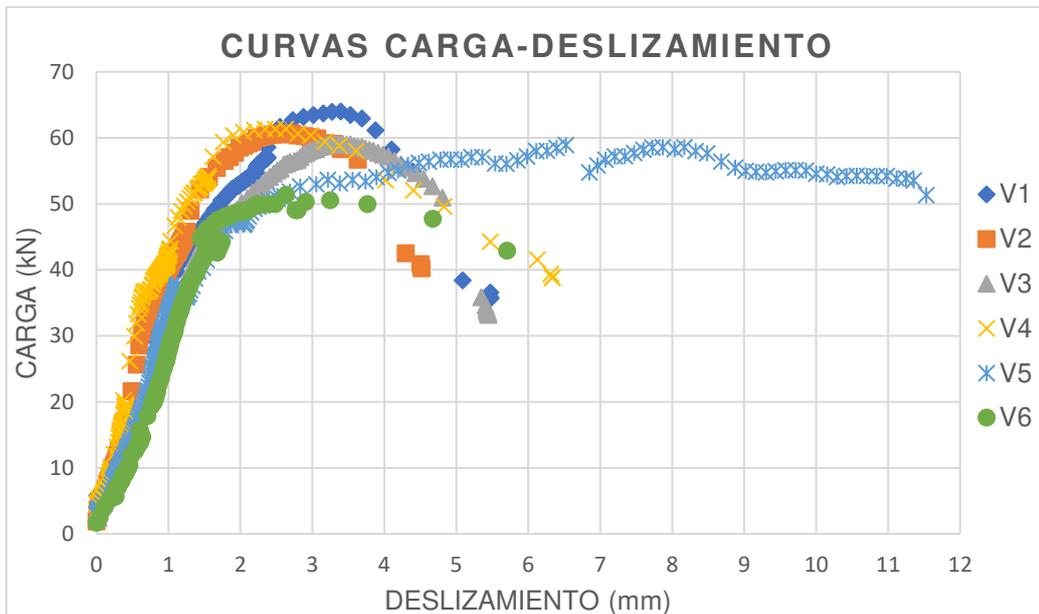


Figura 50. Curvas carga-deslizamiento de ensayos cíclicos con conectores a 45°.

Elaborado: Valenzuela & Velasco

Con los valores de carga última de cada probeta para un conector (P_u) se procede a revisar la consistencia de los datos para determinar posibles datos atípicos, según lo establecido en el apartado 4.1.

Tabla 26.*Análisis estadístico de P_u con conectores a 90°* **Elaborado:** Valenzuela & Velasco

Probeta	P_u (kN)	T_n	T (10%)	$T_n < T$
L4	58.70	1.701	1.729	OK
L1	62.98			
L3	62.99			
L6	63.72			
L2	65.67			
L5	66.86	1.198	1.729	OK
Media	63.49			
Desviación estándar	2.81			

Los valores obtenidos de carga P_u en probetas con el ángulo a 90° no se evidencian la presencia de algún dato atípico, como se muestra en la tabla 26 y se los considera válidos para los posteriores análisis.

Tabla 27.*Análisis estadístico de P_u con conectores a 45°* **Elaborado:** Valenzuela & Velasco

Probeta	P_u (kN)	T_n	T (10%)	$T_n < T$
V6	51.40	1.840	1.729	Atípico
V5	58.91			
V3	59.13			
V2	60.66			
V4	61.34			
V1	64.02	1.121	1.729	OK
Media	59.24			
Desviación estándar	4.26			

La tabla 27 evidencia que T_n correspondiente al valor de P_u de la probeta V6 con el conector a 45° supera el límite T (10%), de tal manera, los valores de V6 se toman como atípicos y no serán considerados en los cálculos posteriores. Se procede a realizar una nueva comprobación con los datos restantes.

Tabla 28.

Segundo análisis estadístico de P_u con conectores a 45°

Elaborado: Valenzuela & Velasco

Probeta	P_u (kN)	T_n	T (10%)	$T_n < T$
V5	58.91	0.921	1.602	OK
V3	59.13			
V2	60.66			
V4	61.34			
V1	64.02	1.555	1.602	OK
Media	60.81			
Desviación estándar	2.06			

Los valores obtenidos restantes de carga P_u en probetas con el ángulo a 45° no evidencian la presencia de otro dato atípico y se considerarán para los cálculos posteriores.

4.3.3. EVALUACIÓN DE RESULTADOS EN BASE AL EUROCÓDIGO

El Eurocódigo (2013) para la evaluación del ensayo establece que los datos de al menos tres probetas de similares características presenten un error respecto a la media menor al 10%, de cumplir esta condición la resistencia a corte de un conector se obtiene de acuerdo con:

$$P_{Rd} = \frac{F_u}{F_{ut}} \cdot \frac{P_{Rk}}{\gamma_V} \leq \frac{P_{Rk}}{\gamma_V} \quad (40)$$

Donde:

F_u : valor mínimo de la resistencia última especificada de los conectores.

F_{ut} : valor mínimo de la resistencia última real obtenido de los ensayos.

γ_V : coeficiente parcial de seguridad para la conexión, valor recomendado es 1.25.

Esta expresión del Eurocódigo da una penalización que se aplica cuando $f_{ut} > f_u$. Esto es apropiado cuando la resistencia del conector se encuentra gobernada por su material, en este caso acero, pero en este durante los ensayos se obtuvo que la resistencia depende principalmente del hormigón, debido al fallo en este último. La norma BS 5400 (2005) corrige los resultados en relación a la resistencia del hormigón como se muestra en la siguiente expresión.

$$P_{Rd} = \frac{f'ck}{f'cm} \cdot \frac{P_{Rk}}{\gamma_V} \leq \frac{P_{Rk}}{\gamma_V} \quad (41)$$

Donde:

$f'ck$: resistencia del hormigón especificada.

$f'cm$: resistencia media del hormigón obtenida de los ensayos.

γ_V : coeficiente parcial de seguridad para la conexión, valor recomendado es 1.25

4.3.3.1. Valor característico de resistencia P_{Rk}

El valor característico de resistencia se debe tomar como el mínimo de los resultados de carga de rotura para un tipo de conector reducido en un 10% como se indica en la expresión 42.

$$P_{Rk} = 0.9 \cdot P_{u \min} \quad (42)$$

Si la dispersión de los resultados de los valores de carga de rotura excede en 10% al valor de la media, la carga característica debe evaluarse estadísticamente de acuerdo con el anexo D de la norma UNE-EN 1990 (2005). Misma que presenta la siguiente expresión para obtener valores característicos.

$$P_{Rk \text{ est}} = \bar{P}_u \cdot (1 - k_n \cdot V_{Pu}) \quad (43)$$

Donde:

k_n : Valor fractil característico dado en la tabla D1 de la UNE-EN 1990 (2005).

$$V_{Pu} = \frac{S_{Pu}}{\bar{P}_u} \quad (44)$$

Tabla 29.

Cálculo de resistencia característica P_{Rk} de ensayos monotónicos

Elaborado: Valenzuela y Velasco

Ubicación	Probeta	P_u (kN)	P_{Rk} (kN)
90°	L7	54.09	48.68
45°	V7	69.51	62.56

Tabla 30.

Cálculo de resistencia característica P_{Rk} de ensayos cíclicos

Elaborado: Valenzuela & Velasco

Posición	Probeta	P_u (kN)	Media(kN)	Error (%)	P_{Rk} (kN)	P_{Rk-est} (kN)
90°	L1	62.98	63.49	0.80%	52.83	57.35
	L2	65.67		3.43%		
	L3	62.99		0.77%		
	L4	58.70		7.54%		
	L5	66.86		5.31%		
	L6	63.72		0.38%		
45°	V1	64.02	60.81	5.28%	53.02	56.00
	V2	60.66		0.25%		
	V3	59.13		2.76%		
	V4	61.34		0.86%		
	V5	58.91		3.13%		

En la tabla 30 se exponen los valores de P_{Rk} obtenidos para cada grupo de muestras en base al Eurocódigo 4 y el anexo D de la norma UNE-EN 1990. Como los valores de error respecto a la media no superan el 10% se toma como P_{Rk} el menor valor de P_u de cada grupo reducido un 10%.

4.3.3.2. Capacidad de deslizamiento δ_u

El Eurocódigo 4 (2013) señala que la capacidad de deslizamiento de una probeta debe tomarse como el máximo deslizamiento en el nivel de la carga característica P_{Rk} de cada grupo, como se muestra en la figura 51.

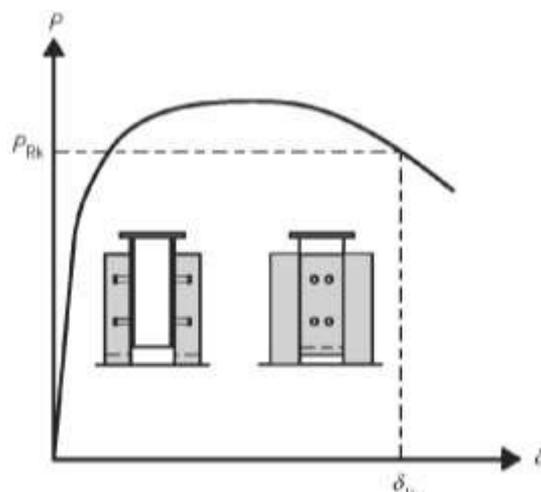


Figura 51. Determinación de la capacidad de deslizamiento δ_u .

Fuente: (UNE-EN-1994, 2013)

Tabla 31.*Deslizamiento último de ensayos monotónicos***Elaborado:** Valenzuela & Velasco

Ubicación	Probeta	δ_u (mm)
90°	L7	6.01
45°	V7	10.01

Con los valores de capacidad de deslizamiento de cada probeta de los ensayos cíclicos se procede a revisar la consistencia de los datos para determinar posibles datos atípicos, según las consideraciones descritas previamente en el apartado 4.1.

Tabla 32.*Análisis estadístico de δ_u con conectores a 90°***Elaborado:** Valenzuela & Velasco

Probeta	δ_u (mm)	T_n	T (10%)	$T_n \leq T$
L4	4.18	1.354	1.729	OK
L5	4.70			
L3	4.76			
L1	5.11			
L2	5.51			
L6	5.96	1.458	1.729	OK
Media	5.04			
Desviación estándar	0.63			

Los valores obtenidos de carga δ_u en probetas con el ángulo a 90° no se evidencian la presencia de un dato atípico, como se muestra en la tabla 32 y se consideran válidos para los posteriores análisis.

Tabla 33.*Análisis estadístico de δ_u con conectores a 45°***Elaborado:** Valenzuela & Velasco

Probeta	δ_u (mm)	T_n	T (10%)	$T_n < T$
V2	3.80	0.571	1.602	OK
V4	4.01			
V1	4.39			
V3	4.63			
V5	11.40	1.780	1.602	Atípico
Media	5.65			
Desviación estándar	3.23			

La tabla 33 evidencia que T_n correspondiente al valor de δ_u de la probeta V5 con el conector a 45° supera el límite T (10%), de tal manera, los valores de V5 se toman como atípicos y no serán considerados en los cálculos posteriores. Se procede a realizar una nueva comprobación con los datos restantes.

Tabla 34.

Segundo análisis estadístico de δ_u con conectores a 45°

Elaborado: Valenzuela & Velasco

Probeta	δ_u (mm)	T_n	T (10%)	$T_n < T$
V2	3.80	1.096	1.425	OK
V4	4.01			
V1	4.39			
V3	4.63	1.129	1.425	OK
Media	4.21			
Desviación estándar	0.37			

Los valores restantes de deslizamiento δ_u en probetas con el ángulo a 45° no evidencian la presencia de otro dato atípico y se considerarán para los cálculos posteriores.

4.3.3.3. Capacidad de deslizamiento característica δ_{uk}

La clasificación de un conector como dúctil depende de su capacidad de deslizamiento característica δ_{uk} , que el Eurocódigo 4 (2013) define en como el mínimo valor de δ_u reducido en un 10% o determinarse estadísticamente con todos los resultados obtenidos de acuerdo con el anexo D de la norma UNE-EN 1990 (2005). La tabla 35 presenta los valores del δ_{uk} y P_{Rk} obtenidos de los ensayos monotónicos, mientras que la tabla 36 los resultados se los ensayos cíclicos para cada posición del conector de corte.

Tabla 35.

Presentación de P_{Rk} y δ_{uk} de ensayos monotónicos

Elaborado: Valenzuela y Velasco

Ubicación	Probeta	P_{uk} (kN)	P_{Rk} (kN)	δ_{uk} (mm)	δ_{uk} (mm)
90°	L7	54.09	48.68	6.01	5.41
45°	V7	69.51	62.56	10.01	9.01

Tabla 36.*Presentación de P_{Rk} y δ_{uk} de ensayos cíclicos***Elaborado:** Valenzuela & Velasco

Ubicación	$P_{u\ min}$ (kN)	P_{Rk} (kN)	$\delta_{u\ min}$ (mm)	δ_{uk} (mm)
90°	58.70	52.83	4.18	3.76
45°	58.91	53.02	3.80	3.42

El Eurocódigo 4 (2013) establece que un conector de corte se define como dúctil si la capacidad de deslizamiento característica δ_{uk} es de al menos 6 mm. Los resultados de la tabla 36 muestran que la capacidad de deslizamiento característica de los conectores de tipo ángulo en losas deck es inferior al límite.

4.3.3.4. Verificación del P_{Rd}

Una vez se han analizado y corregido los productos obtenidos de los ensayos Push-Out, se obtiene la resistencia de diseño P_{Rd} usando la expresión 41 como se muestra en la sección 4.3.3.

Tabla 37.*Cálculo de la resistencia de diseño P_{Rd}* **Elaborado:** Valenzuela & Velasco

Ubicación	P_{Rk} (kN)	f'_{ck} (MPa)	f'_{cm} (MPa)	γ_v	P_{Rd} (kN) (Parte izquierda)	P_{Rk}/γ_v (kN) (Parte derecha)
90°	52.83	24	22.2	1.25	45.89	42.26
45°	53.02	24	22.2		45.86	42.42

El valor P_{Rd} calculado por la parte izquierda de la expresión 41 supera el límite presentado (parte derecha), ya que la resistencia del hormigón obtenida experimentalmente es inferior a la teórica. Entonces, se toma como resistencia de diseño P_{Rd} para conectores a 90° y 45° los valores de 42.26 kN y 42.42 kN respectivamente.

4.4. DUCTILIDAD, RIGIDEZ Y TENACIDAD

4.4.1. DUCTILIDAD

Las curvas de carga - deslizamiento posibilitan estimar el factor de ductilidad de los conectores de corte, estas se definen en términos de una curva elastoplástica

equivalente como se muestra en la figura 52. La curva de carga - deslizamiento de un conector de corte se idealiza mediante dos líneas rectas que representan la rigidez inicial y la resistencia máxima. La intersección de las dos rectas se toma como el deslizamiento de fluencia Δ_y y Δ_{max} , es el deslizamiento máximo registrado en la falla. El factor de ductilidad corresponde como Δ_{max}/Δ_y (A. Shariati et al., 2014).

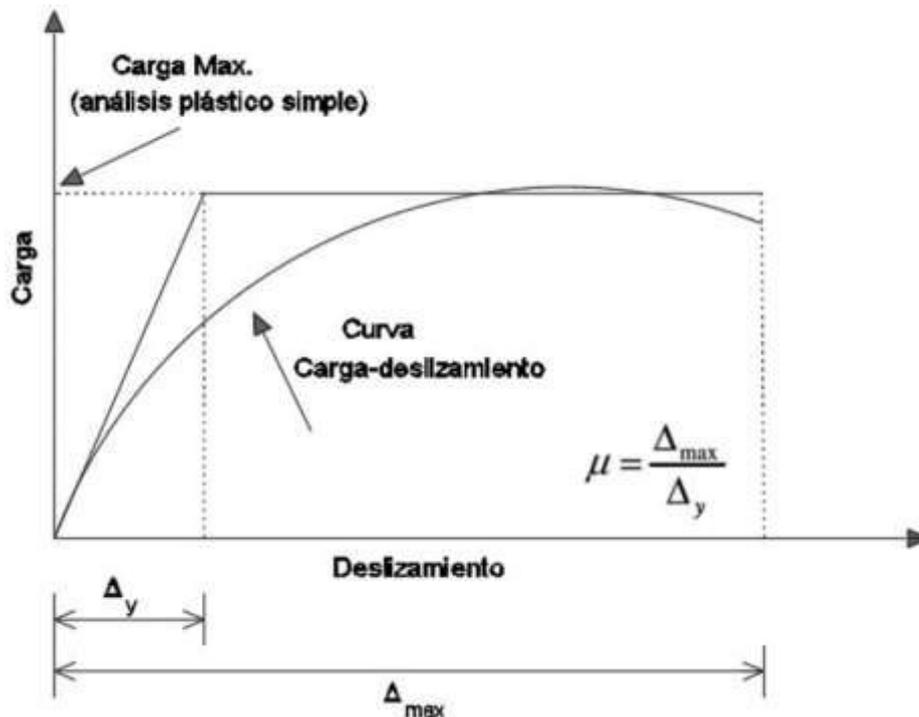


Figura 52. Definición de factor de ductilidad.

Fuente: (A. Shariati et al., 2014)

Kim et al. (2019) puntualiza los valores de deslizamientos presentados por A. Shariati et al. (2014) tomando al deslizamiento máximo, Δ_{max} , como el deslizamiento después de la falla correspondiente al 80% de la carga máxima registrada y el deslizamiento de fluencia, Δ_y , dado por la intersección de dos rectas, la primera dada desde el origen hasta un 75% de la carga máxima registrada antes de la falla y la segunda correspondiente a la carga máxima, como se encuentra detallado en la figura 53.

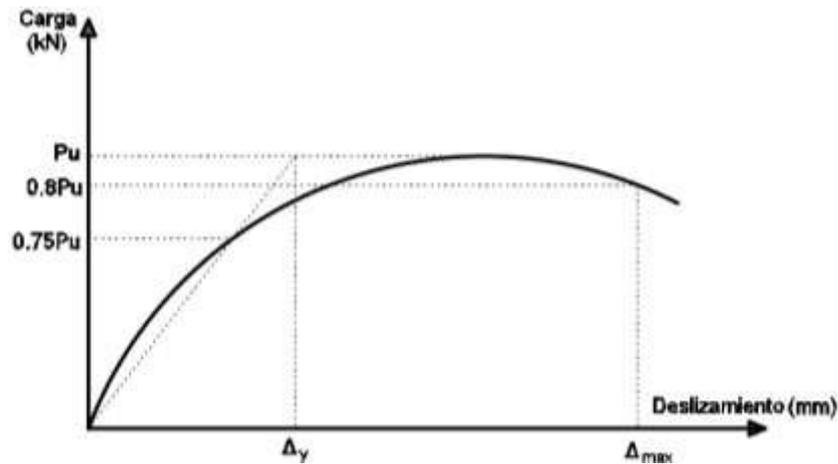


Figura 53. Determinación de Δ_{max} y Δ_y

Fuente: (K.-S. Kim et al., 2019)

Considerando los puntos mencionados se presenta en las siguientes tablas los factores de ductilidad obtenidos en los ensayos Push-Out.

Tabla 38.

Resultados del cálculo del factor de ductilidad en los ensayos monotónicos

Elaborado: Valenzuela & Velasco

Ubicación	Probeta	Δ_{max}	Δ_y	μ
90°	L7	7.03	2.99	2.35
45°	V7	10.64	2.89	3.68

Tabla 39.

Resultados del cálculo del factor de ductilidad en los ensayos cíclicos

Elaborado: Valenzuela & Velasco

Ubicación	Probeta	Δ_{max}	Δ_y	μ
90°	L1	5.32	1.51	3.52
	L2	5.64	2.15	2.63
	L3	4.90	1.60	3.06
	L4	4.45	1.69	2.64
	L5	4.65	1.95	2.39
	L6	6.21	2.55	2.44
	Media	5.19	1.91	2.78
45°	V1	4.55	2.09	2.17
	V2	4.02	1.65	2.43
	V3	4.94	1.99	2.48
	V4	4.89	1.43	3.42
	Media	4.60	1.79	2.63

Los criterios dados para la rehabilitación sísmica de estructuras existentes dispuestos por la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE/SEI 41-17, 2017), dispone una clasificación por ductilidad a estructuras o componentes sometidos a cargas cíclicas en nivel de bajo, moderado o alto como se describe en la tabla 40.

Tabla 40.

Clasificación de componentes por demanda de ductilidad

Elaborado:(ASCE/SEI 41-17, 2017)

μ	Descripción
< 2	Demanda de ductilidad baja
2 a 4	Demanda de ductilidad moderada
> 4	Demanda de ductilidad alta

Con los datos expuestos en la tabla 39 para conectores de corte en estructuras compuestas, se puede evidenciar que para conectores dispuestos a 90 y 45 grados se obtiene coeficientes de ductilidad en el rango de 2.78 y 2.63 respectivamente, categorizando ambos sistemas en un nivel de ductilidad moderada.

4.4.2. RIGIDEZ

El deslizamiento relativo entre los conectores de corte y el hormigón refleja directamente el cambio de rigidez en el modelo. Para reflejar el grado y degradación de rigidez de las probetas en cada etapa se calcula de acuerdo con la ecuación 44 (Deng et al., 2019).

$$k_i = \frac{P_i}{\Delta i} \quad (44)$$

Donde:

k_i : rigidez a corte de cada espécimen (kN/mm)

P_i : Valor de carga en el punto pico en i-esimo ciclo (kN)

Δi : es el valor de deformación en el punto pico en el i-esimo ciclo de carga (mm)

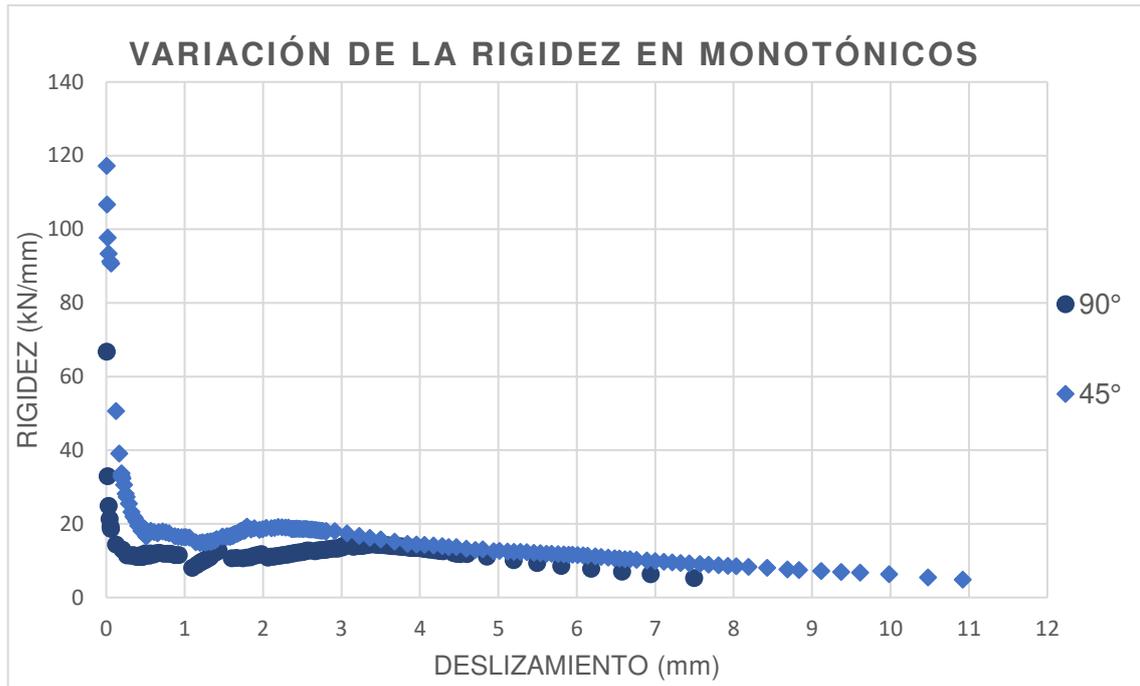


Figura 54. Variación de la rigidez en ensayos monotónicos

Elaborado: Valenzuela & Velasco

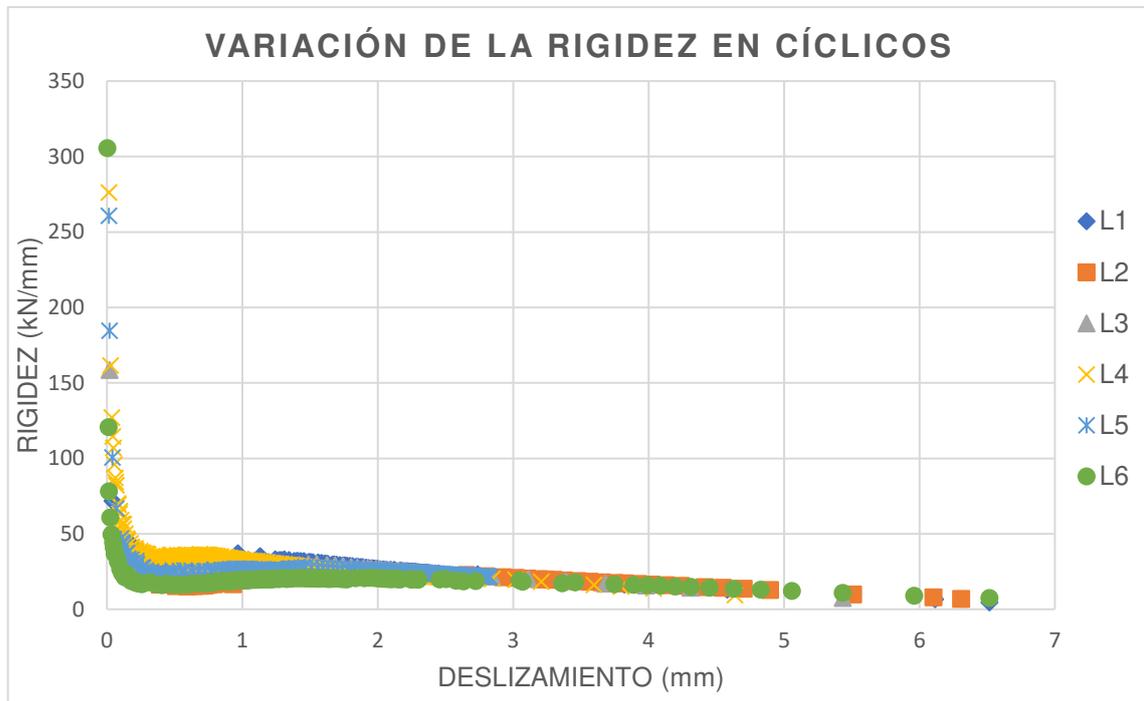


Figura 55. Variación de la rigidez en ensayos cíclicos con conectores a 90°

Elaborado: Valenzuela & Velasco

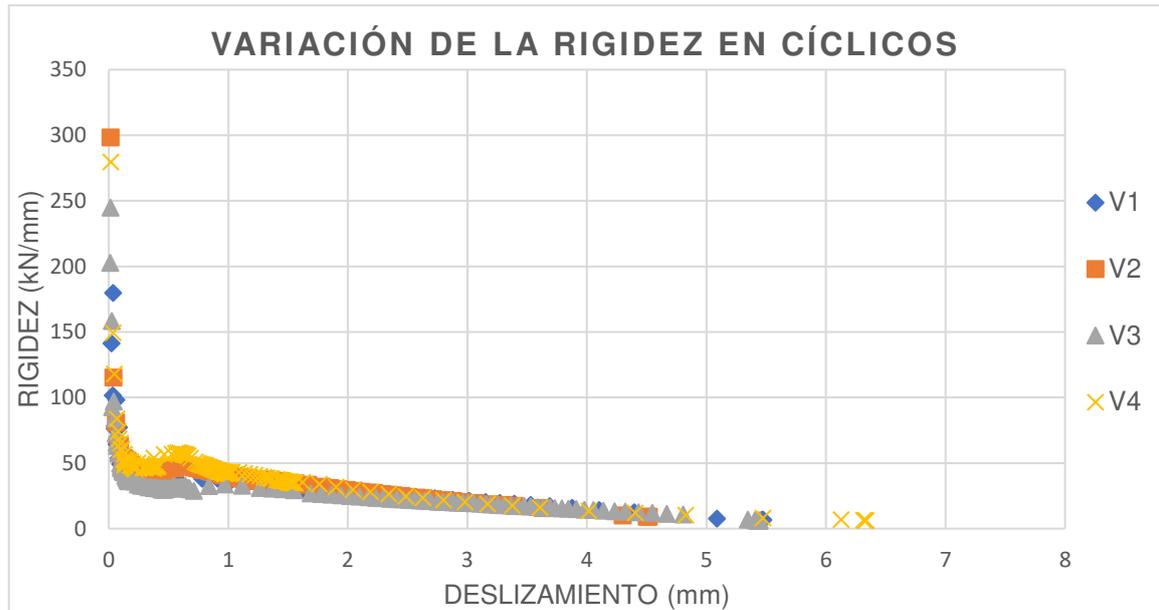


Figura 56. Variación de la rigidez en ensayos cíclicos con conectores a 45°

Elaborado: Valenzuela & Velasco

Las figuras anteriores muestran las curvas típicas de degradación de la rigidez por deslizamiento de las muestras, obtenidas mediante las pruebas bajo cargas monotónica y cíclica. Se puede ver que la rigidez disminuye al aumentar el deslizamiento. La degradación de la rigidez a cortante de cada conector ocurre principalmente en la etapa que tiene un desplazamiento relativo menor. Durante el primer milímetro, la tasa de degradación de la rigidez disminuye y la curva de degradación de la rigidez-deslizamiento tiende a ser suave.

4.4.2.1. Rigidez característica

El Eurocódigo (2013) en el anexo A.3 propone tomar la rigidez del conector para un setenta por ciento de la carga característica y su respectivo deslizamiento, obtenidos de las curvas carga – deslizamiento del ensayo Push-Out. Dicha condición se describe mediante la expresión 45.

$$K_{Rk} = \frac{0,7 \cdot P_{Rk}}{\delta_{0,7}} \quad (45)$$

Donde:

K_{Rk} : Rigidez característica (kN/mm)

P_{Rk} : Resistencia característica (kN)

$\delta_{0,7}$: Deslizamiento respectivo a $0,7 \cdot P_{Rk}$ (mm)

Los valores de rigidez características de conectores sometidos a cargas cíclicas son presentados en la tabla 37.

Tabla 41.

Resultados del cálculo de la rigidez característica K_{Rk}

Elaborado: Valenzuela & Velasco

Ubicación	Probeta	$0.7 P_{Rk}$ (kN)	$\delta_{0.7}$ (mm)	K_{Rk} (kN/mm)
90°	L1	36.98	1.01	36.47
	L2		1.51	24.53
	L3		1.17	31.48
	L4		1.22	30.40
	L5		1.39	26.68
	L6		1.81	20.46
	Media		1.35	28.34
45°	V1	37.12	1.01	36.90
	V2		0.86	43.17
	V3		1.16	32.09
	V4		0.76	49.11
	Media		0.94	40.32

4.4.3. DISIPACIÓN DE ENERGÍA

La disipación de energía de una conexión compuesta de acero y hormigón es otro parámetro importante que debe considerarse en el diseño sísmico de vigas mixtas de acero y hormigón. El área encerrada por las curvas histeréticas de carga-deslizamiento se puede considerar como la disipación de energía de la conexión compuesta. En otras palabras, la disipación de energía de la conexión compuesta de acero-hormigón sometida a cargas cíclicas se calcula como la suma del área de todos los bucles (Ataei et al., 2019).

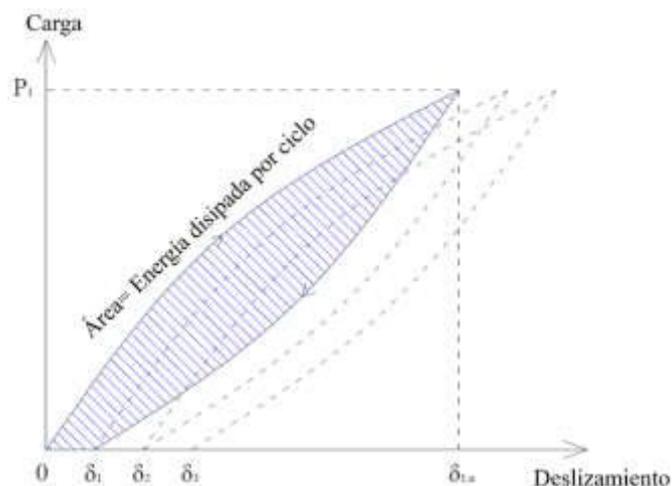


Figura 57. Cálculo de la energía disipada por ciclo de carga

Fuente: (S.-H. Kim et al., 2021)

La disipación de energía por ciclo se calculó como se muestra en la figura 57. Donde, P_1 es la carga repetida y δ_1 es el deslizamiento residual después del primer ciclo de carga. Las tablas 42 y 43 resumen las cantidades de disipación de energía obtenidas para cada tipo de conector, cada tabla contiene la disipación de energía promedio para cada 5 ciclos y el porcentaje respecto a la acumulada.

Tabla 42.

Energía disipada en ensayos cíclicos con conectores a 90°

Elaborado: Valenzuela & Velasco

Probeta	Disipación de energía por ciclos (kN-mm)					Energía disipada (kN-mm)	
	Ciclos	1-5	6-10	11-15	16-20		21-25
L1	E/ciclo	0.85	0.80	0.70	0.68	0.64	18.35
	E% disipada	23.2%	45.0%	64.0%	82.6%	100.0%	
L2	E/ciclo	1.24	0.95	0.94	0.91	0.88	24.62
	E% disipada	25.2%	44.5%	63.6%	82.1%	100.0%	
L3	E/ciclo	1.35	1.03	0.74	0.79	0.90	24.04
	E% disipada	28.1%	49.5%	64.9%	81.3%	100.0%	
L4	E/ciclo	0.99	0.85	0.71	0.52	1.06	20.65
	E% disipada	24.0%	44.5%	61.6%	74.3%	100.0%	
L5	E/ciclo	2.28	1.72	1.22	1.66	1.55	42.10
	E% disipada	27.1%	47.5%	61.9%	81.6%	100.0%	
L6	E/ciclo	2.69	2.13	2.02	2.07	1.77	53.40
	E% disipada	25.2%	45.2%	64.1%	83.4%	100.0%	
Media=						30.53	

Tabla 43.*Energía disipada en ensayos cíclicos con conectores a 45°***Elaborado:** Valenzuela & Velasco

Probeta	Disipación de energía por ciclos (kN-mm)						Energía disipada (kN-mm)
	Ciclos	1-5	6-10	11-15	16-20	21-25	
V1	E/ciclo	2.32	1.65	1.96	1.57	1.63	45.64
	E% disipada	25.4%	43.5%	64.9%	82.1%	100.0%	
V2	E/ciclo	0.94	0.72	0.71	0.64	0.57	17.89
	E% disipada	26.2%	46.5%	66.4%	84.2%	100.0%	
V3	E/ciclo	4.27	3.31	3.35	3.28	3.05	86.29
	E% disipada	24.7%	43.9%	63.3%	82.3%	100.0%	
V4	E/ciclo	1.31	1.07	1.06	0.96	1.03	27.15
	E% disipada	24.2%	43.9%	63.4%	81.0%	100.0%	
Media=							44.24

4.4.4. TABULACIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos del análisis se presentan en la tabla 44, donde se resumen los valores característicos de carga y deslizamiento, ductilidad, rigidez y energía disipada para cada grupo de probetas ensayadas bajo cargas cíclicas.

Tabla 44.*Resumen de resultados***Elaborado:** Valenzuela & Velasco

Ubicación	P_u (kN)	P_{Rk} (kN)	δ_u (mm)	δ_{uk} (mm)	μ	K_{Rk} (kN/mm)	E (kN.mm)
90°	63.49	52.83	5.04	3.76	2.78	28.34	30.53
45°	60.81	53.02	4.21	3.42	2.63	40.32	44.24

Las siguientes figuras presentan las comparaciones de los resultados obtenidos.

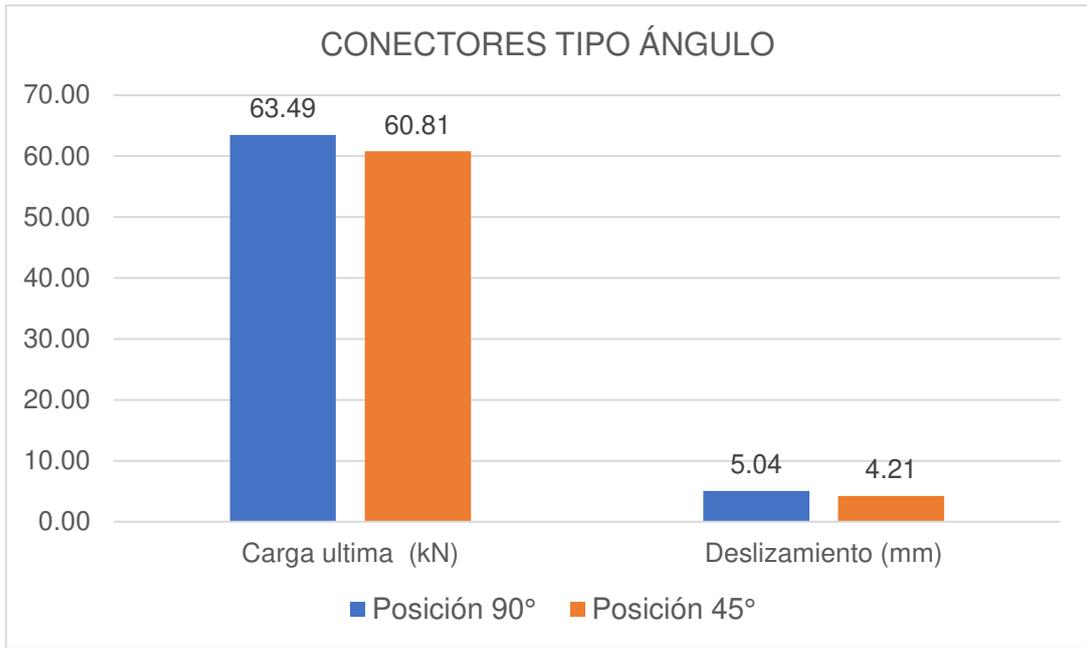


Figura 58. Comparación de resultados de carga y deslizamiento

Elaborado: Valenzuela & Velasco

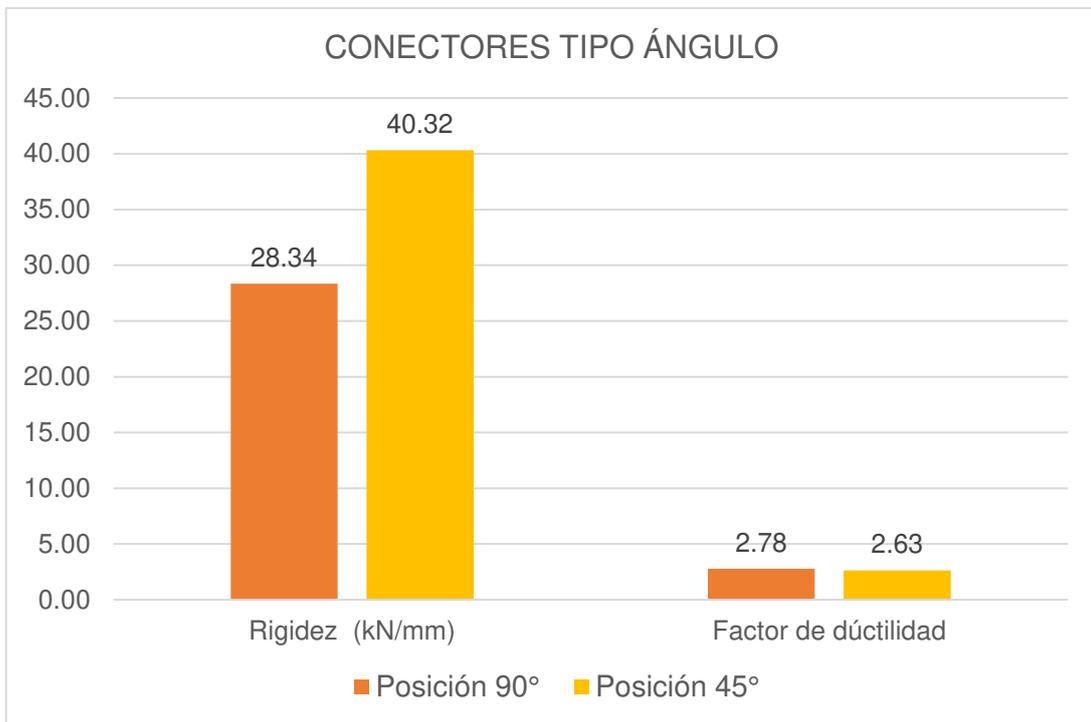


Figura 59. Comparación de resultados de rigidez y ductilidad

Elaborado: Valenzuela & Velasco

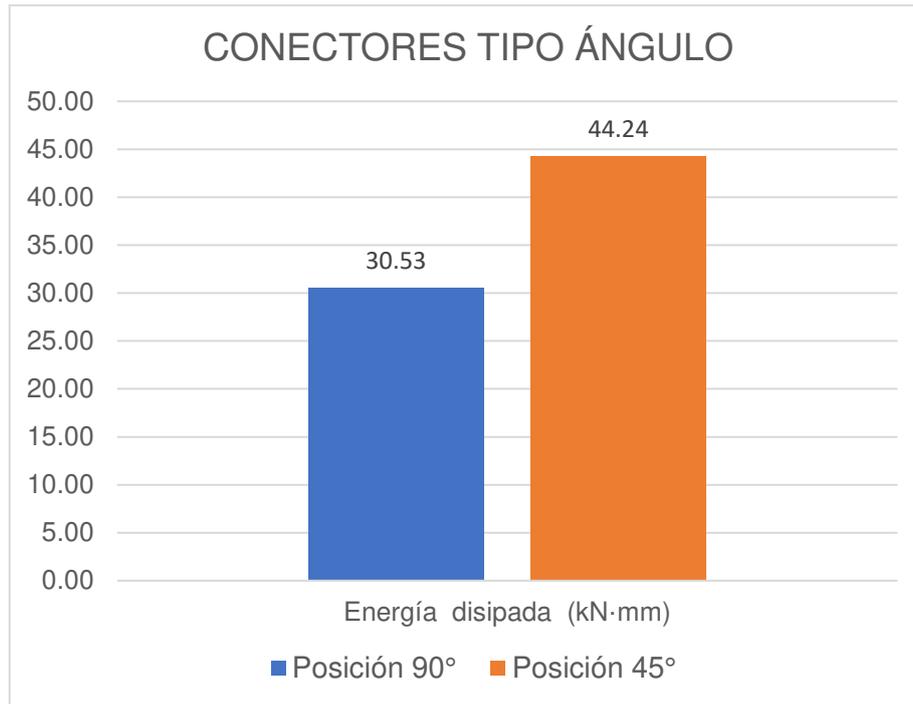


Figura 60. Comparación de resultados de disipación de energía

Elaborado: Valenzuela & Velasco

4.5. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS ECUACIONES DE DISEÑO

En el presente apartado se realiza una comparativa de los resultados obtenidos experimentalmente con algunas ecuaciones de diseños propuestas por normativas internacionales como las presentadas en la sección 3.3.5. y otros autores. Para la selección de las ecuaciones se tuvo en cuenta las variables más características de la probeta Push-Out, como son: conector tipo ángulo y el empleo de lámina colaborante.

Para el uso las ecuaciones de diseño se considera las propiedades de los materiales obtenidas en los ensayos, como la resistencia a compresión, módulo de elasticidad del hormigón, la resistencia a tracción y límite elástico del acero.

4.5.1. COMPARACIÓN CON NORMAS DE DISEÑO INTERNACIONALES

La Tabla 45 resume la comparativa de los resultados experimentales y las predicciones utilizando el método proporcionado en los Eurocódigo 4 (2013), AISC 360 (2016) y GB 50017 (2003) que presenta la siguiente expresión:

$$Q_n = 0.43 \cdot A_s \cdot \sqrt{E_c \cdot f'_c} \leq 0.7 \cdot A_s \cdot \gamma \cdot f_y \quad (46)$$

Donde:

γ = Relación de la resistencia mínima a la tracción y el límite elástico.

Tabla 45.

Comparación de P_{rk} con las ecuaciones de códigos internacionales

Elaborado: Valenzuela & Velasco

Posición	P_{rk} (kN)	Norma	Tipo de Conector	Q_n (kN)	Error (%)
90	52.83	EN 1994, 2020	Tornillo	47.45	10.2%
		AISC 360 16	Tornillo	94.50	78.9%
		GB 50017 2003	Tornillo	81.27	53.8%
45	53.02	EN 1994, 2020	Tornillo	47.45	10.5%
		AISC 360 16	Tornillo	94.50	78.2%
		GB 50017 2003	Tornillo	81.27	53.3%

4.5.2. COMPARACIÓN CON ECUACIONES DE DISEÑO DE VARIOS AUTORES

Como un análisis complementario se presenta expresiones sugeridas por otros autores que han presentado estudios del comportamiento de conectores similares. Al-kroom et al. (2021) propone que conectores doblados en forma de V parecidos a los tipo ángulo a posición de 45 ° tienen un comportamiento similar a conectores tipo canal, motivo por el cual se considera la expresión 47 dada por la ANSI/AISC 360 (2016), para conectores tipo canal.

$$Q_n = 0.3 \cdot (t_f + 0.75t_w) \cdot l \cdot \sqrt{f'_c \cdot E_c} \quad (47)$$

Donde:

t_f : espesor del alma, mm.

t_w : espesor del ala, mm.

l : longitud del conector, mm.

En cuanto a conectores tipo V, Bezerra et al. (2018) propone la expresión 48 para calcular la capacidad a corte, esta expresión es obtenida por medio de simulaciones numéricas para conectores de espesores de 2.65 mm y 3.75 mm.

$$Qn = 0.6 \cdot A_{sa} \cdot f'c^{0.656} \cdot E_c^{0.447} \quad (48)$$

Chacón (2012) en sus investigaciones sobre conectores tipo ángulo propone la expresión 49 para obtener capacidad a corte del conector en relación al área transversal del acero y la resistencia a compresión del hormigón.

$$Qn = 291(A_{sa} \cdot \sqrt{f'c})^{0.812} \quad (49)$$

Donde:

Qn : resistencia a corte del conector en kg.

A_{sa} : Área transversal del conector cm^2 .

$f'c$: Resistencia a compresión del hormigón en kg/cm^2 .

Tabla 46.

Comparación de P_{Rk} con las ecuaciones de varios autores

Elaborado: Valenzuela & Velasco

Posición	P_{Rk} (kN)	Autor	Tipo de conector	Qn (kN)	P_{Rk}/Qn
90	52.83	AISC 360 16	Canal	130.01	146.1%
		Bezerra	Tipo V	109.07	106.5%
		Chacón	Tipo L	61.25	15.9%
45	53.02	AISC 360 16	Canal	130.01	145.2%
		Bezerra	Tipo V	109.07	105.7%
		Chacón	Tipo L	61.25	15.5%

4.5.3. COMPARACIÓN CON INVESTIGACIONES PREVIAS

Se realiza una comparación de los resultados obtenidos en tesis anteriores de conectores tipo ángulo realizadas en la Escuela Politécnica Nacional, las tesis seleccionadas mantienen las mismas dimensiones del conector, pero con un mayor número de conectores u otro tipo de losa. Los resultados considerados para el análisis comparativo son las propiedades de los materiales obtenidas de los ensayos, los valores característicos de carga y deslizamiento, ductilidad y rigidez.

La primera, Rogel & Tenorio (2018) utilizan cuatro conectores de corte tipo ángulo de 4 mm ubicados a 90° y 45° en un losa con lámina deck, con resistencias

a compresión del hormigón de 21 y 28 MPa. La principal variable para comparar es la influencia en la cantidad de conectores.

La segunda, Franco & Martínez (2020) emplean dos conectores de corte tipo ángulo de 4 mm ubicados a 90° y 45° en un losa maciza. La principal variable para comparar es la influencia del tipo de losa.

Tabla 47.

Comparación de resultados experimentales con investigaciones previas

Elaborado: Valenzuela & Velasco

Tesis	Orientación/ Espesor	f'_c (MPa)	E_c (GPa)	F_{ut} (MPa)	P_{rk} (kN)	δ_{uk} (mm)
Valenzuela & Velasco	90°/4mm	22.2	19.13	521.33	52.83	3.76
	45°/4mm				53.02	3.42
Franco & Martínez	90°/4mm	26.53	21.16	339.33	119.61	10.67
	45°/4mm				122.41	11.05
Rogel & Tenorio	90°/4mm	28		407.97	46.64	9.98
	45°/4mm				59.47	10.25
	90°/4mm	21		407.97	45.24	11.15
	45°/4mm				54.00	9.77

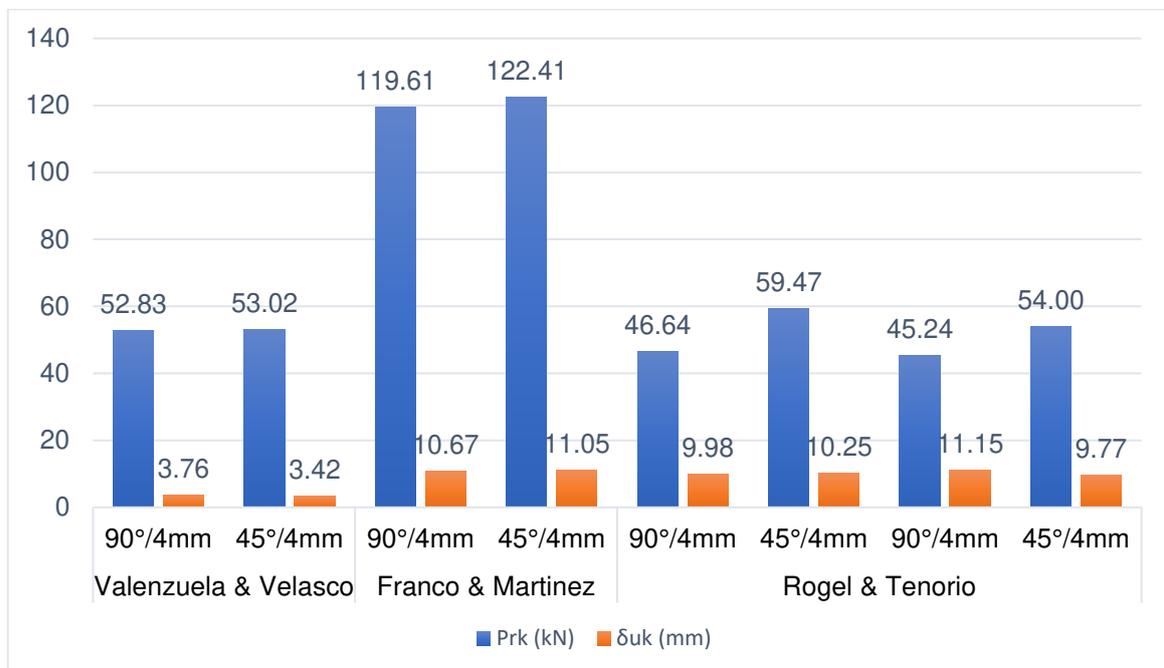


Figura 61. Comparación de resultados experimentales de investigaciones previas

Elaborado: Valenzuela & Velasco

Tabla 48.

Comparación ductilidad y rigidez con investigaciones previas

Elaborado: Valenzuela & Velasco

Tesis	Orientación/ espesor	Factor de ductilidad	Rigidez (kN/mm)
Valenzuela & Velasco	90°/4mm	2.78	28.34
	45°/4mm	2.63	40.32
Franco & Martínez	90°/4mm	3.14	73.52
	45°/4mm	2.85	80.59

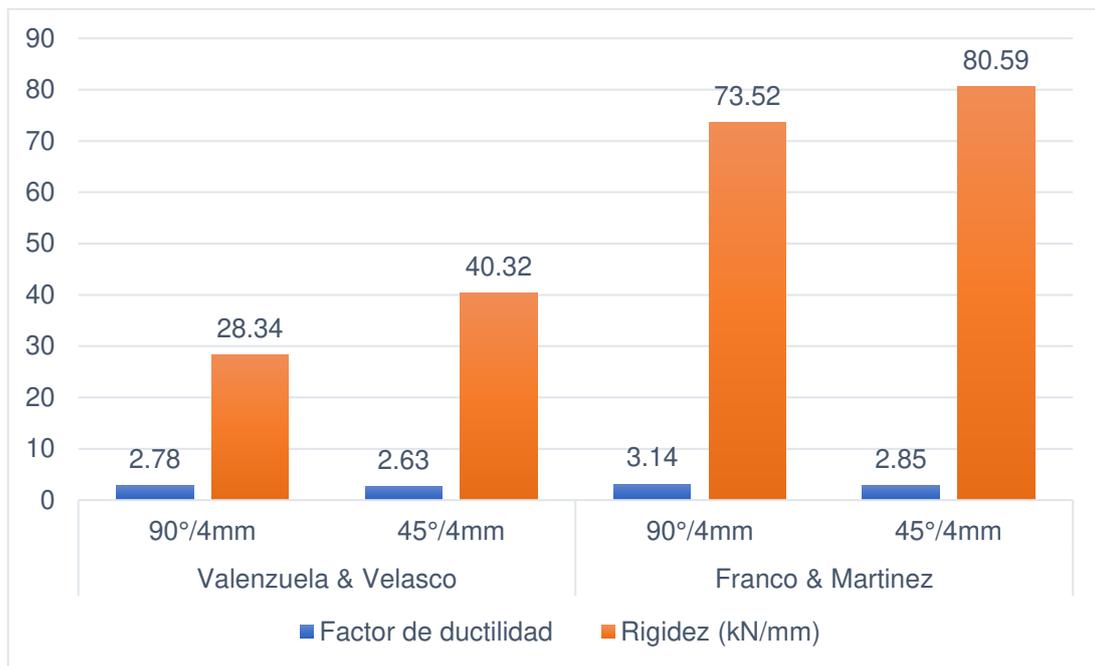


Figura 62. Comparación ductilidad y rigidez con investigaciones previas

Elaborado: Valenzuela & Velasco

De lo expuesto en la tabla 47 se puede evidenciar que los resultados de la presente investigación con respecto a la carga característica, resultan ser similares a los datos en las investigaciones realizadas por Rogel & Tenorio (2018), esto se debe a que el ensayo es llevado a cabo en un mismo conector de corte y mismo tipo de losa. Por otra parte se observa una mayor resistencia características en probetas con losa maciza estudiado por Franco & Martínez (2020), esto debe ser producto de propiedades del sistema con losa maciza como la rigidez y ductilidad.

En tabla 48 se exponen una comparativa de dichas propiedades con los resultados obtenidos por Franco & Martínez (2020), donde se puede evidenciar que ambos sistemas tienen un comportamiento dúctil similar, sin embargo al trabajar con losas macizas se puede observar un incremento de rigidez notable.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Las consideraciones usadas para el diseño de los conectores en losa con placa colaborante se basan en las recomendaciones y valores mínimos establecidos en normativas para diseño de estructuras compuestas, obteniendo una probeta con dimensiones similares a la propuesta por Franco & Martínez, permitiendo realizar un análisis comparativo del comportamiento de conectores tipo ángulo en base al tipo de losa.

Experimentalmente las losas macizas permiten un mejor desarrollo de conector de corte tipo ángulo durante el ensayo Push-Out, se observa que las losas compuestas con placa colaborante trapezoidal tienden a presentar una falla prematura en el hormigón por un efecto de pandeo, generando una grieta transversal en todo el ancho de las losas a nivel de la zona transición, este tipo falla conocido como “back-breaking” no ocurre en la realidad. Generando una falla no dúctil en base a lo descrito en el Eurocódigo.

Analizando el tipo de falla, en base a lo presentado por Franco & Martínez, en losas macizas se obtiene la falla del conector por corte sin daños significativos en el hormigón, mientras que en sistemas de losa compuesta con lámina deck se obtiene una falla prematura en el hormigón en todas las probetas.

Los valores observados en la tabla 44 muestran que los conectores de 4 mm a 90° presentan una carga máxima promedio de 63.49 kN, mientras que para conectores a 45° la carga máxima promedio es de 60.81 kN, la diferencia entre resultados en función de la posición es de un 4.4%. Si se toma como referencia los resultados presentados por Franco & Martínez quienes obtuvieron para la posición a 90° una carga máxima de 146.13 kN y 143.20 kN para la posición de 45°, se presenta una diferencia del 2.05%. Se puede afirmar que la posición del ángulo no influye de manera considerable en la resistencia a corte y que en el sistema con

losa compuesta con deck se reduce considerablemente la capacidad resistente del conector con respecto al mismo caso en losa maciza.

La relación entre los valores de carga máxima en conectores tipo ángulo de 4 mm embebidos en losas compuestas y losas macizas es de 0.43 y 0.42 para la posición de 90° y 45° respectivamente, esta considerable variación se debe a la falla prematura del hormigón en las losas compuestas, las normativas internacionales consideran esta variación con un factor de reducción máximo entre 0.8 y 0.9.

Los valores de deslizamiento relativos característicos de la tabla 36 son de 3.76 mm y 3.42 mm para conectores a 90° y 45° respectivamente, el Eurocódigo 4 establece que un conector se considera dúctil si la capacidad característica de deslizamiento es mayor a 6 mm, mientras que el base al ASCE el sistema se considera de ductilidad moderada al obtener factores de ductilidad entre 2 y 4 como se muestra en la tabla 40. En comparación con los valores obtenidos en losas macizas por Franco & Martínez, se observa un mejor desarrollo del conector permitiendo deslizamientos relativos de 10.67 mm y 11.05 mm para conectores a 90° y 45° respectivamente, cumpliendo con lo requerido por el Eurocódigo 4.

Se observa en las figuras 55 y 56 una pérdida significativa de rigidez previo al primer milímetro de deslizamiento, los valores de rigidez característica en base a lo estipulado en el Eurocódigo 4 son 28.34 kN/mm y 40.32 kN/mm para conectores a 90° y 45° respectivamente, en comparación con Franco & Martínez quienes presentan valores de 73.52 kN/mm y 80.59 kN/mm para conectores a 90° y 45°. En conclusión, se puede afirmar que se obtiene mayores valores de rigidez con conectores ubicados a 45 grados en losas macizas.

El análisis teórico para el diseño de los conectores de corte se realizó con la comparación de la resistencia característica obtenida experimentalmente y el valor obtenido de las ecuaciones para conectores tipo Stud establecidas por las normativas ANSI/AISC 360 (2016), UNE-EN-1994 (2013) y GB50017 (2003). La expresión propuesta en el Eurocódigo 4 genera los valores más cercanos a los obtenidos experimentalmente, subestimando la capacidad de corte con un error del 10.2% para conectores a 90° y 10.5% para conectores a 45°, mientras que la expresión propuesta por AISC sobreestima este valor con un error considerable del

78.9% para conectores a 90° y 78.2% a 45°. Considerando las expresiones propuestas por otros autores, la expresión propuesta por Chacón (2012) con un error del 15.9% para conectores a 90° y 15.5% para los ubicados a 45°.

En base a lo expuesto, se concluye que la expresión propuesta por el Eurocódigo 4 genera los valores de capacidad de corte del conector tipo ángulo más cercanos a los obtenidos experimentalmente bajo las condiciones de ensayo establecidas por la misma norma, pese a no considerar la posición del conector que en base a los resultados obtenidos no influye significativamente en la capacidad del conector.

La falla prematura del hormigón consecuencia de la geometría de la lámina colaborante y el modo de ensayo, impidió el completo desarrollo de los conectores de corte. Sin embargo, el análisis de los valores obtenidos de resistencia, ductilidad, rigidez y disipación de energía, presentados en la sección 4.4, muestra un comportamiento más favorable del conector tipo ángulo ubicado a 45° para ser empleado en construcción, por su mejor capacidad de disipación de energía.

5.2. RECOMENDACIONES

En base a los estudios sobre la falla prematura debido a flexión transversal y agrietamiento extenso en las losas de concreto de probetas Push-Out. Se recomienda que se proporcione arriostramientos laterales para futuros ensayos Push-Out en losas compuestas para obtener resultados más representativos sobre el comportamiento de conectores de corte.

Realizar la fundición de las losas horizontalmente en terrenos planos como se dispone en el Eurocódigo 4; se recomienda el vibrado durante el proceso de función con el fin de eliminar los vacíos y lograr una correcta compactación del hormigón.

Para la correcta evaluación del conector de corte se debe garantizar que no exista falla en la soldadura, por lo que se debe realizar ensayos en condiciones de laboratorio. Además, el proceso de soldado debe realizarse por personal técnico calificado y cumplir las disposiciones de la AWS D1.1.

Los conectores de corte aparte de resistir esfuerzos cortantes deben evitar el levantamiento de la losa. Por este motivo es necesario disponer al conector de corte un cabezal, para conectores tipo ángulo es lo debe soldar con la malla electrosoldada.

Para la instalación de los strain gauge en los conectores de corte se recomienda considerar las zonas de mayor esfuerzo y evitar las zonas de mayor aplastamiento del hormigón.

BIBLIOGRAFÍA

- ACI 318. (2019). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318-19) Comentario de Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318R-19)*. USA: American Concrete Institute.
- ACI 363. (2010). *Report on High-Strength Concrete*. USA: American Concrete Institute.
- Al-kroom, H., Thneibat, M., Alghrir, Y., & Schmid, V. (2021). An experimental investigation of new bent V-shaped shear connector. *Latin American Journal of Solids and Structures*, 18(05). <https://doi.org/10.1590/1679-78256438>
- Alvarez, O., & Cházaro, C. (2010). Construcciones compuestas acero-concreto. *El Acero Hoy*.
- ANSI/AISC 360. (2016). *Specification for Structural Steel Buildings*. Chicago: American Institute of Steel Construction.
- ASCE/SEI 41-17. (2017). *Seismic evaluation and retrofit of existing buildings*. American Society of Civil Engineers.
- ASTM E178-16. (2016). *Standard Practice for Dealing With Outlying Observations*. ASTM International.
- Ataei, A., Zeynalian, M., & Yazdi, Y. (2019). Cyclic behaviour of bolted shear connectors in steel-concrete composite beams. *Engineering Structures*, 198. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.109455>
- AWS D1.1/D1.1M. (2015). *Código de soldadura estructural - Acero*. USA: American Welding Society.
- Ayala, D., & Chicaiza, C. (2021). *Análisis de la influencia de los conectores de corte en la unión viga metálica y losas de hormigón armado*. Quito: EPN.
- Bamaga, S., Tahir, M., Tan, C., Shek, P., & Agblara, R. (2019). Push-out tests on three innovative shear connectors for composite cold-formed steel concrete beams. *Construction and Building Materials*, 288–298.
- Bezerra, L., Cavalcante, O., Chater, L., & Bonilla, J. (2018). V-shaped shear

- connector for composite steel-concrete beam. *Constructional Steel Research*, 150, 162–174. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2018.07.016>
- Bonilla, J. D., Bezerra, L., & Mirambell, E. (2019). Resistance of stud shear connectors in composite beams using profiled steel sheeting. *Engineering Structures*, 187, 478–489. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.03.004>
- BS 5400. (2005). *Steel, concrete and composite bridges. Code of practice for design of composite bridges*. British Standard.
- Chacón, R. (2012). *Comportamiento de angulares como conectores de cortante en vigas de acero de sección compuesta*. Universidad de Costa Rica.
- Construcción mixta*. (1997). Instituto Técnico de la Estructura en Acero.
- Crisafulli, F. (2018). *Diseño Sismorresistente de Construcciones en Acero* (5th ed.). alacero. Mendoza, Argentina.
- Deng, W., Xiong, Y., Liu, D., & Zhang, J. (2019). Static and fatigue behavior of shear connectors for a steel-concrete composite girder. *Journal of Constructional Steel Research*, 159, 134–146.
- DIPAC. (2020). *Catálogo general de productos*.
- El-Iobody, E. A. E. M. (2002). *Finite element modelling of shear connection for steel-concrete composite girders*. University of Leeds.
- El Diario. (2017, August 27). *Acero en vez de hormigón en las nuevas construcciones*. <https://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/445551-acero-en-vez-de-hormigon-en-las-nuevas-construcciones/>
- Erazo, L. E. (2017). *Comportamiento de conectores de cortante tipo tornillo en secciones compuestas con lámina colaborante*. Universidad Nacional de Colombia.
- Ernst, S. (2006). *Factors Affecting the Behaviour of the Shear Connection of Steel-Concrete Composite Beams*. University of Western Sydney.
- Franco, J., & Martínez, M. (2020). *Análisis de la resistencia a corte de los*

- conectores tipo ángulo en losas de hormigón armado sobre estructura metálica.* Quito: EPN.
- Galán, V., & Jaramillo, D. (2012). *Ensayo experimental de los conectores de corte de las losas tipo deck.* Quito: EPN.
- Gallegos, C. A., & Morales, M. S. (2014). *Análisis Estructural y Económico de Losas con luces de 6, 10 y 12 metros utilizando Dos Sistemas Constructivos.* Quito: EPN.
- García, A., & Molina, M. (2008). Comportamiento de vigas de sección compuesta con perfiles de acero laminado y losa de concreto empleando conectores de cortante tipo tornillo grado dos. *Revista Ingeniera e Investigación*, 28(3), 11–21.
- GB50017. (2003). *Code for desing of steel structures.* National standard of the people's replubic of China.
- Hicks, S., Ciutina, A., & Odenbreit, C. (2017). DEVELOPMENT OF A NEW PUSH TEST FOR EUROCODE 4. In *ResearchGate*.
- Hurtado, X. F., Molina, M. H., & Dorian, L. L. (2008). Comportamiento de conectores de cortante tipo tornillo de resistencia grado dos para un sistema de sección compuesta. *Revista Ingeniera e Investigación*, 28(2), 4–14. <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v28n2/v28n2a01.pdf>
- INEN 1511. (2016). *Alambre conformado en frío para hormigón armado. Requisitos.* Quito: Servicio Ecuatoriano de Normalización.
- INEN 1573. (2010). *Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico.* Quito: Servicio Ecuatoriano de Normalización.
- INEN 1576. (2011). *Hormigón de cemento hidráulico. Elaboración y curado en obra de especímenes para ensayo.* Quito: Servicio Ecuatoriano de Normalización.
- INEN 1578. (2010). *Hormigón de cemento hidráulico. Determinación del asentamiento.* Quito: Servicio Ecuatoriano de Normalización.
- INEN 1623. (2015). *Perfiles abiertos de acero conformados en frio negros o*

- galvanizados para uso estructural requisitos e inspección*. Quito: Servicio Ecuatoriano de Normalización.
- INEN 1763. (2010). *Hormigón de cemento hidráulico. Muestreo*. Quito: Servicio Ecuatoriano de Normalización.
- INEN 1855. (2015). *Hormigones. Hormigón premezclado. Requisitos*. Quito: Servicio Ecuatoriano de Normalización.
- INEN 2209. (2012). *Mallas electrosoldadas para refuerzo de hormigón elaboradas con alambres de acero conformados en frío. Requisitos*. Quito: Servicio Ecuatoriano de Normalización.
- INEN 2397. (2015). *Placa colaborante de acero. Requisitos y métodos de ensayo*. Quito: Servicio Ecuatoriano de Normalización.
- Jayas, B., & Hosain, M. (1988). Behaviour of headed studs in composite beams: push-out tests. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 15(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.1139/l88-032>
- Kim, K.-S., Han, O., Choi, J., & Kim, S.-H. (2019). Hysteretic performance of stubby Y-type perfobond rib shear connectors depending on transverse rebar. *Construction and Building Materials*, 200, 64–79.
- Kim, S.-H., Han, O., Yoon, S., & Boldoo, T. (2021). Shear Resistance Assessment of the Y-Type Perfobond Rib Shear Connector under Repeated Loadings. *Applied Sciences*, 11(16), 7667. <https://doi.org/10.3390/app11167667>
- López de Heredia, O. de B. (2004). *Diseño de estructuras de acero: Construcción compuesta*. Fundación ICA.
- López, M., Larrúa, R. L., & Recarey, C. R. (2007). Un nuevo sistema de diseño de embuticiones en láminas de acero para maximizar resistencia de losas compuestas. *Revista Ingeniería de Construcción*, 22(3), 145–156. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732007000300001>
- Lozano, W. A. (2011). Determinación del número mínimo de observaciones en investigación, obviando las estimaciones de la varianza de datos. *Revista de Didáctica Ambiental*, 54–61.

- Navarro, S. (2012). *Comparación técnica - económica de elementos compuestos vs. elementos de acero y elementos de hormigón armado*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- NEC. (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción*. Quito: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.
- Nellinger, S., Odenbreit, C., Obiala, R., & Lawson, M. (2017). Influence of transverse loading onto push-out tests with deep steel decking. *Journal of Constructional Steel Research*, 128, 335–353.
- Novacero. (2015). *Catálogo de producto Novalosa*. [http://www.novacero.com/phocadownload/catalogo/Catalogo NOVALOSA.pdf](http://www.novacero.com/phocadownload/catalogo/Catalogo%20NOVALOSA.pdf)
- OCW. (2015). *Introducción a las estructuras*. Universidad Carlos III de Madrid.
- Oehlers, D., & Bradford, M. (2013). *Composite Steel and Concrete Structures: Fundamental Behaviour* (2nd ed.). Pergamon.
- Ollgaard, J., Slutter, R., & Fisher, J. (1971). Shear strength of stud connectors in lightweight and normal weight concrete. *AISC Eng. Journal*, 8, 55–64.
- Pashan, A., & Hosain, M. U. (2009). New design equations for channel shear connectors in composite beams. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 36(9), 1435–1443.
- Pavlović, M., Marković, Z., Veljković, M., & Buđevaca, D. (2013). Bolted shear connectors vs. headed studs behaviour in push-out tests. *Constructional Steel Research*, 88, 134–149. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2013.05.003](https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2013.05.003)
- Popov, E. (1992). *Introducción a la Mecánica de sólidos*. LIMUSA.
- Qureshi, J., Lam, D., & Ye, J. (2011). Effect of shear connector spacing and layout on the shear connector capacity in composite beams. *Journal of Constructional Steel Research*, 67(4), 706–719.
- Ranković, S., & Drenić, D. (2002). Static strength of the shear connectors in steel-concrete composite beams: Regulations and research analysis. *Facta Universitatis - Series: Architecture and Civil Engineering*, 2(4), 251–259.

<https://doi.org/https://doi.org/10.2298/FUACE0204251R>

- Rehman, N., Lam, D., Dai, X., & Ashour, A. (2016). Experimental study on demountable shear connectors in composite slabs with profiled decking. *Constructional Steel Research*, 122, 178–189. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2016.03.021>
- Rodríguez, G., Hernández, A., López, A., & Ramírez, J. (2016). Sistema para la medición de deformación usando galgas extensiométricas metálicas. *RIELAC*, 37, 80–93.
- Rogel, J., & Tenorio, G. (2018). *Ensayo experimental de los conectores de corte tipo ángulo en losas tipo deck sobre estructura metálica*. Quito: EPN.
- Salinas, P. (2018). *Diseño de un dinamómetro para medir la fuerza de corte en el acero sae 1020 utilizando galgas extensométricas*. Universidad Nacional de Trujillo.
- Samuelson, D. (2019). *Introduction To CJ-Series Steel Joists In Floor Systems*. Steel Joist Institute.
- Shariati, A., Ramlisulong, N., & Shariati, M. (2012). Various types of shear connectors in composite structures: A review. *International Journal of Physical Sciences*, 7(22), 2876–2890. <https://doi.org/https://doi.org/10.5897/IJPSX11.004>
- Shariati, A., Shariati, M., Ramli Sulong, N. H., & Suhatri, M. (2014). Experimental assessment of angle shear connectors under monotonic and fully reversed cyclic loading in high strength concrete. *Construction and Building Materials*, 52, 276–283.
- Shariati, M., Ramli Sulong, N. H., Sinaei, H., Arabnejad Khanouki, M. M., & Shafigh, P. (2010). Behavior of channel shear connectors in normal and light weight aggregate concrete (experimental and analytical study). *Advanced Materials Research*, 168, 2303–2307.
- Talavera, A. (2013). *Adherencia y Anclaje*. Slideshare.Net. <https://es.slideshare.net/jhongesellvillanuevaportella9/adherncia-y-anclaje>

- Titoum, M., Mazoz, A., Benanane, A., & Ouinas, D. (2016). Experimental study and finite element modelling of push-out tests on a new shear connector of i-shape. *Advanced Steel Construction*, 12(4), 487–506.
- Toghroli, A., & Safa, M. (2018). Application of ANFIS technique on performance of C and L shaped angle shear connectors. *Smart Structures and Systems*, 22(3), 335–340. <https://doi.org/10.12989/sss.2018.22.3.335>
- UNE-EN-1994. (2013). *Eurocódigo 4: Proyecto de estructuras mixtas de acero y hormigón Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificios*. Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR).
- UNE-EN 1990. (2005). *Eurocódigos. Bases de cálculo de estructuras*. Sociaci3n Espa~ola de Normalizaci3n y Certificaci3n (AENOR).
- UNE-EN 1992. (2013). *Eurocódigo 2: Proyecto de estructuras de hormig3n. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificaci3n*. Sociaci3n Espa~ola de Normalizaci3n y Certificaci3n (AENOR).
- Verduzco, M. (2006). *Comportamiento de conectores de corte utilizando concreto celular y de ahhidrita*. Instituto Tecnol3gico y de Estudios Superiores de Monterrey.
- Viest, I. M. (1956). Test of Stud Shear Connectors, Parts I, II, III and IV. *Test Data, Nelson Stud Welding, Lorain, Ohio*.
- Vizuetes, E. (2007). *Dise~o de edificio con elementos compuestos*. Quito: Escuela Polit3cnica Nacional.
- Wang, A. (2009). Numerical studies on structural behaviour of shear connectors in Push-Out tests. *Australian Journal of Structural Engineering*, 79–96. <https://doi.org/10.1080/13287982.2009.11465012>
- Zaki, R., Butterworth, J., & Clifton, C. (2015). Shear stud capacity in profiled steel decks. *New Zealand Heavy Engineering Research Association*.
- Zimmermann, F. J. P. (2004). *Estadística para investigadores*. Universidad de la Sabana.

ANEXOS

ANEXO 1

REGISTRO DE ENTREGA DE HORMIGÓN PREMZCLADO

EN OBRA

592

	Holcim Ecuador S.A. RUC. 0990293244001 Av. Barcelona s/n y José Rodríguez Borlín Sector San Eduardo Uno - Edif. El Calmán Piso 2 - Telf.: 3709000 Casilla 09-01-04243 011 - Holcim Ecuador S. A. PLANTA QUITO SUR División 6000 - Hormigones Ayazamba s/n y Vicente Maldonado * Telf.: 2880428 - Quito	GUIA DE REMISION	
	NOTA DE ENTREGA SERIE-011-002- 000197872 Fecha de Autorización: 15 / 10 / 2020		
CONTRATO N°:		FECHA ENTREGA: 06/28/2021	

FACTURA: PEDIDO # 6112	FECHA FACTURA: # AUT. FACT.
CLIENTE: VALENZUELA CHINCHERO HERNAN DART	CODIGO: 6067095
OBRA: OBRA VALENZUELA CHINCHERO HERNAN	VENDEDOR:
DIRECCION: ESCUELA POLITECNICA NACIONAL***	TRANS: Holcim Ecuador S.A.
R.U.C.: 0990293244001	

MIXER: 570	CODIGO HORMIGON: 016153	CANTIDAD: 1.00 M3	VIAJE DE MOTIVO
USO DEL HORMIGON: 01240NS1213001 ESTRUCTURAL			VENTA <input type="checkbox"/> EXPORTACION <input type="checkbox"/>
HORMIGON Fc	PIEDRA	MM	ASENTAMIENTO: cm
PUNTO DE PARTIDA		R.U.C. CLIENTE	
RADIO (C/M/L):	CICLO (A/B/C):	SOBRECARREO: Km	

CICLO	HORA	OBSERVACIONES	CONTROL FLUIDEZ	AGUA (LT.)	ADITIVO (LT.)	OTRO
Inicio Cargulo	6/29/2021	9:36:19 AM				
Salida Planta	09:50	SEÑOR CLIENTE				
Llega Obra	10:20	VERIFIQUE LA TOTAL DESCARGA DE SU				
Inicia Descarga	10:42	HORMIGON				
Termina Descarga	12:40					
Salida Obra		TIEMPO MAXIMO DEL MIXER EN OBRA				
Llega Planta		1 HORA				
Operador Mixer		Tene Jose				
Grupo Recepcion						
Bomba N°						
Pavimentadora N°						
Peso						
Sello	05005967	404873				

CONTROL DE MUESTRAS		
SITIO		
PLANTA		
OBRA		

DESPACHADO POR: Vera Jimmy Lenin

CONTROL DE DESPACHO ACUMULADOS POR DIA (M3) CANTIDAD ORDENADA CANTIDAD DESPACHADA CANTIDAD POR DESPACHAR
OBSERVACIONES 1.00 Asentamiento tomado en obra 19cm
Calificación Chofer: <input checked="" type="checkbox"/> Excelente <input type="checkbox"/> Bueno <input type="checkbox"/> Muy Bueno
RECIBI CONFORME

JOSE LUIS MOSQUERA VEJO - Inf. 2571607 - 2873946 - R.U.C. 0915455810001 - Aut. 13071 - 40 B. (20-04) 0190231 - 0198250 - Ingreso: 15 / OCTUBRE / 2020 - CADUCA: 15 / OCTUBRE / 2021

GUIA DE REMISION AUTORIZACION S.R.L. 10728097 - VALDEZ 15 / OCTUBRE / 2021 - CONTRIBUYENTE ESPECIAL RESOLUCION N° 805 4-07-191

Original: CLIENTE Copia Cliente: CONTABILIDAD Copia Asesor: CLIENTE - OBRERA Copia Firma: ARCHIVO

ANEXO 2

**ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL
HORMIGÓN**



COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN

INF. No. 21 - 0080 - I
Hoja 01 de 01

Quito, 30 de julio de 2021

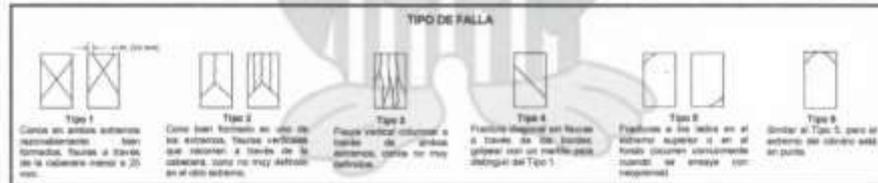
DATOS DEL CLIENTE

Razón social: FREDY ANDERSON VELASCO- HERNÁN DARÍO VALENZUELA
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0990947018; 0997721828

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A CORTE DE LOS CONECTORES TIPO ÁNGULO DE 4 MILÍMETROS DE ESPESOR EN LOSAS TIPO DECK SOBRE ESTRUCTURA METÁLICA
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
ELEMENTO: LOSA
NORMA: ASTM C39

No.	IDENTIFICACIÓN	FECHA FABRICACIÓN	FECHA ROTURA	EDAD (días)	DIÁMETRO (mm)	ÁREA (mm ²)	PESO ESPECÍFICO (kg/m ³)	CARGA MÁX. (kN)	RESISTENCIA		TIPO DE FALLA*	DEFECTOS
									(MPa)	(kg/cm ²)		
1	P1	2021-06-28	2021-07-06	2	102,75	8392	2270	117,4	14,2	144	TIPO 1	C
3	P2	2021-06-28	2021-07-06	7	101,35	8052	2230	130,8	16,1	153	TIPO 1	C
3	P3	2021-06-29	2021-07-06	3	101,50	8094	2290	109,8	13,8	138	TIPO 1	C
4	P4	2021-06-29	2021-07-03	14	101,75	8131	2260	150,7	18,8	189	TIPO 1	C
3	P5	2021-06-29	2021-07-13	14	102,25	8211	2290	115,2	14,6	143	TIPO 2	B
6	P6	2021-06-29	2021-07-13	14	101,00	8012	2340	151,3	19,0	193	TIPO 1	C
7	P7	2021-06-29	2021-07-13	14	101,50	8094	2360	150,7	18,8	190	TIPO 1	C
8	P8	2021-06-29	2021-07-27	28	101,75	8131	2250	184,2	22,9	231	TIPO 2	C
9	P9	2021-06-29	2021-07-27	28	102,25	8211	2340	181,3	22,9	239	TIPO 4	C
10	P10	2021-06-29	2021-07-27	28	101,25	8094	2340	170,2	21,8	213	TIPO 2	B
11	P11	2021-06-29	2021-07-30	31	102,00	8171	2290	180,3	22,9	237	TIPO 2	B
12	P12	2021-06-29	2021-07-30	31	101,35	8073	2290	202,1	24,2	247	TIPO 2	C



DESCRIPCIÓN DE DEFECTOS: A = HONGO; B = SEGREGADO; C = POROSIDAD; D = FIGURAS PREEXISTENTES; E = OTRA

OBSERVACIONES: Todos los datos del ítem de ensayo (fecha de fabricación, elemento, identificación) son proporcionados por el cliente por lo que involucra su total responsabilidad.
Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados.
La información marcada con asterisco (*) corresponde a lo especificado en la norma ASTM C39.
El contenido del presente informe no puede reproducirse ni su totalidad ni parcialmente sin la autorización del LEMSUR.

ING. PAÚL ZOROGIAN
JEFE DEL LABORATORIO (E.)



Tel.: 2976300
Ext.: 1609

E-1-4-08

ANEXO 3

**ENSAYO DE MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL
HORMIGÓN**



MÓDULO DE ELASTICIDAD EN HORMIGÓN

INF. No. 21 - 0090 - 1
Hoja 01 de 03

Quito, 5 de agosto de 2021

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: FREDY ANDERSON VELASCO, HERNÁN DARÍO VALENZUELA
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0990947018, 0997721828

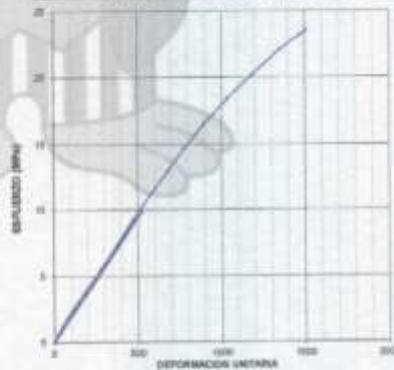
DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A CORTE DE LOS CONECTORES TIPO ÁNGULO DE 4 MILÍMETROS DE ESPESOR EN LOSAS TIPO DECK SOBRE ESTRUCTURA METÁLICA
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
ELEMENTO: LOSA
MUESTRA: P13
FECHA DE ENSAYO: 2021-08-03
NORMA: ASTM C458 - 14

CARGA (kN)	DEF. AXIAL (mm)	ESFUERZO (MPa)
0,0	0	0,00
5,0	22	0,81
10,0	50	1,23
15,0	81	1,84
20,0	115	2,46
25,0	148	3,08
30,0	190	3,97
35,0	214	4,38
40,0	247	4,90
45,0	264	5,51
50,0	317	6,12
60,0	380	7,34
70,0	451	8,57
80,0	523	9,79
90,0	6	0,00
10,0	76	1,84
20,0	177	3,07
40,0	378	5,81
60,0	378	7,34
75,0	470	6,18
90,0	588	11,01
105,0	678	12,90
120,0	777	14,89
135,0	898	18,02
150,0	1038	18,38
165,0	1184	20,19
180,0	1348	22,03
192,3	1506	23,52

CARACTERÍSTICAS DE LA PROBETA	
DIAMETRO (D) (mm)	102,00
ALTURA (L) (mm)	302
PESO (g)	3686,1
PESO UNITARIO (g/cm ³)	2,24

RESUMEN DE RESULTADOS	
ÁREA (mm ²)	8171,28
RELACIÓN L/D	1,96
Carga máxima (kN)	182,20
Módulo de Elasticidad (MPa)	19123
Resistencia a la compresión (MPa)	23,52
40 % de Resistencia a la compresión (MPa)	9,79



ING. FACIL ZURIGA M.
JEFE DEL LABORATORIO (E)



Tel.: 2976300
Ext.: 1609



MÓDULO DE ELASTICIDAD EN HORMIGÓN

INF. No. 21 - 0090 - I
Hoja 02 de 03

Quito, 5 de agosto de 2021

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: FREDY ANDERSON VELASCO; HERNÁN DARÍO VALENZUELA
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0990947018; 0997721628

DATOS DEL PROYECTO

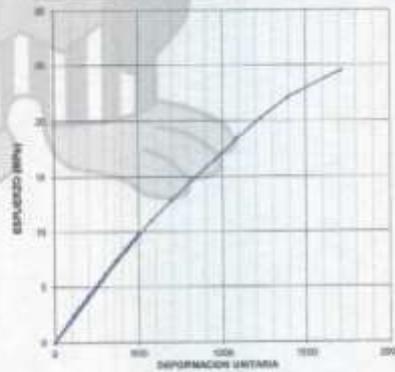
Proyecto: ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A CORTE DE LOS CONECTORES TIPO ÁNGULO DE 4 MILÍMETROS DE ESPESOR EN LOSAS TIPO DECK SOBRE ESTRUCTURA METÁLICA

Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
ELEMENTO: LOSA
MUESTRA: P14
FECHA DE ENSAYO: 2021-08-03
NORMA: ASTM C469 - 14

CARGA (kN)	DEF. AXIAL (µm/µm)	ESFUERZO (MPa)
0,0	0	0,00
5,0	34	0,81
10,0	53	1,22
15,0	81	1,84
20,0	108	2,45
25,0	139	3,06
30,0	171	3,67
35,0	201	4,28
40,0	235	4,90
45,0	267	5,51
50,0	298	6,12
60,0	360	7,34
70,0	428	8,97
80,0	496	10,60
90,0	577	12,01
100,0	699	14,85
120,0	818	18,36
130,0	954	21,97
150,0	1087	25,36
165,0	1230	29,19
180,0	1380	32,03
199,8	1712	24,45

CARACTERÍSTICAS DE LA PROBETA	
DIAMETRO (D) (mm)	102,00
ALTURA (L) (mm)	200
PESO (g)	3733,8
PESO UNITARIO (g/cm ³)	2,26

RESUMEN DE RESULTADOS	
ÁREA (mm ²)	8171,28
RELACIÓN L/D	1,98
Carga máxima (kN)	199,80
Módulo de Elasticidad (MPa)	15481
Resistencia a la compresión (MPa)	24,45
60 % de Resistencia a la compresión (MPa)	8,79



ING. RAUL ZUMBIDA M.
JEFE DEL LABORATORIO (E)



Tel.: 2976300
Ext.: 1609



MÓDULO DE ELASTICIDAD EN HORMIGÓN

INF. No. 21 - 0090 - I
Hoja 03 de 03

Quito, 5 de agosto de 2021

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: FREDY ANDERSON VELASCO; HERNÁN DARIO VALENZUELA
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0990947018; 0997721628

DATOS DEL PROYECTO

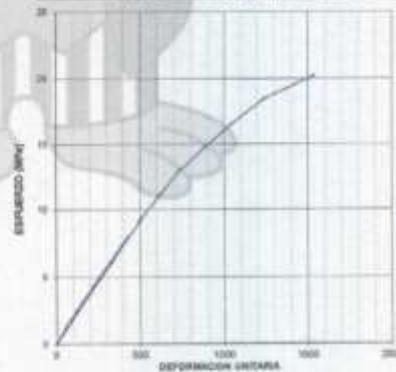
Proyecto: ANALISIS DE LA RESISTENCIA A CORTE DE LOS CONECTORES TIPO ÁNGULO DE 4 MILIMETROS DE ESPESOR EN LOSAS TIPO DECK SOBRE ESTRUCTURA METÁLICA

Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
ELEMENTO: LOSA
MUESTRA: P15
FECHA DE ENSAYO: 2021-08-03
NORMA: ASTM C489 - 14

CARGA (KN)	DEF. AXIAL (µm/mm)	ESFUERZO (MPa)
0,0	0	0,00
5,0	39	0,91
10,0	57	1,23
15,0	69	1,54
20,0	120	2,46
25,0	153	3,07
30,0	187	3,69
35,0	216	4,30
40,0	253	4,91
45,0	285	5,53
50,0	321	6,14
55,0	355	6,75
60,0	390	7,37
65,0	425	7,99
70,0	460	8,60
75,0	501	9,21
80,0	537	9,83
85,0	575	10,44
90,0	615	11,06
95,0	655	11,67
100,0	705	12,28
105,0	755	12,89
110,0	805	13,50
115,0	855	14,11
120,0	905	14,72
125,0	955	15,33
130,0	1005	15,94
135,0	1055	16,55
140,0	1105	17,16
145,0	1155	17,77
150,0	1205	18,38
155,0	1255	18,99
160,0	1305	19,60
165,0	1355	20,21

CARACTERÍSTICAS DE LA PRUEBA	
DIÁMETRO (Ø) (mm)	101,80
ALTURA (L) (mm)	303
PESO (g)	3703,6
PESO UNITARIO (g/cm ³)	2,25

RESUMEN DE RESULTADOS	
ÁREA (mm ²)	8138,27
RELACIÓN L/D	1,98
Carga máxima (KN)	164,50
Módulo de Elasticidad (MPa)	18778
Resistencia a la compresión (MPa)	20,21
40 % de Resistencia a la compresión (MPa)	7,98



ING. PAOL ZUÑIGA M.
JEFE DEL LABORATORIO (E)



Tel.: 2976300
Ext.: 1609

ANEXO 4

ENSAYOS A TRACCIÓN DEL MATERIAL BASE DE LOS CONECTORES TIPO ÁNGULO L40 X 4 mm

REPORTE DE ENSAYO DE TRACCIÓN
NORMAS: ASTM A370 / ASTM E8

Clientes:	Hernan Darío Valenzuela y Fredy Velazco	Fecha de ensayo:	Lunes, 31 de mayo de 2021
Solicitado por:	Dario Valenzuela	Testificado por:	
Material:	Acero A-36	Probeta elaborada por:	ILPM
Equipo:	ENS-09 Máquina de ensayo de Tensión	Calibración:	14/4/2021
Temperatura:	20±3°C	Verificación:	14/4/2021
		Humedad relativa:	80±20%

Control de Calidad de Material

Control de Soldadura

ID Probeta	Espeor Menor	Ancho Menor	Longitud Inicial	Longitud Final	OBSERVACIONES
	mm.	mm.	mm.	mm.	
2021-249	3,89	12,66	50,00	64,03	

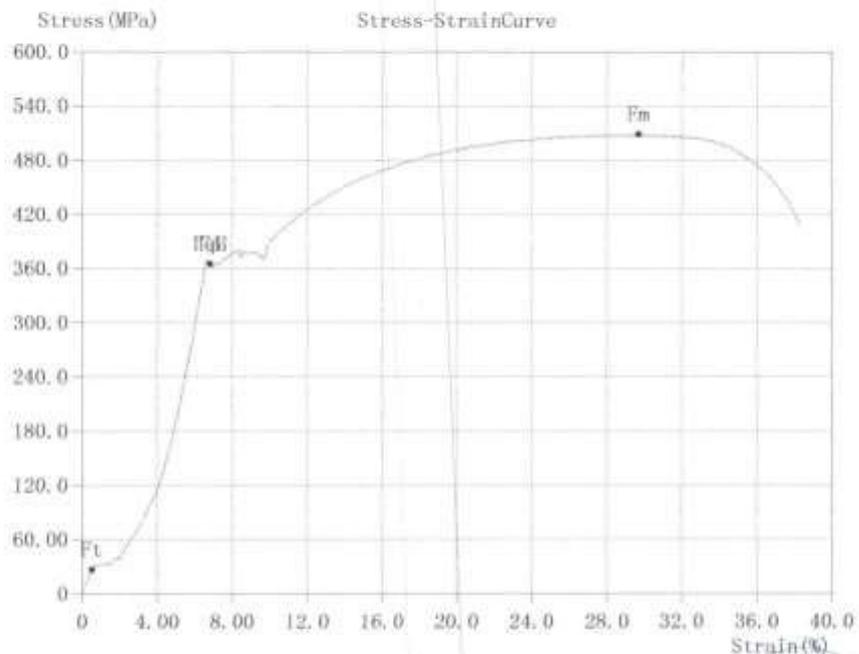
ID Probeta	Area	Carga de Fluencia	Limite de Fluencia Sy		Carga Máxima	Resistencia a Tracción SUT		Elongación 50 mm	Localización de Rotura ¹
	mm ² .	kN	KSI	MPa	kN	KSI	MPa	%	
2021-249	49,25	17,93	52,81	364	25,06	73,80	509	28,1	NA

Notas:
¹ Para juntas soldadas, la localización de rotura será designada por: FJS Falla Junta Soldada, FMB Falla en Material Base.
 - SU Representa la incertidumbre de medición de cada método de ensayo cubierto por el Sistema de gestión de ILPM y la norma ISO/IEC 17025.
 Como Anexo se adjuntan las curvas de ensayo.
 El presente informe NO debe ser reproducido parcialmente.
 - Los ensayos han sido realizados bajo las indicaciones de ASTM E8 / A370 y Procedimiento técnico ILPM-PT-06 "Ensayo de Tensión" (incluye las normas ASME IX, API1104, AWS D1.1, versiones actuales).
 - ILPM ENGINEERING se encuentra acreditado por el SAE como Laboratorio de Ensayos bajo la norma INEN ISO/IEC 17025: 2018 con acreditación N° SAE IEN 19-011 para el alcance de Ensayo de Tensión. Alcance detallado disponible en página web del SAE <https://www.acreditacion.gob.ec/>.

REALIZADO POR: Ing. Iván Estupiñán ILPM Engineering	APROBADO POR: MSc. Patricio Estupiñán Director técnico	CLIENTE: Hernan Darío Valenzuela y Fredy Velazco
--	---	---

ILPM CIA LTDA
REGISTRO DE ENSAYO DE TRACCION

Customer/Informe	ILPM 2021-249		
Probeta No.	249		
TestDate	5/31/2021	Type	Flat
Size (mm)	12,66*3,89	So (mm ²)	49,25
Lo (mm)	50	Lu (mm)	64,03
Fm (kN)	25,06	SUT (MPa)	509
FoL (kN)	17,98	SY (MPa)	365





ILPM ENGINEERING CIA LTDA
Ingeniería Líder en Proyectos y Materiales



Informe No.
ILPM 2021 - 452 - T

REPORTE DE ENSAYO DE TRACCIÓN
NORMAS: ASTM A370 / ASTM E8

Cliente:	Hernán Dario Valenzuela y Fredy Velasco	Fecha de ensayo:	jueves, 2 de septiembre de 2021
Solicitado por:	Dario Valenzuela	Testificado por:	
Material:	Acero	Probeta elaborada por:	Cliente
Equipo:	ENS-09 Máquina de ensayo de Tensión	Calibración:	14/4/2021
Temperatura:	20±3°C	Verificación:	14/4/2021
		Humedad relativa:	60±20%

Control de Calidad de Material	X	Control de Soldadura	
---------------------------------------	---	-----------------------------	--

ID Probeta	Espeor Menor	Ancho Menor	Longitud Inicial	Longitud Final	OBSERVACIONES
	mm.	mm.	mm.	mm.	
T1	3,84	12,50	50,00	63,50	
T2	3,86	12,42	50,00	63,29	

ID Probeta	Área	Carga de Fluencia	Limite de Fluencia Sy U=±16 MPa		Carga Máxima	Resistencia a Tracción SUT U=±12 MPa		Elongación 50 mm U=±0.3%	Localización de Rotura ¹
	mm ² .	kN	KSI	MPa	kN	KSI	MPa	%	
T1	48,00	19,32	58,38	403	25,28	76,39	527	27,0	NA
T2	47,94	19,02	57,54	397	25,32	76,60	528	26,6	NA

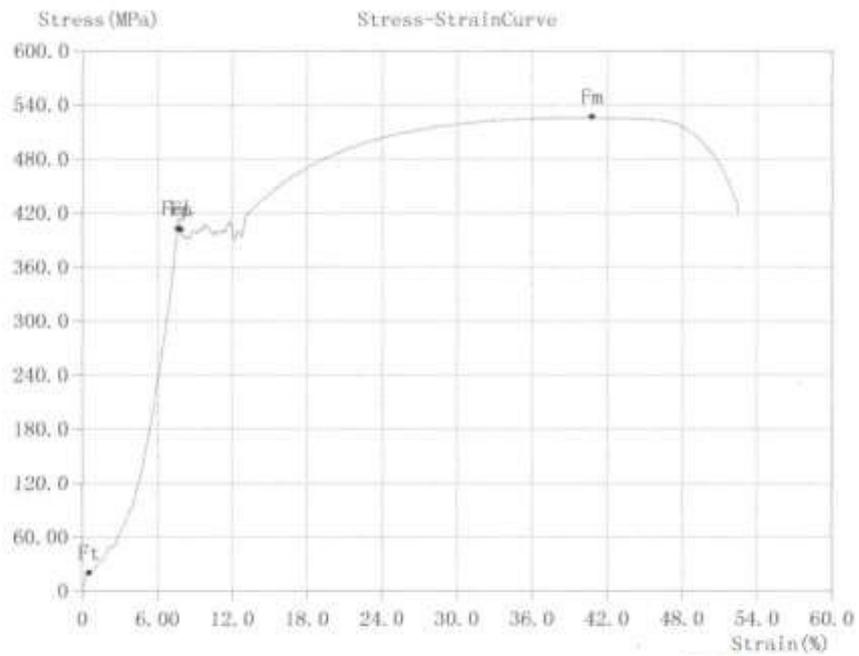
Notas:

- ¹Para juntas soldadas, la localización de rotura será designada por : FJS Falla Junta Soldada, FMB: Falla en Material Base.
- ±U Representa la incertidumbre de medición de cada método de ensayo cubierto por el Sistema de gestión de ILPM y la norma ISO/IEC 17025.
- Como Anexo se adjuntan las curvas de ensayo.
- El presente informe NO debe ser reproducido parcialmente.
- Los ensayos han sido realizados bajo las indicaciones de ASTM E8 / A370 y Procedimiento técnico ILPM-PT-06 "Ensayo de Tensión" (incluye las normas ASME IX, API1104, AWS D1.1, versiones actuales).
- ILPM ENGINEERING se encuentra acreditado por el SAE como Laboratorio de Ensayos bajo la norma INEN ISO/IEC 17025: 2018 con acreditación N° SAE LEN 19-011 para el alcance de Ensayo de Tensión. Alcance detallado disponible en página web del SAE <https://www.acreditacion.gob.ec/>.

REALIZADO POR: MIGUEL PEREZ <small>Ing. Miguel Pérez ILPM Engineering</small>	APROBADO POR: MSc. Patricio Estupiñán <small>MSc. Patricio Estupiñán Director técnico</small>	CLIENTE: Hernán Dario Valenzuela y Fredy Velasco
---	---	---

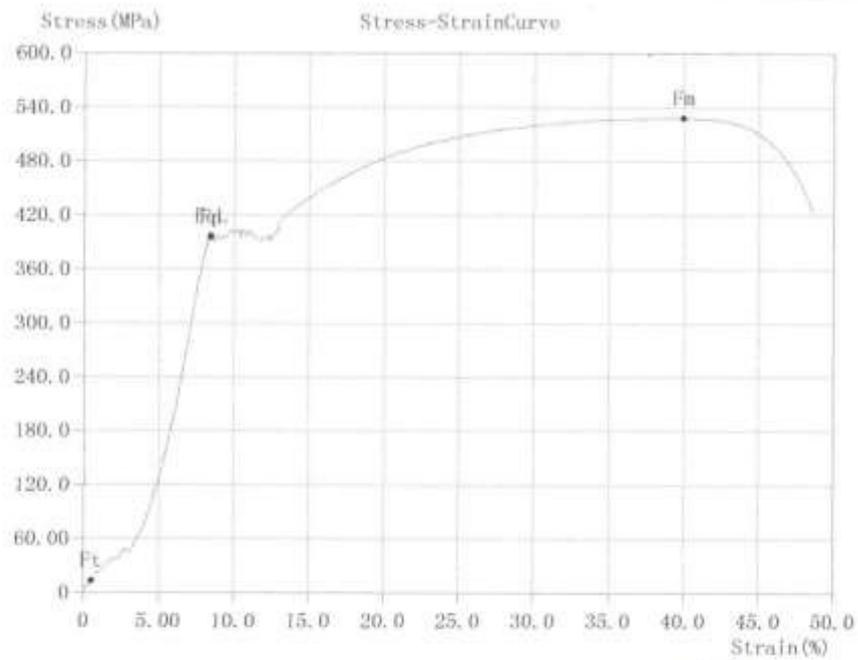
ILPM CIA LTDA
REGISTRO DE ENSAYO DE TRACCION

Customer/Informe	HERNAN VALENZUELA Y FREDY VELASCO/2021-452		
Probeta No.	T1		
TestDate	02/09/2021	Type	Flat
Size (mm)	12.50*3.84	So (mm ²)	48.00
Lo (mm)	50	Lu (mm)	63.75
Fm (kN)	25.28	SUT (MPa)	527
FoL (kN)	19.32	SY (MPa)	402



ILPM CIA LTDA
REGISTRO DE ENSAYO DE TRACCION

Customer/Informe	HERNAN VALENZUELA Y FREDY VELASCO/2021-452		
Probeta No.	T2		
TestDate	02/09/2021	Type	Flat
Size (mm)	12.42*3.86	So (mm ²)	47.94
Lo (mm)	50	Lu (mm)	63.29
Fm (kN)	25.32	SUT (MPa)	528
Fel (kN)	19.02	SY (MPa)	397



Fin de Documento

ANEXO 5

ENSAYO EN JUNTA DE SOLDADURA



INFORME TÉCNICO

LAEV – M21.064

Quito, 18 de agosto de 2021

Solicitado por: PhD. Luis Hernández
Persona de contacto: Hernán Valenzuela, Fredy Velasco
Teléfono: 0990947018
Correo: ander_fre@hotmail.es
Fecha de recepción: 13/08/2021
Fecha de ejecución: 16/08/2021

ORDEN DE TRABAJO N°: DM-OTI0113-2021

1. **MUESTRAS:** Tres (3) probetas metálicas de juntas soldadas para ensayo de corte.

2. GENERALIDADES E IDENTIFICACIÓN:

La siguiente descripción fue proporcionada por el cliente:

Título de la tesis: ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A CORTE DE LOS CONECTORES TIPO ÁNGULO DE 4 MILÍMETROS DE ESPESOR EN LOSAS TIPO DECK SOBRE ESTRUCTURA METÁLICA

En la tabla 1 se muestra la identificación de las muestras a ser ensayadas:

Tabla 1. Identificación de las muestras

Id. cliente	Id. LAEV
M1 (soldadura inferior)	M21.064.01
M2 (soldadura lateral)	M21.064.02
M3 (soldadura contorno)	M21.064.03

3. CONDICIONES AMBIENTALES:

Temperatura: $24,6 \pm 0,1$ °C

Humedad relativa: $39,2 \pm 0,3$ %

4. ENSAYO DE TRACCIÓN

En la tabla 2 se presentan los resultados obtenidos en los ensayos de tracción en los que se someten las juntas soldadas a corte.

Tabla 2. Resistencia a la tracción.

Id.	Carga máxima registrada		Observación
	lbf	N	
M21.064.01	10 344	46 013	Falla en junta soldada
M21.064.02	16 279	72 414	Falla en el material base de menor espesor y en la parte inicial de la junta soldada
M21.064.03	16 810	74 777	Falla en el material base de menor espesor

En el anexo se presenta las fotografías de los ensayos.

Nota.- Los resultados contenidos en el presente informe corresponden únicamente a las muestras ensayadas por el Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones (LAEV). Además, los valores de fuerza que se emiten en el presente documento (y con los que se ha evaluado la conformidad) corresponden a valores corregidos en función del último certificado de calibración del equipo de fuerza y no se ha utilizado el valor de la incertidumbre.

	REVISADO POR:	APROBADO POR:
Firma:	 <small>Escaneado digitalmente por:</small> JONATHAN CASTRO REVELO	WILSON IVAN GUACHAMIN ACERO <small>Firmado digitalmente por WILSON IVAN GUACHAMIN ACERO</small> <small>Fecha: 2021.08.17 22:01:38 -05'00'</small>
Nombre:	Ing. Jonathan Castro, M.Sc.	Ph.D. Wilson Guachamin
Cargo:	ESPECIALISTA DE LABORATORIO	JEFE
LABORATORIO DE ANALISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES		

ANEXO



Fotografía 1. Montaje de la probeta M21.064.01 para ensayo de tracción.



Fotografía 2. Probeta M21.064.01 después del ensayo de tracción.



Fotografía 3. Montaje de la probeta M21.064.02 para ensayo de tracción.



Fotografía 4. Probeta M21.064.02 después del ensayo de tracción.



Fotografía 5. Montaje de la probeta M21.064.03 para ensayo de tracción.



Fotografía 6. Probeta M21.064.03 después del ensayo de tracción.