

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL**

## **ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A CORTE DE LOS CONECTORES TIPO ÁNGULO EN LOSAS DE HORMIGÓN ARMADO SOBRE ESTRUCTURA METÁLICA**

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

**AUTORES:**

**JONATHAN ROLANDO FRANCO PACHECO**

[jonathan.franco@epn.edu.ec](mailto:jonathan.franco@epn.edu.ec)

**MIGUEL SLYTER MARTÍNEZ TORRES**

[miguel.martinez@epn.edu.ec](mailto:miguel.martinez@epn.edu.ec)

**DIRECTOR: ING. LUIS TINERFE HERNÁNDEZ RODRIGUEZ, PhD**

**CODIRECTOR: ING. JORGE RICARDO VINTIMILLA JARAMILLO, MSc**

**QUITO, SEPTIEMBRE 2020**

## DECLARACIÓN

Nosotros, ***Franco Pacheco, Jonathan Rolando y Martínez Torres, Miguel Slyter***, 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.

---

**FRANCO PACHECO JONATHAN ROLANDO**

---

**MARTÍNEZ TORRES MIGUEL SLYTER**

## CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por ***Franco Pacheco, Jonathan Rolando y Martínez Torres, Miguel Slyter***, bajo nuestra supervisión.

---

**ING. LUIS TINERFER HERNANDEZ, MSC, PHD  
DIRECTOR DE PROYECTO**

---

**ING. JORGE RICARDO VINTIMILLA JARAMILLO, MSC  
CODIRECTOR DE PROYECTO**

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres Raúl y Nery que con sacrificios del día a día me brindaron cada y una de las cosas que necesitaba en esta etapa de mi vida. Ellos son el pilar fundamental que con sus consejos y guías me ayudaron a no bajar la guardia en cada adversidad que encontraba en la Universidad.

A mis hermanos Raúl, Sully, Jovanna con sus consejos, conversaciones y visitas me ayudaron a dar paso firme en cada decisión que tomaba. Gracias por todos los momentos que me ayudaron durante la universidad y durante mi vida.

A mi tíos Carlos y Amelia, quienes fueron mi segunda familia y me acogieron en su casa durante toda mi etapa universitaria. Gracias tía por sus cuidados y cariño que me brindaba día a día, se convirtió en una segunda madre para mí. Gracias tío Carlos por sus consejos y sus enseñanzas con respecto a mi carrera junto a usted pude amarla más de lo que la amaba.

A nuestros tutores por su conocimiento y sus los ánimos y el aguante que nos brindaron a pesar de tantos obstáculos que se presentaron durante el transcurso de este trabajo nos ayudaron a poder culminarlo.

Al personal de Centro de la Vivienda, Christian, Diego, Roberto que también fueron un pilar fundamental para realizar este trabajo, desde los ensayos hasta el procesamiento de los mismos. Gracias por ayudarnos en cada una de las etapas de este proyecto y por cada uno de sus consejos.

A mis amigos Brayan, José, Francisco, Lenin, Majo quienes se convirtieron en parte de mí día a día y quienes estuvieron en los momentos más difíciles que se me presentaron en la U. En cada trabajo que realizamos juntos y en cada vivencia que vivimos. Solo quiero decir gracias por ser quienes son.

*JONATHAN FRANCO PACHECO*

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis abuelitos Isabel y Leopoldo, fuente de mi motivación para seguir adelante cada día y enseñarme que el camino no es fácil pero tampoco imposible. Sus consejos y enseñanzas han sido fundamentales para lograr alcanzar mis metas planteadas. Que Dios me los cuide y me permita compartir con ustedes muchas más alegrías.

A mi madre adoptiva Rosa Torres, sin duda alguna eres mi ejemplo a seguir y has sido mi guía durante todo este tiempo, con mano firme y con mucho amor, me has dado las alas para volar alto y trabajar siempre para conseguir lo que deseo.

A mis hermanas, Vero, Patty y Juleydi, gracias mis niñas hermosas por estar siempre ahí, por formar parte de mi vida, por darme una mano en los momentos difíciles y por festejar conmigo cada triunfo.

A nuestro profesor guía en este trabajo de investigación, el Ing. Luis Hernández, por la confianza brindada y por la paciencia que ha tenido durante todo el tiempo que se ha venido trabajando para culminar el proyecto.

Al personal del centro de investigación de la vivienda, por guiarnos y apoyarnos con sus conocimientos, para culminar con éxito nuestro trabajo de titulación.

***SLYTER MARTINEZ TORRES***

## **DEDICATORIA**

A la memoria de mi hermano Raúl Emilio Franco Pacheco, sin ti no podría haber llegado hasta este punto.

*JONATHAN FRANCO PACHECO*

## **DEDICATORIA**

Sé que allá en cielo está muy orgullosa, siempre recordare sus palabras de aliento y consejos. Gracias Doña Inesita María Torres Tenesaca, dedicada en su memoria.

***SLYTER MARTINEZ TORRES***

## ÍNDICE

DECLARACIÓN .....	I
CERTIFICACIÓN .....	II
AGRADECIMIENTOS .....	III
DEDICATORIA.....	V
RESUMEN .....	XX
ABSTRAC .....	XXI
CAPÍTULO 1 .....	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. ALCANCE .....	3
1.4. JUSTIFICACIÓN .....	3
1.4.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA.....	3
1.4.2. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA .....	4
1.4.3. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA .....	4
CAPÍTULO 2 .....	5
MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN .....	5
2.1.1. HORMIGÓN.....	5
2.1.1.1. RESISTENCIA A COMPRESIÓN .....	6
2.1.1.2. MÓDULO DE ELASTICIDAD .....	7



2.1.2.	ACERO ESTRUCTURAL .....	9
2.1.2.1.	HISTORIA DEL ACERO.....	9
2.1.2.2.	DEFINICIÓN .....	11
2.1.2.3.	RESISTENCIAS DEL ACERO .....	12
2.1.3.	REQUISITOS DE LOS MATERIALES.....	14
2.2.	VIGAS COMPUESTAS .....	14
2.2.1.	VENTAJAS Y DESVENTAJAS.....	15
2.3.	CONECTORES DE CORTE .....	16
2.3.1.	DIMENSIONAMIENTO .....	17
2.4.	TIPOS DE ENSAYO.....	18
2.5.	TIPOS DE FALLAS .....	20
2.6.	ESTUDIOS REVISADOS .....	23
	CAPITULO 3 .....	30
	METODOLOGÍA.....	30
3.1.	MATERIALES .....	30
3.1.1.	HORMIGÓN.....	30
3.1.2.	ACERO.....	31
3.1.3.	SECCIÓN DE LOS ELEMENTOS .....	31
3.1.4.	SELECCIÓN DE VARIABLES .....	32
3.2.	DIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS EXPERIMENTALES .....	34
3.2.1.	LOSA MACIZA DE HORMIGÓN.....	34
3.2.1.1.	DIMENSIONAMIENTO DE LA LOSA.....	34
3.2.1.2.	ANCHO DE LA PROBETA.....	35
3.2.1.3.	LONGITUD DE LA PROBETA .....	36
3.2.1.4.	ESPESOR DE LA PROBETA .....	36

3.2.2.	UBICACIÓN DE LOS CONECTORES .....	36
3.2.3.	CONECTOR TIPO ÁNGULO.....	37
3.2.4.	ACERO DE TEMPERATURA.....	42
3.2.5.	VIGA METÁLICA .....	43
3.2.5.1.	DISEÑO DEL ELEMENTO A COMPRESIÓN.....	47
3.2.5.2.	CLASIFICACIÓN DEL PERFIL I SEGÚN PANDEO LOCAL.....	49
3.2.5.3.	DISEÑO DE MIEMBRO A COMPRESIÓN.....	51
3.2.5.4.	ANÁLISIS DE PANDEO POR FLEXIÓN DE LA VIGA I NO ESBELTA.....	51
3.2.5.5.	RESISTENCIA DE PANDEO TORSIONAL A COMPRESIÓN DE ELEMENTOS NO ESBELTOS.....	52
3.2.5.6.	DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN NOMINAL .....	54
3.3.	UBICACIÓN DE LOS STRAIN GAGES .....	55
3.3.1.	MODELACIÓN DEL CONECTOR EN LA POSICIÓN DE 90° .....	55
3.3.1.1.	MODELO 1.....	55
3.3.1.2.	MODELO 2.....	58
3.3.2.	MODELACIÓN DEL CONECTOR EN LA POSICIÓN DE 45° .....	61
3.4.	INSTRUMENTACIÓN PARA EL ENSAYO PUSH OUT .....	65
3.5.	PROTOCOLO DE ENSAYO .....	67
3.6.	ENSAMBLE DE LOS MATERIALES.....	68
CAPÍTULO 4 .....		75
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....		75
4.1.	RESULTADOS DE ENSAYOS DE LOS MATERIALES .....	75
4.1.1.	ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ( $f'c$ ).....	75

4.1.2.	ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN PARA EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ( $E_{ce}$ ) .....	77
4.1.3.	ENSAYO A TRACCIÓN DEL ACERO .....	78
4.2.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	79
4.2.1.	CURVA CARGA-DESLIZAMIENTO .....	79
4.3.	EVALUACIÓN DEL ENSAYO PUSH-OUT.....	81
4.3.1.	PENALIDAD PARA LA CAPACIDAD MÁXIMA .....	82
4.3.2.	ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA CARACTERÍSTICA (PRK) Y DESLIZAMIENTO CARACTERÍSTICO $\delta_{UK}$ .....	91
4.4.	ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD A CORTE .....	93
4.4.1.	ENSAYO MONOTÓNICO VS. ECUACIÓN DE DISEÑO .....	93
4.4.2.	ENSAYO MONOTÓNICO VS. PUSH-OUT .....	94
4.4.3.	CAPACIDAD A CORTE DE CÓDIGOS INTERNACIONALES .....	96
4.4.4.	CAPACIDAD A CORTE DE INVESTIGACIONES PREVIAS.....	100
4.5.	ANÁLISIS DE LA RIGIDEZ, DUCTILIDAD Y TENACIDAD.....	103
4.5.1.	DEGRADACIÓN DE LA RIGIDEZ .....	103
4.5.2.	RIGIDEZ INICIAL.....	104
4.5.3.	RIGIDEZ CARACTERÍSTICA.....	105
4.5.4.	RIGIDEZ CARACTERÍSTICA REDUCIDA .....	105
4.5.5.	DUCTILIDAD .....	105
4.5.6.	TENACIDAD .....	107
4.6.	MODOS DE FALLAS .....	109
4.6.1.	MODOS DE FALLAS EN LOSAS DE HORMIGÓN .....	110
4.7	COMPARACIÓN ENTRE LOS DOS CONECTORES.....	111
CAPÍTULO 5	.....	113

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	113
5.1. CONCLUSIONES.....	113
5.2. RECOMENDACIONES .....	115
BIBLIOGRAFÍA .....	117
ANEXOS .....	122
ANEXO N° 1.....	123
Diseño de los elementos a compresión para la viga de acero .....	123
ANEXO N° 2.....	130
Ensayo a compresión del hormigón (Resistencias y Módulo de elasticidad) .....	130
ANEXO N° 3.....	137
Ensayo a tracción del ángulo 40x4mm.....	137

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla No. 2. 1:</b> Resistencia a compresión ( $f'c$ ) del hormigón por días .....	7
<b>Tabla No. 2. 2:</b> Ecuaciones para la determinación del Módulo de elasticidad teórico.....	9
<b>Tabla No. 2. 3:</b> Propiedades de planchas de acero .....	14
<b>Tabla No. 3.1:</b> Datos y ensayos que se deben obtener del hormigón a emplearse en las probetas. ....	30
<b>Tabla No. 3.2:</b> Propiedades a tensión de las planchas de acero de acuerdo a la ASTM.....	31
<b>Tabla No. 3.3:</b> Diferentes niveles de confianza .....	33
<b>Tabla No. 3.4:</b> Diferentes niveles del poder estadístico.....	33
<b>Tabla No. 3.5:</b> Número de probetas que se deben ensayar .....	33
<b>Tabla No. 3.6:</b> Número de probetas totales obtenidas mediante estadística .....	34
<b>Tabla No. 3.7:</b> Tabla para determinar los valores de los coeficientes $R_g$ y $R_p$ .....	39
<b>Tabla No. 3.8:</b> Determinación de elementos esbeltos o no esbeltos por razón ancho .....	49
<b>Tabla No. 3.9:</b> Determinación del tipo de análisis para los elementos a compresión .....	51
<b>Tabla No. 3.10:</b> Resultados para el análisis de pandeo por flexión .....	52
<b>Tabla No. 3.11:</b> Resultados para el análisis de pandeo por torsión.....	53
<b>Tabla No. 3.12:</b> Comprobación para que la viga no falle a compresión .....	55
<b>Tabla No. 3.13:</b> Comprobación para que la viga no falle a compresión .....	68
<b>Tabla No. 3.14:</b> Total de elementos para encofrado de 28 losas .....	69
<b>Tabla No.4. 1:</b> Resistencia a compresión del hormigón .....	75
<b>Tabla No.4. 2:</b> Valores a compresión del ensayo de cilindros a los 28 días .....	76
<b>Tabla No.4. 3:</b> Valores de Módulo de Elasticidad Experimentales .....	77
<b>Tabla No.4. 4:</b> Comparación del módulo de elasticidad experimental con el teórico .....	78

<b>Tabla No.4. 5:</b> <i>Valores del ensayo a tracción del patín con espesor de 8 mm.....</i>	78
<b>Tabla No.4. 6:</b> <i>Valores obtenidos por conector del ensayo push-out .....</i>	81
<b>Tabla No.4. 7:</b> <i>Valores de PRK y <math>\delta u</math> corregidos de acuerdo al EN-1990 Anexo D, para los conectores a 90° .....</i>	88
<b>Tabla No.4. 8:</b> <i>Valor de PRK conector a 45° .....</i>	88
<b>Tabla No.4. 9:</b> <i>Valor de PRK conector a 90° .....</i>	90
<b>Tabla No.4. 10:</b> <i>Comparación de carga de rotura de ensayo monotónico por conector vs capacidad de corte por conector.....</i>	94
<b>Tabla No.4. 11:</b> <i>Análisis del porcentaje de error para la capacidad a corte por conector, entre ensayo monotónico y ensayo push-out, conectores a 90° ....</i>	95
<b>Tabla No.4. 12:</b> <i>Análisis del porcentaje de error para capacidad a corte por conector, entre ensayo monotónico y ensayo push-out, conectores a 45°.....</i>	95
<b>Tabla No.4. 13:</b> <i>Análisis de la capacidad a corte aplicando normas internacionales para los conectores de corte posicionados a 90° .....</i>	99
<b>Tabla No.4. 14:</b> <i>Análisis de la capacidad a corte aplicando normas internacionales para los conectores de corte posicionados a 45° .....</i>	99
<b>Tabla No.4. 15:</b> <i>Análisis de la capacidad a corte por conector, entre investigaciones previas y los conectores de corte posicionados a 90° .....</i>	102
<b>Tabla No.4. 16:</b> <i>Análisis de la capacidad a corte por conector de investigaciones previas para los conectores de corte posicionados a 45° .....</i>	102
<b>Tabla No.4. 17:</b> <i>Análisis de rigidez, ductilidad y tenacidad para los conectores de corte posicionados a 45°.....</i>	108
<b>Tabla No.4. 18:</b> <i>Análisis de rigidez, ductilidad y tenacidad para los conectores de corte posicionados a 90°.....</i>	108

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura No. 2. 1:</b> Casa de la Cultura Quito ecuador .....	5
<b>Figura No. 2. 2:</b> Efecto del secado al aire sobre la resistencia a la compresión del hormigón curado en húmedo. ....	7
<b>Figura No. 2. 3:</b> Tipos de Módulos tangentes obtenidos en la curva esfuerzo deformación. ....	8
<b>Figura No. 2. 4:</b> Puente de Coalbrookdale (Iron Bridge) .....	10
<b>Figura No. 2. 5:</b> Perfiles laminados de acero .....	11
<b>Figura No. 2. 6:</b> Tipos de esfuerzos de un acero .....	13
<b>Figura No. 2. 7:</b> Tipos de vigas compuestas para edificaciones .....	15
<b>Figura No. 2. 8:</b> Tipos de conectores de cortes.....	16
<b>Figura No. 2. 9:</b> Ensayo a corte directo con el conector soldado a un patín .....	19
<b>Figura No. 2. 10:</b> Ensayo de viga simplemente apoyada .....	19
<b>Figura No. 2. 11:</b> Ensayo a corte directo cuando los conectores están soldados a dos alas .....	20
<b>Figura No. 2. 12:</b> Área de falla en el concreto de acuerdo al ACI-318 .....	21
<b>Figura No. 2. 13:</b> Área de fallas en el concreto de acuerdo al ACI-318 vista isométrica .....	21
<b>Figura No. 2. 14:</b> Superficie de falla en el concreto para losa maciza.....	22
<b>Figura No. 2. 15:</b> Falla del conector de acuerdo: a) Eurocódigo 4, b) ASIC 360.....	22
<b>Figura No. 2. 16:</b> Falla mixta del conector y el hormigón obtenida por elementos finitos a) Propuesta b) resultados de elementos finitos.....	23
<b>Figura No. 2. 17:</b> Conector tipo T-PBL .....	28
<b>Figura No. 3. 1:</b> Probeta de ensayo de conectores de corte [mm] .....	35
<b>Figura No. 3. 2:</b> Determinación del ancho de la viga.....	35
<b>Figura No. 3. 3:</b> Ubicación de los conectores.....	37
<b>Figura No. 3. 4:</b> Esquema del ángulo.....	40
<b>Figura No. 3. 5:</b> Ubicación del conector de corte en la probeta push-out.....	42

<b>Figura No. 3. 6:</b> Vista en 3D de la distribución del acero en la probeta push-out .....	43
<b>Figura No. 3. 7:</b> Conector ensayos Soty & Shyma .....	45
<b>Figura No. 3. 8:</b> Valores de .....	46
<b>Figura No. 3. 9:</b> Vista lateral de la viga tipo I.....	48
<b>Figura No. 3. 10:</b> Dimensiones de la sección de la viga tipo I.....	48
<b>Figura No. 3. 11:</b> Condiciones de borde para el Modelo computacional .....	56
<b>Figura No. 3. 12:</b> Malla creada por el software de modelado infinito para acero.....	57
<b>Figura No. 3. 13:</b> Deformaciones unitarias y esfuerzos presentadas en el conector.....	57
<b>Figura No. 3. 14:</b> Ubicación de los mayores esfuerzos presentados en el conector de corte.....	58
<b>Figura No. 3. 15:</b> Modos de falla del conector de corte tipo ángulo. ....	58
<b>Figura No. 3. 16:</b> Condiciones de Borde del modelo.....	59
<b>Figura No. 3. 17:</b> Malla de la probeta donde los nodos son conectados.....	59
<b>Figura No. 3. 18:</b> Esfuerzos de los conectores de corte.....	60
<b>Figura No. 3. 19:</b> Deformación unitaria de los conectores de corte.....	60
<b>Figura No. 3. 20:</b> Colocación de los Strain Gages, en las probetas a 90° .....	61
<b>Figura No. 3. 21:</b> Distribución de la fuerza en el ángulo para una posición de 45° .....	62
<b>Figura No. 3. 22:</b> Condiciones de borde para conector de corte a 45°.....	63
<b>Figura No. 3. 23:</b> Distribución de los esfuerzos de Von Mises .....	63
<b>Figura No. 3. 24:</b> Distribución de las deformaciones unitarias en el conector de corte a 45°.....	64
<b>Figura No. 3. 25:</b> Colocación de los Strain Gages, en las probetas a 45 .....	64
<b>Figura No. 3. 26:</b> Instrumentación de una probeta para ensayo de push-out.....	66
<b>Figura No. 3. 27:</b> Instrumentación de la probeta para los ensayos de push-out. ....	67
<b>Figura No. 3. 28:</b> Esquema del molde para el encofrado de las losas. ....	69



<b>Figura No. 3. 29:</b> Soldadura final de los conectores de corte .....	70
<b>Figura No. 3. 30:</b> Ensayo del cono de Abrams y cilindros para ensayos a compresión.....	71
<b>Figura No. 3. 31:</b> Losas para la conformación de las probetas push-out .....	71
<b>Figura No. 3. 32:</b> Tipos de cordones usados en la unión del patín con el alma .....	72
<b>Figura No. 3. 33:</b> Conformación de las probetas push out .....	73
<b>Figura No. 3. 34:</b> Probetas push-out ensambladas .....	73
<b>Figura No. 3. 35:</b> Probetas push-out ensambladas .....	74
<b>Figura No.4.1:</b> Curvas de carga versus deslizamiento para conector a 45° .....	79
<b>Figura No.4.2:</b> Curvas de carga versus deslizamiento para conector a 90° .....	80
<b>Figura No.4.3:</b> Cargas que se obtienen de la curva Carga-deslizamiento .....	80
<b>Figura No.4.4:</b> Comprobación de la capacidad máxima a corte conector a 45° .....	83
<b>Figura No.4.5:</b> Comprobación del deslizamiento característico para conector a 45° .....	83
<b>Figura No.4.6:</b> Comprobación de la capacidad máxima a corte para conector a 90° .....	84
<b>Figura No.4.7:</b> Comprobación de deslizamiento característico para conector a 90° .....	85
<b>Figura No.4.8:</b> Desviación absoluta de los seis ensayos de los conectores a 45° .....	89
<b>Figura No.4.9:</b> Desviación absoluta de los seis ensayos de los conectores a 90° .....	90
<b>Figura No.4.10:</b> Valores característicos conector a 45° .....	91
<b>Figura No.4.11:</b> Valores característicos conector a 90° .....	92
<b>Figura No.4.12:</b> Posición del conector según GB-50017 .....	97
<b>Figura No.4.13:</b> Valores de Lc para el ángulo 40x4 mm .....	98
<b>Figura No.4.14:</b> Posicionamiento del ángulo para el ensayo .....	100
<b>Figura No.4.15:</b> Posicionamiento del ángulo para el ensayo .....	101

<b>Figura No.4.16:</b> <i>Degradación de la rigidez para conector a 45°</i> .....	103
<b>Figura No.4.17:</b> <i>Degradación de la rigidez para conector a 90°</i> .....	104
<b>Figura No.4.18:</b> Valores de deslizamiento para obtener la ductilidad .....	106
<b>Figura No.4.19:</b> Valores de deslizamiento para obtener la ductilidad .....	107
<b>Figura No.4.20:</b> Esquema general 1 de falla de las probetas push-out.....	109
<b>Figura No.4.21:</b> Esquema general 2 de falla de las probetas push-out.....	110
<b>Figura No.4.22:</b> Fallas típicas encontradas, losas de hormigón maciza .....	111
<b>Figura No.4.23:</b> Análisis comparativo entre los dos conectores de corte.....	112

## SIMBOLOGÍA

$A_{sa}$  = área de la sección transversal del conector de corte

$A_s$  = área para el acero a temperatura

$A_g$  = área bruta de la sección transversal de la viga

$A_{mu}$  = pendiente de la curva a analizar

$B$  = ancho de la losa de hormigón

$B_{mu}$  = el valor de inicial de la carga correspondiente al primer valor registrado del deslizamiento.

$C_w$  = factor constante de alabeo.

$c_a$  = distancia entre el centro del conector hasta el borde de la cara de apoyo de la losa

$\delta_u$  = deslizamiento último.

$\delta_{uk}$  = deslizamiento característico

$E_c$  = módulo de elasticidad del hormigón teórico

$E_{ce}$  = módulo de elasticidad del hormigón experimental

$E_a$  = módulo de elasticidad del agregado

$e$  = espesor de la losa de hormigón

$E$  = módulo de elasticidad del Acero

$f'_c$  = resistencia a compresión del hormigón de diseño

$f'_{ce}$  = resistencia a compresión del hormigón experimental

$F_y$  = esfuerzo de fluencia del acero

$F_u$  = esfuerzo a tracción del acero teórica

$F_{ut}$  = esfuerzo a tracción del acero experimental

$F_e$  = esfuerzo de pandeo elástico

$F_{cr}$  = esfuerzo crítico

$G$  = módulo elástico de corte.

$h_{sc}$  = altura del conector

$I_{xx}$  = momento de inercia para el eje X.

$I_{yy}$  = momento de inercia para el eje Y.

**J**= constante para la torsión.

**K<sub>z</sub>**= longitud efectiva para pandeo torsional.

**K<sub>i</sub>**= rigidez por cada valor de varga registrada

**K<sub>o</sub>**= rigidez inicial por conector

**K**= rigidez característica

**K<sub>c</sub>**= coeficiente para elementos no atiesados

**L<sub>min conector</sub>**=longitud mínima del conector de corte

**L**=largo de la losa de hormigón

**n**= número de probetas (Fórmula Zimmerman)

**n<sub>c</sub>**= número de conectores de corte

**n<sub>k</sub>**= es el factor de reducción para las cargas

**P<sub>n</sub>**= resistencia a compresión nominal

**P<sub>min</sub>**= es el mínimo valor de todas las capacidades máximas a corte obtenida de las probetas ensayadas.

**P<sub>RD</sub>**= resistencia de diseño para la comprobación de la resistencia característica

**Q<sub>n</sub>**=capacidad a corte de los conectores de corte

**Q<sub>i</sub>**= capacidad a corte por cada conector de corte

**Q<sub>max</sub>**=capacidad máxima a corte del conector

**P<sub>RK</sub>**=resistencia característica por conector

**R<sub>g</sub>** = coeficiente de efecto de grupo

**R<sub>p</sub>**= coeficiente para considerar el efecto de posición

**r** = radio de giro de la sección transversal.

**S<sub>max</sub>**= separación máxima del acero de temperatura

**μ**= factor de ductilidad

**Zα** = valor correspondiente al nivel de confianza asignado

**Zβ** = valor correspondiente al poder estadístico

**W**= rendimiento mínimo esperado

## RESUMEN

El presente trabajo técnico experimental pretende analizar el comportamiento de los conectores de corte tipo ángulo cuando estos están localizados de diferente manera a las que se pueden observar en los códigos de diseño. Estos conectores son empleados en elementos estructurales compuestos, porque ayudan a transmitir los esfuerzos de corte que hay entre la losa de hormigón y la viga metálica. Por tal razón se debe asegurar el comportamiento que presenta este tipo de conectores mediante el análisis experimental. El conector presenta una altura de 80 mm y con lados iguales de 40 mm y un espesor de 4 mm, estará soldado al patín de la viga tipo I y serán colocados en dos posiciones con respecto a su vista en planta, la posición de estos será a 45° y 90°. Se previó utilizar en el diseño de la losa de hormigón una resistencia de 24 MPa.

Para lograr este tipo de análisis se estableció que el mejor método es el ensayo push-out. Se emplearon 6 probetas push-out para analizar cada posición de los conectores, con un total de 12 probetas. Los resultados muestran que la carga máxima obtenida experimentalmente para el conector a 45° es menor que la carga obtenida para el conector a 90°. Las curvas carga-deslizamiento para los conectores a 90° presentan poco decaimiento después de haber alcanzado la carga máxima, caso contrario del conector a 45°. La degradación de la rigidez de los conectores decrece paulatinamente conforme el deslizamiento de estos incrementa. Los resultados con respecto a la ductilidad muestran que ambos conectores son dúctiles.

Estos resultados ayudaron a determinar el comportamiento para ambos conectores, se determinó cual es el conector con mejor resistencia y con propiedades adecuadas para un favorable diseño para una viga compuesta. Los resultados también mostraron que las ecuaciones de varios códigos e investigaciones previas subestiman la resistencia que tienen los conectores tipo ángulo.

## ABSTRAC

This experimental technical work aims to analyze the behavior of angle-type shear connectors when they are located in a different way than those that can be observed in the design codes. These connectors are used in composite structural elements, because they help to transmit the shear stresses between the concrete slab and the metal beam. For this reason, the behavior presented by this type of connectors must be ensured through experimental analysis. The connector has a height of 80 mm and with equal sides of 40 mm and a thickness of 4 mm, it will be welded to the skid of the type I beam and will be placed in two positions with respect to its plan view, the position of these will be at  $45^\circ$  and  $90^\circ$ . A resistance of 24 MPa was planned to be used in the design of the concrete slab.

To achieve this type of analysis, it was established that the best method is the push-out test. 6 push-out probes were used to analyze each position of the connectors, with a total of 12 probes. The results show that the maximum load obtained experimentally for the connector at  $45^\circ$  is less than the load obtained for the connector at  $90^\circ$ . The load-slip curves for the connectors at  $90^\circ$  show little decay after reaching the maximum load, otherwise the connector at  $45^\circ$ . The degradation of the rigidity of the connectors gradually decreases as the slippage of these increases. The results regarding ductility show that both connectors are ductile.

These results helped to determine the behavior for both connectors, it was determined which is the connector with the best resistance and with adequate properties for a favorable design for a composite beam. The results also showed that the equations of various codes and previous research underestimate the resistance of angle connectors.

# CAPÍTULO 1

## GENERALIDADES

### 1.1. INTRODUCCIÓN

El sector de la construcción ha sufrido grandes cambios debido al crecimiento económico que ha vivido el país, logrando que los sistemas tradicionales de construcción vayan cambiando por nuevos métodos constructivos (NEC-SE-AC, 2015). Creando así la necesidad de que hormigón y acero estructural trabajen en conjunto, para lograr un incremento importante en su resistencia. Como es el caso de la viga compuesta, conformada por una viga de acero y la losa de hormigón, consiguiendo estructuras más livianas. Para que el hormigón y el acero trabajen en conjunto, se requiere el uso de conectores especiales (Vizueté Romo, 2007).

El presente proyecto tiene como objetivo el estudio de los conectores de corte en específico los de tipo ángulo, los cuales son elementos de las vigas compuestas. Siendo estos, los elementos primordiales entre la unión de la viga de acero y las losas de concreto reforzadas, de modo que actúen como una sola unidad para resistir las cargas. Los conectores ayudan a la adherencia para conformar la viga compuesta, teniendo un aumento entre el 33 al 50 %, para soportar la carga (McCormac & Csernak, 2013).

Se realiza este análisis, debido a que los códigos de construcción ecuatorianos están basados en una serie de códigos extranjeros, en particular los estadounidenses (NEC-SE-AC, 2015). Siendo, el ANSI/AISC 360-16 el que especifica los criterios de diseño para elementos en estructuras de acero, el cual contiene una sección de los anclajes de acero, que detalla el diseño de los conectores de corte tipo perno (Stud) (ANSI/AISC 360-16, 2016). Así mismo, el Eurocódigo 4 estipula como conector de corte el tipo perno (Stud), con diferentes bases de diseño (UNE-EN-1994, 2013). Debido a la poca información que existe

acerca de los conectores tipo ángulo en los códigos mencionados anteriormente, se genera una gran incertidumbre referente a su uso.

El estudio de los ángulos como conectores de corte se realizarán mediante cualquier tipo de ensayo push, siguiendo la geometría presentada en el anexo B2 del Eurocodigo4 (UNE-EN-1994, 2013). El ensayo push-out consiste en la carga y descarga entre un rango específico, seguido de la aplicación de una carga monotónica para comprobar el comportamiento de los conectores de corte (Bouchair, Bujnak, Duratna, & Lachal, 2012).

Con los ensayos a realizar, se podrá conocer como es el comportamiento de los conectores de corte, se brindará información adecuada para la colocación de estos elementos, así como las pautas para un diseño adaptado a los conectores de corte tipo ángulo en losas macizas de hormigón armado. Estos estudios servirán de base para futuras investigaciones, aportando con parámetros a la ecuación en la cual se basa el diseño de los conectores de corte.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. OBJETIVO GENERAL**

Analizar la resistencia a corte que tienen los conectores tipo ángulo, mediante la experimentación de probetas, usando el método PushOut.

### **1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Establecer las variables que se podrán mejorar en el ensayo, a través de la revisión de prácticas semejantes, para relacionar este estudio con otros similares.
- Predecir teóricamente el comportamiento de los conectores de corte tipo ángulo para poseer una referencia de los resultados a obtenerse en los ensayos.
- Proponer una configuración favorable de los conectores de corte, en cuanto a su posición, para su aplicación en obra.



### **1.3. ALCANCE**

El proyecto está basado en el ensayo push-out descrito en el Eurocódigo 4, para analizar dos ubicaciones diferentes del conector de corte, mediante el cual se determinará su comportamiento. La geometría de los componentes del espécimen del ensayo push-out, estará basada en la recopilación de investigaciones previas, así como, consideraciones estipuladas en los códigos principales de la investigación Eurocódigo 4 y AISC-360. Esta investigación determinará propiedades mecánicas de los conectores de corte como la capacidad a corte ( $Q_i$ ), capacidad de corte última ( $Q_u$ ), deslizamiento losa-viga ( $\delta$ ), siguiendo los parámetros establecidos en el Eurocódigo-4 para el ensayo experimental de conectores de corte (UNE-EN-1994, 2013).

Con estos resultados se podrá realizar el análisis del comportamiento teórico respecto con el experimental, comparar valores teóricos determinados en los códigos internacionales e investigaciones (Titoum, Mazoz, Benanane, & Ouinas, 2016). También se basará en el análisis de los modelos analíticos propuestos de varias investigaciones que tienen por objeto el estudio de conectores de corte bajo ensayos push-out.

### **1.4. JUSTIFICACIÓN**

#### **1.4.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA**

Esta investigación realiza el estudio de los conectores de corte tipo ángulo en las losas de hormigón armado, creando un conocimiento referente al uso de los mismos. Con el fin de crear un respaldo teórico que valide el uso de este tipo de conector en todo tipo de obras compuestas, mediante un ensayo de probetas de hormigón y acero en conjunto, utilizando el método push-out (Chacón & Poveda, 2012), actualmente en el país existe el estudio presentado en la tesis de pregrado de los autores Rogel & Tenorio, además, algunas normas de construcciones en el país no tratan sobre el tema, como es el caso de la norma NEC-SE-AC Estructuras de Acero, en donde no detalla la conexión entre la viga de acero y la losas de hormigón (NEC-SE-AC, 2015).

### **1.4.2. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA**

De esta investigación se obtendrá resultados de deformaciones y capacidades últimas de los conectores de corte tipo ángulo, aplicando el método de push-out y utilizando la metodología de ensayo indicadas en el Eurocódigo 4 para el ensayo de conectores de corte (UNE-EN-1994, 2013), siendo el método más conveniente porque trabajará hasta el rango inelástico, teniendo resultados más cercanos a la realidad. De este ensayo, se podrá extraer la gráfica esfuerzo-deformación, con lo cual se generará los valores de ductilidad y tenacidad, siendo estos los resultados más sobresalientes (Hurtado, Molina, & Linero, 2008).

### **1.4.3. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA**

El presente trabajo es de gran interés tanto para investigadores y constructores del sector público y privado que están involucrados en el campo de la construcción de estructuras metálicas y mixtas, que necesiten justificar el uso de los conectores de corte tipo ángulo, ayudando de esta forma a la toma de decisiones, en cuanto al tipo de conectores que se utilizarán en cualquier clase de proyecto estructural que con lleve el sistema analizado (Crisafulli, 2018).

## CAPÍTULO 2

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

##### 2.1.1. HORMIGÓN

Es uno de los materiales más usado en la industria de la construcción, debido a que puede tomar varias formas. El hormigón es una mezcla de agua, cemento, agregados (fino y grueso) y opcionalmente algún aditivo para mejorar ciertas propiedades que esté por sí mismo no posee (Luna Hermosa, 2014), tal como se muestra en la figura 2.1.



**Figura No. 2. 1:** Casa de la Cultura Quito Ecuador  
**Fuente:** Franco Jonathan & Martínez Miguel

Una de las características favorables de este material es la resistencia al fuego y su larga duración. Cuando es mezclado de forma correcta llega a soportar cantidades grandes de carga, siempre que sea a compresión, sin embargo, tiene una debilidad en su resistencia a tracción, para contrarrestar esta deficiencia se coloca acero mediante un diseño adecuado, para las sollicitaciones que presente la obra civil (Quiroz & Salamanca, 2006).

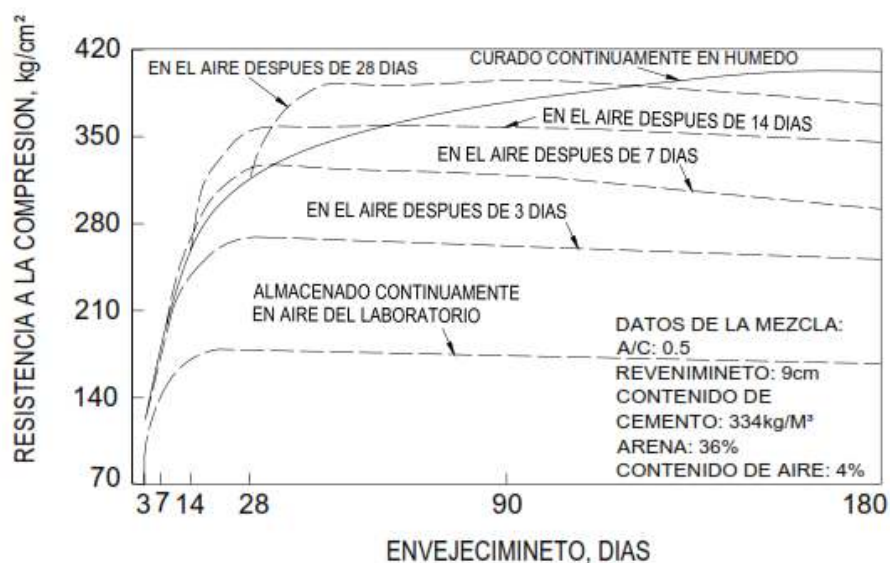
### 2.1.1.1. RESISTENCIA A COMPRESIÓN

El hormigón cuenta con diferentes propiedades físicas y mecánicas, destacando su alta resistencia a la compresión, esta se expresa en  $\text{Kg/cm}^2$  o MPa y se representa como  $f'_c$  (Herrería & Villegas, 2008).

Existen muchos factores que pueden influenciar en la resistencia del hormigón tales como la granulometría, el tipo de cemento, calidad del agua y sus respectivas proporciones. Así mismo otros factores que intervienen son: el contenido de aire, la humedad, temperatura, tiempo, el proceso de curado, y en algunos casos aditivos (Rivera L, 2010).

La determinación de la resistencia a compresión se hace mediante el ensayo de probetas, en Ecuador las probetas que se usan son cilindros de hormigón estandarizados con diámetros de 100x200 mm y de 150x300 mm, el tipo de cilindro que se va a seleccionar depende del agregado, considerando que el diámetro debe ser al menos tres veces el tamaño máximo nominal de este (NTE INEN 3124, 2017) y la resistencia del hormigón con la cual se va a trabajar, tomando en cuenta que para resistencias de 17 a 32 MPa se debe utilizar el cilindro de menor diámetro y para resistencias de 15 a 55 MPa el cilindro de mayor diámetro (ASTM C39/C39M , 2020).

El ensayo consiste en aplicar una carga a una velocidad determinada de  $0.25 \pm 0.05$  MPa/s. Los cilindros deben estar sumergidos durante un período de 28 días a una temperatura de  $23^\circ \pm 2^\circ$  (NTE INEN 3124, 2017). En la figura 2.2 se aprecia la resistencia que puede ganar el hormigón con un curado correcto, la tabla 2.1 presenta el porcentaje de resistencia que se espera obtener en función del tiempo transcurrido.



**Figura No. 2. 2:** Efecto del secado al aire sobre la resistencia a la compresión del hormigón curado en húmedo.

**Fuente:** Quiroz & Salamanca (2006)

**Tabla No. 2. 1:**

*Resistencia a compresión ( $f'_c$ ) del hormigón por días*

**Fuente:** Quiroz & Salamanca (2006)

**Modificado:** Franco Jonathan & Martínez Miguel

RESISTENCIA A COMPRESIÓN ( $f'_c$ )	
Días	% Esperado
3	40
7	65
28	100
90	120
360	135

Los resultados de los ensayos dependen en gran medida de la geometría de los cilindros y de la velocidad que se le aplique la carga. Para garantizar la resistencia del hormigón, se debe emplear una dosificación con una resistencia mayor a la que se pretende utilizar (McCormac & Brown, 2018).

### 2.1.1.2. MÓDULO DE ELASTICIDAD

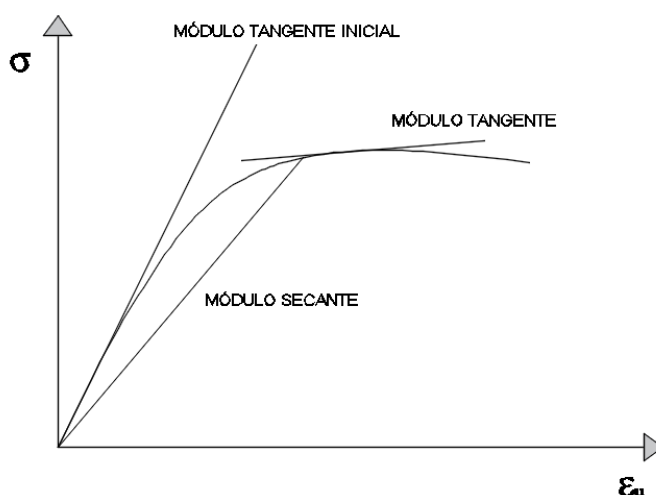
El módulo de elasticidad del hormigón ( $E_c$ ) es la relación entre el esfuerzo normal y la deformación unitaria en el rango elástico de la curva esfuerzo-deformación, para efectos a compresión o tracción (NEC-SE-HM, 2015). Existen muchos factores que

pueden afectar a la determinación del módulo de elasticidad tales como la edad del hormigón, la velocidad en cual se aplica la carga, la composición de los materiales que conforman el hormigón, la humedad que tiene la probeta y la manera en que se va a medir la deformación (Pereyra, Monfort, Dellepiane, & Villa, 2019).

La determinación experimental del módulo de elasticidad ( $E_c$ ) se obtiene de la gráfica esfuerzo deformación del ensayo a compresión de los cilindros de hormigón, trazando la secante o la tangente en algún punto de la curva, tomando como nombre módulos secantes o módulos tangentes, respectivamente (Herrería & Villegas, 2008).

Existen tres tipos de módulos:

- Módulo tangente inicial: es la pendiente de la tangente que parte desde el origen de la curva correspondiente al esfuerzo nulo (Pico Ponce, 2019).
- Módulo tangente: corresponde a la pendiente de la tangente en cualquier parte de la curva (Pico Ponce, 2019).
- Módulo secante: es la pendiente de la secante trazada entre dos puntos cualesquiera en la curva esfuerzo-deformación (Pico Ponce, 2019).



**Figura No. 2. 3:** Tipos de Módulos tangentes obtenidos en la curva esfuerzo deformación.

**Fuente:** Pico Ponce, (2019)

**Modificado:** Franco Jonathan & Martínez Miguel

La norma ASTM-C469 especifica que el módulo de elasticidad del hormigón se determina mediante la relación entre el esfuerzo y la deformación por debajo del límite proporcional o elástico, no obstante, si el material no se adapta a la Ley de Hooke en todo su rango elástico, el módulo de elasticidad se puede determinar obteniendo la pendiente de la tangente o secante trazadas en la curva esfuerzo-deformación (ASTM C469, 2014).

Existen códigos como el ACI-318, Eurocódigo y la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), que contienen fórmulas empíricas para calcular el módulo de elasticidad; sin embargo, debido a que cada fórmula fue obtenida para los materiales y condiciones específicas propias del lugar donde fueron desarrolladas, se genera una variación considerable en los resultados de este parámetro. En la tabla 2.2 se presentan las ecuaciones del módulo de elasticidad de cada normativa y su respectiva unidad.

**Tabla No. 2. 2:**

*Ecuaciones para la determinación del Módulo de elasticidad teórico*

**Elaborado:** Franco Jonathan & Martínez Miguel

CÓDIGO	FÓRMULA	UNIDADES
ACI 318-19	$E_c = 4700 \cdot \sqrt{f'_c}$	MPa
NEC-15	$*E_c = 1150 \cdot \sqrt[3]{E_a} \cdot \sqrt{f'_c}$	MPa
	$E_c = 4700 \cdot \sqrt{f'_c}$	MPa
Eurocódigo 2	$E_c = 22 \cdot [f'_c / 10]^{0.30}$	MPa
*Nota= Para Quito el $E_a = 27.2$ GPa, esta ecuación solo se la usa para un análisis de cargas gravitacionales y de servicio, no se puede usar en diseño sísmico (NEC-SE-HM, 2015)		

## 2.1.2. ACERO ESTRUCTURAL

### 2.1.2.1. HISTORIA DEL ACERO

Desde la primera elaboración del acero estructural con el proceso Bessemer en 1870 se produjeron grandes cantidades de acero estructural al carbono, y por lo tanto en 1890 el acero fue el principal elemento de construcción de Estados Unidos. Pero el primer uso de un metal para una construcción grande, fue del puente

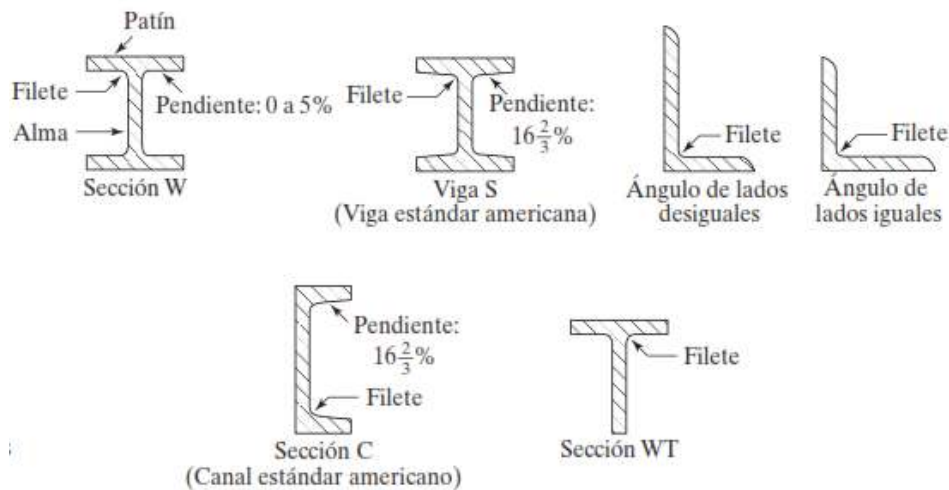
Coalbrookdale en forma de arco con una luz de alrededor de 30.50 metros, se dice que este puente fue crucial en la construcción debido a que en el curso de la Revolución Industrial se comenzó a emplear más este metal que los sistemas tradicionales para la época (McCormac & Csernak, 2013).



**Figura No. 2. 4:** Puente de Coalbrookdale (Iron Bridge)  
**Fuente:** Fernandez, L. (2004)

En la actualidad la mayor cantidad de perfiles y placas de acero estructural se obtienen con la fundición de chatarra de acero. El acero fundido se vierte en moldes que les da formas finales a los miembros. También existen perfiles que se fabrican mediante el proceso de recocido, donde el acero es calentado a una temperatura intermedia entre los 706°C a 760°C y se mantiene durante varias horas a esta temperatura. Este acero, tiene menor dureza y fragilidad, pero aumenta su ductilidad. Por lo general, los perfiles laminados en caliente se designan por la forma de sus secciones transversales, como es el caso de los perfiles en ángulos, tés y placas (McCormac & Csernak, 2013).





**Figura No. 2. 5:** Perfiles laminados de acero  
**Fuente:** McCormac & Csernak (2013)

A causa de las excelentes propiedades que posee el acero, ha sido posible llevar a cabo construcciones de obras civiles desafiantes para el ser humano, logrando así satisfacer necesidades ingenieriles y arquitectónicas que con el pasar de los años son más exigentes y ambiciosas.

El uso del acero estructural en Ecuador está incrementando constantemente, reemplazando a los sistemas de construcción tradicionales, gracias a las ventajas que ofrece en cuanto a la capacidad para lograr mayores elevaciones, soportar grandes pesos con secciones reducidas y buen comportamiento ante cargas laterales, en ocasiones reforzado mediante núcleos de hormigón (Urbán Brotóns, 2010).

### 2.1.2.2. DEFINICIÓN

Es un material resultado de la combinación de hierro y carbono, al cual se pueden agregar diferentes elementos químicos como: silicio, manganeso, níquel, cromo, aluminio, etc. Las proporciones de estos elementos definen las propiedades que tendrá el acero, de manera que cumpla con las necesidades requeridas según su utilidad (García, Díaz, González, & Ortegón, 2007). El acero se fabrica bajo un adecuado control de calidad y cuenta con propiedades que se detallan a continuación (Crisafulli, 2018).

Alta resistencia: Presenta alta resistencia por unidad de peso, lo que permite construir estructuras más livianas, elevadas y con grandes luces (McCormac & Csernak, 2013).

Uniformidad: A diferencia del hormigón, sus propiedades no se ven afectadas significativamente en el transcurso del tiempo (McCormac & Csernak, 2013).

Elasticidad: Tiene un comportamiento más cercano al teórico debido a que es un material prácticamente homogéneo y se rige bajo la ley de Hooke, mientras se encuentra en el rango elástico (McCormac & Csernak, 2013).

Durabilidad: Realizar un mantenimiento periódicamente y de manera adecuada, permitirá que las estructuras tengan una duración indefinida (McCormac & Csernak, 2013).

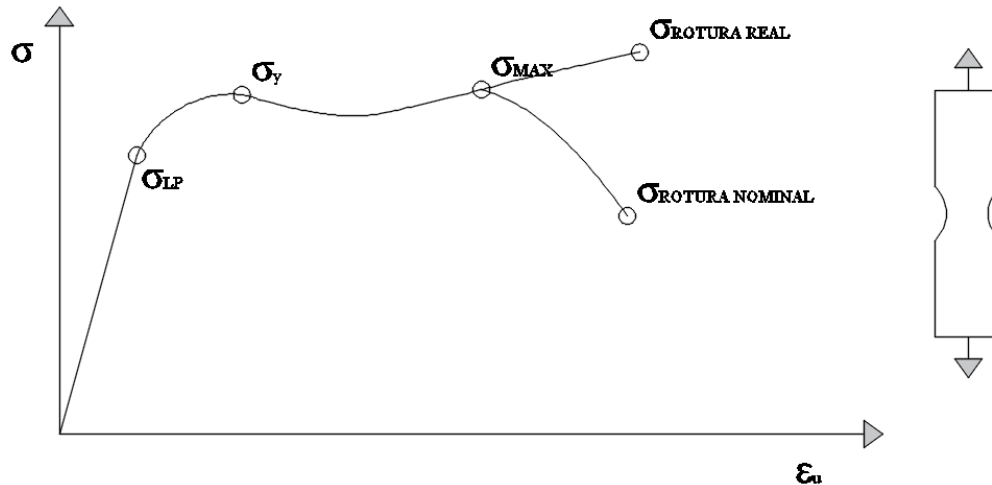
Ductilidad: Capacidad que admite grandes deformaciones sin llegar a la falla, al ser sometido a altos esfuerzos de tensión, permitiendo que el material fluya localmente, evitando fallas prematuras. La ausencia de esta propiedad genera dureza y fragilidad, lo que ocasionaría una rotura a causa de un impacto súbito (McCormac & Csernak, 2013).

Tenacidad: Posee una gran resistencia y buena ductilidad, es decir, un elemento de acero podrá soportar fuerzas considerables a pesar de presentar grandes deformaciones. Un material tenaz consigue absorber grandes cantidades de energía (McCormac & Csernak, 2013).

### **2.1.2.3. RESISTENCIAS DEL ACERO**

Los parámetros más relevantes para determinar en el acero son la resistencia a la fluencia ( $F_y$ ), que representa la capacidad que este posee para tolerar las deformaciones plásticas, es decir el punto de transición entre el rango elástico y rango plástico y la resistencia a la tracción ( $F_u$ ), la cual indica el esfuerzo que soporta el material al ser sometido a una fuerza de tensión que se aplica gradual y lentamente hasta provocar su falla (Cabrera & Koller, 2017). Estos datos son obtenidos mediante la curva esfuerzo deformación, generada a partir de los ensayos de laboratorio (Crisafulli, 2018).

Del ensayo a tracción se obtienen varios tipos de esfuerzos que se definen en la curva de esfuerzo vs deformación unitaria.



**Figura No. 2. 6:** Tipos de esfuerzos de un acero  
**Fuente:** Salazar Trujillo. (2007)  
**Modificado:** Franco Jonathan & Martínez Miguel

- Esfuerzo límite de proporcionalidad ( $\sigma_{LP}$ ): Es el punto límite de la recta que representa la relación directamente proporcional entre el esfuerzo y la deformación, es decir, en este punto termina el rango elástico (Salazar Trujillo, 2007).
- Esfuerzo de fluencia ( $\sigma_y$ ): Punto desde el cual el material empieza a fluir, llegando a deformarse sin ser necesario un incremento de carga (Salazar Trujillo, 2007).
- Esfuerzo máximo ( $\sigma_{max}$ ): Posterior a la fluencia del material, este aumenta su capacidad para soportar un mayor esfuerzo, lo que genera que la curva tenga un aumento de pendiente, llegando a su máximo esfuerzo (Salazar Trujillo, 2007).
- Esfuerzo de rotura nominal ( $\sigma_{ROTURA NOMINAL}$ ): Después de haber alcanzado el esfuerzo máximo se produce un estrechamiento en la probeta, generando la falla. Este esfuerzo se obtiene dividiendo a la carga de rotura para el área inicial (Salazar Trujillo, 2007).

- Esfuerzo de rotura real ( $\sigma_{ROTURA REAL}$ ): Es el esfuerzo que se determina mediante la división de la carga final para el área final de la probeta (Salazar Trujillo, 2007).

### 2.1.3. REQUISITOS DE LOS MATERIALES

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) basada en las normas internacionales, establece algunos requisitos que deben cumplir los materiales para garantizar un buen comportamiento en los diferentes elementos que conforman una estructura.

- Para el diseño de estructuras, la resistencia a compresión del hormigón ( $f'_c$ ) no debe ser menor a 21 MPa en hormigones normales, ni mayor de 35 MPa para hormigones livianos. (NEC-SE-HM, 2015).
- Cassagne en el año 2009 desarrolló un estudio acerca de las propiedades mecánicas de los aceros, en el cual detalla los valores reales de planchas de acero distribuidas en la ciudad de Guayaquil, mismos que se pueden observar en la tabla 2.3. (NEC-SE-AC, 2015).

#### Tabla No. 2. 3:

*Propiedades de planchas de acero*

**Fuente:** (Cassagne Rojas, 2009)

**Modificado:** Franco Jonathan & Martínez Miguel

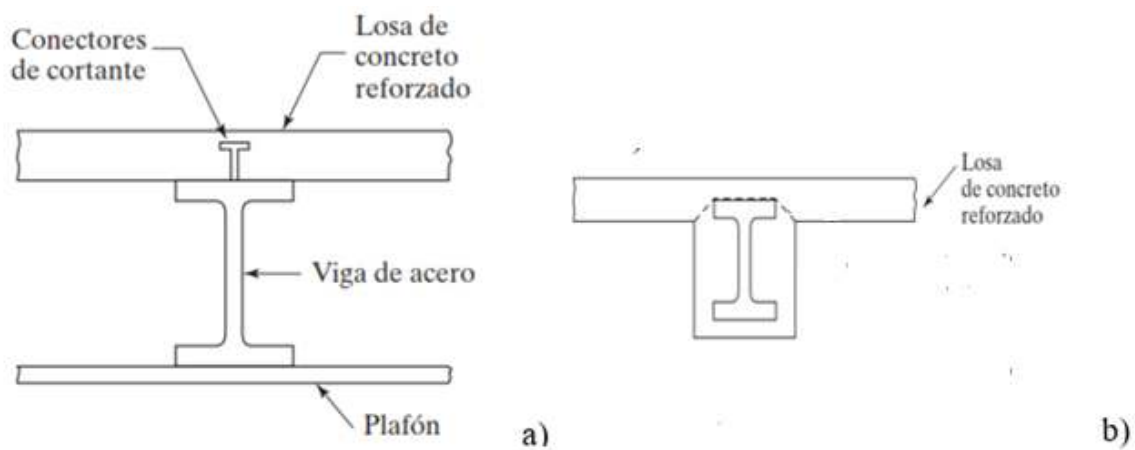
ESPECIFICACIÓN ASTM		MÍNIMO	MEDIA	MÁXIMO
ASTM A36	Esfuerzo de Fluencia ( $F_y$ ) (MPa)	248.21	324.88	434.37
	Resistencia a la tensión o esfuerzo de tensión ( $F_u$ ) (MPa)	351.63	446.50	579.16

## 2.2. VIGAS COMPUESTAS

Durante varios años se ha venido construyendo losas de hormigón sobre vigas de acero, sin embargo, el no considerar la transmisión de esfuerzos de corte entre ellas, ocasiona que los elementos trabajen por separado, por lo cual, en las últimas décadas se han realizado investigaciones para que estos actúen en conjunto, de tal manera que lleguen a soportar grandes esfuerzos. Las losas de hormigón y las

vigas de acero que trabajan en conjunto pueden llegar a lograr resistencias mayores en un 30 a 50% (McCormac & Csernak, 2013).

Este método de construcción no se introdujo hasta 1952, año en el cual el American Institute of Steel Construction (AISC) aprobó la utilización de elementos compuestos en edificaciones, especificando que las vigas compuestas con conectores de corte se utilizaban cuando las vigas no estaban embebidas en hormigón como se muestra en la figura 2.7 (a), por otra parte, los conectores no eran incorporados cuando la viga estaba embebida como se puede apreciar en la figura 2.7 (b) (McCormac & Csernak, 2013).



**Figura No. 2. 7:** Tipos de vigas compuestas para edificaciones  
Fuente: McCormac & Csernak (2013)

### 2.2.1. VENTAJAS Y DESVENTAJAS

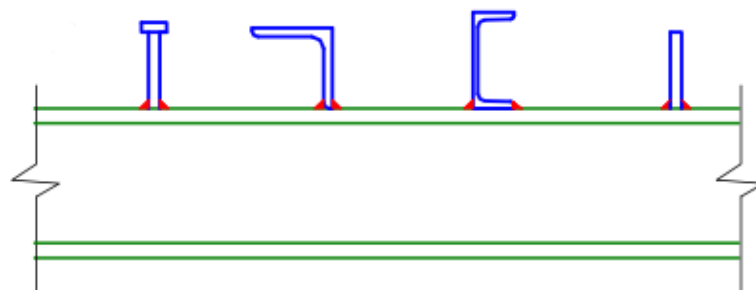
El sistema mixto o compuesto, al ser una combinación de dos o más materiales, aprovecha las propiedades más relevantes de cada uno de ellos, como la resistencia a compresión del hormigón, que permite que las losas trabajen en su mayor capacidad a compresión, así mismo, las vigas de acero tiene un mayor porcentaje de trabajo a tensión, como resultado se puede emplear menos tonelaje de acero para las mismas solicitaciones y los mismos vanos (McCormac & Csernak, 2013).

Otra de las ventajas que tienen este tipo de sistemas es que se obtienen losas de espesor reducido, disminuyendo así el peso de la estructura, además cuando se trabaja con losas colaborante se puede evitar el uso de apuntalamiento y encofrado. Si las vigas se encuentran embebidas en el hormigón como se aprecia en la figura 2.7 (b), el hormigón ayuda a protegerlas del fuego (Crisafulli, 2018).

La desventaja para implementar los conectores de corte es que se ocupa demasiado tiempo en su montaje, lo que acarrea un aumento en los costos de colocación de los mismos (McCormac & Csernak, 2013).

### 2.3. CONECTORES DE CORTE

Para asegurar que la losa pueda transmitir los esfuerzos cortantes a la viga, la carga debe transmitirse mediante conectores mecánicos, ya que la interacción entre la losa y la viga son prácticamente nulas por la superficie lisa que tiene el acero estructural (McCormac & Csernak, 2013). Para que estos conectores mecánicos puedan cumplir con su funcionamiento deben estar conectados en el patín de la viga (Chacón & Poveda, 2012). Los conectores de corte pueden tener varios tipos de forma: pernos stud, perfiles angulares, canales (C) y tornillos, como se puede observar en la figura No. 2.8 (Crisafulli, 2018). En el caso de los pernos stud se cuenta con un sistema de instalación con pistolas especiales, facilitando el proceso de colocación en obra con un tiempo aproximado de un segundo por perno (Chacón & Poveda, 2012).



**Figura No. 2. 8:** Tipos de conectores de cortes  
Fuente: Crisafulli, F. (2018)

La Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC) establece que los conectores de corte deben ser diseñados en base a la normativa AISC-360 (NEC-SE-AC, 2015). También existen diseños de conectores de corte basados en normas europeas como el Eurocódigo 4.

### 2.3.1. DIMENSIONAMIENTO

El dimensionamiento de los conectores de corte se puede basar en varias normas descritas anteriormente. Para esto, se siguen los siguientes requerimientos especificados en el ANSI/AISC-360 (McCormac & Csernak, 2013).

Para los anclajes de acero, en este caso los conectores de corte, se deben seguir las siguientes especificaciones:

- El diámetro del conector no tiene que ser mayor a 2.5 veces el espesor en el cual va a ser soldado directamente, en este caso el patín de la viga I (ANSI/AISC 360-16, 2016).
- La longitud del conector no debe ser menor a 4 veces el diámetro del perno, fórmula que se usará en el capítulo 3 (ANSI/AISC 360-16, 2016).
- La resistencia nominal al corte se especificará con la fórmula que se va a usar en el capítulo 3.
- La distancia mínima entre el centro del anclaje del conector al borde libre en donde se aplica la dirección de la fuerza de corte debe tener al menos 20 cm de distancia (ANSI/AISC 360-16, 2016).
- Los espaciamientos de centro a centro entre conectores, debe ser mínimo 6 veces el diámetro a lo largo del eje longitudinal y 4 veces el diámetro en la dirección transversal (ANSI/AISC 360-16, 2016).
- El espaciamiento entre conectores de centro a centro no debe exceder de 8 veces el espesor de la losa, ni superar los 90cm (ANSI/AISC 360-16, 2016).
- Para asegurar que su funcionamiento sea dúctil el conector de corte debe tener un desplazamiento de al menos 6 mm (UNE-EN-1994, 2013).
- Para comprobar la calidad de la suelda, una manera práctica y rápida es utilizar un martillo para dar golpes al azar a diferentes conectores hasta que se deformen en un ángulo de 25 o 30 grados, luego verificar si el conector

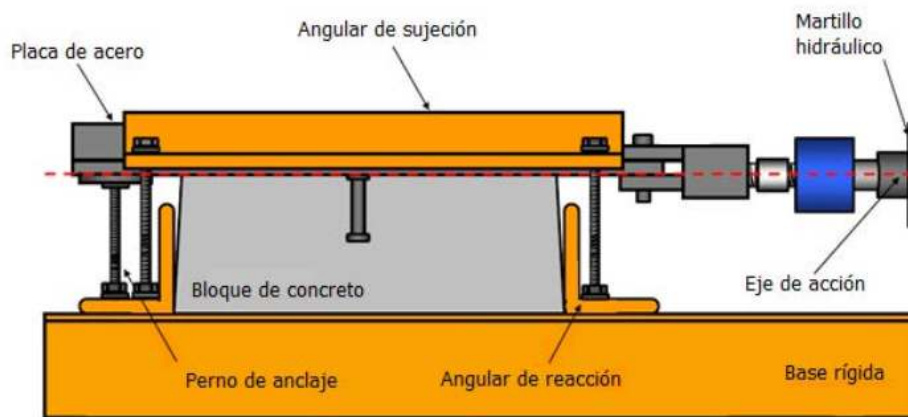
no presenta fracturas durante este proceso, de ser así los conectores quedan doblados al momento de fundir la losa, caso contrario, deberán ser reemplazados (McCormac & Csernak, 2013).

#### **2.4. TIPOS DE ENSAYO**

La falta de información para analizar el comportamiento de los conectores de corte origina que los diseños de estos sean sobreestimados, por ende, se deben realizar ensayos específicos para el análisis de los conectores que se estén empleando comúnmente en el entorno de la construcción, para su correcta verificación de diseño (García & Molina , 2008). Los ensayos que se realizan para analizar las vigas compuestas y los conectores de corte son: ensayo a corte directo con conectores en un solo patín, ensayo a corte directo cuando los conectores están ubicados en los dos patines y viga de sección completa (Chacón & Poveda, 2012).

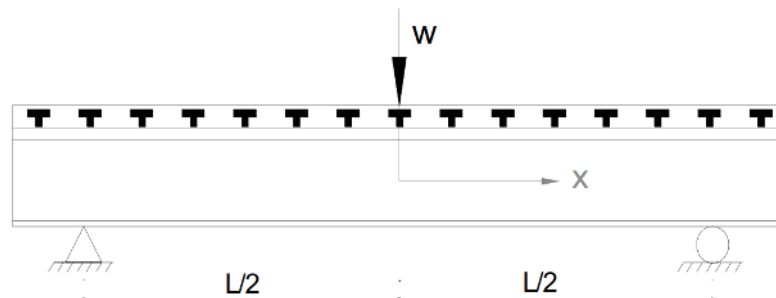
Ensayo a corte directo conectado a un solo patín, es uno de los ensayos más complicados en ejecutar debido a la colocación de las probetas, pese a que la cantidad de material que se emplea es menor comparado con los otros ensayos. Además, se debe considerar en el diseño experimental la excentricidad que puede tener el conector, ya que produce una reacción sobre el apoyo donde esté la probeta. Este ensayo es limitado debido a que el conector no está apoyado sobre una viga real, en la figura 2.9 muestra cómo se realiza la aplicación de la carga sobre la probeta (Chacón & Poveda, 2012).





**Figura No. 2. 9:** Ensayo a corte directo con el conector soldado a un patín.  
**Fuente:** Chacón & Poveda, (2012)

El ensayo de la viga compuesta en escala real es el más preciso para analizar su comportamiento, analizando todas las acciones que pueden estar presentes en una viga compuesta (deslizamientos, deflexiones, esfuerzos en los conectores, inercia real de la viga, etc.) (García & Molina , 2008). Las desventajas para el desarrollo de este ensayo se deben a su gran tamaño, puesto que, se debe emplear una mayor cantidad de materiales y requiere un gran espacio para la ubicación de las vigas en el laboratorio (Chacón & Poveda, 2012).



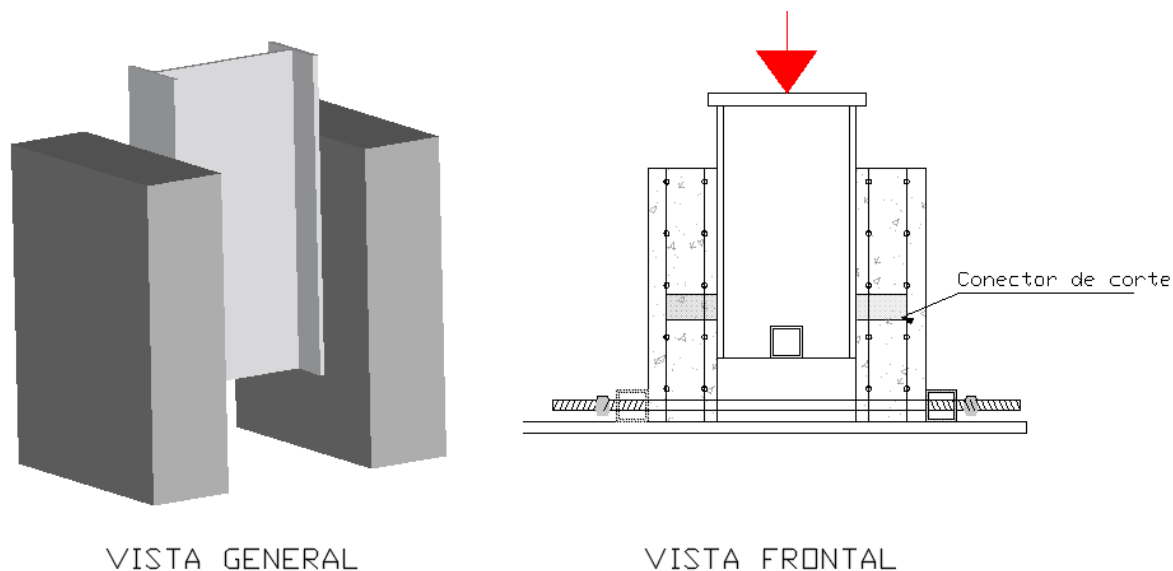
**Figura No. 2. 10:** Ensayo de viga simplemente apoyada

**Fuente:** Nei, J. & Cai, C. (2003)

**Modificado:** Franco Jonathan & Martínez Miguel

Para comprobar cómo se comporta netamente el conector, se requiere un ensayo a corte directo, en el cual se sueldan los conectores en los patines de la viga; a este ensayo se lo conoce como push-out (UNE-EN-1994, 2013), es el más usado debido a la cantidad de investigaciones científicas que se pueden encontrar. Este ensayo se encuentra normado en el Eurocodigo4, el cual da las pautas para proceder con el experimento (Bouchair, et al, 2012). En resumen, el ensayo consiste en la

aplicación de la carga que puede ser cíclica, como indica el código o monotónica. La figura 2.11 se muestra el arreglo que debe tener la probeta para el ensayo.

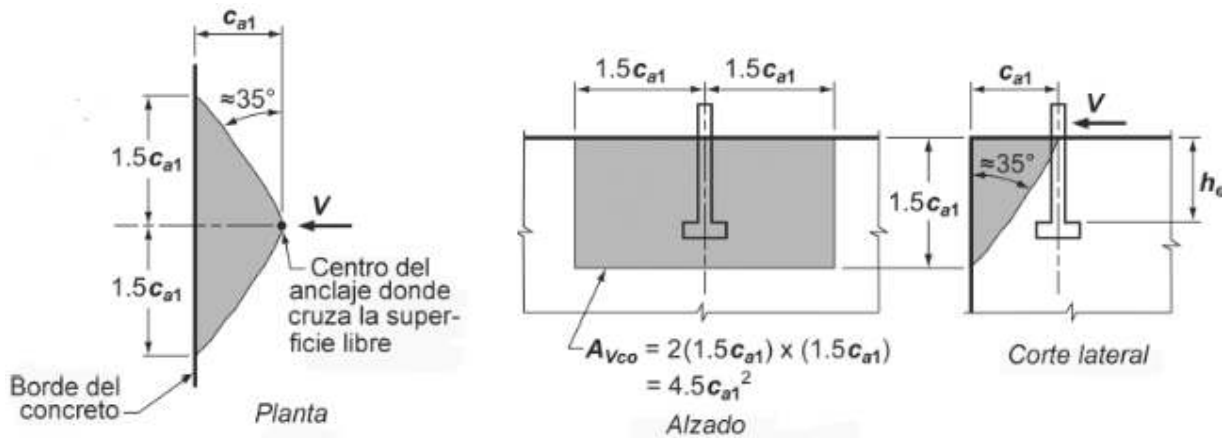


**Figura No. 2. 11:** Ensayo a corte directo cuando los conectores están soldados a dos alas  
**Elaborado:** Franco Jonathan & Martínez Miguel

## 2.5. TIPOS DE FALLAS

Existe una gran variedad de tipo de fallas para conectores de corte, conocidos también como anclajes. El código ACI-318 estipula algunas formas de fallas para anclajes (Jebara, Ozbolt, & Akanshu, 2019), incluso se puede encontrar el área de falla a corte mediante cálculos que presentan el Eurocódigo 4 (Pallarés, et al, 2020). Existen investigaciones que presentan fallas típicas que se dan en los ensayos push-out, para el caso de vigas compuestas se presentan tres tipos (Pallarés, et al, 2020).

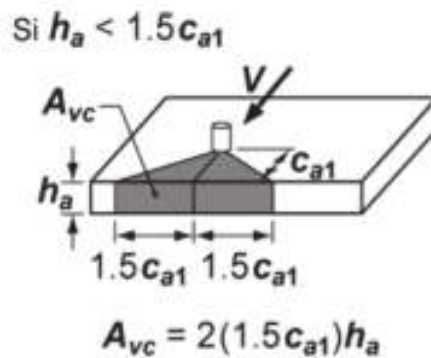
**Fallas en el concreto:** De acuerdo, con el código ACI-318 para anclajes, cuando existen anclajes soldados a un patín, indica que el anclaje que está más cercano del borde extremo de donde se aplican la carga, es el que recibe la mayor cantidad de fuerza cortante. Además, las condiciones de falla del concreto están basados en criterios de modelos de tensión indirecta, presentando así fallas conservadoras para varios tipos de anclajes, la figura 2.12 se aprecia el tipo de falla que presenta el concreto con un conector a fuerza cortante (ACI-318, 2019).



**Figura No. 2. 12:** Área de falla en el concreto de acuerdo al ACI-318

**Fuente:** ACI-318, 2014

**Modificado:** Franco Jonathan, Martínez Miguel

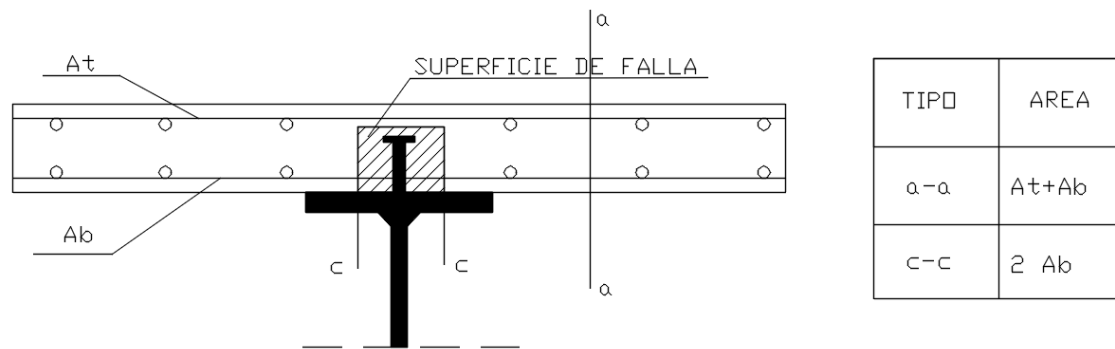


**Figura No. 2. 13:** Área de fallas en el concreto de acuerdo al ACI-318 vista isométrica

**Fuente:** ACI-318, 2019

**Modificado:** Franco Jonathan & Martínez Miguel

De igual manera, el Eurocódigo 4 presenta las fallas típicas que se pueden dar por corte en el concreto, especifica que la superficie de falla a corte está dado de acuerdo al tipo de acero que se tiene en la sección de la viga compuesta y el tipo de losa con la que se cuenta, que puede ser losa maciza, nervada o deck (UNE-EN-1994, 2013).

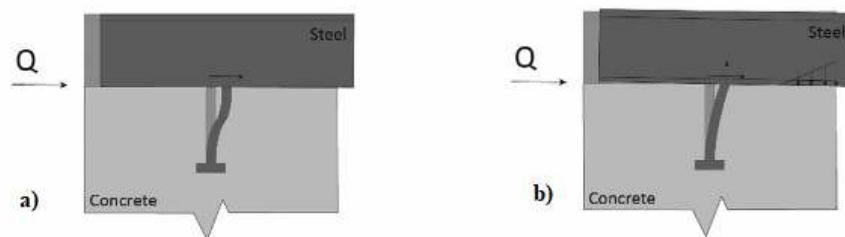


**Figura No. 2. 14:** Superficie de falla en el concreto para losa maciza

**Fuente:** Eurocódigo 4, 2013

**Modificado:** Franco Jonathan & Martínez Miguel

**Fallas en el conector.-** la falla más típica que se encuentra en estos conectores se dan antes de que el concreto presente fallas (Rivera & Molina, 2012), las cuales son por corte o por fluencia del conector (Pallarés, et al, 2020).

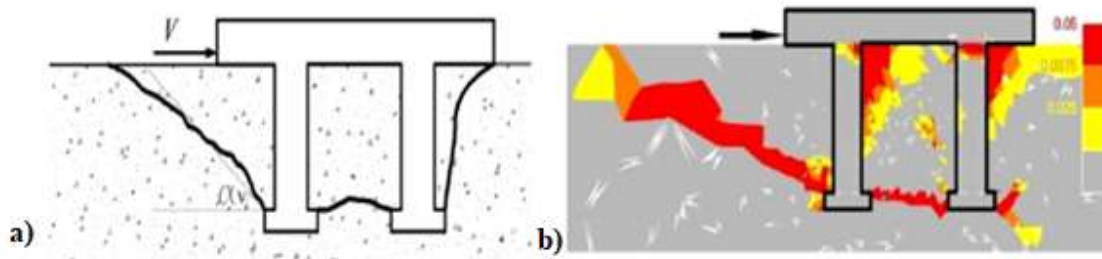


**Figura No. 2. 15:** Falla del conector de acuerdo: a) Eurocódigo 4, b) ASIC 360

**Fuente:** Pallarés, et al. (2020)

**Modificado:** Franco Jonathan & Martínez Miguel

**Fallas típicas mixtas.-** existen fallas típicas presentadas por investigaciones recientes en tipos de conectores de corte tipo stud, Jebara, et al proponen una falla combinada entre el hormigón y el anclaje, donde obtienen observaciones que al momento de aplicar la máxima carga de corte presenta grietas del concreto con respecto a los conectores (Jebara, Ozbolt, & Akanshu, 2019).



**Figura No. 2. 16:** Falla mixta del conector y el hormigón obtenida por elementos finitos a) Propuesta b) resultados de elementos finitos

**Fuente:** Jebara, Ozbolt & Akanshu. (2019)

**Modificado:** Franco Jonathan & Martínez Miguel

## 2.6. ESTUDIOS REVISADOS

### 2.6.1. Comportamiento de vigas de sección compuesta con perfiles de acero laminado y losa de concreto empleando conectores de cortante tipo tornillo grado dos.

Esta investigación fue realizada por los autores García A. & Molina M. en el año 2008 en Colombia y fue publicada por la revista Ingeniería e Investigación Vol. 28. Este estudio tiene como objetivo el análisis de los conectores de corte tipo tornillo con la implementación de una fórmula para comprobar el comportamiento real de estos conectores. En resumen, realizan un ensayo de conectores de corte indirecto, con el cual analizan a la viga compuesta en su totalidad, viendo en que afecta la variación del diámetro de los tornillos, así como el espaciamiento que tienen entre estos. Además, también realizan comparaciones cuando se cambian las resistencias del hormigón entre 21 MPa y 28 MPa esta investigación se realizó en 36 ensayos. Finalmente, determinaron que las fórmulas expuestas para los conectores de corte se pueden aplicar para cualquier tipo de conector (García & Molina , 2008).

### **2.6.2. Comportamiento y Resistencia de los conectores de corte tipo Stud soldados en vigas compuestas.**

Esta investigación fue realizada por los autores Bonilla, J; Mirambell, E; Larrúa, R & Recarey, C. en el año 2011 en Cuba y fue publicada por la revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia No. 63. El objetivo de este proyecto es proponer una nueva ecuación para la determinación del esfuerzo de los pernos stud, considerando los espaciamientos que hay entre estos. Recapitulando, se consideran varios parámetros para el modelo, tales como el contacto de todos los materiales entre sí, definiendo las condiciones de borde de las probetas, así mismo como el incremento de carga para el análisis push. Esto se realizó para 25 probetas de las cuales se basaron en los resultados obtenidos en el proyecto de Lam & Ellobody. Después de la calibración del modelo y con los resultados, se define que la mejor ecuación que se asemeja a la realidad es la que propone el Eurocódigo 4 (Bonilla, Mirambell, Larrúa, & Recarey, 2011).

### **2.6.3. Comportamiento de angulares como conectores de cortante en vigas de acero de sección compuesta**

Esta investigación es una tesis de grado para la Licenciatura en Ingeniería civil elaborada en la Universidad de Costa Rica elaborada por Chacón Vega en el año 2012. Tiene como objetivo el estudio experimental de los ángulos como conectores de corte en una viga compuesta. En resumen, este proyecto propone tener 4 tipos de ángulos de diferentes espesores, cada uno con 3 probetas para el ensayo, y así poder calibrar la ecuación del esfuerzo último que tiene los conectores de corte dictado por el ANSI-AISC 360 para pernos stud, así también teniendo como resultado la forma en como falla y el tipo de desgaste que tienen estos ángulos como conectores de corte, todo esto se hace mediante la obtención de los resultados de un ensayo Push Out. Se presentaron inconvenientes al dictaminar el procedimiento de ensayo debido a que ninguna norma indica cómo se debe proceder la velocidad de carga, además algunos ángulos fallaron por soldadura debido a la falta de experiencia para el diseño de este (Chacón & Poveda, 2012).

#### **2.6.4. Comportamiento a la corrosión de conectores de corte tipo Stud bajo cargas.**

Este estudio fue realizado por los autores Ju Chen, Ao-Yu Jiang y Wei-Liang Jin en el año 2016 en China y fue publicado en la 5th Conferencia internacional de la durabilidad en las estructuras de concreto. El principal objetivo de esta investigación es determinar los efectos producidos por la corrosión en los conectores de corte tipo stud mediante un análisis con probetas en un ensayo Push-Out. Resumiendo, este proyecto propone en buscar los tipos de efectos que se producen en los pernos stud que no se consideran en la vida, real tales como, la reducción de la resistencia por fatiga de los conectores por el efecto de la corrosión, para el diseño de la probeta, así como la estimación de la carga para el ensayo que se basan en las especificaciones descritas por el Eurocódigo 4. En conclusión, este proyecto tuvo resultados satisfactorios que determinaron que la corrosión es un factor fundamental que se evita en el diseño de las estructuras que afecta a su resistencia durante su vida útil (Chen, Jiang, & Jin, 2016).

#### **2.6.5. Ensayo Push-Out para conectores de corte en vigas compuestas de hormigón reforzado con polímeros de fibra de vidrio (GFRP) en losas deck para puentes.**

Esta investigación fue escrita por los autores Hailin Huang, Lin Chen, Chuijun Zeng y Mingqiao Zhu en el año 2018 y fue publicada por la revista Journal of Advanced Concrete Technology. Como enfoque principal de este proyecto es el estudio del polímero reforzado con fibras de vidrio (GFRP) como conectores de corte en una losa maciza. Básicamente, analizaron las fallas que se presentaron al final de cada ensayo de las probetas, ubicando las fallas del hormigón, así como de los conectores, donde las fallas más evidentes se presentaron en las losas y los conectores permanecieron intactos para 6 tipos probetas sin reforzamiento, pero cuando se tenían las probetas con reforzamiento se evidencian fallas en los conectores, las cuales se ubican en la base de estos. Se presenta un análisis de la carga versus desplazamiento, donde indican en que momentos las fallas comenzaron a producirse y se evidencian desplazamientos considerables para el ensayo. Como conclusión los conectores de corte van variando su resistencia

cuando estos se les aumentaron el reforzamiento de los GFRP pero van disminuyendo la ductilidad de estos (Huang, Li, Chen, Zeng, & Zhu, 2018).

#### **2.6.6. Ensayo Push-Out de pernos stud en vigas compuestas utilizando losa deck – Efecto de la fuerza de corte sobre la longitud del perno soldado sobre la losa deck.**

Este estudio fue llevado a cabo por los autores Horita Y, Tagawa Y & Asada H. en el año 2012 y fue publicada por Curran Associates para la 15ava conferencia de Ingeniería sísmica en Lisboa. El proyecto tiene como objetivo el estudio de los pernos stud como conectores de corte, su influencia en la resistencia de corte y los modos de falla mediante un análisis Push-out. Usaron dos tipos de pernos stud los cuales van variando su longitud para ver el efecto que estos tenía, luego de la cresta superior de las losas deck. Analizando así los efectos que se presentan mediante el ensayo push out monotónico, determinando que las ecuaciones presentadas en el AISC para los diámetros de 19 mm, para las probetas de 25 mm no considera todos los efectos, demostrando que se debe tener mayor cuidado con los diseños (Horita, Tagawa, & Asada, 2012).

#### **2.6.7. Simulación Numérica del comportamiento de conectores de cortante tipo tornillo en un sistema de sección compuesta ante sollicitación de corte directo**

Este proyecto fue realizado para la obtención del título master en ingeniería de estructuras por el autor Rivera Jorge como directora del proyecto PhD. Molina Maritzabel en el año 2012 publicada en la Universidad Nacional de Colombia. Como objetivo tiene el análisis de las secciones compuestas mediante una simulación numérica de ensayos experimentales antes ya realizados. Primero realizaron ensayos Pull-Out para comprobar cómo se evidencian las fallas en los pernos y en las losas, sin embargo, no eran tan confiables al momento de modelar. Por eso optaron por modelar los experimentos encabezados por Molina donde emplearon el ensayo push-out, por lo tanto, utilizaron todos los ensayos aplicados por Molina mediante ensayos push-out. Así mismo, las ecuaciones para la resistencia en el cual incluyen los espaciamientos de los conectores tienen cierta restricción para desplazamientos mayores a 0.14m, de los cuales las resistencias presentadas en



los modelos superan en un 20% a la obtenida por la ecuación (Rivera & Molina, 2012)

#### **2.6.8. Comportamiento estático y de fatiga de los conectores de corte en vigas compuestas.**

Deng, W., Xiong, Y., Liu, D. & Zhang, J., publicaron esta investigación en el año 2019 en la revista *Journal of Constructional Steel Research*, tiene como objetivo el estudio de 3 tipos de conectores de corte, uno de los cuales es el tipo ángulo, mediante el ensayo push-out, para dos aplicaciones diferentes de carga, monotónico y repetitivo. Para corroborar los resultados obtenidos de los ensayos, los autores realizan modelos computacionales para el análisis de los mismos, en el programa computacional ABAQUS. En resumen, los autores analizan la curva carga-deslizamiento de los ensayos, donde extraen las cargas características, así como los deslizamientos, que se encuentran en la curva y realizan un breve análisis de la ductilidad del conector, así como su capacidad a corte. También, analizan la rigidez que el sistema tiene, así como su degradación paulatina durante el transcurso del ensayo. Llegando a la conclusión de que las grietas más relevantes en el hormigón se dan 20% antes de llegar a la carga última, también se evidencia que no aparecen nuevas fisuras en la losa de hormigón después de que la carga última descendiera en un 30%, determinando así, que las grietas que aparecieron hasta la carga última son las que afectan al ensayo, el análisis de los 3 conectores mediante el análisis que emplean, determina que el conector de ángulo tiene mejor capacidad a corte que los conectores T-PBL (se denominan T-PBL o Perfobond rib, por la forma que toman al momento de unirlos, como se muestra en la figura 2.17), así mismo como mejor degradación de rigidez, pero no presentan mejor comportamiento que los conectores tipo canal (Deng, Xiong, Liu, & Zhang, 2019).



un comportamiento similar con los conectores de corte tipo canal (Titoum et al, 2016).

## CAPITULO 3

### METODOLOGÍA

#### 3.1. MATERIALES

##### 3.1.1. HORMIGÓN

Es uno de los materiales más utilizados en la construcción debido a sus excelentes propiedades físicas y mecánicas, que deben ser comprobadas mediante ensayos de laboratorio; entre los más importantes se tiene el ensayo a compresión, con el cual se obtiene su resistencia y módulo de elasticidad; además, se puede analizar el estado del hormigón mediante ensayos in situ, como es el caso del ensayo de asentamiento, utilizando el método del cono de Abrams, que consiste en medir la consistencia que tiene el hormigón fresco, para corroborar su manejabilidad (Pico Ponce, 2019). Estos ensayos son fundamentales para confirmar que las consideraciones de resistencia que tuvo el ingeniero civil al diseñar la obra civil se están cumpliendo.

La siguiente tabla muestra la resistencia del hormigón con la cual se desarrolló el diseño de las losas, y los datos que se debe obtener al realizar el ensayo a compresión.

**Tabla No. 3.1:**

*Datos y ensayos que se deben obtener del hormigón a emplearse en las probetas.*

**Elaborado:** Jonathan Franco & Miguel Martínez.

Hormigón a emplearse		
Resistencia del hormigón	24 MPa	
Ensayos a realizar	Compresión	
Datos por obtener	Resistencia (MPa)	7 días
		15 días
		28 días
	Módulo de elasticidad	50 días en adelante

### 3.1.2. ACERO

Las propiedades mecánicas del acero que se emplean en el proyecto deben cumplir con las estipulaciones mínimas que establece la norma ecuatoriana para estructuras de acero. Debido a que el proyecto se basa en vigas compuestas, el acero a emplearse no debe sobrepasar de 345 MPa del esfuerzo de fluencia; además, debe pertenecer a los tipos de aceros que existen en el mercado, como el A36 y A50.

La siguiente tabla especifica el tipo de resistencia que debe tener cada uno de los aceros mencionados de acuerdo con la norma ASTM (NEC-SE-AC, 2015).

#### Tabla No. 3.2:

*Propiedades a tensión de las planchas de acero de acuerdo a la ASTM*

**Fuente:** NEC-SE-AC, (2015)

**Modificado:** Jonathan Franco & Miguel Martínez.

Especificación ASTM	Esfuerzo de Fluencia ( $F_y$ ) (MPa)	Esfuerzo de Tensión ( $F_u$ ) (MPa)
ASTM A36	250	340-550
ASTM A572 Gr50	345	450
ASTM A588 Gr50	345	483

Para corroborar que tipo de acero se está empleando en el proyecto, se debe realizar ensayos a tracción de los elementos de la viga y conectores, para el análisis real con respecto a lo teórico (UNE-EN-1994, 2013).

### 3.1.3. SECCIÓN DE LOS ELEMENTOS

Como el proyecto se concentra en el análisis de los conectores de corte tipo ángulo, en dos posiciones diferentes, se mantendrá la geometría de la probeta estipulada en la sección 3.2 que se basa en el Eurocódigo 4 y proyectos experimentales realizados. Así mismo, las dimensiones del ángulo se basarán en el diseño estipulado en el capítulo 2 y a la vez se deberá mantener una sección constante para todos los elementos que se vayan a diseñar.

### 3.1.4. SELECCIÓN DE VARIABLES

Cuando la investigación no parte de una población para realizar el estudio, los investigadores deben recurrir a ecuaciones estadísticas que ayudan a obtener un número de sujetos de observación, convirtiéndose en una de las soluciones que se pueden aplicar en esta investigación, puesto que, existe incertidumbre, al no tener un número de probetas o de muestras estandarizadas en una norma (Lozano, 2011).

La ecuación para determinar el número de probetas, se obtiene mediante la fórmula que presenta Zimmermann en su libro estadística para investigadores, sin embargo Lozano modificó esta ecuación para evitar realizar ensayos innecesarios, reducir el tiempo y dinero empleado para una investigación (Lozano, 2011). A continuación, se presenta la ecuación para determinar el número de probetas.

$$n = \frac{W - w^2 \cdot Z_{\beta} + 1.4 \cdot Z_{\alpha}}{w^2} \quad \text{Ec (3.1)}$$

Donde:

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

N = Número mínimo de muestras, observaciones o réplicas que deben efectuarse en el estudio.

Z $\alpha$  = Valor correspondiente al nivel de confianza asignado (Riesgo de cometer un error tipo I). Tabla No.3.3.

Z $\beta$  = Valor correspondiente al poder estadístico o potencia asignada a la prueba (Riesgo de cometer un error tipo II). Tabla No.3.4.

**Tabla No. 3.3:***Diferentes niveles de confianza.***Fuente:** Zimmermann, 2004

Nivel de Confianza (1- $\alpha$ )		
A	%	Z $\alpha$
0.050	95.0	1.960
0.025	97.5	2.240
0.010	99.0	2.576

**Tabla No. 3.4:***Diferentes niveles del poder estadístico***Fuente:** Zimmermann, 2004.

Poder estadístico (1- $\beta$ )		
B	%	Z $\beta$
0.20	80.0	0.842
0.15	85.0	1.036
0.10	90.0	1.282

Para poder emplear esta ecuación en una investigación, el autor Lozano recomienda que se debe usar un poder estadístico de  $\beta=80\%$  y cualquier tipo de nivel de confianza que el investigador desee optar, pero típicamente para el poder estadístico establecido se suele usar el valor de confianza del 95% (Lozano, 2011). 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 No. 3.5:***Número de probetas que se deben ensayar.***Elaborado:** Jonathan Franco & Miguel Martínez.

W=	0.97	97%
Z $\beta$ =	0.842	80%
Z $\alpha$ =	1.96	95%
n=	5.9	

La tabla 3.5 resume los parámetros para determinar el número de probetas con el que se va a trabajar, dando como resultado 6 probetas. Adicionalmente, se utilizará una probeta para realizar un ensayo monotónico, quedando un total de 7 probetas

para ensayar. En la tabla 3.6 se especifica: el número total de probetas, la resistencia del hormigón y la posición del conector de corte.

**Tabla No. 3.6:**

*Número de probetas totales obtenidas mediante estadística*

**Elaborado:** Jonathan Franco & Miguel Martínez

$f'_c$ (MPa)	Forma conector	Angulo(°)	Posición conector	# de probetas
24	L	0	L	7
24	L	45	$\wedge$	7
Total probetas				14

## 3.2. DIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS EXPERIMENTALES

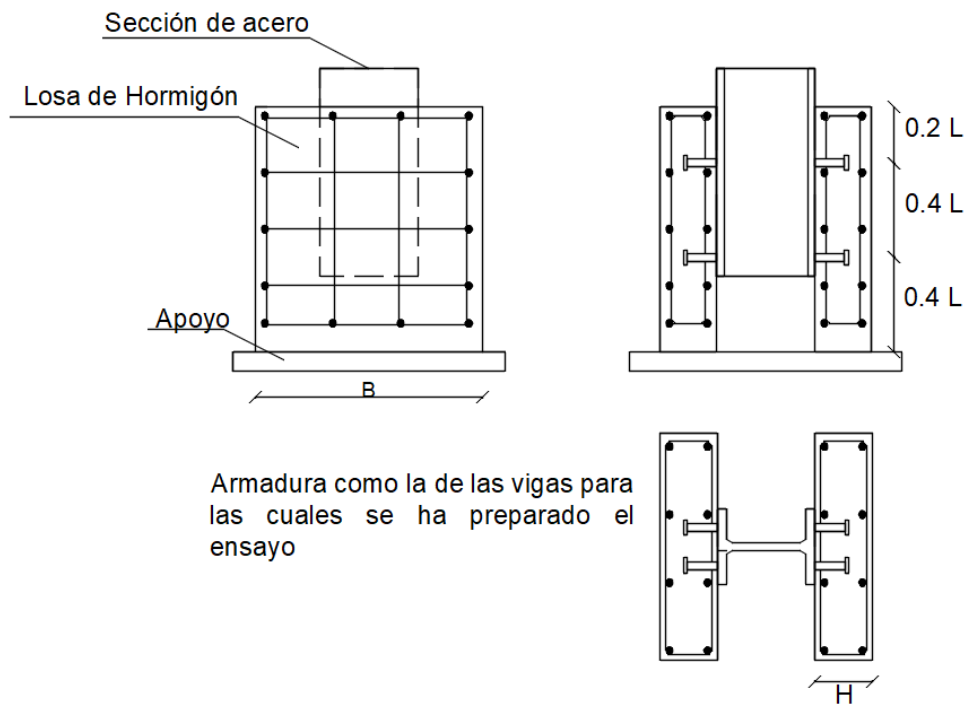
### 3.2.1. LOSA MACIZA DE HORMIGÓN

Los criterios de diseños para los elementos estructurales de hormigón armado empleados en el Ecuador se rigen con el código ACI-318 y la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC-15), mismos que establecen los parámetros de diseño para losas macizas, bidireccionales y unidireccionales.

#### 3.2.1.1. DIMENSIONAMIENTO DE LA LOSA

Para determinar la forma de la probeta se utiliza el Eurocódigo 4, anexo B.2 “Ensayo de conectores”, el cual detalla algunos parámetros que se deben tomar en cuenta (UNE-EN-1994, 2013), sin embargo el dimensionamiento de la losa se basará en investigaciones previas, ya que se quiere analizar 1 conector por lado (2 en total) y no 4 conectores como lo estipula el Eurocódigo 4.





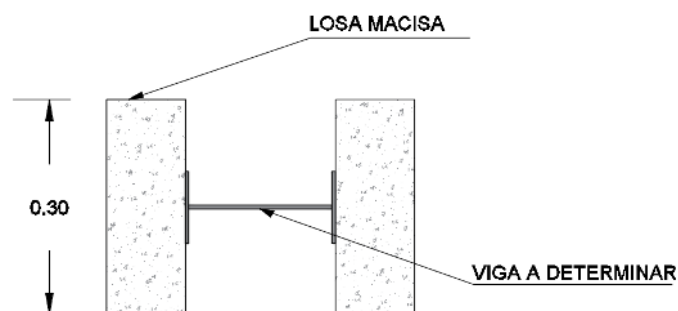
**Figura No. 3. 1:** Probeta de ensayo de conectores de corte [mm]

**Fuente:** Eurocódigo 4, (2013)

**Modificado:** Jonathan Franco & Miguel Martínez

### 3.2.1.2. ANCHO DE LA PROBETA

Hurtado & Molina emplean en sus probetas de losa maciza un ancho de  $b=30\text{cm}$ , donde obtuvieron resultados favorables (Hurtado, Molina, & Linero, 2008). Rogel & Tenorio emplean el mismo ancho para sus probetas push-out pero estas fueron con losa deck (Rogel & Tenorio, 2018). En consideración con lo anterior, la losa tendrá un ancho de 30 cm para su elaboración.



**Figura No. 3. 2:** Determinación del ancho de la viga.

**Elaborado:** Jonathan Franco & Miguel Martínez

### **3.2.1.3. LONGITUD DE LA PROBETA**

Los requerimientos del Eurocódigo 4, indica que, la longitud que debe tener la probeta está relacionada con la separación de los conectores (UNE-EN-1994, 2013). Las probetas realizadas por Hurtado y Molina, presentan un modelo el cual analiza 1 conector tipo espiga y la longitud del espécimen que usaron para la probeta fue de 50 cm de largo (Hurtado, Molina, & Linero, 2008), los modelos de ensayo de Rogel y Tenorio presentan una longitud de 60 cm de largo, obtenidas de la separación que tiene la losa deck usada y empleando 2 conectores a cada lado en este sentido (Rogel & Tenorio, 2018) por otro lado las probetas empleadas por los autores Shariati et al, tienen probetas de largo de 30 cm para conectores tipo canal (Shariati, et al, 2014). Para determinar la longitud de la probeta se usó como referencia los diseños de las investigaciones antes mencionadas, estableciendo una longitud de 40cm, considerando además que se usará un solo conector en cada lado.

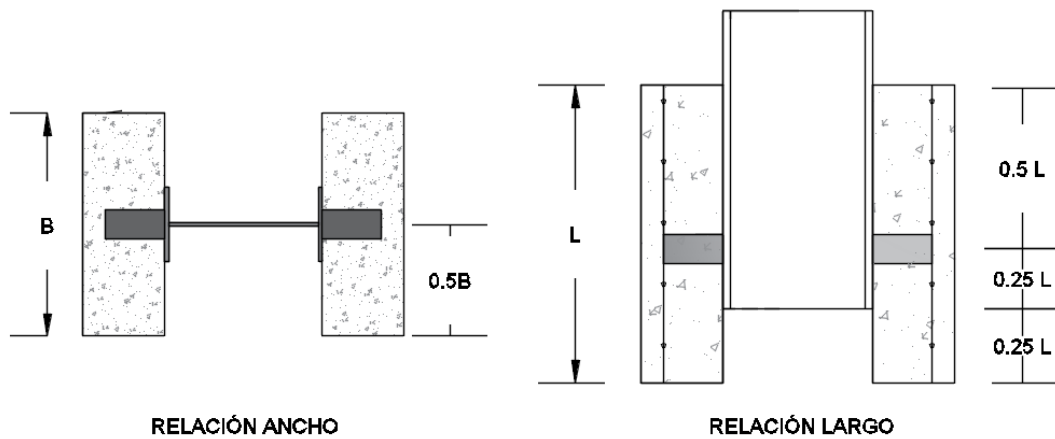
### **3.2.1.4. ESPESOR DE LA PROBETA**

Los autores Pavlović et al, en su investigación Bolted shear connectors vs headed studs behaviour in push-out test presentan un espécimen de prueba con un espesor de 12 cm para su análisis (Pavlović, Marković, Veljković, & Budevaca, 2013), por otra parte los autores Shariati et al, en su investigación del 2014, titulada Experimental assessment of angle shear connectors under monotonic and fully reversed cyclic loading in high strength plantean un espécimen con un espesor de 15 cm (Shariati, et al, 2014). Razón que, para la longitud de la probeta a ensayar se opta por reducir el espesor que presenta Pavlović et al en su investigación en menos de 1 cm, quedando un espesor de 11 cm.

### **3.2.2. UBICACIÓN DE LOS CONECTORES**

La ubicación de los conectores de corte tipo ángulo, se basa en la sección I8-2d, de la norma ANSI/AISC 360, referente a los conectores tipo stud, señalando que la distancia mínima del eje central del conector hasta el borde de la cara donde va a estar apoyada debe ser no menos de 20 cm (ANSI/AISC 360-16, 2016), correspondiéndose al prototipo de ensayo en caso de 20 cm al ser la mitad de 40

cm. A continuación, la figura No.3.3 presenta la relación que tiene la ubicación del conector con respecto a la longitud y ancho de la losa.



**Figura No. 3. 3:** Ubicación de los conectores.  
**Elaborado:** Jonathan Franco & Miguel Martínez

### 3.2.3. CONECTOR TIPO ÁNGULO

Se determina la capacidad resistente usando las fórmulas expuestas a continuación:

- El ANSI/AISC 360 para los anclajes de acero expuestos en la sección I8 subgrupo 2ª especifica la resistencia de pernos conectores de corte, donde expone que la resistencia de los mismos que están embebidos en una losa de concreto sólido o una placa colaborante de acero se la determina como (ANSI/AISC 360-16, 2016):

$$Q_n = 0.5 \cdot A_{sa} \cdot \sqrt{f'_c \cdot E_c} \leq R_g \cdot R_p \cdot A_{sa} \cdot F_u \quad \text{Ec (3.2)}$$

Donde

$A_{sa}$  = Área de la sección transversal del stud o perno a corte, mm<sup>2</sup>

$E_c$  = módulo de elasticidad del concreto

$F_u$  = resistencia mínima a tracción del conector MPa

$R_g$  = Coeficiente de efecto de grupo

$R_p$  = Coeficiente para considerar el efecto de posición

Se considera esta fórmula debido a los experimentos realizados en el país y en los países extranjeros como es el caso de Costa Rica en la investigación realizada por de los autores Chacón y Poveda que determina el conector de corte a usar mediante la ecuación expuesta, afirmando que la fórmula sirve para determinar la resistencia en un perfil tipo ángulo (Chacón & Poveda, 2012). Así mismo como los múltiples ensayos realizados en Colombia donde aplican la ecuación Ec 3.2 para el análisis de los conectores, esta fórmula debe ser aplicada cuando en el país no existen ensayos para dicho conector, así partiendo desde un análisis de las normativas existentes (García & Molina , 2008).

Como se indica en la sección 3.1.3 se opta por trabajar con una sección constante. En los ensayos realizados por Rogel & Tenorio, aplicaron un ángulo de dimensión de 40x40x4 mm mismo que se analizará en este proyecto (Rogel & Tenorio, 2018). Este conector presenta un área de 308 mm<sup>2</sup> de acuerdo con la norma INEN 2224 (NTE INEN 2224, 2013). El proveedor del ángulo especifica que, las propiedades mecánicas son de un acero A36 con un  $F_u=340$  MPa.

.A continuación, se realiza el análisis de los requerimientos mínimos y máximos expuestos en la sección 2.3.1, para confirmar si esta sección cumple con estos.

Desarrollo

Para iniciar se requiere el área de la sección del ángulo antes impuesto.

$$A_{sa}=308 \text{ mm}^2$$

Como se trabaja en el Ecuador de acuerdo a las normas técnicas de construcción NEC para el cálculo del módulo de elasticidad del hormigón de peso normal se usará la ecuación expuesta en la sección 3.3.3 del NEC-SE-HM:

$$E_c = 4700 \cdot \sqrt{f'_c} \quad E_c (3.3)$$

Donde

$E_c$  = Módulo de elasticidad del concreto, MPa

$f'_c$  = Resistencia a la compresión del Hormigón, MPa

Desarrollo

$f'_c = 24$  MPa

$$E_c = 4700 \cdot \sqrt{24} = 23025.2 \text{ MPa}$$

En el ANSI-AISC-360 en la sección I8.2<sup>a</sup> presenta los valores de  $R_g$  y  $R_p$  para diferentes casos.

**Tabla No. 3.7:**

*Tabla para determinar los valores de los coeficientes  $R_g$  y  $R_p$*

**Fuente:** ANSI-AISC- 360, (2016)

CONDICIÓN	$R_g$	$R_p$
Sin plancha colaborante de acero	1	0.75
Plancha colaborante orientada paralelamente al perfil de acero		
$\frac{w_r}{h_r} \geq 1.5$	1	0.75
$\frac{w_r}{h_r} < 1.5$	0.85**	0.75
Plancha orientada perpendicularmente al perfil de acero		
Número de conectores ocupando el mismo nervio		
1	1	0.6+
2	0.85	0.6+
3 o más	0.7	0.6+
$h_r$ = altura nominal del nervio		
$w_r$ = ancho promedio del nervio o ménsula de concreto		
** para perno individual		
+ este valor puede aumentarse a 0.75 cuando $e > 51$ mm		

Para resolver la ecuación Ec. 3.2, se toma de la tabla 3.7 los valores del caso sin placa colaborante, debido a que las probetas a analizar tienen una losa maciza.

$$R_g=1$$

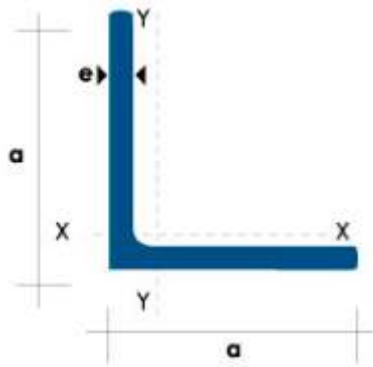
$e_{mind-ht}$  = Distancia desde el borde del cuerpo del stud de anclaje al alma de la placa de acero, mm

$$R_p=0.75$$

$$Q_n=0.5 \cdot 308 \cdot \sqrt{24 \cdot 23025.2} \quad ? \quad 1 \cdot 0.75 \cdot 308 \cdot 340$$

$$Q_n=114.48 \text{ kN} > 78.54 \text{ kN}$$

Como se tiene una resistencia mayor en la parte izquierda de la ecuación se determina que la falla de la probeta push-out se va a dar por parte del acero y no por parte del hormigón. Se toma el menor valor siendo una resistencia de 78.54 kN para el diseño de los conectores de corte.



**Figura No. 3. 4:** Esquema del ángulo  
Fuente: DIPAC, 2011

Con los requerimientos especificados en capítulo 2 sección 2.3.1 se usará la norma extranjera que rige el diseño de estructuras de acero en el país, ANSI-AISC-360, con el objetivo de verificar la longitud mínima del conector de corte, para realizar este análisis se debe llevar el área del ángulo a un diámetro equivalente de perno (D), mediante la igualdad de áreas.

## Desarrollo

$$A_{sa} = \pi \cdot r^2 = 308 \text{ mm}^2$$

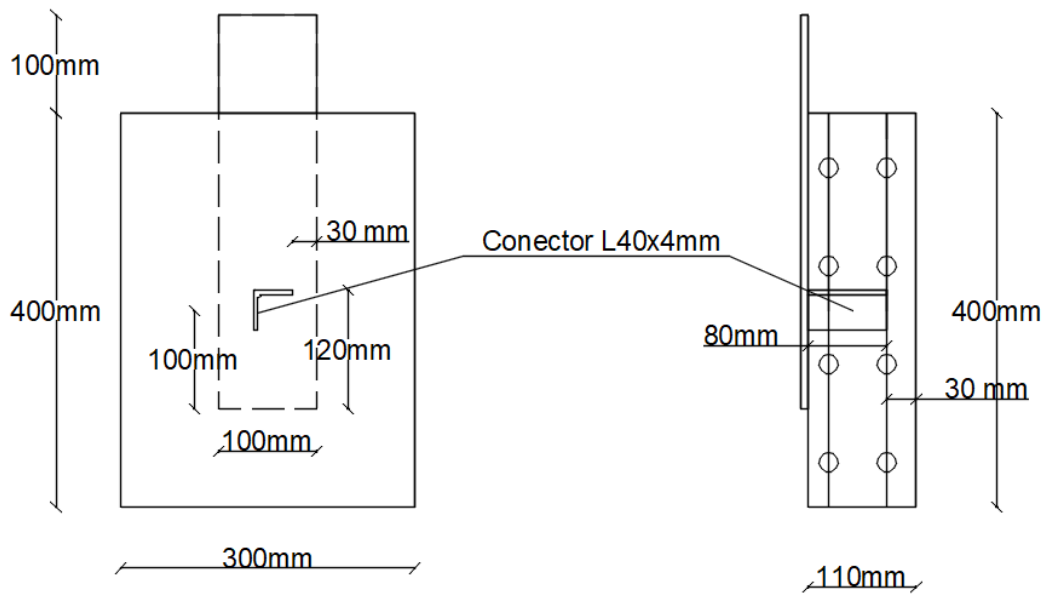
$$r = \sqrt{\frac{A_{sa}}{\pi}} = \sqrt{\frac{308}{\pi}} = 9.9 \text{ mm}$$

$$D = 2 \cdot r = 2 \cdot 9.9 = 19.8 \text{ mm}$$

$$L_{\text{min conector}} = 4 \cdot \phi_c = 4 \cdot 19.8 = 79.21 \text{ mm}$$

Para determinar el largo del conector de corte y siguiendo los requerimientos que se exponen en la Norma Ecuatoriana de Construcción, se usará las dimensiones de los recubrimientos que se debe dejar para colocar el acero, para estimar la altura del conector, estos recubrimientos son de 25 mm para la sierra y de 35 mm para la costa (NEC-SE-HM, 2015). Como el ensayo a realizar está situado en la sierra ecuatoriana se opta por un recubrimiento mínimo de 25 mm. Se determina usar como longitud del conector 80mm, cumpliéndose con la mínima requerida y al ser el espesor de la losa de 110mm, quedarían 30mm de recubrimiento. Esta es una de las razones por la cual el espesor de la losa que se eso es de 11 cm, pues de usarse el tradicional 10cm no cumpliría con las especificaciones anteriores.

Dado a lo calculado anteriormente y determinado el largo del conector, se ve que la longitud optada es mayor a la longitud mínima del conector, en la siguiente figura se presenta como quedaría el ángulo en la probeta.



**Figura No. 3. 5:** Ubicación del conector de corte en la probeta push-out  
**Elaborado:** Jonathan Franco & Miguel Martínez

### 3.2.4. ACERO DE TEMPERATURA

Todo elemento conformado de hormigón necesita llevar acero de refuerzo, el cual ayuda a que el hormigón mejore sus cualidades, en el caso de las losas debe de llevar el acero de temperatura, acero que se requiere para minimizar la fisuración, efecto producido por la retracción y temperatura perpendicular al refuerzo principal. El área de refuerzo de la losa puede distribuirse cerca de la cara superior e inferior de la losa (ACI-318, 2019).

$$A_s = 0.0018 \cdot b \cdot t \quad E_c (3.4)$$

Donde:

b= ancho a analizar, cm

t= espesor de la losa, cm

Para el ancho se asume el valor de 1m, en la sección 3.2.1.4 se determina el valor de t

$$A_s = 0.0018 \cdot 100 \cdot 11$$

$$A_s = 1.98 \text{ cm}^2 (10 \text{ } \varnothing 5 \text{ mm})$$



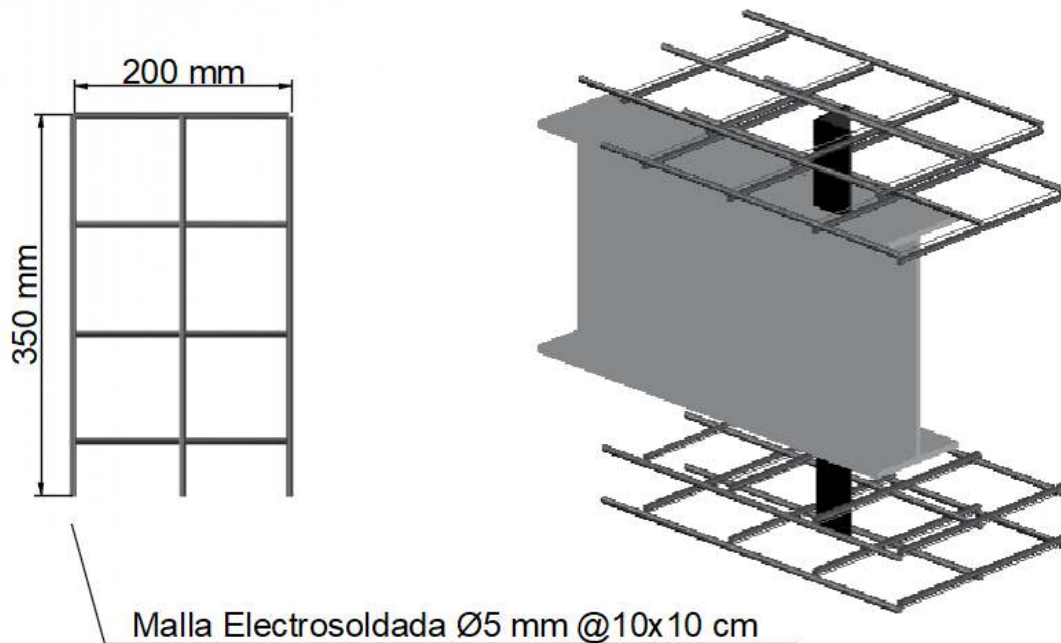
$$A_s = \varnothing 5 \text{ mm @ } 10 \text{ cm}$$

La máxima separación de varillas es el menor de 5 veces el espesor de la losa o 45cm

$$S_{\max} = 5 \cdot 11 = 55 \text{ cm}$$

Quedando un espaciamiento máximo por norma de 45cm, y al colocarse 10cm se cumple con esto.

Debido a que el conector no presenta una cabeza como lo tiene el stud o perno, que ayuda a evitar el levantamiento entre la losa y la viga, se consideró que se debe soldar la malla electrosoldada al conector para evitar este deslizamiento y suplir así las funciones que tiene la cabeza del stud o perno.



**Figura No. 3. 6:** Vista en 3D de la distribución del acero en la probeta push-out

**Elaborado:** Jonathan Franco & Miguel Martínez.

### 3.2.5. VIGA METÁLICA

Para determinar el tipo de viga a usar, se requiere la carga nominal de estudio, para esta investigación sería las cargas que soportan los conectores de corte, se utiliza esta carga debido a que el conector es el principal objeto de estudio. En el diseño de los conectores de corte, se calcula la primera carga nominal usando la expresión del ANSI/AISC-360 para el caso del perno resultando un valor de 78.54 kN.

No obstante, no es óptimo realizar un solo cálculo de carga nominal, pues la expresión usada corresponde al perno y en este caso se usará un ángulo, por tanto, se procede a analizar más casos en los cuales la fórmula del ANSI/AISC-360 ha sido modificada por varios autores.

En su ensayo Hurtado utiliza una ecuación formulada para el diseño de secciones compuestas, con conectores tipo perno la cual estima la carga máxima por corte, para hormigón de 24 MPa (Hurtado, Molina, & Linero, 2008), siendo la siguiente:

$$\sum Q_n = 0.9 \cdot \sqrt{E_c \cdot f'_c \cdot n_c \cdot \emptyset} \quad E_c \text{ (3.5)}$$

Donde

$E_c$  = módulo de elasticidad del concreto, MPa

$f'_c$  = resistencia a compresión del concreto, MPa

$n_c$  = número de conectores del sistema a analizar

$\emptyset$  = Diámetro del conector, m

Desarrollo

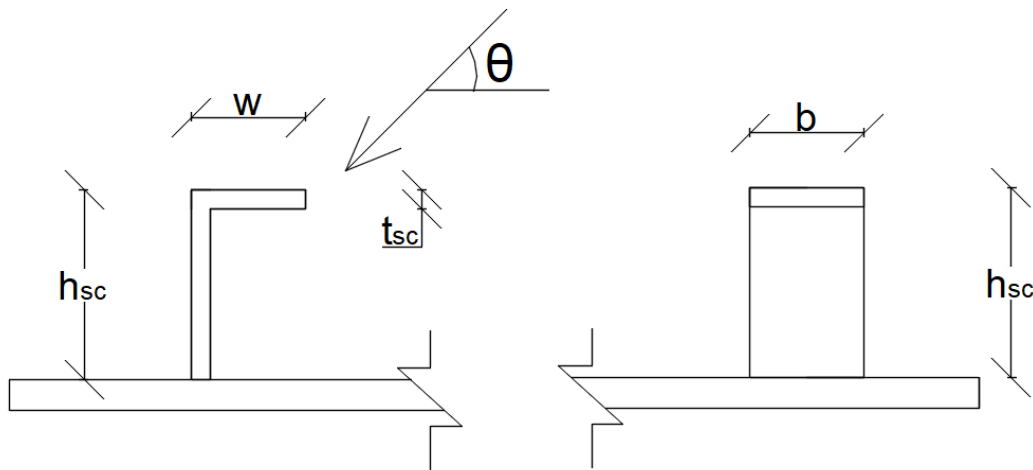
Para el caso se analiza un perfil tipo ángulo, para asemejar cómo se comporta este se lleva el área que se tiene del ángulo elegido a un área que tiene un perno, lo cual sería un diámetro equivalente. Ya anteriormente para determinar la altura mínima del conector se determinó el mismo, correspondiendo  $D = \emptyset = 0.0198\text{m}$ .

$$\sum Q_n = 0.9 \cdot \sqrt{23025.2 \cdot 24 \cdot 1 \cdot 0.0198}$$

$$\sum Q_n = 94.14 \text{ kN}$$

Debido a que en este ensayo no se tiene una separación entre conectores de corte, se omite la ecuación analizada en el ensayo de Rogel & Tenorio y propuesta en el ensayo de Hurtado.

Soty & Shima, en su estudio para la formulación de la carga a corte de los conectores de corte tipo L, determina que el ángulo crítico de falla, la cual está en función de la altura y del espesor del ángulo, está determinado por la siguiente ecuación (Soty & Shima, 2013).



**Figura No. 3. 7:** Conector ensayos Soty & Shyma  
Elaborado: Soty & Shima, 2013.

$$\theta_0 = -210 \cdot (t_{sc}/h_{sc}) + 41(^{\circ}) \quad \text{Ec (3.6)}$$

Esta fórmula ayuda a determinar qué tipo de coeficiente  $k$ , se puede emplear en la fórmula, la cual determina la capacidad a corte del conector que proponen los autores Soty & Shima, se basa en los componentes del conector como lo es su ancho y su altura, también tiene que ver el tipo de hormigón en el cual va a estar embebido (Soty & Shima, 2013).

$$k = 36 \cdot (t_{sc}/h_{sc}) + 0.66 \quad \text{Si } \theta \leq \theta_0 \quad \text{Ec (3.7)}$$

$$k = 28 \cdot (t_{sc}/h_{sc}) + 0.7 \quad \text{Si } \theta > \theta_0 \quad \text{Ec (3.8)}$$

$$V = k \cdot \sqrt{f'_c} \cdot h_{sc} \cdot b_{sc} \cos(\theta) \quad \text{Ec (3.9)}$$

Donde

$k$  = constante  $k$

$t_{sc}$  = Espesor del ángulo (mm)

$h_{sc}$  = Altura del ángulo (mm)

$b_{sc}$  = ancho del ángulo (mm)

$\theta_0$  = Ángulo crítico de falla en base a los elementos del conector ( $^\circ$ )

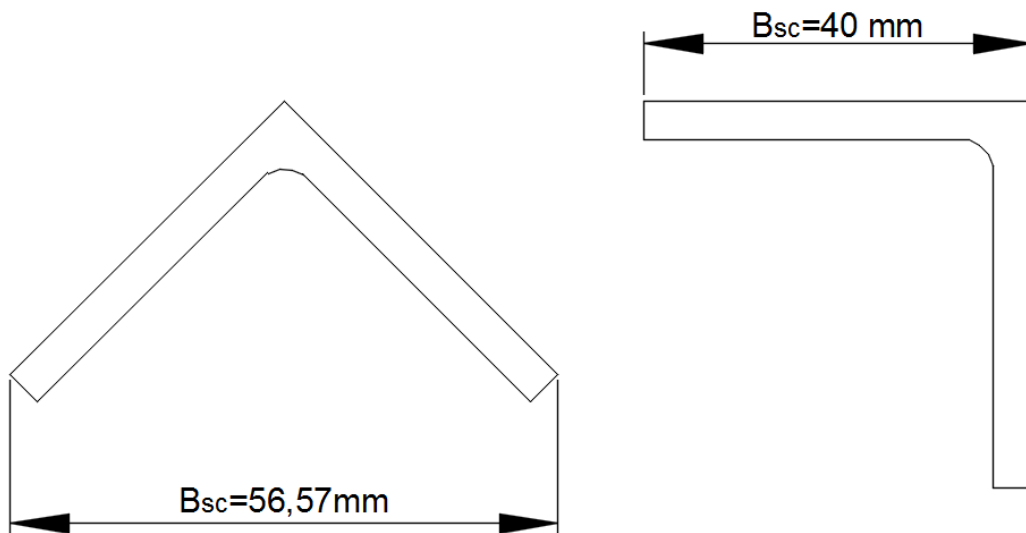
$\theta$  = Ángulo en el cual va a estar aplicada la fuerza del ensayo ( $^\circ$ ).

$f'_c$  = Resistencia del hormigón de diseño (MPa).

$V$  = Capacidad a corte del conector (N).

Desarrollo

Para desarrollar las anteriores ecuaciones, se considera los elementos del ángulo ya preseleccionados, además, la figura 3.8 muestra los valores de  $b_{sc}$ . Se procede a determinar el valor del ángulo de falla crítica.



**Figura No. 3. 8:** Valores de  $b_{sc}$ , conector a  $45^\circ$  y  $90^\circ$   
**Elaborado:** Jonathan Franco & Miguel Martínez.

$$\theta_0 = -210 \cdot (4 / 80) + 41$$

$$\theta_0 = 30.50^\circ$$

Y el ángulo que forma la carga con el patín de la viga es de  $0^\circ$ , debido a la forma del ensayo push-out. Por lo tanto,  $\theta < \theta_0$  y se emplea la ecuación 3.7 para determinar la constante k.

$$k = 36 \cdot (4 / 80) + 0.66 = 2.46$$

Para el conector a  $90^\circ$  se tiene una base de 40 mm, a continuación, se determina la resistencia a corte.

$$V = 2.46 \cdot \sqrt{24} \cdot 80 \cdot 40 \cos(0)$$

$$V = 38564.76 \text{ N} = 38.56 \text{ kN}$$

Para el conector a  $45^\circ$  se tiene una base de 56.57 mm, a continuación, se determina la resistencia a corte.

$$V = 2.46 \cdot \sqrt{24} \cdot 80 \cdot 56.57 \cos(0)$$

$$V = 54540.22 \text{ N} = 54.54 \text{ kN}$$

De los resultados antes expuestos en las ecuaciones Ec.3.2, Ec.3.5, Ec.3.9 se elige la carga máxima de todos los resultados con la cual se diseña el elemento a compresión, esta carga se multiplica por 2 debido a que existen 2 conectores que se van a analizar en la probeta quedando la siguiente carga.

$$Q_i = 94.14 \text{ kN} = 9.60 \text{ t}$$

$$\sum Q = 94.14 \text{ kN} \cdot 2 = 188.28 \text{ kN} = 19.20 \text{ t}$$

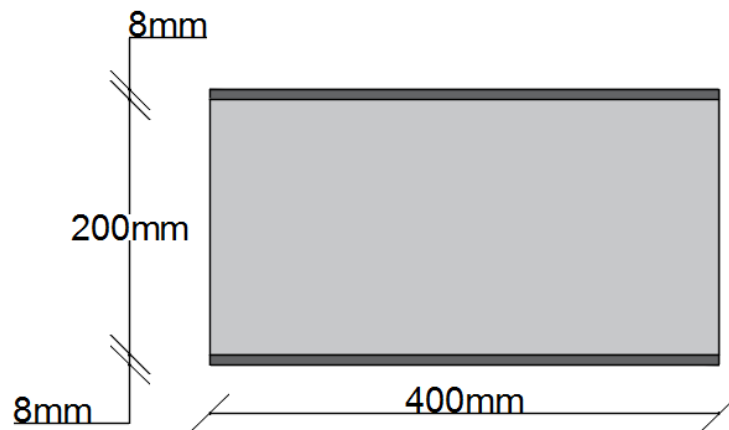
### 3.2.5.1. DISEÑO DEL ELEMENTO A COMPRESIÓN

De acuerdo con el ANSI-AISC-360 los requisitos generales para el análisis y diseño de estructuras de acero debe aplicarse de acuerdo a los requerimientos expuestos en el capítulo B sección B3, donde indica las bases de diseño, como se va a proceder a ensayar la viga a compresión se utiliza la sección de "DISEÑO DE MIEMBRO A COMPRESIÓN", con el que se rige el diseño.

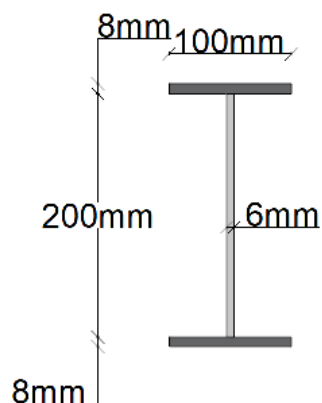
Datos iniciales para el diseño de la viga.

- Carga de diseño 19.20 t
- Longitud de la probeta que se requiere es de 40cm

En la siguiente figura se detalla el tipo de viga "I" que se va a formar, las dimensiones de la sección se basan en la viga ensayada por Rogel & Tenorio con un simple cambio del espesor en el alma y en el patín (Rogel & Tenorio, 2018), el cual va a tener espesores semejantes a los encontrados en el mercado Ecuatoriano.



**Figura No. 3. 9:** Vista lateral de la viga tipo I  
Elaborado: Jonathan Franco & Miguel Martínez



**Figura No. 3. 10:** Dimensiones de la sección de la viga tipo I  
Elaborado: Jonathan Franco & Miguel Martínez

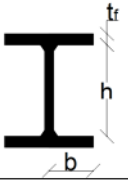
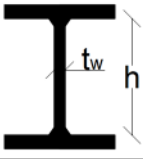
### 3.2.5.2. CLASIFICACIÓN DEL PERFIL I SEGÚN PANDEO LOCAL

En el código de ANSI/AISC 360-16 sección B4.1b se procede al análisis de la viga escogida por los atributos ya antes especificados, para ver si esta es esbelta o no esbelta, se aplica la tabla B4.1ª del AISC-360 los casos usados se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla No. 3.8:**

*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 $\lambda_r$ (Esbello-No Esbelto)	Elemento
<b>ELEMENTOS NO ATIESADOS (ALA DE LA SECCIÓN)</b>				
2	Alas de perfil I soldado y planchas o ángulos conectados a secciones soldadas	$b/t_f$	$0,64 \sqrt{\frac{K_c \cdot E}{F_y}}$	
<b>ELEMENTOS ATIESADOS (ALMA DE LA SECCIÓN)</b>				
5	Almas de secciones I con doble simetría y secciones canal	$h/t_w$	$1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

A) Para el ala de la sección, elemento no atiesado

Razón Ancho- Espesor

$$\frac{b}{t_f} = \frac{50\text{mm}}{8\text{mm}} = 6.25$$

Razón Límite Ancho-Espesor  $\lambda_r$  (Esbello-No Esbelto)

$$\lambda_r = 0.64 \sqrt{\frac{K_c \cdot E}{F_y}} \quad \text{Ec (3.10)}$$

Donde

- $K_c$  = coeficiente para elementos no atiesados

- E= Módulo de elasticidad del Acero, MPa.
- $F_y$ = Esfuerzo mínimo de fluencia especificada para el tipo de acero empleado, MPa.

Solución

$$K_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{t_w}}} = \frac{4}{\sqrt{\frac{200}{6}}} = 0.69 \quad 0.35 \leq K_c \leq 0.76$$

$$0.35 < 0.69 < 0.76 \text{ OK}$$

$$\lambda_r = 0.64 \sqrt{\frac{0.69 \cdot 2 \cdot 10^5}{250}} = 15.03$$

Por lo tanto  $\lambda_r > b/t_f$

Como en el ala de la sección a compresión, la razón ancho-espesor no sobrepasa a  $\lambda_r$  se determina que el ala es no esbelta.

B) Para el alma de la sección, elemento atiesado

Razón Ancho- Espesor

$$\frac{h}{t_w} = \frac{200\text{mm}}{6\text{mm}} = 33.33$$

Razón Límite Ancho-Espesor  $\lambda_r$  (Esbelto-No Esbelto)

$$\lambda_r = 1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{Ec (3.11)}$$

Donde

- E= Módulo de elasticidad del Acero, MPa.
- $F_y$ = Esfuerzo mínimo de fluencia especificada para el tipo de acero empleado, MPa

Solución



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

Por lo tanto  $\lambda_r > h/t_w$

Como en el alma de la sección a compresión, la razón ancho-espesor no sobrepasa a  $\lambda_r$  se determina que el alma es no esbelta.

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


### 3.2.5.3. DISEÑO DE MIEMBRO A COMPRESIÓN

El diseño está basado en la sección E del ANSI/AISC 360-16, a continuación, se presenta la tabla No. 3.9 basada en la tabla E1.1 de la norma, en el cual se especifica las condiciones que se deben basar para el diseño de la viga.

**Tabla No. 3.9:**

*Determinación del tipo de análisis para los elementos a compresión*

**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	FB	E7	LB
	E4	TB		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”.

### 3.2.5.4. ANÁLISIS DE PANDEO POR FLEXIÓN DE LA VIGA I NO ESBELTA

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

$$F_e = \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{K \cdot L}{r}\right)^2} \quad \text{Ec (3.12)}$$

Donde:

- K= Factor de longitud efectiva
- L= Longitud del elemento a compresión, mm
- r = Radio de giro de la sección transversal, mm
- E= Módulo de elasticidad del acero, MPa
- $F_e$  = Esfuerzo de pandeo elástico, MPa

El proceso para la obtención de los siguientes resultados mostrados en la tabla No.3.10 se puede apreciar la parte anexo 1 (Valores de pandeo por flexión).

**Tabla No. 3.10:**

*Resultados para el análisis de pandeo por flexión*

**Elaborado:** Jonathan Franco & Miguel Martínez

Área [mm <sup>2</sup> ]	2800
Inercia X [mm <sup>4</sup> ]	21314133.33
Inercia Y [mm <sup>4</sup> ]	1336933.334
r [mm]	21.85
K	1

Cálculo del esfuerzo para pandeo flexural

$$F_e = \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{K \cdot L}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{\left(\frac{1 \cdot 400}{21.85}\right)^2}$$

$$F_e = 5889.96 \text{ MPa}$$

### 3.2.5.5. RESISTENCIA DE PANDEO TORSIONAL A COMPRESIÓN DE ELEMENTOS NO ESBELTOS

Se debe usar la siguiente ecuación para determinar el esfuerzo por pandeo torsional para aquellos elementos que tienen simetría doble:

$$F_e = \left[ \frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_z \cdot L)^2} + G \cdot J \right] \cdot \frac{1}{I_{xx} + I_{yy}} \quad \text{Ec (3.13)}$$

Donde

E=módulo de elasticidad del acero, MPa

$C_w$ =factor constante de alabeo en  $\text{mm}^6$ .

$K_z$ = longitud efectiva para pandeo torsional.

G= módulo elástico de corte, MPa

J= constante para la torsión  $\text{mm}^4$ .

$I_{xx}$ =momento de inercia para el eje X en  $\text{mm}^4$ .

$I_{yy}$ =momento de inercia para el eje Y en  $\text{mm}^4$ .

La determinación de los anteriores factores se los podrá apreciar en el anexo 1 (Valores para pandeo torsional), en la siguiente tabla se presentan los valores de cada uno de estos factores.

**Tabla No. 3.11:**

*Resultados para el análisis de pandeo por torsión*

**Elaborado:** Jonathan Franco & Miguel Martínez

<b>Módulo Elasticidad [MPa]</b>	2·10 <sup>5</sup>
<b>Inercia X [mm<sup>4</sup>]</b>	21314133.33
<b>Inercia Y [mm<sup>4</sup>]</b>	1336933.334
<b><math>C_w</math> [mm<sup>6</sup>]</b>	14.460·10 <sup>9</sup>
<b>K</b>	1
<b>L (mm)</b>	400
<b>G [MPa]</b>	77200
<b>J [mm<sup>4</sup>]</b>	48372.9819

$$F_e = \left[ \frac{\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 14.460 \cdot 10^9}{(1 \cdot 400)^2} + 77200 \cdot 48372.9819 \right] \cdot \frac{1}{21314133.3 + 1336933.334}$$

$$F_e = 8040.57 \text{ MPa}$$

De los análisis se escoge el menor valor de esfuerzo que se obtiene para torsión y flexión.

$$F_e = 5889.96 \text{ MPa (Pandeo Flexural "FB")}$$

Para obtener el esfuerzo crítico por pandeo a flexión se lo determina de la siguiente manera:

$$\frac{F_y}{F_e} \leq 2.25 \text{ (Trabajo inelástico)}$$

Entonces

$$F_{cr} = \left[ 0.658 \frac{F_y}{F_e} \right] \cdot F_y \quad \text{Ec (3.14)}$$

$$\frac{F_y}{F_e} > 2.25 \text{ (Trabajo elástico)}$$

Entonces

$$F_{cr} = 0.877 \cdot F_e \quad \text{Ec (3.15)}$$

Entonces para un  $F_y = 250 \text{ MPa}$  se obtiene un factor de

$$\frac{250}{5889.96} < 2.25$$

$$0.037 < 2.25 \text{ (Trabajo inelástico)}$$

Entonces

$$F_{cr} = [0.658^{0.037}] \cdot 250 = 245.59 \text{ MPa}$$

### 3.2.5.6. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN NOMINAL

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g \quad \text{Ec (3.16)}$$

Donde

$F_{cr}$  = Esfuerzo crítico en MPa.

$A_g$  = Área bruta de la sección transversal de la viga en  $\text{mm}^2$ .

$$P_n = 245.60 \cdot 2800 = 687680 \text{ N} = 687.68 \text{ kN}$$

Resistencia de diseño a compresión

$$\phi \cdot P_n = 0.9 \cdot 687.68 = 618.912 \text{ kN} = 63.11 \text{ t}$$

Se realiza la comprobación para saber si la viga aguantará la resistencia máxima que deben tener los conectores de corte a ensayar, este valor es de 19.20 t se representará como Q, para cumplir con lo anterior se debe comprobar lo siguiente.

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

**Tabla No. 3.12:**

*Comprobación para que la viga no falle a compresión*

**Elaborado:** Jonathan Franco & Miguel Martínez.

SECCIÓN DE VIGA	RESISTENCIA A COMPRESIÓN [t]	RESISTENCIA DE LOS CONECTORES [t]	OBSERVACIÓN
TIPO I (216X100X6X8)mm	63.11	19.20	OK

### 3.3. UBICACIÓN DE LOS STRAIN GAGES

Para definir el lugar donde irá posicionado los strain gages se usa un programa computacional que determina los mayores esfuerzos ubicados entre el patín de la viga y el conector de corte en este caso el ángulo, también con el apoyo técnico de los ingenieros del Centro de Investigación de la Vivienda (CIV) de la Escuela Politécnica Nacional (EPN) se determina cual modelo es el más óptimo y donde se debe ubicar los strain gages. Los modelos realizados se aplican en un análisis estático el cual lleva la carga que soporta cada uno de los conectores.

#### 3.3.1. MODELACIÓN DEL CONECTOR EN LA POSICIÓN DE 90°

##### 3.3.1.1. MODELO 1

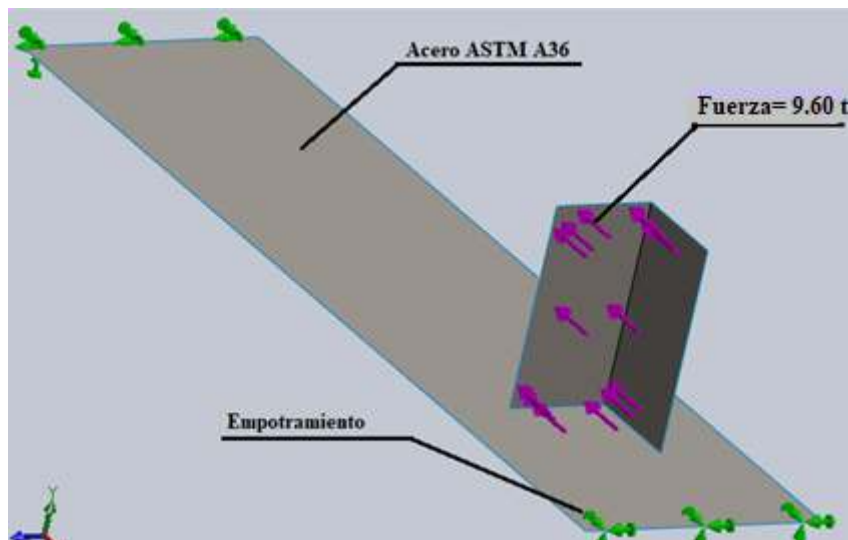
El primer modelo simplifica la probeta y solo analiza los elementos de acero, en este caso sería la unión del patín y el conector, de acuerdo con el Eurocódigo 4 y los ensayos realizados por Hurtado & Molina, la carga para el ensayo push-out es aplicada en un extremo de la viga y supuestamente este se reparte equitativamente para los dos lados de las losas donde están ubicados los conectores (García & Molina, 2008), de esta manera la carga teórica que el conector va a soportar es de 9.60 t y esta se reparte en el área donde va a estar soportada la carga, es decir

para el área de sección 40x80 mm. La figura No.3.11 muestra el área del conector donde está aplicada la fuerza.

Como este es el primer modelo va a ser muy burda la aproximación de los resultados, a continuación, se muestra el listado para las condiciones de borde:

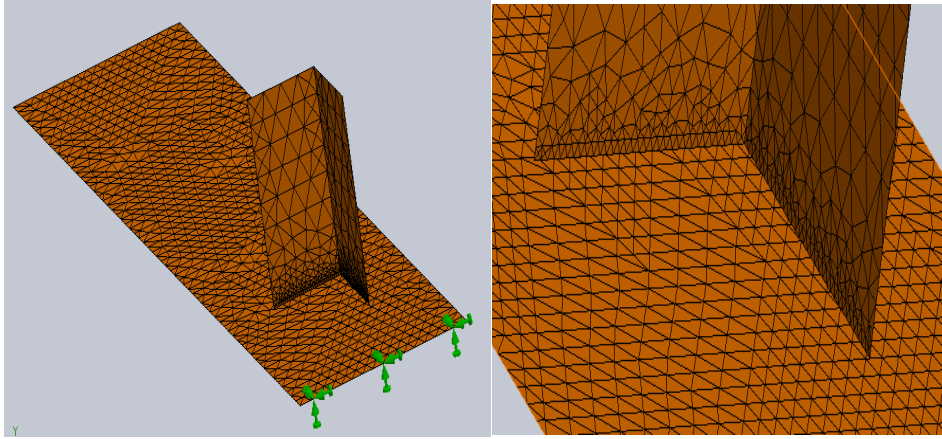
- Se elige el material ASTM A36 para el conector y para el patín, estos vienen por defecto en el programa
- Se definen los espesores del patín y del ángulo
- Se realiza la conexión a soldadura, con electrodo E60 de diámetro de 5mm.
- Empotramiento en los extremos del patín y carga del conector en el sentido del ensayo
- Se realiza un enmallado para obtener mejores resultados

Se presenta las condiciones de borde que tiene este primer modelo.



**Figura No. 3. 11:** Condiciones de borde para el Modelo computacional  
**Elaborado:** Jonathan Franco & Miguel Martínez

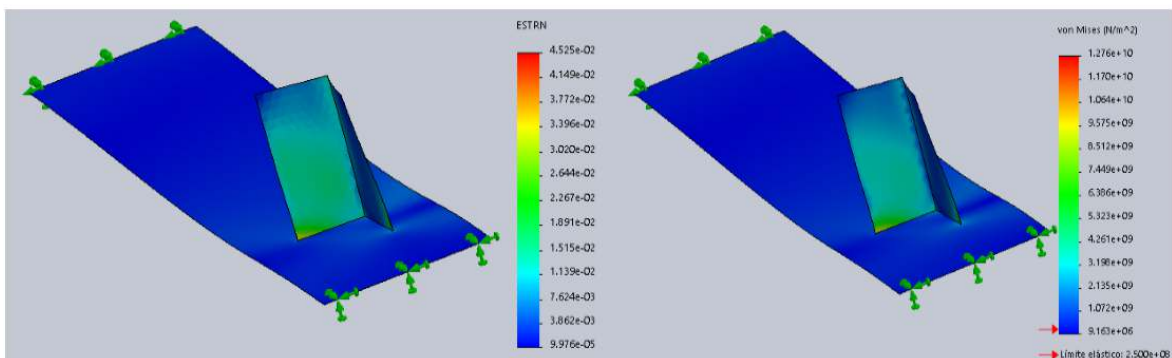
A continuación, se demuestra la probeta con el enmallado obtenido por el programa.



**Figura No. 3. 12:** Malla creada por el software de modelado infinito para acero.  
**Elaborado:** Jonathan Franco & Miguel Martínez

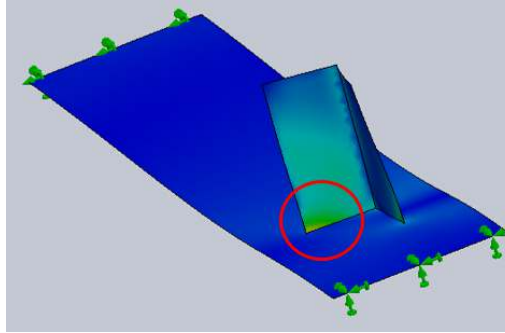
Como se puede observar, la malla que genera el programa no une los nodos entre los elementos vistos. Por ende, como primer modelo puede estar arrojando resultados pocos confiables, por el tipo de malla que se tiene.

La figura No.3.13 muestra las deformaciones unitarias y los esfuerzos de von Mises que presentan el conector, donde la zona con mayor deformación y esfuerzo se presenta en la parte inferior izquierda del conector.



**Figura No. 3. 13:** Deformaciones unitarias y esfuerzos presentadas en el conector.  
**Elaborado:** Jonathan Franco & Miguel Martínez

La figura No.3.14 muestra la zona ideal para colocar los strain gages de acuerdo a las mayores deformaciones unitarias presentadas en la figura anterior.



**Figura No. 3. 14:** Ubicación de los mayores esfuerzos presentados en el conector de corte  
**Elaborado:** Jonathan Franco & Miguel Martínez

### 3.3.1.2. MODELO 2

Debido a que el modelo 1 tiene gran similitud en las zona de falla obtenidas en la investigación de Chacón & Poveda para los conectores de corte tipo ángulo en una posición de  $70^\circ$  con respecto a la viga (Chacón & Poveda, 2012), se opta por mejorar el modelo presentado anteriormente, colocando la estructura casi completa para ver cómo sería su comportamiento en las acciones provocadas por la fuerza que resiste el conector.



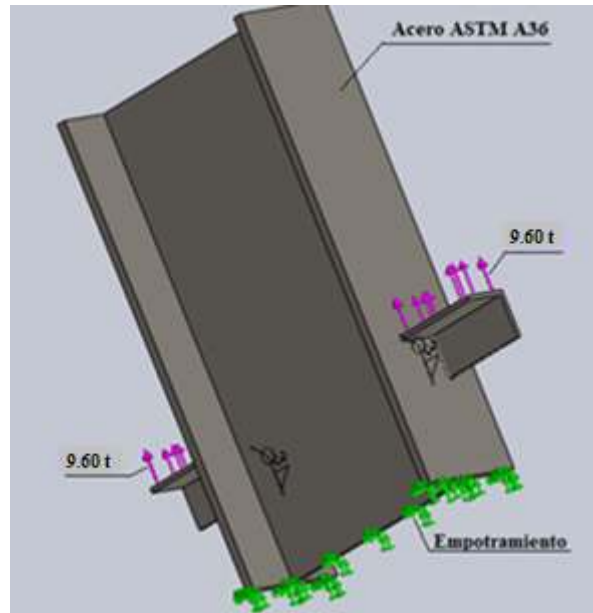
**Figura No. 3. 15:** Modos de falla del conector de corte tipo ángulo.  
**Fuente:** Chacón & Poveda, (2012)

### Condiciones de Borde

Este modelo trata las piezas como sólidos, llevándolo un poco más a la realidad así teniendo una mejor aproximación del que tenía el modelo anterior. Las condiciones que se crean más convenientes para la simulación de los conectores de corte deben ser aplicadas de acuerdo a experimentos ya realizados, como es el caso de la distribución de la fuerza para ambos conectores, usando el material de acero A36

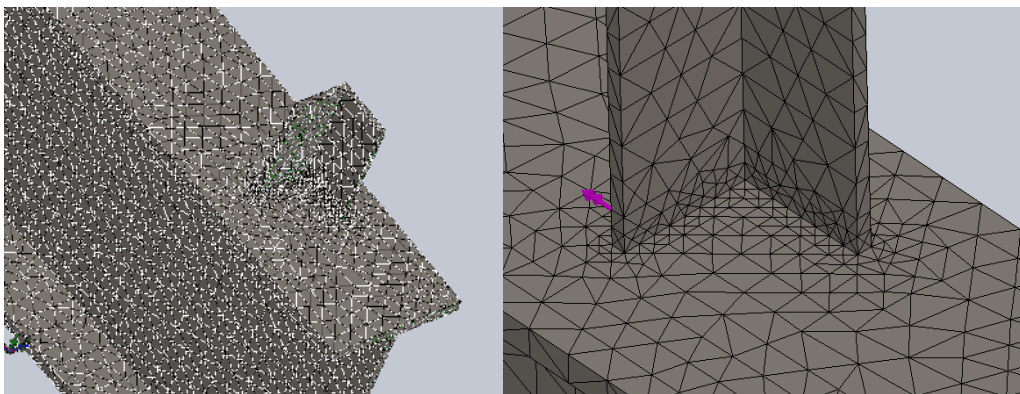


para la viga y A36 para el conector, los apoyos se tienen un solo lado de la cara. En la figura No.3.16 se presentan las condiciones aplicadas a la probeta.



**Figura No. 3. 16:** Condiciones de Borde del modelo.  
**Elaborado:** Jonathan Franco & Miguel Martínez.

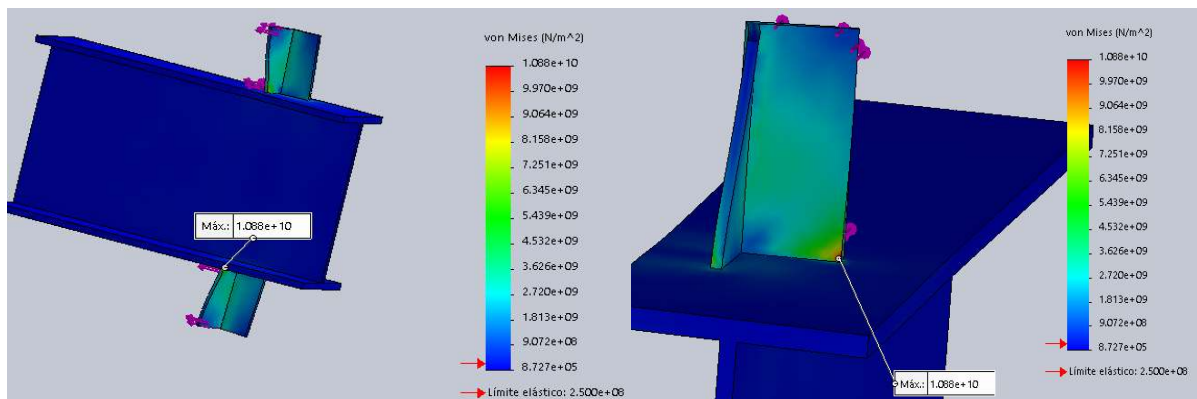
Además, se mejora el mallado del modelo anterior, se considera que la unión entre la viga y el conector es una conexión rígida, esto provoca que los nodos del mallado de la viga se enlacen con los nodos del mallado de los conectores, como muestra la siguiente figura.



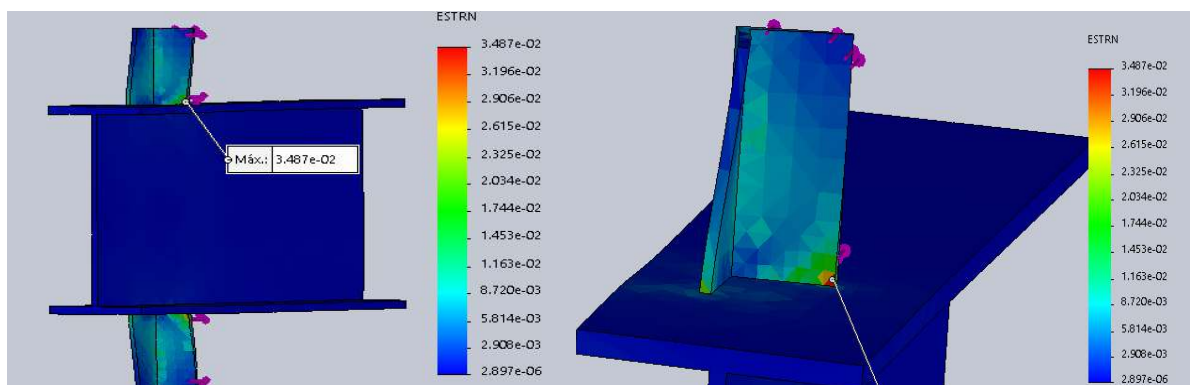
**Figura No. 3. 17:** Malla de la probeta donde los nodos son conectados.  
**Elaborado:** Jonathan Franco & Miguel Martínez.

La convergencia de los nodos ayuda a que las acciones se transmitan adecuadamente. Esto hace que los resultados tengan una mejor precisión para el análisis. Para proceder a analizar la ubicación de los strain gages.

La siguiente figura, muestra los resultados de los esfuerzos reducidos con respecto al otro modelo y el área donde se concentran los esfuerzos mayores se mantiene con respecto al primer modelo. Para el resto del área del conector se aprecia una reducción considerable de los esfuerzos y deformaciones. Se presenta las figuras de los esfuerzos de Von Mises y deformaciones unitarias de los conectores de corte a continuación.

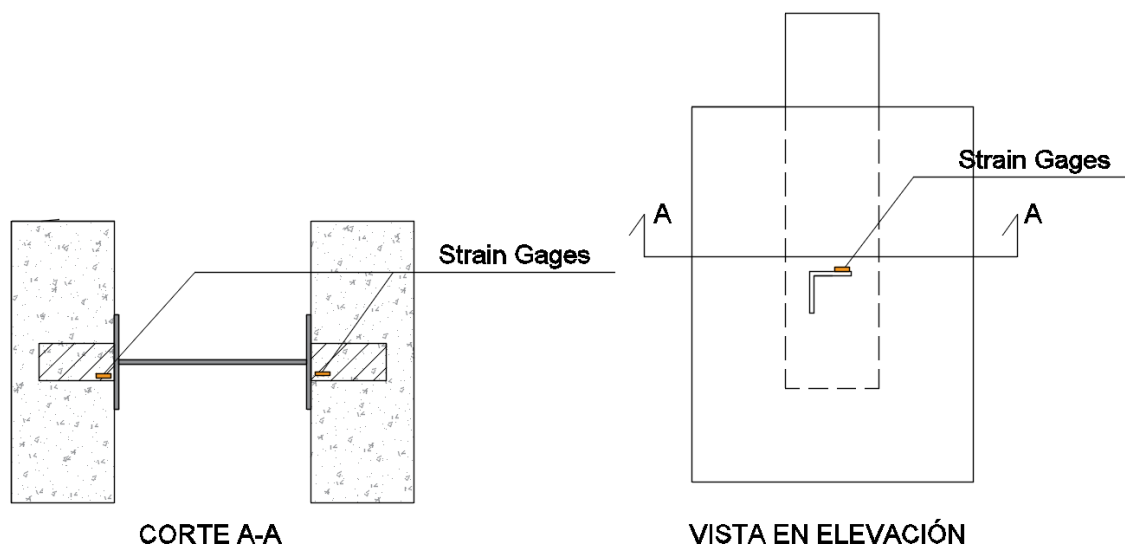


**Figura No. 3. 18:** Esfuerzos de los conectores de corte  
Elaborado: Jonathan Franco & Miguel Martínez.



**Figura No. 3. 19:** Deformación unitaria de los conectores de corte.  
Elaborado: Jonathan Franco & Miguel Martínez.

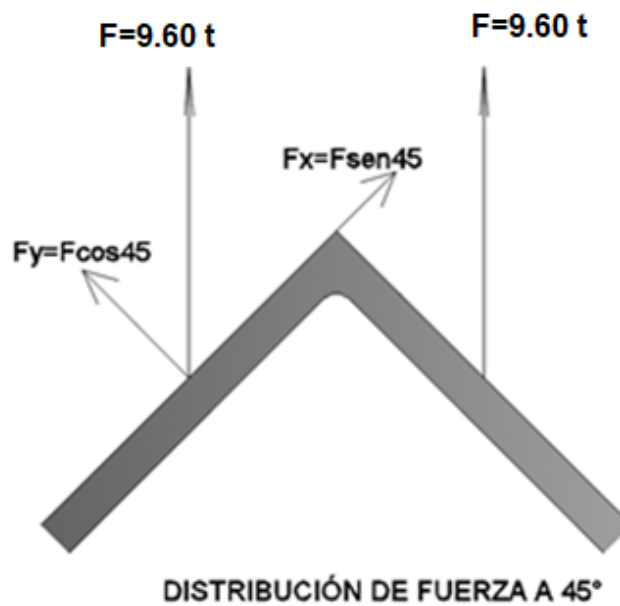
Como resultado las deformaciones unitarias y los esfuerzos máximos se mantienen en el mismo lugar, exactamente en la parte inferior del ángulo tratándose de desprenderse del patín de la viga. Una vez que se analizaron los dos modelos y viendo los resultados de los ensayos de Chacón & Poveda, se determina que los strain gages para los conectores de corte a  $90^\circ$  se colocarán en la posición indicada en la siguiente gráfica.



**Figura No. 3. 20:** Colocación de los Strain Gages, en las probetas a  $90^\circ$ .  
**Elaborado:** Jonathan Franco & Miguel Martínez.

### 3.3.2. MODELACIÓN DEL CONECTOR EN LA POSICIÓN DE $45^\circ$

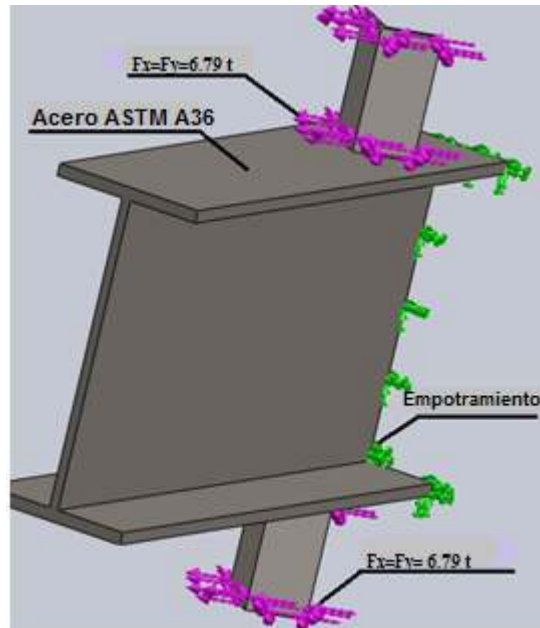
Para el siguiente modelo se mantiene los parámetros descritos en la sección 3.3.1.2 para el modelo 2, con una pequeña variación en la distribución de la fuerza debido a que esta fuerza tocó repartirla como ordenadas y abscisas para las caras del ángulo, como se lo puede apreciar en la siguiente figura.



**Figura No. 3. 21:** Distribución de la fuerza en el ángulo para una posición de 45°  
**Elaborado:** Jonathan Franco & Miguel Martínez

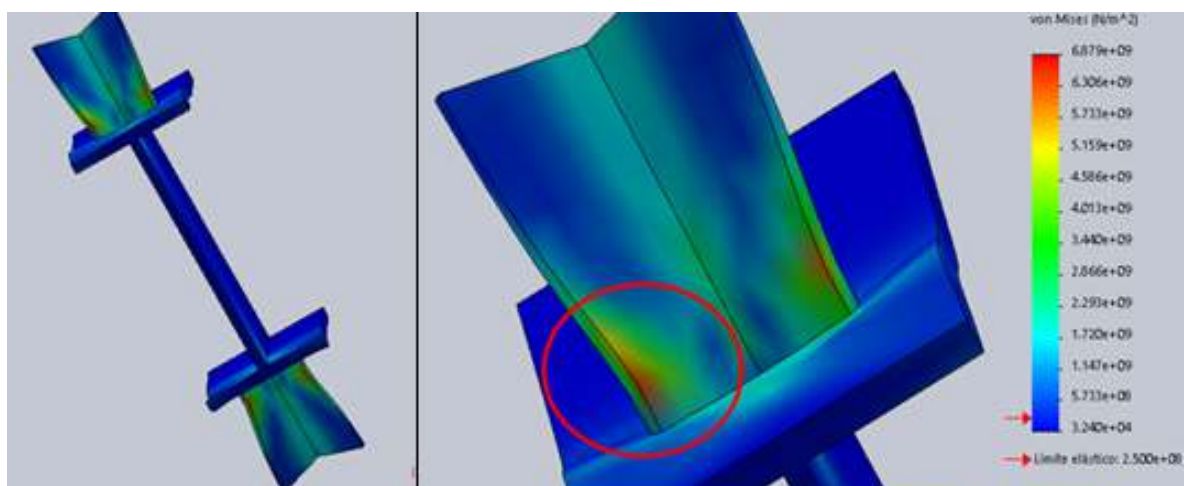
Una vez realizado la distribución de la fuerza, se procede a realizar el modelo considerando las mismas condiciones de borde expuestas en la sección 3.3.1.2, la cuales son la siguientes

- Se elige el material ASTM A36 para la viga y para el conector, estos vienen por defecto en el programa
- Se definen los espesores del patín y del ángulo
- Se realiza la conexión tipo rígida para obtener un enmallado correcto.
- Empotramiento en el extremo más cercano al conector
- Se distribuye la carga del conector de acuerdo a las cargas de  $F_y$  y  $F_x$  mostradas en la figura No. 3.21.
- Se realiza un enmallado para obtener mejores resultados
- Se grafica los resultados para deformación unitaria y esfuerzos



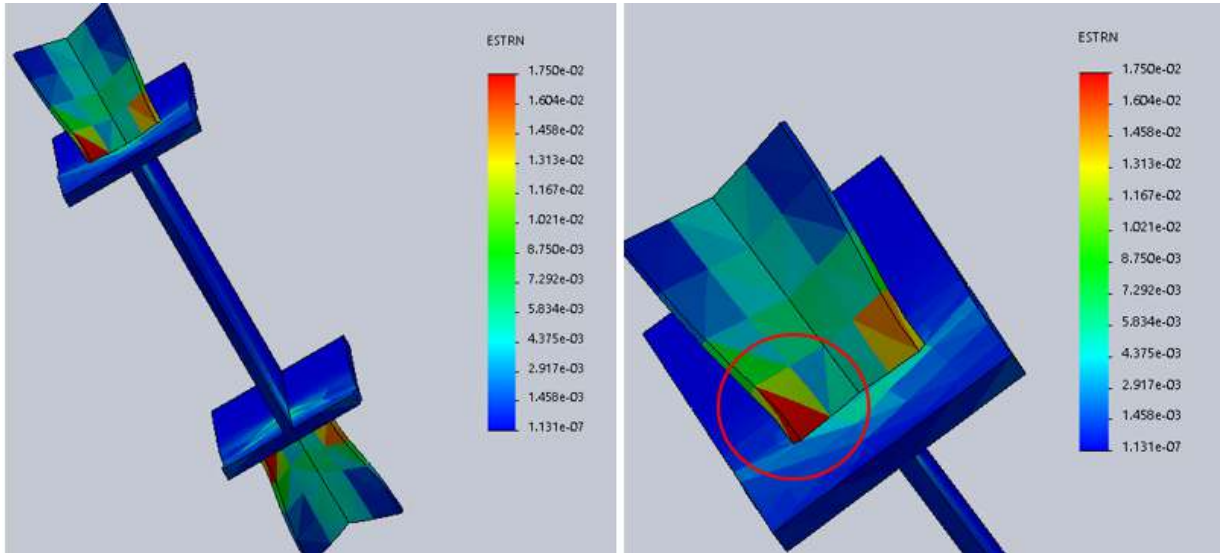
**Figura No. 3. 22:** Condiciones de borde para conector de corte a 45°  
**Elaborado:** Jonathan Franco & Miguel Martínez

La siguiente figura muestra los esfuerzos de Von Mises obtenidas por el programa de acuerdo al modelo presentado en la anterior figura. Dentro del círculo rojo se puede apreciar que, las mayores deformaciones se dan en las esquinas del conector teniendo ambas los mismos valores de esfuerzos a tensión



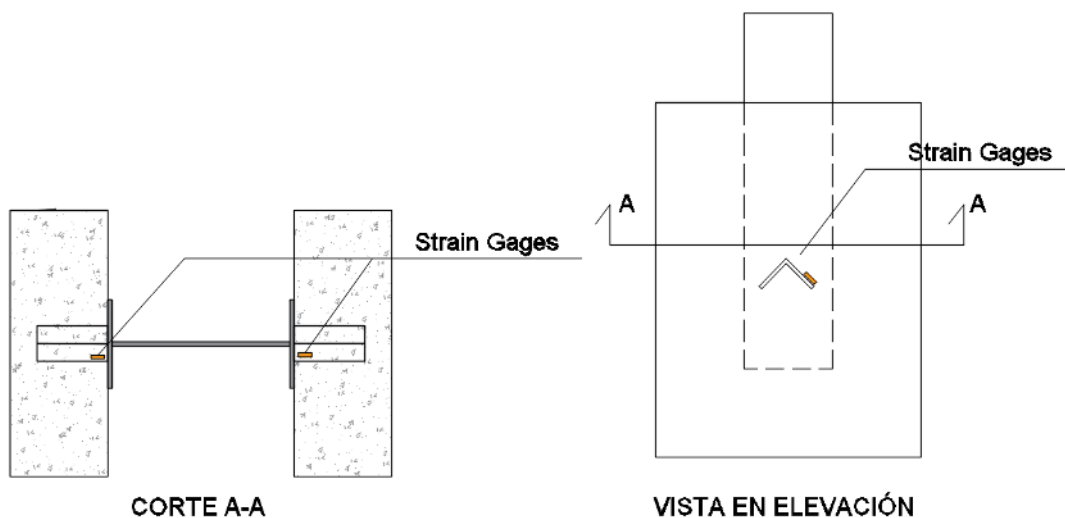
**Figura No. 3. 23:** Distribución de los esfuerzos de Von Mises  
**Elaborado:** Jonathan Franco & Miguel Martínez

Se aprecia, que la misma zona del ángulo que se determina en el modelo 2 del conector a 90°, se obtiene para el conector a 45°.



**Figura No. 3. 24:** Distribución de las deformaciones unitarias en el conector de corte a 45°  
**Elaborado:** Jonathan Franco & Miguel Martínez

Con los resultados del modelo para el conector a 45°, se determina que la zona para la ubicación de los strain gages. Deben estar ubicado en la zona dentro del círculo rojo. La colocación de los strain gages se aprecia en la siguiente figura.



**Figura No. 3. 25:** Colocación de los Strain Gages, en las probetas a 45°.  
**Elaborado:** Jonathan Franco & Miguel Martínez

### **3.4. INSTRUMENTACIÓN PARA EL ENSAYO PUSH OUT**

Al momento de realizar el ensayo es fundamental saber qué tipo de mediciones se deben tomar, como indica el Eurocódigo 4 la importancia de la medición del deslizamiento que hay entre la losa y la viga (UNE-EN-1994, 2013), además, existen investigaciones que mencionan donde y como se debe medir los desplazamientos de los elementos losa y viga. Como lo presenta Chacón & Poveda en su estudio experimental de conectores de corte que emplean un deformímetro digital en la mitad de la viga para medir el deslizamiento real que existe entre la viga de acero y las losas de hormigón (Chacón & Poveda, 2012), por otro lado se tiene una ubicación similar de los dispositivos de medición en la parte superior de las vigas metálicas presentadas en la investigación de los autores Bamaga et al (Bamaga et al, 2019). Debido a estas dos investigaciones se determina que la posición para medir el desplazamiento de la viga será colocada en el centro de esta.

La medición del desplazamiento de las losas se hace para comparar con el desplazamiento de la viga, Pavlovic et al muestra que la medición del espécimen lo realiza de manera longitudinal y transversal para ambas losas, por ende en esta investigación solo se toma en cuenta la aplicación de los transductores de desplazamiento lineal variable (LVDT) de manera longitudinal (Pavlovic et al, 2013). De igual manera muestran en los ensayos realizados por los autores la instrumentación que se presenta para las probetas de push-out tienen una combinación de las ubicaciones antes ya descritas, por ende se tomará como base esta instrumentación (Titoum et al, 2016), se puede ver en la siguiente imagen.

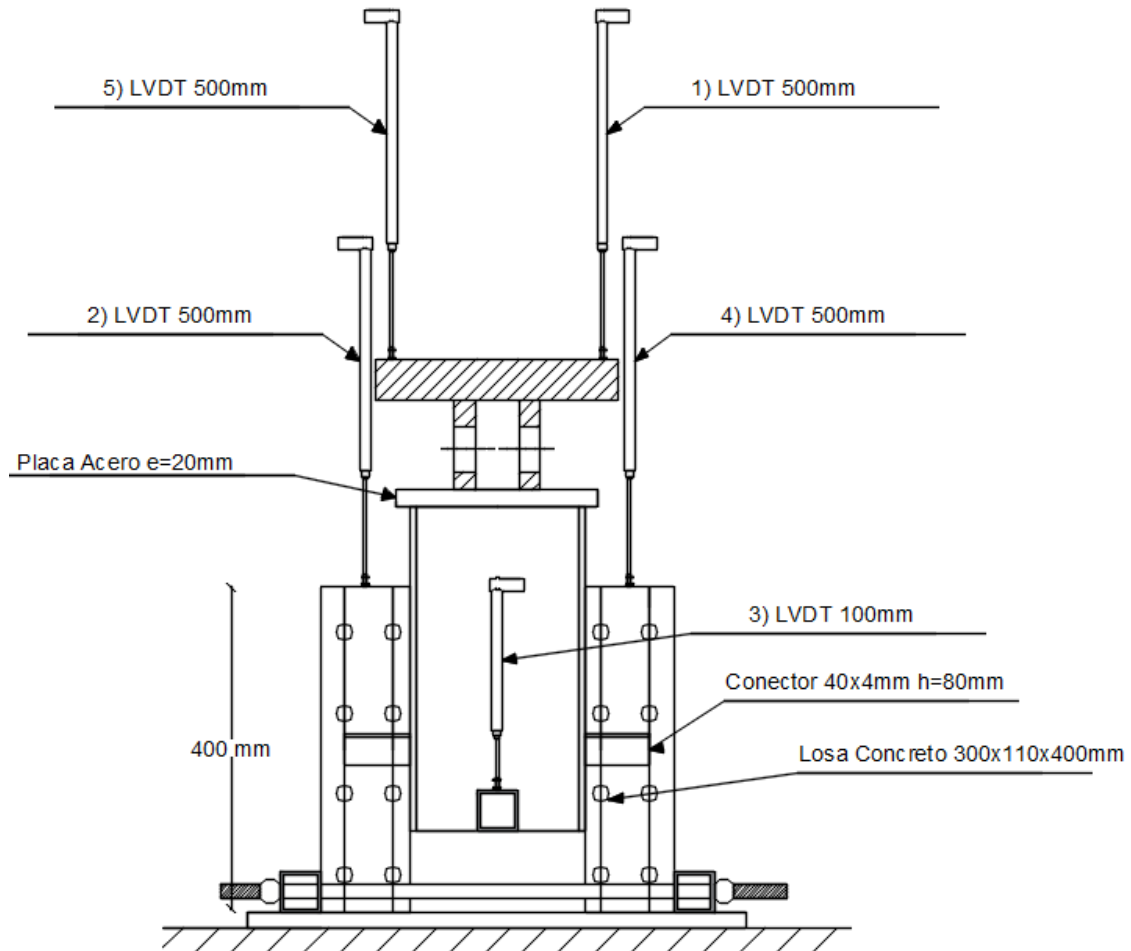


**Figura No. 3. 26:** Instrumentación de una probeta para ensayo de push-out.

**Fuente:** Titoum et al, 2016.

Una vez recopilada toda esta información la instrumentación que se aplica, es la combinación de las 4 investigaciones antes ya mencionadas, quedando de la siguiente manera: dos dispositivos de medición para las losas que estarán ubicadas en la mitad de cada una de estas, un dispositivo para la viga ubicado en la mitad de la viga, pero en la parte inferior de esta y dos dispositivos que den el desplazamiento del marco de carga, estas ubicaciones se la hace mediante el apoyo del personal técnico del laboratorio, en la siguiente imagen se puede observar la ubicación de los dispositivos de medición del ensayo.





**Figura No. 3. 27:** Instrumentación de la probeta para los ensayos de push-out.  
**Elaborado:** Jonathan Franco & Miguel Martínez

### 3.5. PROTOCOLO DE ENSAYO

El protocolo se basa en el ensayo cíclico a corte directo llamado push-out con un intervalo de tiempo esperado en su último ciclo para que cumpla los requerimientos estipulados en el Eurocódigo (UNE-EN-1994, 2013). El problema que existe en este tipo de ensayos es que no se norma la velocidad con la cual debe ser aplicada la carga. Por esta razón al momento de ensayar se puede tener lecturas variables en los resultados, así mismo como el tiempo de ensayo total de cada probeta (Chacón & Poveda, 2012).

Se establece comprobar la resistencia calculada teóricamente de la probeta mediante un ensayo monotónico y así ver si el cálculo está realizado correctamente. Comprobado esto se procede a establecer dos rangos de carga que están entre el 5% y el 40% durante 25 ciclos, la velocidad de carga a carga estará regido por la

presión y velocidad con la cual la máquina cargue la fuerza, dato que no se puede establecer (UNE-EN-1994, 2013).

Al terminar los 25 ciclos se regresa a la carga del 5% donde se vuelve a cargar la probeta hasta llegar a la carga de falla, este último proceso se debe llevar a cabo durante un lapso del 15 minutos sin que la probeta no presente ruptura, además se debe esperar en el ensayo que la carga deba descender al menos al 20% de su valor de falla para obtener el deslizamiento en ese punto (UNE-EN-1994, 2013).

### 3.6. ENSAMBLE DE LOS MATERIALES

Para elaborar la probeta push-out, se siguen los parámetros establecidos por el Eurocódigo 4, los conectores de corte se encuentran embebidos en una losa de hormigón, sea esta maciza o con placa colaborante. La sección de ensayos para conectores de corte, cita que se debe fundir las losas de forma horizontal (UNE-EN-1994, 2013), incrementando el tiempo de construcción de las probetas, debido a que primero se realizó la fundición de la losa horizontal, para luego desencofrar y proceder a unir las, soldando el alma con los patines embebidos en las losas.

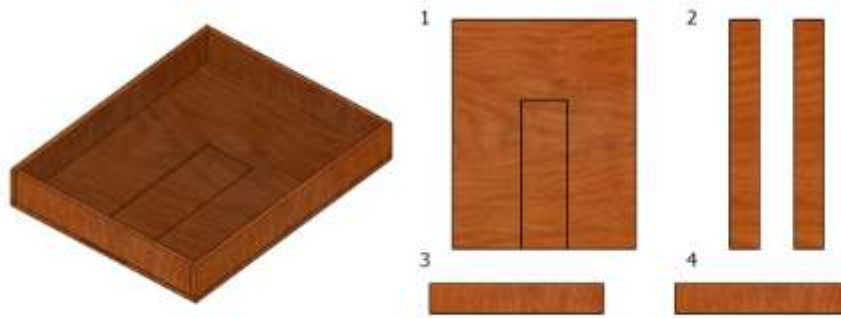
Para seguir con los estándares antes mencionados, los elementos de la probeta push-out se van a ensamblar por partes. El encofrado para verter el hormigón se elabora de madera triplex de 12mm, en la siguiente gráfica se muestran las figuras geométricas elaboradas para conformar un solo cajón del encofrado.

**Tabla No. 3.13:**

*Comprobación para que la viga no falle a compresión*

**Elaborado:** Jonathan Franco & Miguel Martínez.

ITEM	DIMENSIONES (mm)	CANTIDAD
1	424X324X12	1
2	424X110X12	2
3	300X110X12	2



**Figura No. 3. 28:** Esquema del molde para el encofrado de las losas.  
**Elaborado:** Jonathan Franco & Miguel Martínez

La tabla 3.14 muestra la cantidad en total de elementos que se fabricaron para la elaboración de los 28 cajones que se requieren para conformar las losas del ensayo.

**Tabla No. 3.14:**

*Total de elementos para encofrado de 28 losas*

**Elaborado:** Jonathan Franco & Miguel Martínez.

ITEM	DIMENSIONES (mm)	CANTIDAD
1	424X324X12	28
2	424X110X12	56
3	300X110X12	56

Para unir el conector con el patín, se realiza la primera etapa de soldadura, se aplicó el tipo de soldadura MIG, el cual consiste en la aplicación de gas inerte al arco de electrodo que se suministra continuamente mediante una pistola (Llano, 2009).

Se presentan problemas de deformaciones por temperatura en la placa de acero que se usará como patín de la viga de acero, esta deformación se pudo corregir con simples golpes en el acero. Por esta razón solo se suelda el conector en dos de sus aristas y no en las 6 que tiene. En la siguiente gráfica se muestra la soldadura terminada.



**Figura No. 3. 29:** Soldadura final de los conectores de corte  
**Elaborado:** Jonathan Franco & Miguel Martínez

La colocación de los strain gages se puede describir en breves pasos, los cuales son descritos a continuación. No obstante, se debe tener extremo cuidado y verificar continuamente si los strain gages mantienen el amperaje que indica el fabricante.

- Limpiar la superficie donde se va a colocar el strain gages, debe quedar prácticamente clara sin ningún residuo del material oscuro que recubre al acero, este proceso se realiza con lijas y alcohol grado 90 o mayor.
- Secar la superficie y proceder a colocar el strain gages.
- Para colocar el strain gages se debe tener extremo cuidado y esto se hace bajo las indicaciones y supervisión del personal técnico del CIV, en este proceso se emplea cinta scotch transparente donde se coloca el strain gages y se procede a colocar en la superficie limpia. Se coloca la brujita para fijarlo en la ubicación final elegida.
- Se comprueba que el strain gages marca el amperaje que registra el fabricante mediante un voltímetro.
- Sin unir los filamentos que salen del strain gages se procese a soldar con estaño los cables que ayudarán a obtener las lecturas.
- Se comprueba que el strain gages marca el amperaje que registra el fabricante mediante un voltímetro.

Para continuar con el ensamble, se debe verter el hormigón de 24 MPa en los moldes de las losas con los elementos que se han ensamblado hasta el paso anterior. Para evitar problemas con la elaboración del hormigón, se realiza un pedido de  $1\text{m}^3$ . Pero, se aplican ensayos en obra para verificar en qué estado llega el hormigón, el ensayo del cono de Abrams es el que se elige para verificar la consistencia del hormigón, obteniendo así un hormigón de consistencia fluida. Para comprobar la resistencia y su módulo de elasticidad se emplean los ensayos mencionados en la tabla 3.1.



**Figura No. 3. 30:** Ensayo del cono de Abrams y cilindros para ensayos a compresión  
**Elaborado:** Jonathan Franco & Miguel Martínez

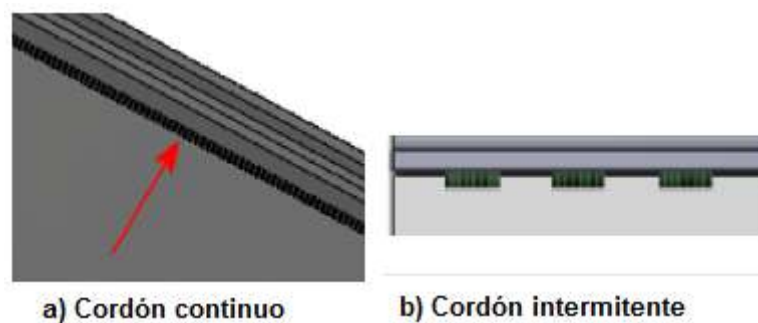


**Figura No. 3. 31:** Losas para la conformación de las probetas push-out  
**Elaborado:** Jonathan Franco & Miguel Martínez

El curado de las losas se realiza de cómo se hace tradicionalmente en el sector de la construcción ecuatoriana, esparciendo agua en la parte superior. Puesto que esta

era la única zona que tenía hormigón expuesto al aire. Este proceso se realizó desde el día 1 hasta el día 19 antes de comenzar a desencofrar las losas. Los cilindros de hormigón para el ensayo de la resistencia fueron sumergidos en una tina de agua, para el proceso de curado.

La etapa final del ensamble de las probetas push-out se da al día 20 de haber hormigonado las losas, este proceso consiste en desencofrar las losas, unir los elementos conformados hasta la etapa anterior mediante soldadura manual entre la placa que va a ser el alma de la viga y los patines. La soldadura utiliza electrodos 7018, la suelda a aplicar va a ser que en un lado se tiene un cordón continuo y al lado posterior se tiene un cordón intermitente cada 10 cm este tipo de suelda se muestra en la siguiente gráfica (Llano, 2009).



**Figura No. 3. 32:** Tipos de cordones usados en la unión del patín con el alma  
**Elaborado:** Jonathan Franco & Miguel Martínez

Para evitar cualquier tipo de desnivel en el ensayo, la última etapa de ensamble se realiza en el sitio donde se vaya a ensayar las probetas. La figura 3.33 muestra el lugar donde se ensambla las probetas push-out.





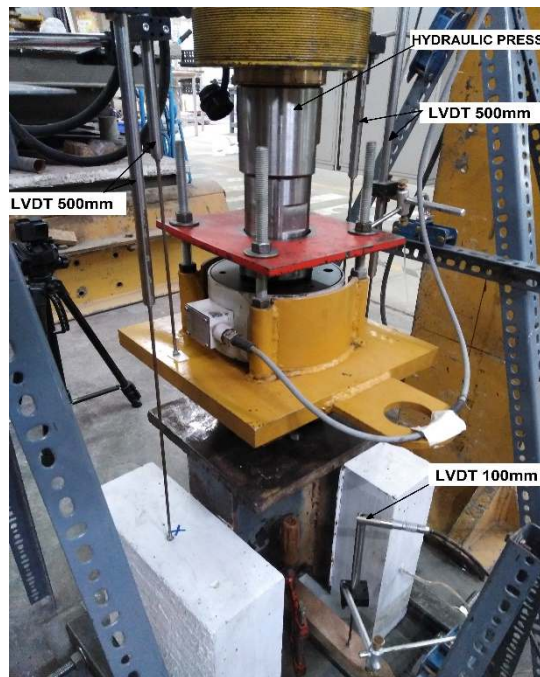
**Figura No. 3. 33:** Conformación de las probetas push out  
**Elaborado:** Jonathan Franco & Miguel Martínez

De esta forma el ensamble de la probeta push-out, tuvo un seguimiento continuo y técnico en cada uno de sus etapas de ensamble. Se tomaron decisiones a último momento que fueron de vital importancia para el tiempo y para la elaboración de cada una de las etapas antes descritas. En la siguiente imagen se muestran las probetas push-out listas para ensayar.



**Figura No. 3. 34:** Probetas push-out ensambladas  
**Elaborado:** Jonathan Franco & Miguel Martínez

Siguiendo los criterios de la sección 3.4 se procede a realizar la instrumentación de las probetas antes de ser ensayadas, de tal manera que los dispositivos LVDT queden como muestra la figura 3.27. Por tal razón la instrumentación en el sitio de ensayo quedó de la siguiente manera.



**Figura No. 3. 35:** Probetas push-out ensambladas  
**Elaborado:** Jonathan Franco & Miguel Martínez

El ensayo se realizó a los 28 días cuando la resistencia del hormigón alcanza su valor de 100% teóricamente y no al 70% de la resistencia como indica el Eurocódigo 4, esta resistencia se la obtiene a los 7 días de edad. Pues los equipamientos que tiene el CIV hacen que el ensayo tenga entre 4 a 5 días para ensayar los 14 especímenes. Si se siguiera el Eurocódigo 4 al momento de finalizar los ensayos sería a los 12 días de edad y en ese tiempo el hormigón varía su resistencia por día, mientras que a partir de 28 días la variación ya no es significativa entre 28 y 32 día.



## CAPÍTULO 4

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 4.1. RESULTADOS DE ENSAYOS DE LOS MATERIALES

##### 4.1.1. ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ( $f'_c$ )

La tabla 4.1 muestra los resultados de los ensayos a compresión del hormigón ( $f'_{ce}$  (Ensayos)).

**Tabla No.4. 1:**

*Resistencia a compresión del hormigón*

**Elaborado:** Jonathan Franco & Miguel Martínez

Días	$f'_{ce}$ (Ensayos) (MPa)
7	13.18
14	22.78
28	26.52

Para los valores de la resistencia a compresión del concreto a los 28 días de edad, se debe analizar la dispersión que tienen los valores de resistencia experimental respecto con su media aritmética (UNE-EN-1994, 2013). El valor medio de las resistencias del concreto se usará en los análisis posteriores. Los valores de desviación absoluta se obtienen con la ecuación 4.1, además, el error que tienen los valores con su media se obtiene con la fórmula 4.2. La desviación estándar se la obtiene con la ecuación 4.3 y para corroborar la dispersión de datos con respecto a su media en porcentaje se lo hace mediante la ecuación 4.4. Se toma como porcentaje máximo permisible del 10%.

$$DA = |X_i - \bar{X}| \quad \text{Ec (4.1)}$$

$$e(\%) = \frac{|X_i - \bar{X}|}{\bar{X}} \cdot 100\% \quad \text{Ec (4.2)}$$

$$DE = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} \quad \text{Ec (4.3)}$$

$$CV(\%) = \frac{DE}{\bar{X}} \cdot 100\% \quad \text{Ec (4.4)}$$

Donde

DA= desviación absoluta

$X_i$ = valor obtenido (pueden ser de carga, deslizamiento, resistencias, módulos de elasticidad) para cada probeta producto del ensayo que se realiza

$\bar{X}$ = valor promedio de todas las probetas ensayadas

$n$ = número de probetas a ensayar

$e(\%)$ = Por ciento de error de la muestra con respecto a la media

DE= Desviación estándar

CV= Coeficiente de variación

**Tabla No.4. 2:**

*Valores a compresión del ensayo de cilindros a los 28 días*

**Elaborado:** Jonathan Franco & Miguel Martínez

Nº	$f'_{ce}$ (Ensayos) (MPa)	Error (%)	Desviación absoluta † (MPa)	Desviación absoluta ‡ (MPa)
C28-1	28.7	8.20%	2.18	2.35
C28-2	26	1.98%	0.53	0.35
C28-3	26.7	0.66%	0.17	0.35
C28-4	24.7	6.88%	1.83	1.65
Media	26.53	MPa		
Mediana	26.35	MPa		
Desviación estándar	1.67	MPa		

† Utilizando la media

‡ Utilizando la mediana

La tabla 4.2 muestra que los valores de resistencia a compresión  $f'_{ce}$  de los ensayos no tienen un error superior al 10% con respecto a su media, el máximo valor de error que presenta es del cilindro C28-1 con un porcentaje de 8.20% el cual es inferior a 10%. Los 4 valores de la resistencia a compresión tienen un 6.30% de dispersión con respecto a su media valor obtenido con la ecuación 4.4. Por lo

consiguiente el valor medio de la resistencia que es 26.53 MPa se empleará para los análisis posteriores.

#### 4.1.2. ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN PARA EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ( $E_{ce}$ )

Se ensayaron 3 probetas a los 55 días de edad, los valores de los módulos de elasticidad se los obtiene entre el 0% al 40% de la resistencia a compresión del hormigón (ASTM C469, 2014). El anexo 2 muestra los resultados de los ensayos.

La tabla 4.3 muestra los valores de los 3 módulos de elasticidad obtenidos de los ensayos con su respectivo análisis estadístico. La tabla No.4.4 muestra los valores teóricos de módulo de elasticidad del hormigón (determinado con la resistencia experimental a los 28 días) con respecto al módulo de elasticidad obtenido de la tabla 4.3. Se realiza esta tabla para corroborar que ecuación está gobernando los diseños y quede como base para futuras investigaciones.

**Tabla No.4. 3:**

*Valores de Módulo de Elasticidad Experimentales*

**Elaborado:** Jonathan Franco & Miguel Martínez

Nº	$E_{ce}$ (Ensayos) (GPa)	Error (%)	Desviación absoluta † (GPa)	Desviación absoluta ‡ (GPa)
C28-1	21.33	0.81%	4.7	5.02
C28-2	21.22	0.29%	4.8	5.13
C28-3	20.93	1.10%	5.1	5.42
Media	21.16	GPa		
Mediana	21.22	GPa		
Desviación estándar	0.21	GPa		

† Utilizando la media

‡ Utilizando la mediana

**Tabla No.4. 4:***Comparación del módulo de elasticidad experimental con el teórico***Elaborado:** Jonathan Franco & Miguel Martínez

NORMATIVA	MÓDULO (GPa)	ENSAYO (GPa)	ERROR (%)
ACI 318-19	24.21	21.16	12.59%
NEC-15	17.81		18.79%
	24.21		12.59%
Eurocódigo 2	29.48		28.22%

La tabla 4.4 indica que, los valores de módulo de elasticidad experimental son altos a los obtenidos por expresiones de los 3 códigos, esto quiere decir que, la fórmula del ACI 318-19 y NEC-15 deben ser aplicadas para los diseños empleados en el país, ya que son las que tiene un porcentaje menor con respecto al resto de ecuaciones de los códigos. Se utiliza el valor experimental para los cálculos siguientes.

#### 4.1.3. ENSAYO A TRACCIÓN DEL ACERO

Los resultados de los ensayos a tracción para determinar el tipo de acero se expresan en el Anexo 3. Las siguientes tablas muestran los valores experimentales de resistencia a tracción ( $F_{ut}$ ). Para obtener estos valores, se ensayaron 3 probetas del ángulo.

**Tabla No.4. 5:***Valores del ensayo a tracción del ángulo con espesor de 4 mm***Elaborado:** Jonathan Franco & Miguel Martínez

Nº	(MPa)	$F_{ut}$ (Ensayos) Error (%)	Desviación absoluta † (MPa)	Desviación absoluta ‡ (MPa)
C28-1	336.00	0.98%	3.33	0.00
C28-2	351.00	3.44%	11.67	15.00
C28-3	331.00	2.46%	8.33	5.00
Media	<b>339.33</b>	MPa		
Mediana	336.00	MPa		
Desviación estándar	10.41	MPa		

† Utilizando la media

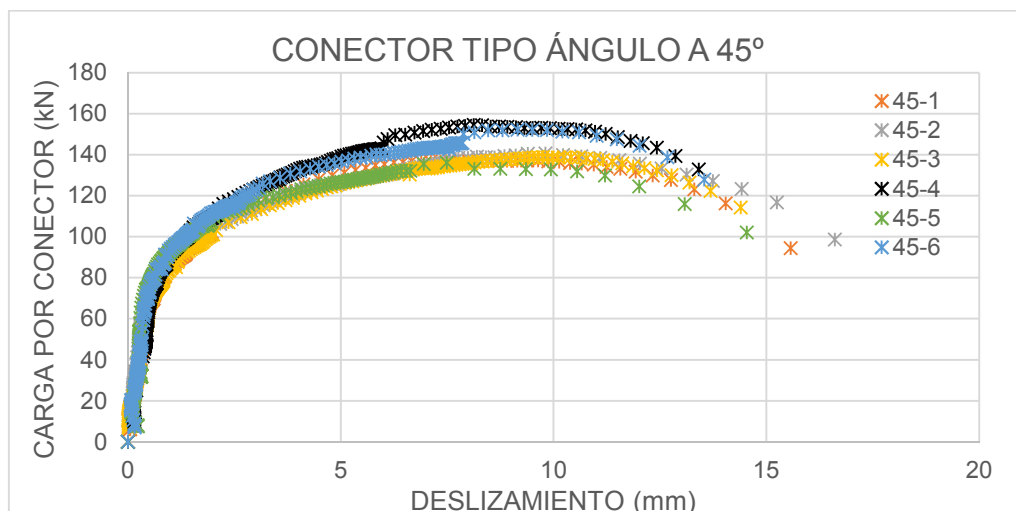
‡ Utilizando la mediana

## 4.2. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

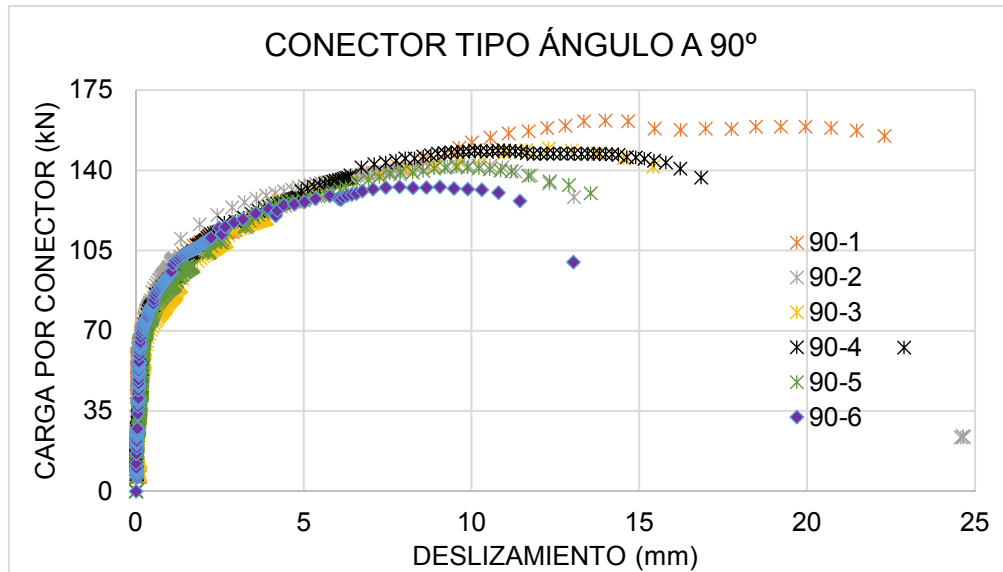
### 4.2.1. CURVA CARGA-DESLIZAMIENTO

Bamaga et al, analizan la curva carga-deslizamiento después de los 25 ciclos de carga y descarga, eliminando el deslizamiento inicial en este tramo de la curva del ensayo (Bamaga et al, 2019). Deng, et al, presentan las gráficas carga vs. deslizamiento después de la carga cíclica eliminando el deslizamiento previo que se presenta (Deng et al, 2019). Hällmark, Collin & Hicks, tienen las mismas consideraciones para analizar las curvas (Hällmark, Collin, & Hicks, 2019). La eliminación de los 25 ciclos facilitó el análisis de los datos obtenidos en los ensayo, razón por la cual las curvas empleadas para el análisis de esta investigación son presentadas sin la parte cíclica.

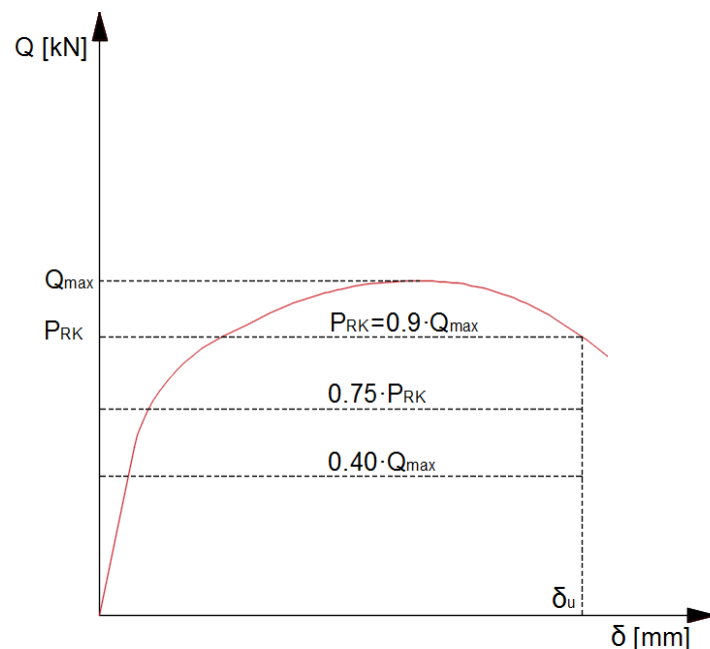
Pavalović, et al, presentan las curvas fuerza versus deslizamiento por conector, donde el deslizamiento es la media aritmética de los deslizamientos registrados en los ensayos (Pavalović et al, 2013). Bamaga, et al, emplean el promedio de los deslizamientos registrados entre la losa y la viga para realizar el análisis de los conectores, además, presenta la carga por conector repartida equitativamente (Bamaga et al, 2019). En las siguientes gráficas se presentan las **curvas fuerza versus deslizamiento por conector**, con el deslizamiento promedio por conector.



**Figura No.4.1:** Curvas de carga versus deslizamiento para conector a 45°  
**Elaborado:** Jonathan Franco & Miguel Martínez



La gráfica 4.3 muestra que valores de carga se pueden extraer de la curva carga vs. deslizamiento. La máxima carga por conector registrada durante el ensayo es ( $Q_{max}$ ). El Eurocódigo 4 en el anexo B2 (Ensayos para los conectores de corte), indica que la resistencia característica  $P_{RK}$  por conector, se obtiene cuando la carga máxima haya descendido un 90% (UNE-EN-1994, 2013).



La tabla 4.6 muestra los 3 valores importantes que se obtienen de la curva fuerza deslizamiento, se obtiene la capacidad máxima a corte ( $Q_{max}$ ) y su valor promedio ( $\overline{Q_{max}}$ ), la resistencia característica a corte ( $P_{RK}$ ) y su valor promedio ( $\overline{P_{RK}}$ ), el deslizamiento último ( $\delta_u$ ) con su respectivo valor promedio ( $\overline{\delta_u}$ ). El valor de  $Q_{max}$  por conector se obtiene dividiendo la carga de falla del ensayo entre 2, por existir uno a cada lado.

**Tabla No.4. 6:**

*Valores obtenidos por conector del ensayo push-out*

**Elaborado:** Jonathan Franco & Miguel Martínez

Nº	$Q_{max}$ (kN)	$\overline{Q_{max}}$ (kN)	$P_{RK}$ (kN)	$\overline{P_{RK}}$ (kN)	$\delta_u$ (mm)	$\overline{\delta_u}$ (mm)
Conector a 45°						
45-1	137.18	143.20	123.47	128.88	13.27	13.11
45-2	140.54		126.49		14.04	
45-3	138.86		124.97		13.37	
45-4	154.41		138.97		12.89	
45-5	136.02		122.41		12.28	
45-6	152.17		136.95		12.81	
Conector a 90°						
90-1	161.76	146.13	155.01	136.42	25.62	16.5
90-2	142.16		128.37		13.10	
90-3	149.64		141.64		17.03	
90-4	148.77		136.87		17.08	
90-5	141.57		130.03		14.00	
90-6	132.90		126.62		11.86	

### 4.3. EVALUACIÓN DEL ENSAYO PUSH-OUT

El Eurocódigo 4 establece el análisis de la resistencia característica a corte ( $P_{RK}$ ) obtenida en los ensayos. Este valor de ( $P_{RK}$ ) se determina cuando la carga máxima del ensayo desciende en un 90% (UNE-EN-1994, 2013). El análisis consiste en comprobar el valor de ( $P_{RK}$ ) respecto a la resistencia que se presenta en la siguiente inequación. Esta inequación se la emplea cuando la resistencia del conector está gobernada por la resistencia del hormigón.

$$P_{RD} = \frac{f'_c}{1.25 \cdot f'_{ce}} \cdot P_{RK} \leq \frac{P_{Rk}}{1.25} \quad \text{Ec (4.5)}$$

Donde

$P_{RD}$  = capacidad de diseño para la comprobación de la capacidad característica

$f'_c$  = resistencia a compresión del hormigón especificada para realizar el ensayo

$f'_{ce}$  = resistencia a compresión del hormigón obtenida a los 28 días mediante ensayo de las probetas

$P_{min}$  = es el mínimo valor de todas las capacidades máximas a corte obtenida de las probetas ensayadas.

$P_{RK}$  = resistencia característica a corte por conector

También se puede determinar el análisis del ( $P_{RK}$ ), cuando la resistencia del conector es gobernado por su propio material. Esto quiere decir que la resistencia del ángulo ( $F_u$ ) empleado para los cálculos sea menor a la resistencia obtenida a del ensayo ( $F_{ut}$ ).

$$P_{RD} = \frac{F_u}{1.25 \cdot F_{ut}} \cdot P_{RK} \leq \frac{P_{RK}}{1.25} \quad \text{Ec (4.6)}$$

Donde

$P_{RD}$  = capacidad de diseño para la comprobación de la capacidad característica

$F_u$  = resistencia a tracción del acero del conector, especificada por el fabricante

$F_{ut}$  = resistencia a tracción del acero del conector obtenida de ensayos a tracción de probetas del mismo material del conector

$P_{RK}$  = resistencia característica a corte por conector

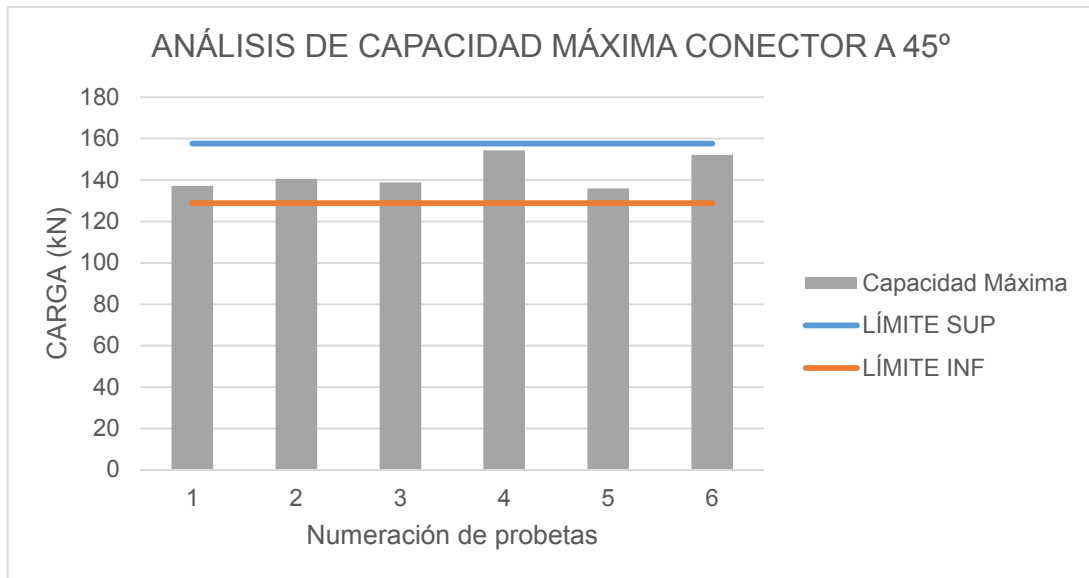
#### 4.3.1. PENALIDAD PARA LA CAPACIDAD MÁXIMA

Se establece una penalidad para la capacidad máxima a corte ( $Q_{max}$ ) y para el valor del deslizamiento último ( $\delta_u$ ) con respecto al valor medio de cada uno de estos ( $\overline{Q_{max}}$ ) y ( $\overline{\delta_u}$ ), indica que, cada uno de los valores de ( $Q_{max}$ ) y ( $\delta_u$ ) no deben exceder en un 10% a su valor medio respectivamente, si los valores no cumplen con este porcentaje, deben ser reducidos mediante el Anexo D del Eurocódigo 1990.

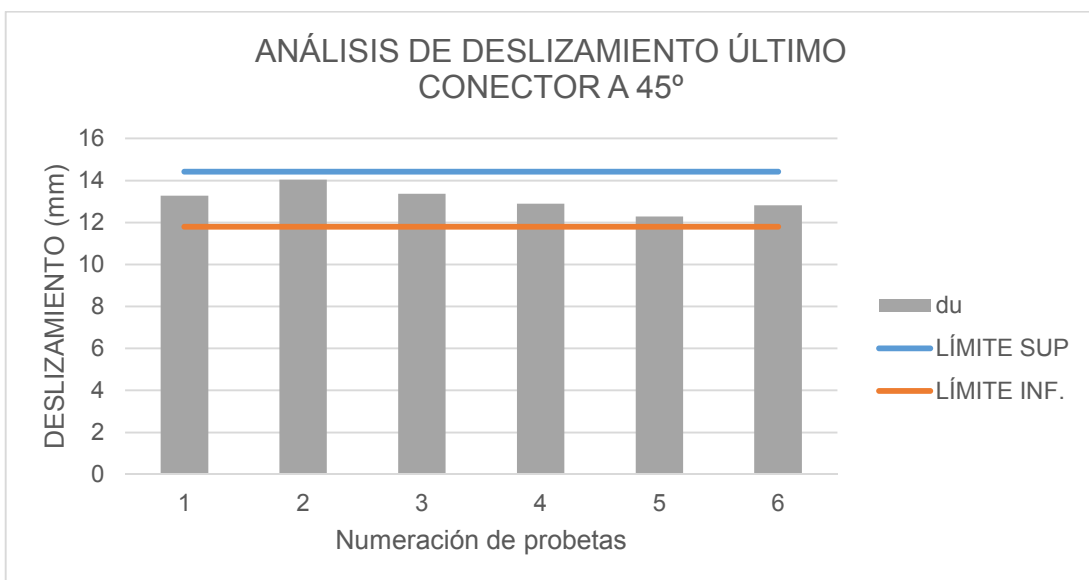
Las siguientes gráficas muestran el análisis que pide el Eurocódigo 4 para el conector a 45°, se grafican dos líneas que son los valores límites correspondientes



$\pm 10\%$  de la media aritmética de la capacidad máxima a corte y del deslizamiento último, cuyos valores son de 143.20 kN y 13.11 mm respectivamente, obtenidos de la tabla 4.6.



**Figura No.4.4:** Comprobación de la capacidad máxima a corte conector a 45°  
**Elaborado:** Franco Jonathan & Martínez Miguel

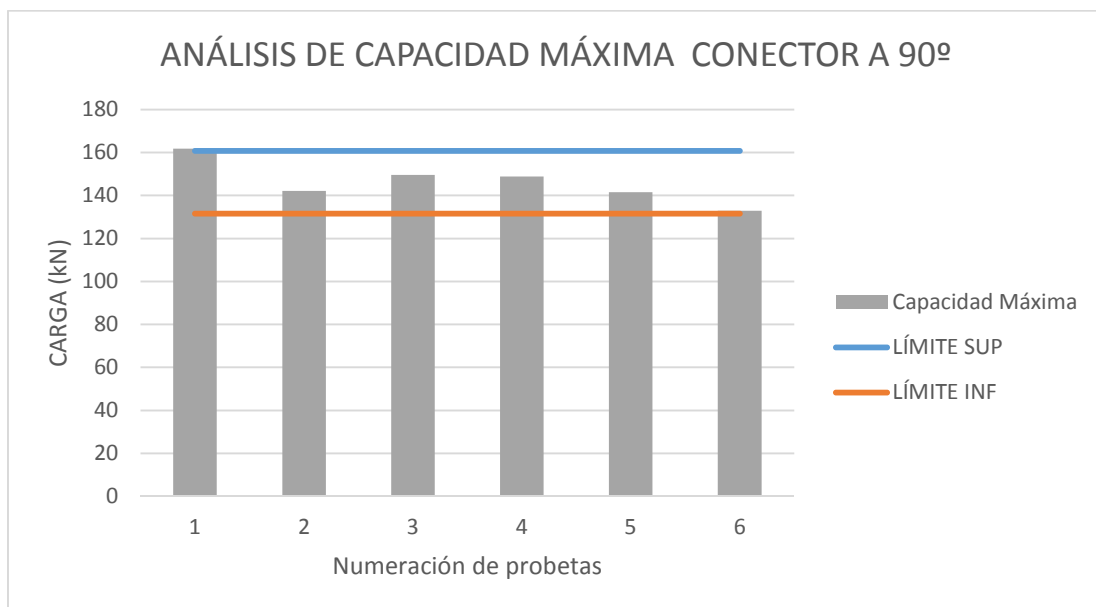


**Figura No.4.5:** Comprobación del deslizamiento característico para conector a 45°  
**Elaborado:** Franco Jonathan & Martínez Miguel

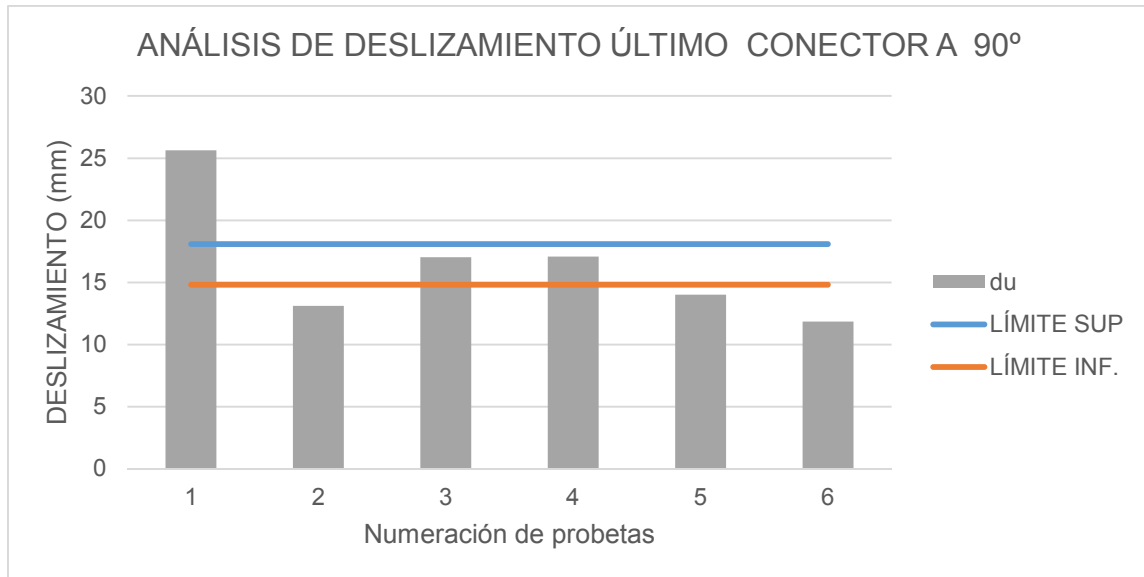
La figura 4.4 muestra que los valores para la capacidad máxima de cada conector posicionado a 45°, están dentro del límite del  $\pm 10\%$ . Además, para la figura 4.5, los

deslizamientos últimos que tienen estos conectores, están dentro del límite del  $\pm 10\%$ . Los valores de la capacidad máxima a corte y deslizamiento último registrados en el ensayo son utilizados para el análisis del  $P_{RK}$ .

Las siguientes gráficas muestran el análisis que pide el Eurocódigo 4 para el conector a  $90^\circ$ , se grafican dos líneas que son los valores límites correspondientes  $\pm 10\%$  de la media aritmética de la capacidad máxima a corte y del deslizamiento último, cuyos valores son de 146.13 kN y 16.45 mm respectivamente, obtenidos de la tabla 4.6.



**Figura No.4.6:** Comprobación de la capacidad máxima a corte para conector a  $90^\circ$   
**Elaborado:** Franco Jonathan & Martínez Miguel



**Figura No.4.7:** Comprobación de deslizamiento característico para conector a 90°  
**Elaborado:** Franco Jonathan & Martínez Miguel

Se tiene un comportamiento atípico para la probeta 1 con respecto al valor del deslizamiento último en comparación a las demás probetas, tiene un valor de 25.62 mm para el deslizamiento último, valor que varía en un 50% respecto a los valores de las probetas 3 y 4. La capacidad máxima a corte de la probeta 1 tiene una diferencia de 1 kN al límite superior de la penalidad. Los valores de capacidad máxima a corte deben ser tratados mediante el Anexo D del Eurocódigo 0.

Este conector presenta poco decaimiento para las curvas después de haber alcanzado la capacidad máxima a corte. Por lo tanto, los deslizamientos últimos son tomados mediante una extrapolación de los dos últimos valores de los deslizamientos registrados antes de que fallaran los conectores, criterio que impide realizar las correcciones para el deslizamiento.

El método a emplearse, es el método (a), especificado en el anexo **D8 Determinación de la Resistencia Mediante Modelos Estadísticos**, emplea el coeficiente de varianza ( $V$ ) como valor principal para el factor de reducción (UNE-EN-1990, 2019), este factor se lo determina de la siguiente manera:

$$n_k = \exp\left(-k_\infty \cdot \frac{Q_{rt}^2}{Q} - k_n \cdot \frac{Q_\delta^2}{Q} - 0.5 \cdot Q^2\right) \quad \text{Ec (4.7)}$$

Donde

$n_k$  = es el factor de reducción para las cargas

$k_n$  = factor de fragilidad característico

$k_\infty$  = El Eurocódigo 1990 indica que cuando el factor de fragilidad tiende a tener infinitos ensayos el factor toma un valor de 1.64.

$$Q_{rt} = \sqrt{\exp(V_{rt}^2) + 1} \quad \text{Ec (4.8)}$$

Donde

$Q_{rt}$  = es el factor que emplea el coeficiente de varianza experimental

$V_{rt}$  = coeficiente de varianza experimental

$$Q_\delta = \sqrt{\exp(V_\delta^2) + 1} \quad \text{Ec (4.9)}$$

Donde

$Q_\delta$  = es el factor que emplea el coeficiente de varianza del término de error

$V_\delta^2$  = coeficiente de varianza del término de error

$$Q = \sqrt{\exp(V_r^2) + 1} \quad \text{Ec (4.10)}$$

Donde

$Q_\delta$  = es el factor que emplea el coeficiente de varianza de variables básicas

$V_r^2$  = coeficiente de varianza de variables básicas

El Anexo D indica que, se emplea el factor de reducción para las correcciones de las resistencias máximas, para discernir los inciertos que se registran en los ensayos (UNE-EN-1990, 2019). Para desarrollar las ecuaciones antes expuestas se debe emplear las siguientes fórmulas:

Determinar el término de error ( $\Delta_i$ ) de cada valor del ensayo  $r_{ei}$ :

$$\Delta_i = \ln \left( \frac{r_{ei}}{\sum r_{ei}} \right) \quad \text{Ec (4.11)}$$

Donde

$\Delta_i$ = Término de error

$r_{ei}$ = Valor de la capacidad máxima obtenida en cada ensayo

Con los valores de esta ecuación se determina la varianza del término del error.

$$S_{\Delta}^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum (\Delta_i - \bar{\Delta})^2 \quad \text{Ec (4.12)}$$

Para determinar el valor del coeficiente de variación del término de error

$$V_{\delta} = \sqrt{\exp(S_{\Delta}^2) - 1} \quad \text{Ec (4.13)}$$

El valor de  $V_{rt}$  es el coeficiente de variación experimental, se determina de acuerdo a los resultados que tiene cada ensayo, este valor sirve para determinar el siguiente coeficiente de variación.

$$V_r^2 = (V_{\delta}^2 + 1) \cdot (V_{rt}^2 + 1) - 1 \quad \text{Ec (4.14)}$$

La tabla 4.7 presenta los valores corregidos para las cargas, mediante el método (a) del anexo D8.

**Tabla No.4. 7:**

Valores de  $P_{RK}$  y  $\delta_u$  corregidos de acuerdo al EN-1990 Anexo D, para los conectores a  $90^\circ$

**Elaborado:** Jonathan Franco & Miguel Martínez

VALORES ÚLTIMOS CORREGIDOS		
$Q_{max}$ (kN)	$\overline{Q}_{max}$ (kN)	% ERROR
Conector a $90^\circ$		
137.20	142.04	3.41%
142.16		0.09%
149.64		5.35%
148.77		4.74%
141.57		0.33%
132.90		6.44%

Cuando se comprueba que los valores están dentro del límite o estos hayan sido tratados mediante el Anexo D, se procede a realizar un análisis estadístico para los conectores. Donde se comprueba la dispersión que tienen los valores máximos registrados, respecto a la media aritmética y mediana, también se determina el valor de la capacidad característica de cada conector.

**Tabla No.4. 8:**

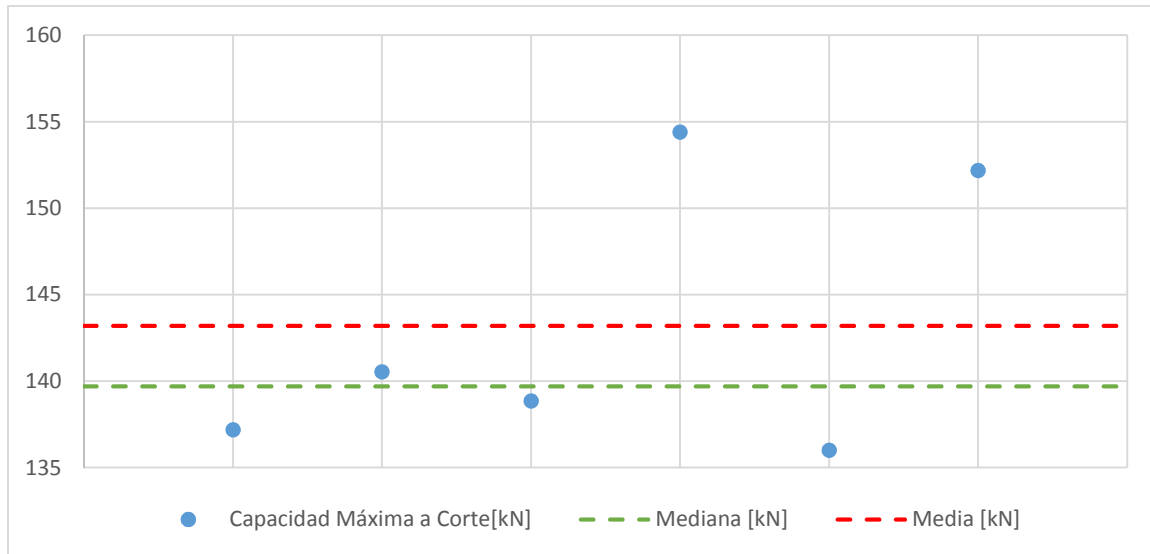
Valor de  $P_{RK}$  conector a  $45^\circ$

**Elaborado:** Jonathan Franco & Miguel Martínez

Nº	$Q_{max}$ [kN]	Error (%)	Desviación Absoluta <sup>†</sup> [kN]	Desviación Absoluta <sup>‡</sup> [kN]
45-1	137.18	4.2%	6.01	2.52
45-2	140.54	1.9%	2.65	0.84
45-3	138.86	3.0%	4.34	0.84
45-4	154.41	7.8%	11.21	14.71
45-5	136.02	5.0%	7.18	3.69
45-6	152.17	6.3%	8.97	12.47
$P_{minimo}$	136.02	[kN]		
Media	143.20	[kN]		
Mediana	139.70	[kN]		
Desviación Estándar	8.00	[kN]		
$P_{RK}$	<b>122.41</b>	[kN]		

<sup>†</sup> Utilizando la media

<sup>‡</sup> Utilizando la mediana



**Figura No.4.8:** Desviación absoluta de los seis ensayos de los conectores a 45°  
**Elaborado:** Franco Jonathan & Martínez Miguel

Este conector presenta un comportamiento homogéneo, debido que tiene valores cercanos a la media y mediana, registrando un valor de desviación absoluta de la capacidad máxima a corte con respecto a su media como valor máximo de 11.21 kN y como mínimo de 2.65 kN y cuando se aplica la mediana se tienen valores de 14.71 kN y 0.83 kN como máximo y mínimo. Se tienen valores de desviación absoluta de la capacidad máxima a corte inferiores debido a que la mediana ordena los valores de máximo a mínimo. Todos los valores presentan una dispersión con respecto a la media del 5.59%, porcentaje aceptable para el análisis de los conectores. Presenta un valor de 122.41 kN para el análisis del  $P_{RK}$ .

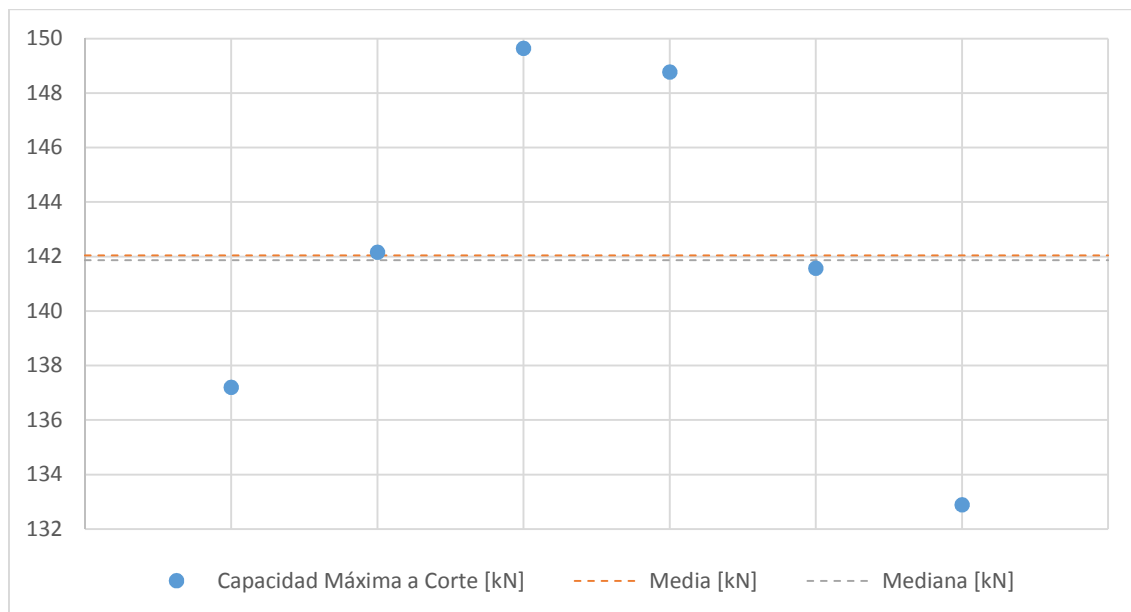
**Tabla No.4. 9:**Valor de  $P_{RK}$  conector a  $90^\circ$ 

Elaborado: Jonathan Franco &amp; Miguel Martínez

Nº	Q [kN]	Error (%)	Desviación Absoluta <sup>†</sup> [kN]	Desviación Absoluta <sup>‡</sup> [kN]
90-1	137,20	4,2%	5,99	2,50
90-2	142,16	0,7%	1,03	2,46
90-3	149,64	4,5%	6,44	9,94
90-4	148,77	3,9%	5,57	9,07
90-5	141,57	1,1%	1,63	1,87
90-6	132,90	7,2%	10,30	6,81
$P_{\text{mínimo}}$	132,90	[kN]		
Media	142,04	[kN]		
Mediana	141,87	[kN]		
Desviación Estándar	6,49	[kN]		
$P_{RK}$	<b>119,61</b>	[kN]		

† Utilizando la media

‡ Utilizando la mediana

**Figura No.4.9:** Desviación absoluta de los seis ensayos de los conectores a  $90^\circ$ 

Elaborado: Franco Jonathan &amp; Martínez Miguel

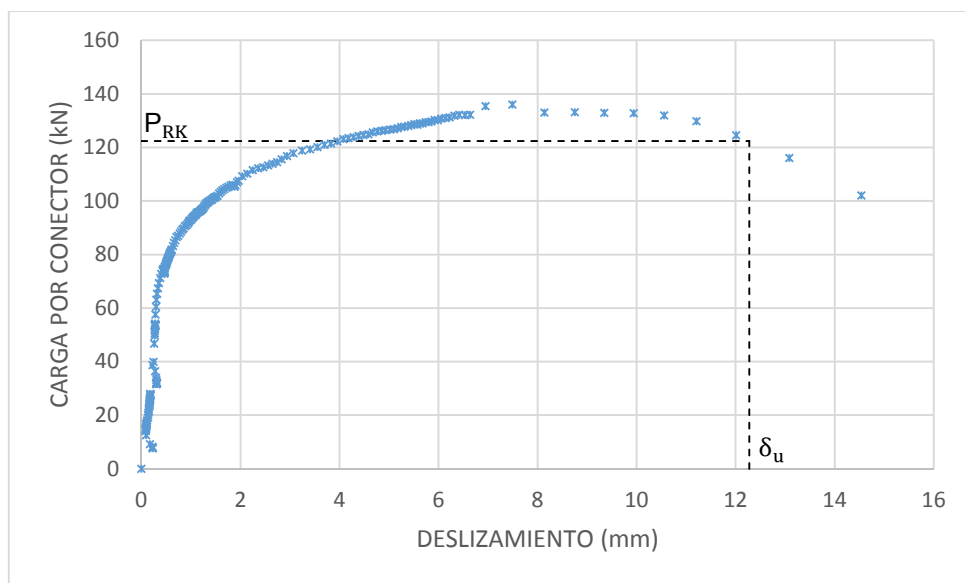
Aunque los valores de la capacidad máxima a corte del conector a  $90^\circ$  están lejos de la media y mediana como muestra la figura 4.9, estos no difieren mucho, excepto el conector 90-6 que tiene valores de desviación absoluta utilizando la media de 10.30 kN y un valor de desviación absoluta de 6.81 kN utilizando la mediana,



valores de desviación altos respecto al resto de conectores a 90°. La tabla 4.9 presenta un valor de 119.61 kN para el análisis del  $P_{RK}$ .

#### 4.3.2. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA CARACTERÍSTICA ( $P_{RK}$ ) Y DESLIZAMIENTO CARACTERÍSTICO $\delta_{UK}$

La gráfica 4.10 muestra valores de  $P_{RK}$  y deslizamiento último  $\delta_u$  para el ensayo que tuvo menor resistencia para conectores a 45°.



**Figura No.4.10:** Valores característicos conector a 45°  
Elaborado: Franco Jonathan & Martínez Miguel

La curva presentada tiene un valor de deslizamiento último de 12.28 mm, el código aplica la reducción del 10% para determinar el deslizamiento característico  $\delta_{UK}$ , con un resultado de 11.05 mm.

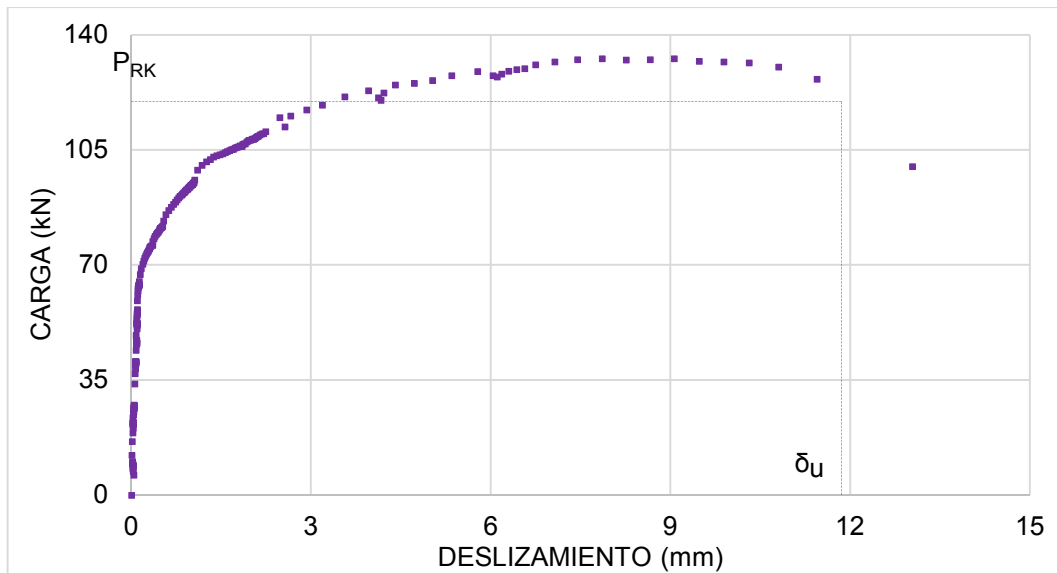
En el caso de los ensayos realizados el fallo siempre fue por el conector. Entonces se analiza el valor de  $P_{RD}$  cuando la resistencia del conector está gobernada por sus propiedades.

$$P_{RD} = \frac{F_u}{1.25 \cdot F_{ut}} \cdot P_{RK} \leq \frac{P_{Rk}}{1.25}$$

$$P_{RD} = \frac{340}{1.25 \cdot 339.33} \cdot 122.41 \text{ ? } \frac{122.41}{1.25}$$

$$98.12 > 97.93$$

La figura 4.11 muestra valores de  $P_{RK}$  y deslizamiento último  $\delta_u$  para el ensayo que tuvo menor resistencia, para conectores a  $90^\circ$ .



**Figura No.4.11:** Valores característicos conector a  $90^\circ$   
**Elaborado:** Franco Jonathan & Martínez Miguel

La curva presentada tiene un valor de deslizamiento último de 11.86 mm, el código aplica la reducción del 10% para determinar el deslizamiento característico  $\delta_{UK}$ , con un resultado de 10.67 mm.

En el caso de los ensayos realizados el fallo siempre fue por el conector. Entonces se analiza el valor de  $P_{RD}$  cuando la resistencia del conector está gobernada por sus propiedades.

$$P_{RD} = \frac{F_u}{1.25 \cdot F_{ut}} \cdot P_{RK} \leq \frac{P_{Rk}}{1.25}$$

$$P_{RD} = \frac{340}{1.25 \cdot 339.33} \cdot 119.61 \text{ ? } \frac{119.61}{1.25}$$

$$95.88 > 95.69$$

Este análisis comprueba que la resistencia de diseño minorada ( $P_{RD}$ ), es mayor a la resistencia característica minorada ( $P_{Rk}/1.25$ ), para ambos conectores de análisis. En este caso como el esfuerzo último del conector es inferior a la que proporciona el fabricante, esto quiere decir que predomina la parte derecha de la inequación presentada.

#### 4.4. ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD A CORTE

##### 4.4.1. ENSAYO MONOTÓNICO VS. ECUACIÓN DE DISEÑO

En la sección 3.2.5 de este trabajo técnico experimental, se analiza varias ecuaciones para la capacidad máxima a corte de diferentes tipos de conectores, siendo la parte izquierda de la ecuación 3.2 la que presenta el máximo valor. El ensayo monotónico muestra valores superiores a la del diseño, por esto, se debe realizar el análisis con los datos del hormigón registrados en la sección 4.1. La siguiente tabla indica el valor de la capacidad máxima a corte obtenida durante los ensayos monotónico a 45° y 90°, la capacidad máxima a corte teórico y el error en porcentaje.

$$Q_{AISC-360} = 0.5 \cdot A_{sa} \cdot \sqrt{f'_c \cdot E_c} \quad \text{Ec (4.15)}$$

Donde:

$$A_{sa} = 308 \text{ mm}^2$$

$$f'_c = 26.53 \text{ MPa}$$

$$E_c = 21.16 \text{ GPa}$$

$$Q_{AISC-360} = 0.5 \cdot 308 \text{ mm} \cdot \sqrt{26.53 \text{ MPa} \cdot 21160 \text{ MPa}}$$

$$Q_{AISC-360} = 115.36 \text{ kN}$$

**Tabla No.4. 10:**

*Comparación de carga de rotura de ensayo monotónico por conector vs capacidad de corte por conector*

**Elaborado:** Jonathan Franco & Miguel Martínez

	$Q_{AISC360}$ (kN)	$Q_{MONOTÓNICO}$ (kN)	Error (%)
PM-45	115.36	147.86	28.17%
PM-90		143.20	24.13%

El porcentaje de error supera en más del 10% a los valores que se obtienen del ensayo, por esta razón se debe analizar la capacidad de corte de diseño mediante ecuaciones que reduzcan el porcentaje de error, se deduce que la ecuación que presenta el AISC-360 es válida para pernos. Se basa solo en áreas y la capacidad máxima a corte del conector solo es válido para el rango elástico. Es oportuno hacer este análisis para descartar la ecuación y poder tener una ecuación de diseño que se asemeje a la realidad de los conectores tipo ángulo.

#### 4.4.2. ENSAYO MONOTÓNICO VS. PUSH-OUT

Se realiza el análisis debido a que las probetas son expuestas a cargas cíclicas antes de proceder con la carga formal para comprobar que los ensayos push-out tienen una capacidad máxima a corte semejante a las del ensayo monotónico.

Las siguientes tablas muestran los valores de la capacidad máxima a corte por conector, se presenta el porcentaje de error que tienen las capacidades máximas.

Se dispone que los valores usados para la capacidad máxima a corte son los registrados por los ensayos y no tienen relación con la corrección que se hace en la sección 4.3.1.

**Tabla No.4. 11:**

*Análisis del porcentaje de error para la capacidad a corte por conector, entre ensayo monotónico y ensayo push-out, conectores a 90°*

**Elaborado:** Jonathan Franco & Miguel Martínez

	Capacidad máxima a corte conector a 90°		Error (%)
	PUSH-OUT	MONOTÓNICO	
90-1	161.76	143.20	12.96%
90-2	142.16		0.72%
90-3	149.64		4.50%
90-4	148.77		3.89%
90-5	141.57		1.14%
90-6	132.90		7.20%
	146.13	Promedio	5.07%

El valor máximo que registra la tabla 4.11 es de 161.76 kN siendo el único que se diferencia con el resto, sin embargo, el error promedio que se tiene de los 6 ensayos, en general es de 5.07%.

**Tabla No.4. 12:**

*Análisis del porcentaje de error para capacidad a corte por conector, entre ensayo monotónico y ensayo push-out, conectores a 45°*

**Elaborado:** Jonathan Franco & Miguel Martínez

	Capacidad máxima a corte del conector a 45°		Error (%)
	Push-out (kN)	Monotónico (kN)	
PO-1-45	137.18	147.86	7.22%
PO-2-45	140.54		4.95%
PO-3-45	138.86		6.08%
PO-4-45	154.41		4.43%
PO-5-45	136.02		8.01%
PO-6-45	152.17		2.92%
	143.20	Promedio	5.60%

El valor máximo es de 154.41 kN, no varía con respecto a los demás, no obstante, el error promedio que se tiene de los 6 ensayos es de 5.60%.

#### 4.4.3. CAPACIDAD A CORTE DE CÓDIGOS INTERNACIONALES

Las ecuaciones empíricas utilizadas para el análisis son recopiladas de cuatro códigos que determinan la capacidad de diseño a corte. Los códigos presentan ecuaciones para pernos stud así como para conectores de corte tipo canal, sin embargo, serán empleadas para el análisis del conector tipo ángulo.

La primera ecuación para determinar la resistencia del conector la presenta el EUROCÓDIGO 4 (UNE-EN-1994), utiliza los elementos del conector de corte tipo stud como el diámetro del perno  $d$  (mm) y la altura del conector  $h_{sc}$  (mm), además, la resistencia a compresión del hormigón  $f'_c$  (N/mm<sup>2</sup>) en el cual va a estar embebido el conector y el módulo de elasticidad  $E_c$  (N/mm<sup>2</sup>). El coeficiente alfa ( $\alpha$ ) debe ser el menor valor de la siguiente ecuación (UNE-EN-1994, 2013). El valor del diámetro se obtuvo en la sección 3.2.3 mediante la equivalencia de áreas, donde se obtuvo un diámetro equivalente de 19.80 mm

$$\alpha = 0.2 \cdot \left( \frac{h_{sc}}{d} + 1 \right) \quad \text{cuando } 3 \leq h_{sc}/d \leq 4 \quad \text{Ec (4.16)}$$

$$\alpha = 1 \quad \text{cuando } h_{sc}/d > 4 \quad \text{Ec (4.17)}$$

$$Q_{EN-4} = \frac{0.29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \sqrt{f'_c \cdot E_c}}{1.5} \quad \text{Ec (4.18)}$$

Desarrollo

Factor alfa.

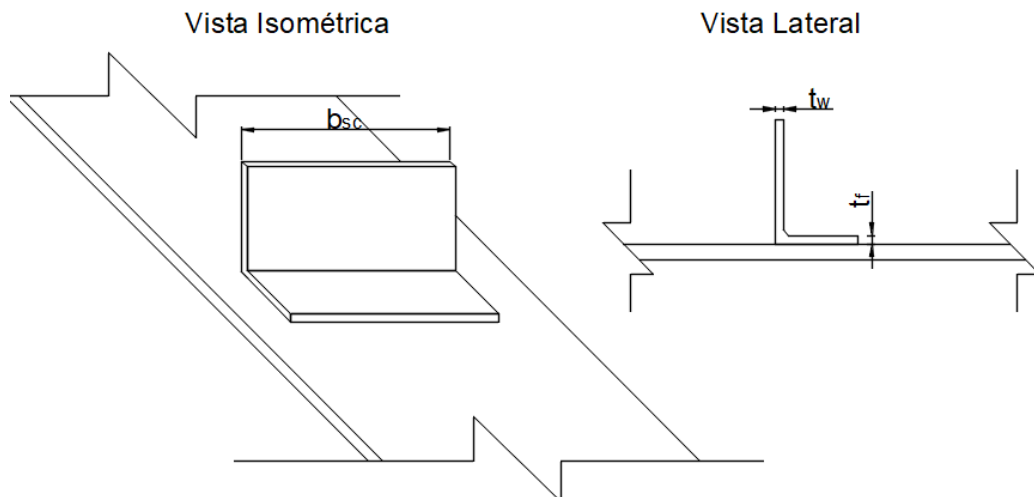
$$\frac{h_{sc}}{d} = \frac{80 \text{ mm}}{19.80 \text{ mm}} = 4.04$$

La relación de la altura del conector con respecto a su diámetro equivalente da un valor de 4.04 y como es mayor a 4, se debe emplear un factor  $\alpha=1$

$$Q_{EN-4} = \frac{0.29 \cdot 1 \cdot (19.8 \text{ mm})^2 \cdot \sqrt{26.52 \text{ MPa} \cdot 21159.33 \text{ MPa}}}{1.5} \cdot 0.001 \text{ [kN]}$$

$$Q_{EN-4}=56.25 \text{ kN}$$

El código Estructuras de Acero de la República de China (GB-50017) estipula varias fórmulas para determinar la capacidad a corte de los conectores, presenta la ecuación para un conector tipo canal, donde el espesor del alma del conector es  $t_w$  (mm), el espesor del patín  $t_f$  (mm), el ancho del conector es  $L_c$  (mm) y las propiedades del hormigón son  $E_c$  y  $f'_c$  (N/mm<sup>2</sup>) (GB 50017, 2017). La posición del conector con la que se determina la ecuación 4.19, se muestra en la siguiente imagen.



**Figura No.4.12:** Posición del conector según GB-50017

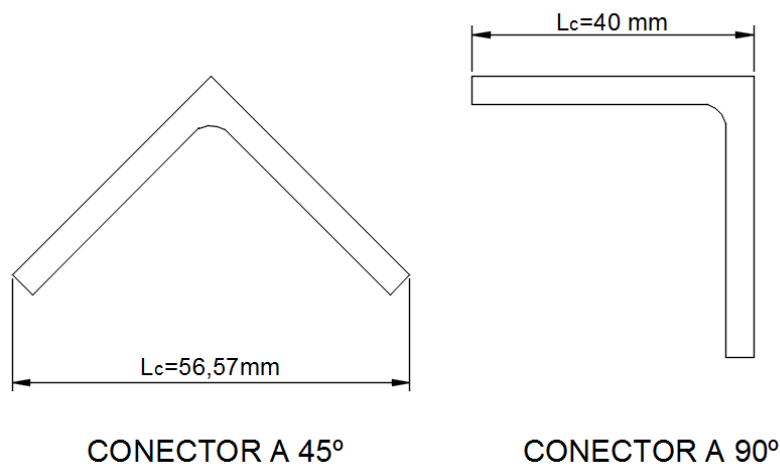
**Fuente:** GB-50017, 2017

**Modificado:** Franco Jonathan & Martínez Miguel

$$Q_{GB-50017}=0.26 \cdot (t_f+0.5 \cdot t_w) \cdot L_c \cdot \sqrt{E_c \cdot f'_c} \quad \text{Ec (4.19)}$$

Desarrollo

Los valores para el ancho de los conectores a 45° y 90°, se muestran en la siguiente gráfica.



**Figura No.4.13:** Valores de  $L_c$  para el ángulo 40x4 mm  
**Elaborado:** Franco Jonathan & Martínez Miguel

Se toman como valores del alma del conector de 4mm y del patín un valor de 4mm.

Para el conector a 45°

$$Q_{GB-50017} = 0.26 \cdot (1.5 \cdot 4) \cdot 56.57 \cdot \sqrt{21159.33 \cdot 26.52} \cdot 0.001 \text{ [kN]}$$

$$Q_{GB-50017} = 65.49 \text{ kN}$$

Para el conector a 90°

$$Q_{GB-50017} = 0.26 \cdot (1.5 \cdot 4) \cdot 40 \cdot \sqrt{21159.33 \cdot 26.52} \cdot 0.001 \text{ [kN]}$$

$$Q_{GB-50017} = 46.31 \text{ kN}$$

La norma AASHTO-LRFD emplea la ecuación presentada por el AISC-360 para calcular de la capacidad de corte de los conectores, sin embargo, esta la lleva al estado límite de resistencia, mediante la aplicación del factor de reducción ( $\phi_{sc}$ ) cuyo valor es del 0,85 para corte.

$$Q_n = 0.5 \cdot A_{sa} \cdot \sqrt{E_c \cdot f'_c} \quad \text{Ec (4.20)}$$

$$Q_{\text{AASHTO-LRFD}} = \phi_{sc} \cdot Q_n \quad \text{Ec (4.21)}$$



Desarrollo

$$Q_{\text{AASHTO-LRFD}} = 0.85 \cdot 115.39 \text{ kN} = 98.06 \text{ kN}$$

**Tabla No.4. 13:**

*Análisis de la capacidad a corte aplicando normas internacionales para los conectores de corte posicionados a 90°*

**Elaborado:** Jonathan Franco & Miguel Martínez

	Carga última del ensayo Push-out a 90°					Error (%)			
	Push-out (kN)	AISC-360 (kN)	UNE-EN 1994 (kN)	GB-50017 (kN)	AASHTO-LRFD (kN)	AISC-360	UNE-EN 1994	GB-50017	AASHTO-LRFD
90-1	161.76	115.29	56.76	46.74	98.06	40.22%	184.90%	246.05%	64.96%
90-2	142.16					23.23%	150.39%	204.14%	44.98%
90-3	149.64					29.72%	163.56%	220.13%	52.61%
90-4	148.77					28.96%	162.02%	218.27%	51.72%
90-5	141.57					22.72%	149.34%	202.86%	44.37%
90-6	132.90					15.20%	134.06%	184.31%	35.53%
	146.13	Promedio				26.67%	157.38%	212.63%	49.03%

**Tabla No.4. 14:**

*Análisis de la capacidad a corte aplicando normas internacionales para los conectores de corte posicionados a 45°*

**Elaborado:** Jonathan Franco & Miguel Martínez

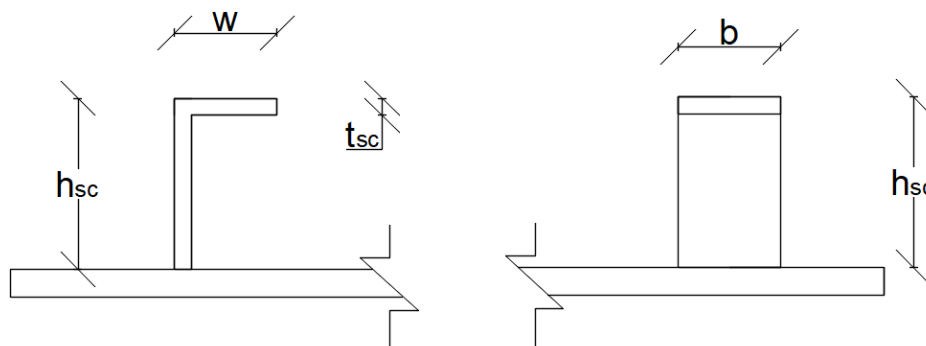
	Carga última del ensayo Push-out a 90°					Error (%)			
	Push-out (kN)	AISC-360 (kN)	UNE-EN 1994 (kN)	GB-50017 (kN)	AASHTO-LRFD (kN)	AISC-360	UNE-EN 1994	GB-50017	AASHTO-LRFD
45-1	137.18	115.36	56.78	66.11	98.06	18.92%	141.62%	107.52%	39.90%
45-2	140.54					21.83%	147.54%	112.60%	43.33%
45-3	138.86					20.37%	144.57%	110.05%	41.61%
45-4	154.41					33.85%	171.96%	133.57%	57.47%
45-5	136.02					17.90%	139.56%	105.75%	38.71%
45-6	152.17					31.91%	168.01%	130.19%	55.19%
	143.20	Promedio				25.29%	154.57%	118.64%	46.04%

Los valores de capacidad máxima a corte de los códigos con respecto a las capacidades obtenidas del ensayo push-out, presentan porcentajes de error que

superan el 100%, para las ecuaciones del Eurocódigo 4 y GB-50017. Respecto al valor de la capacidad a corte máxima por el código GB-50017, presenta un aumento para el conector a 45° que para el conector a 90°. El código AISC-360, aunque la ecuación es para conectores tipo Stud, esta expresión es la que tiene valores más cercanos a los obtenidos en los ensayos, lo que se refleja con valores de error en porcentaje bajos, para ambos conectores.

#### 4.4.4. CAPACIDAD A CORTE DE INVESTIGACIONES PREVIAS

Los autores Bamaga et al, emplean una ecuación diferente a los códigos antes mencionados, esta utiliza la geometría del conector tipo ángulo, como su altura  $h_{sc}$  (mm) y el espesor  $t_{sc}$  (mm), además de la resistencia del hormigón  $f'_c$  (N/mm<sup>2</sup>). Esta ecuación fue propuesta por los autores Oguejiorfor y Hosain, pero puesta a prueba por Bamaga et al, con resultados favorables. La posición en como ensayó este conector se presenta en la siguiente imagen (Bamaga, et al, 2019).



**Figura No.4.14:** Posicionamiento del ángulo para el ensayo

**Fuente:** Bamaga, et al, 2019

**Modificado:** Franco Jonathan & Martínez Miguel

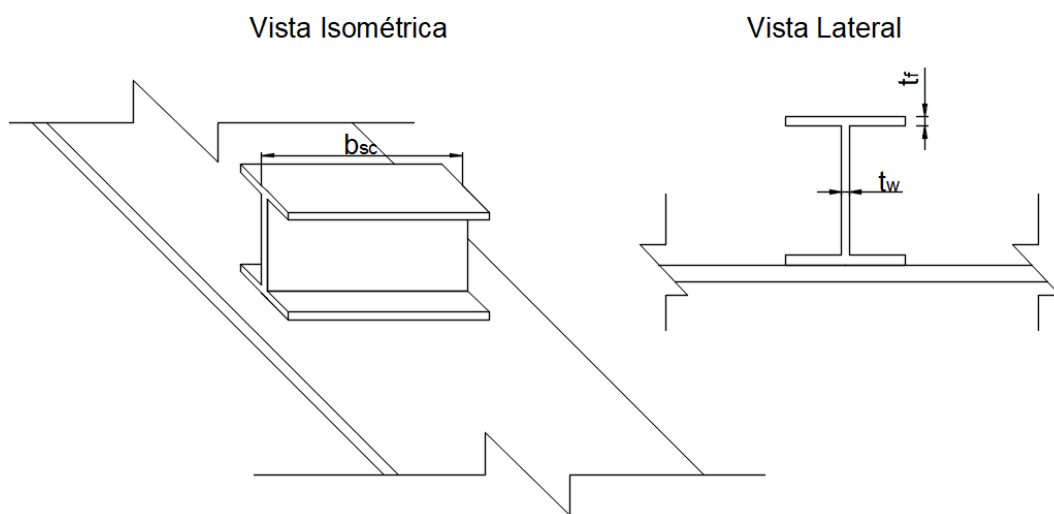
$$Q = 4.5 \cdot h_{sc} \cdot t_{sc} \cdot f'_c \quad \text{Ec (4.22)}$$

Desarrollo

$$Q = 4.5 \cdot 80\text{mm} \cdot 4 \text{ mm} \cdot 26.52 \text{ MPa} \cdot 0.001 \text{ [kN]}$$

$$Q = 38.19 \text{ kN}$$

Titoum et al, tiene excelentes resultados aplicando la ecuación dictada por la norma canadiense para determinar la capacidad máxima a corte de los conectores tipo I, una ecuación similar presenta el AISC-360 para conectores tipo canal (Titoum et al, 2016). Se empleará la ecuación usada por Titoum et al, donde se usará una viga I con inercias parecidas a la inercia del conector en ángulo, la viga que se asemeja tiene espesor de alma de 4 mm ( $t_f$ ) y de ala 4 mm ( $t_w$ ). La posición en como ensayó este conector se presenta en la siguiente imagen.



**Figura No.4.15:** Posicionamiento del ángulo para el ensayo

**Fuente:** Titoum, et al, 2016

**Modificado:** Franco Jonathan & Martínez Miguel

$$Q = 36.5 \cdot (t_f + 0.5 \cdot t_w) \cdot t_{sc} \cdot \sqrt{f'_c} \quad \text{Ec (4.23)}$$

Desarrollo

Los valores del ancho del conector se toman de la gráfica 4.13

Para el conector a 90°

$$Q = 36.5 \cdot (4 \text{ mm} + 0.5 \cdot 4 \text{ mm}) \cdot 40 \text{ mm} \cdot \sqrt{26.52 \text{ MPa}} \cdot 0.001 \text{ [kN]}$$

$$Q = 45.11 \text{ kN}$$

Para el conector a 45°

$$Q = 36.5 \cdot (4 \text{ mm} + 0.5 \cdot 4 \text{ mm}) \cdot 56.57 \text{ mm} \cdot \sqrt{26.52 \text{ MPa}} \cdot 0.001 \text{ [kN]}$$

$$Q = 63.80 \text{ kN}$$

Las siguientes tablas presentan el error que tiene la capacidad máxima del ensayo push-out respecto a las dos ecuaciones presentadas por investigaciones previas.

**Tabla No.4. 15:**

*Análisis de la capacidad a corte por conector, entre investigaciones previas y los conectores de corte posicionados a 90°*

**Elaborado:** Jonathan Franco & Miguel Martínez

	Capacidad a corte máxima conector a 90°			Error (%)	
	Push-Out (kN)	Ec 4.22 (kN)	Ec 4.23 (kN)	Eq 4.22	Eq 4.23
90-1	161.76	38.19	45.11	323.57%	258.57%
90-2	142.16			272.27%	215.14%
90-3	149.64			291.85%	231.71%
90-4	148.77			289.57%	229.78%
90-5	141.57			270.71%	213.82%
90-6	132.90			247.99%	194.59%
	146.13	Promedio		282.66%	223.93%

**Tabla No.4. 16:**

*Análisis de la capacidad a corte por conector de investigaciones previas para los conectores de corte posicionados a 45°*

**Elaborado:** Jonathan Franco & Miguel Martínez

	Capacidad a corte máxima conector a 45°			Error (%)	
	Push-Out (kN)	Ec 4.22 (kN)	Ec 4.23 (kN)	Ec 4.22	Ec 4.23
45-1	137.18	38.19	63.80	259.22%	115.02%
45-2	140.54			268.02%	120.29%
45-3	138.86			263.61%	117.65%
45-4	154.41			304.33%	142.02%
45-5	136.02			256.17%	113.19%
45-6	152.17			298.47%	138.52%
	143.20	Promedio		274.97%	124.45%

Los resultados presentados en las tablas anteriores muestran que los porcentajes de errores son mayor al 100%. La ecuación empleada por Titoum et al, muestra una reducción considerable en el porcentaje de error promedio de los conectores a 45° respecto a los conectores a 90°.

## 4.5. ANÁLISIS DE LA RIGIDEZ, DUCTILIDAD Y TENACIDAD

### 4.5.1. DEGRADACIÓN DE LA RIGIDEZ

Deng, et al, emplean este método para analizar como la rigidez del sistema compuesto va variando cuando la carga aumenta paulatinamente, lo que se ve reflejado directamente en el deslizamiento relativo entre la losa de concreto y los conectores (Deng et al, 2019). Para determinar esta rigidez se calcula con la siguiente ecuación.

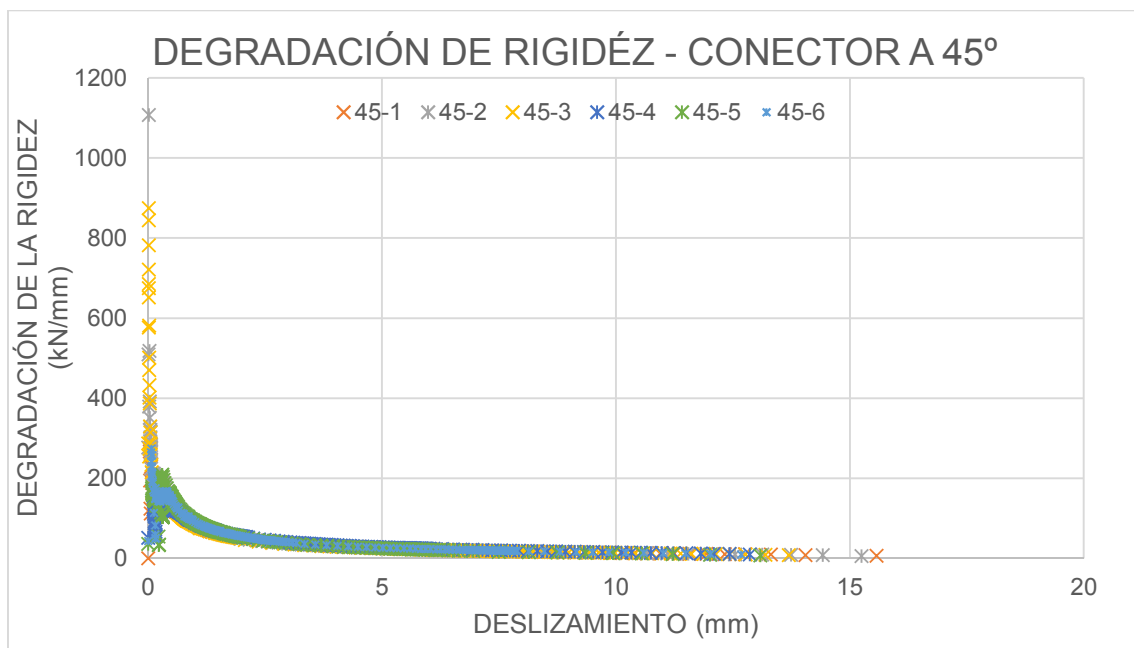
$$K_i = \frac{P_i}{\Delta_i} \quad \text{Ec (4.24)}$$

$K_i$ = rigidez para cada valor de la carga registrada

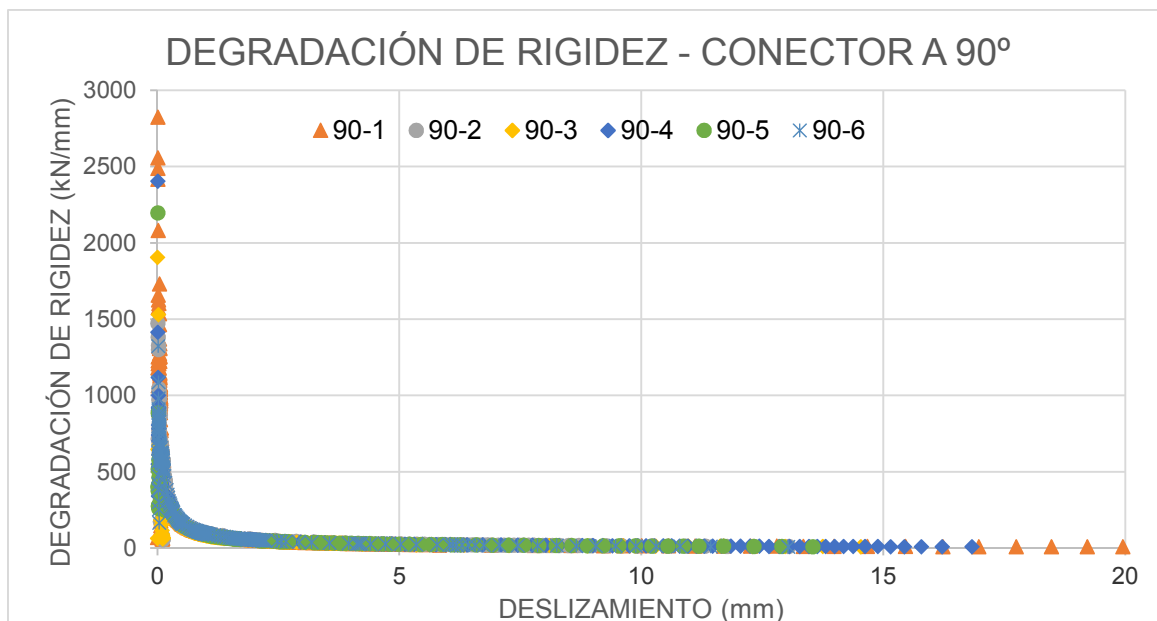
$P_i$ =carga registrada en el ensayo

$\Delta_i$ = deslizamiento para cada valor de la carga registrada

En las siguientes gráficas se puede apreciar como la rigidez del sistema va reduciendo cuando aumenta el deslizamiento entra la losa y el conector.



**Figura No.4.16:** Degradación de la rigidez para conector a 45°  
Elaborado: Franco Jonathan & Martínez Miguel



**Figura No.4.17:** *Degradación de la rigidez para conector a 90°*  
**Elaborado:** Franco Jonathan & Martínez Miguel

Las dos gráficas muestran que, entre más se registra un deslizamiento entre la losa y el conector, la rigidez del sistema va reduciendo considerablemente. Corroborando lo que indica los autores Deng et al., que la rigidez del sistema se ve afectado directamente con el aumento de la carga y el deslizamiento.

#### 4.5.2. RIGIDEZ INICIAL

Debido a que el ensayo push-out tiene una parte cíclica, se ve afectada la rigidez inicial de la gráfica carga-deslizamiento para el análisis de los conectores. Deng, et al, determinan el valor de la rigidez inicial de su investigación de acuerdo al código The Japan Steel Structure Association, para el valor de la tercera parte de la carga máxima registrada en los ensayos (Deng et al, 2019). Sin embargo, el Eurocódigo 4 determina la rigidez inicial al 40% de la capacidad máxima a corte de los conectores (UNE-EN-1994, 2013), se emplea el método del Eurocódigo para el análisis. Las tablas 4.17 y 4.18 muestran este valor, el cual es determinado con la siguiente ecuación.

$$K_o = \frac{40\% \cdot Q_{max}}{\delta_i} \quad \text{Ec (4.25)}$$

Donde

$Q_{max}$  = capacidad máxima a corte de los conectores

$\delta_i$  = deslizamiento registrado cuando el valor es de un tercio de la capacidad máxima

#### 4.5.3. RIGIDEZ CARACTERÍSTICA

El código estipula el análisis de la resistencia característica para el 90% de la capacidad máxima a corte, se requiere analizar la rigidez de los conectores para dicha carga. Las tablas 4.17 y 4.18 especifican el valor de la rigidez característica. Utilizando la ecuación de una rigidez secante, como lo indica la siguiente ecuación.

$$K = \frac{P_{RK}}{\delta_i} \quad \text{Ec (4.26)}$$

$P_{RK}$  = capacidad característica a corte de los conectores

$\delta_i$  = deslizamiento registrado cuando el valor es de la capacidad característica

#### 4.5.4. RIGIDEZ CARACTERÍSTICA REDUCIDA

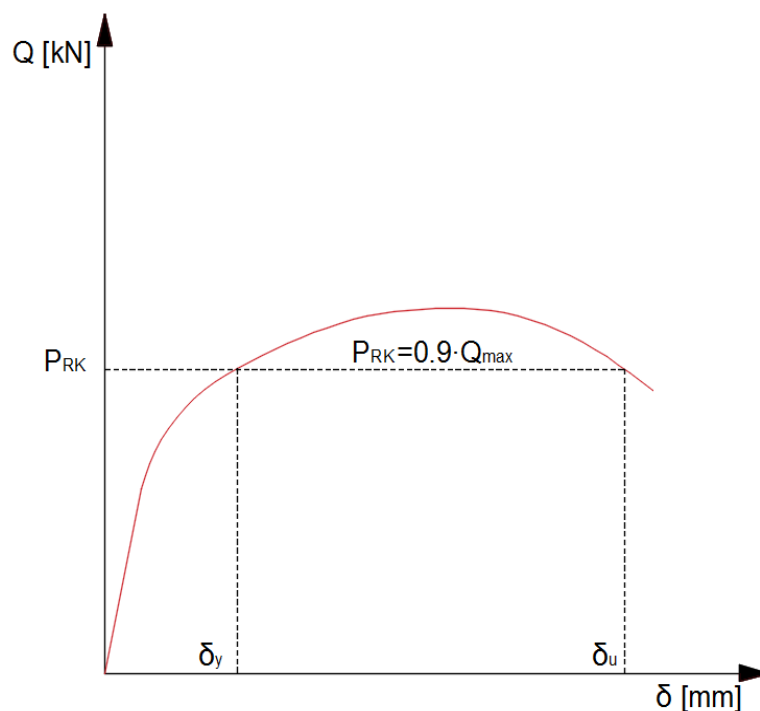
Hällmark, et al., determinan la rigidez característica de acuerdo con los valores especificados en el Eurocódigo 4, con la reducción de la capacidad característica en un 75% (Hällmark, Collin, & Hicks, 2019; UNE-EN-1994, 2013). Las tablas 4.17 y 4.18 especifican el valor de la rigidez característica reducida. Utilizando la ecuación de una rigidez secante, como lo indica la siguiente ecuación.

$$K = \frac{0.75 \cdot P_{RK}}{\delta_i} \quad \text{Ec (4.27)}$$

#### 4.5.5. DUCTILIDAD

La curva carga versus deslizamiento, permite obtener los valores de los coeficientes de la ductilidad de los conectores. Shariati et al., emplean la determinación del

factor de la ductilidad o el coeficiente de la ductilidad con la división entre el deslizamiento característico ( $\delta_u$ ) y el deslizamiento a fluencia ( $\delta_y$ ), para cada conector ensayado (Shariati et al, 2014). De igual forma, Deng, et al., determina este coeficiente de ductilidad empleando la misma fórmula determinada por los autores Shariati et al (Deng et al, 2019). Con estas pautas, se procede a determinar el factor de ductilidad con la siguiente fórmula empleada en estas investigaciones. Las tablas 4.17 y 4.18 muestran estos valores de ductilidad para los conectores a 45° y a 90° respectivamente.



**Figura No.4.18:** Valores de deslizamiento para obtener la ductilidad  
**Fuente:** Deng, et al, 2019.

$$\mu = \frac{\delta_u}{\delta_y} \quad \text{Ec (4.28)}$$

Donde

$\mu$  = factor de ductilidad

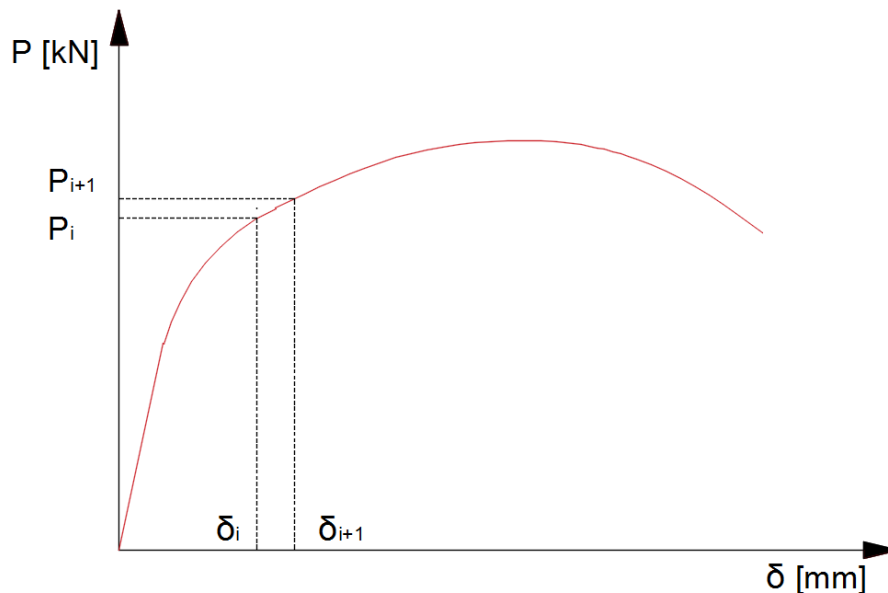
$\delta_u$  = deslizamiento característico



$\delta_y$  = deslizamiento en la carga de fluencia

#### 4.5.6. TENACIDAD

La tenacidad de un sistema es la capacidad que tiene para poder absorber energía sin que esta llegue a la falla (McCormac & Csernak, 2013). La tenacidad de los conectores se obtendrá en unidades de energía Jules (J), misma que se determina como el área acumulada debajo de la curva carga-deslizamiento de los conectores hasta la falla de rotura. Se emplean las siguientes ecuaciones para determinar esta área, se emplea el método de los trapecios que consiste en multiplicar un intervalo de deslizamiento  $\Delta\delta$  con su respectivo intervalo de cargas  $\Delta P$ .



**Figura No.4.19:** Valores de deslizamiento para obtener la ductilidad  
**Elaborado:** Franco Jonathan & Martínez Miguel

El intervalo de carga se define con la siguiente ecuación

$$\Delta P_i = \frac{P_i + P_{i+1}}{2} \quad \text{Ec (4.29)}$$

El intervalo del deslizamiento se lo obtiene mediante:

$$\Delta\delta_i = |\delta_i - \delta_{i+1}| \quad \text{Ec (4.30)}$$

Se obtiene un área por punto igual a:

$$A_i = \Delta P_i \cdot \Delta \delta_i \quad \text{Ec (4.31)}$$

Para determinar el área total debajo de la curva se debe aplicar la siguiente ecuación

$$\sum_{i=1}^n A = A_i \quad \text{Ec (4.32)}$$

Las tablas 4.17 y 4.18 muestran estos valores de tenacidad para los conectores a 45° y a 90° respectivamente.

**Tabla No.4. 17:**

*Análisis de rigidez, ductilidad y tenacidad para los conectores de corte posicionados a 45°*

**Elaborado:** Jonathan Franco & Miguel Martínez

N°	$\delta_u$ [mm]	$\delta_y$ [mm]	u factor	Tenacidad [J]	k, 90%·Q <sub>max</sub> [kN/mm]	k, 75%·P <sub>RR</sub> [kN/mm]	k, 40%·Q <sub>max</sub> [kN/mm]
45-1	13,27	3,86	3,44	1879,74	32,00	67,18	132,75
45-2	14,04	5,05	2,78	2038,42	25,06	76,18	188,06
45-3	13,37	4,86	2,75	1766,90	25,70	63,89	140,72
45-4	12,89	5,01	2,57	1794,82	27,75	68,29	134,37
45-5	12,28	3,98	3,08	1750,47	30,73	96,90	198,93
45-6	12,81	5,12	2,50	1796,00	26,72	68,69	166,10
<b>Media</b>	<b>13,11</b>	<b>4,65</b>	<b>2,85</b>	<b>1837,73</b>	<b>27,99</b>	<b>73,52</b>	<b>160,16</b>
<b>DE</b>	<b>0,60</b>	<b>0,57</b>	<b>0,35</b>	<b>107,94</b>	<b>2,80</b>	<b>12,14</b>	<b>28,67</b>

**Tabla No.4. 18:**

*Análisis de rigidez, ductilidad y tenacidad para los conectores de corte posicionados a 90°*

**Elaborado:** Jonathan Franco & Miguel Martínez

N°	$\delta_u$ [mm]	$\delta_y$ [mm]	u factor	Tenacidad [J]	k, 90%·Q <sub>max</sub> [kN/mm]	k, 75%·P <sub>RR</sub> [kN/mm]	k, 40%·Q <sub>max</sub> [kN/mm]
90-1	25,62	8,82	2,90	3207,20	16,50	53,87	616,89
90-2	13,10	3,65	3,59	1699,50	35,04	102,65	643,49
90-3	17,03	5,74	2,97	2006,19	23,47	69,20	341,38
90-4	17,08	5,55	3,07	2253,88	24,10	71,58	339,86
90-5	14,00	5,09	2,75	1694,16	25,02	66,73	283,10
90-6	11,86	3,31	3,58	1568,33	36,09	119,47	620,97
<b>Media</b>	<b>16,45</b>	<b>5,36</b>	<b>3,14</b>	<b>2071,54</b>	<b>26,70</b>	<b>80,59</b>	<b>474,28</b>
<b>DE</b>	<b>4,96</b>	<b>1,97</b>	<b>0,36</b>	<b>610,13</b>	<b>7,51</b>	<b>24,96</b>	<b>168,98</b>

#### 4.6. MODOS DE FALLAS

Antes de presentar los modos de falla, se muestra el resultado de las losas y los conectores en el sitio de ensayo. La figura 4.20 se observa el desprendimiento de la losa junto con el conector en la parte izquierda mientras que para la losa del lado derecho presenta un desprendimiento del hormigón en la parte inferior, sin embargo, las dos losas quedaron prácticamente intactas.



**Figura No.4.20:** Esquema general 1 de falla de las probetas push-out  
**Elaborado:** Franco Jonathan & Martínez Miguel

La mayoría de las probetas push-out presentaron el desprendimiento de una losa y la otra quedó unida a la viga. Algunos ensayos presentaron desprendimiento de ambas losas, como se observa en la siguiente imagen.



**Figura No.4.21:** Esquema general 2 de falla de las probetas push-out  
**Elaborado:** Franco Jonathan & Martínez Miguel

Estas dos fallas fueron las únicas que se presentaron cuando la probeta fue sometida a la carga de rotura.

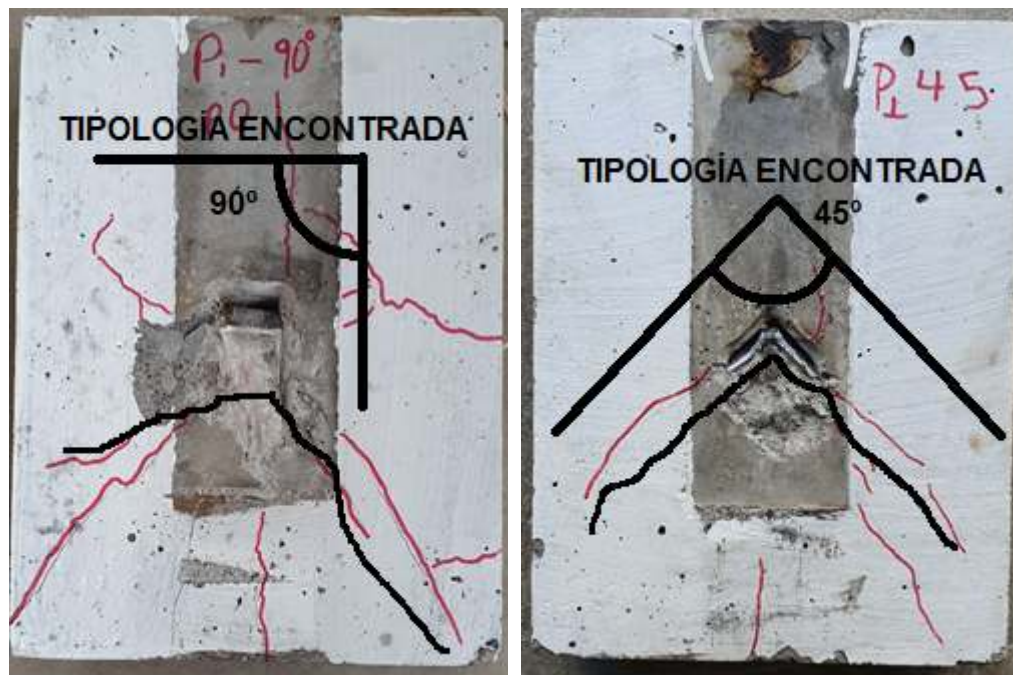
En general, las 14 probetas ensayadas presentaron el desprendimiento de las losas con respecto a las vigas, cabe recalcar que los conectores quedaron unidos a las losas, por lo cual, las fallas de las probetas push-out se dieron por falla del conector por corte en la zona de unión de la losa y la viga. Las losas no presentaron fallas considerables, solo grietas o fisuras que se detallan en la siguiente sección.

#### **4.6.1. MODOS DE FALLAS EN LOSAS DE HORMIGÓN**

Se ensayaron 14 probetas, las cuales fueron cargadas hasta la carga de rotura, generando fallas en el hormigón que son claramente identificables. Tanto en las probetas con los conectores de corte tipo ángulo a 45° y 90° presentan grietas en la dirección que están las alas del conector, como se muestra en la figura 4.22 la tipología encontrada. Las grietas empiezan alrededor de los conectores de corte y se distribuyen a todas las caras de las probetas de hormigón.

Las probetas para los conectores a 90° presentan grietas más numerosas (Figura 22-a), mientras que los conectores a 45° son menos notorias (Figura 22-b). Es

evidente que la posición del conector influye en las fisuras que va a tener el hormigón, tal es el caso que, para las probetas con el conector a  $45^\circ$  las fallas se generan en la dirección de la ubicación de conector. Mientras que en la posición de  $90^\circ$  a más de generarse la falla en un plano de  $45^\circ$ , se tiene fallas en el plano horizontal o con una leve inclinación, adyacentes al conector (Hurtado, Molina, & Linero, 2008)



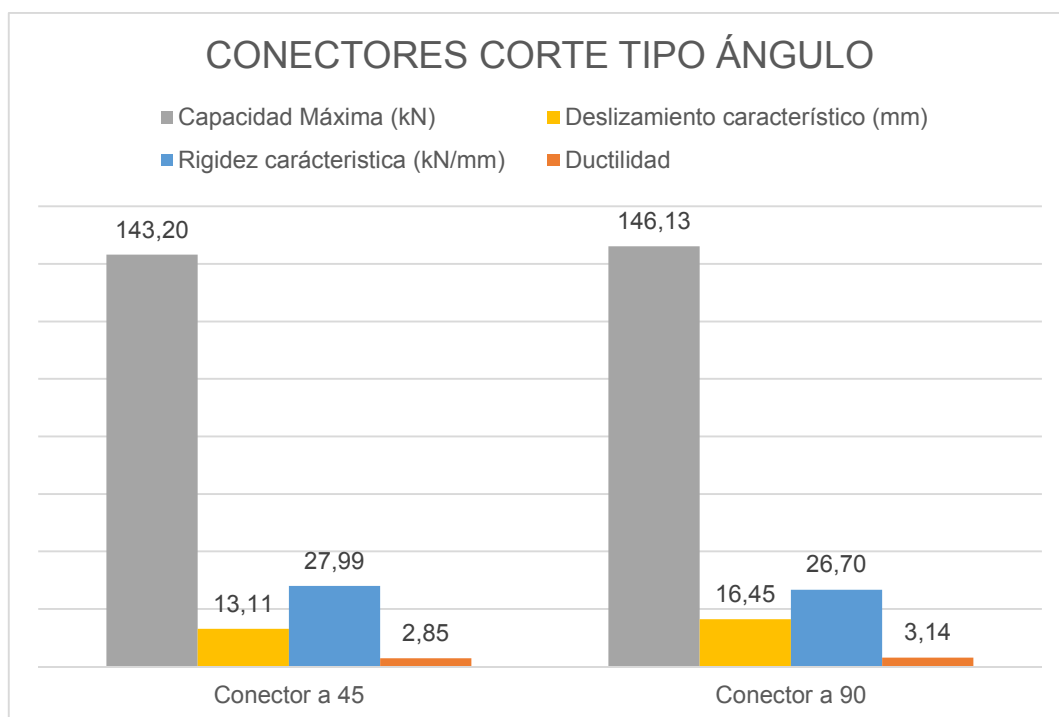
b) CONECTOR A  $90^\circ$

a) CONECTOR A  $45^\circ$

**Figura No.4.22:** Fallas típicas encontradas, losas de hormigón maciza  
Elaborado: Franco Jonathan & Martínez Miguel

#### 4.7 COMPARACIÓN ENTRE LOS DOS CONECTORES

Se realiza mediante una gráfica de barras para realizar un análisis comparativo entre los conectores. Huang et al., en su investigación de los conectores de corte, presentan una gráfica de barras donde muestran el deslizamiento último, capacidad máxima y capacidad característica para comparar los 5 tipos de conectores que analizaron (Huang, Li, Chen, Zeng, & Zhu, 2018). La siguiente gráfica, muestra el análisis comparativo entre las dos posiciones de los conectores, se aprecia la capacidad máxima, el deslizamiento característico, la rigidez característica y la ductilidad.



**Figura No.4.23:** Análisis comparativo entre los dos conectores de corte  
**Elaborado:** Franco Jonathan & Martínez Miguel

El conector posicionado a 90°, tiene una capacidad a corte de 146.13 (kN), mayor en un 2% con respecto a conector posicionado a 45°. Para el deslizamiento último donde el valor del conector a 90° es de 16.45 (mm) el cual supera 25% al deslizamiento registrado con el conector posicionado a 45°. La ductilidad que presenta el conector a 90° es de 5.36 el cual supera en un 13.33% al valor obtenido para la ductilidad del conector a 45°. El conector a 45° presenta un mejor comportamiento con respecto a los valores antes mencionados, para la rigidez característica con 27.99 (kN/mm), que superan en 4.6% valores calculados para el conector posicionado a 90°.

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

- La metodología utilizada para el diseño de los conectores de corte tipo ángulo, a pesar de ser desarrollada en base a criterios de diseño para conectores de corte tipo perno stud, alcanzó un buen desempeño, mismo que fue comprobado mediante la comparación de los valores teóricos y experimentales. Logrando así, establecer una guía teórica que se ajusta a las normas de construcción que rigen actualmente en el Ecuador.
- El análisis teórico de la resistencia a corte de los conectores tipo ángulo se efectuó mediante tres ecuaciones tomadas de diferentes bibliografías, expuestas en las secciones 3.2.3 y 3.2.5., la ecuación que predominó fue la propuesta en el código AISC-360, los resultados de ésta ecuación fueron comparados con los valores experimentales de la resistencia a corte de la sección 4.4.3., obteniendo un porcentaje de error de 25.29 % para el conector de corte a 45° y de 26.67 % para el conector de corte a 90°. En función de lo descrito anteriormente, la ecuación del código AISC-360 sirve de base para el diseño y previo análisis de futuras investigaciones.
- Para analizar la resistencia a corte de los conectores tipo ángulo, se optó por trabajar con un solo conector de corte en cada patín de la viga, variable que fue de gran consideración, puesto que, se obtuvo netamente la capacidad a corte del mismo. Eliminando la incertidumbre de la distribución de la carga en los conectores de corte, cuando estos son dos o más por patín. Incertidumbre que se genera debido a la falta de dispositivos para medir la distribución de la carga en un ensayo push-out.
- Para conocer cuál es el deslizamiento que existe entre la losa de hormigón respecto a la viga y el movimiento que tienen los conectores de corte en

función de la carga aplicada, la ubicación de los LVDT en las probetas a ensayar, es decir la instrumentación, es de mucha importancia. Para este estudio técnico-experimental, como se observa en la figura 3.34., el haber usado esta configuración de los LVDT, fue de gran ayuda para obtener los datos que permiten conocer las variables mencionadas anteriormente, también descritas en el Eurocódigo 4.

- Los modos de fallas en la losa de hormigón forman un ángulo de  $45^\circ$  entre las grietas más evidentes como se muestra en las figuras 4.22. Este comportamiento se puede apreciar en el código ACI-318 sección de anclajes de acero. Las fallas por hormigón en un conector de corte tipo ángulo con dimensiones de 40x4mm y una altura de 80mm, no se dan cuando estos están embebidos en losas macizas con acero de refuerzo, solo generan grietas que se pueden predecir por análisis teórico, expuestos en el código ACI-318.
- El conector presentó un buen comportamiento durante el ensayo experimental, a pesar de que la falla fue en el conector, no hubo un desprendimiento entre la losa de hormigón armado y el conector de corte, esto se debe a que la malla de acero electrosoldada cumplió la función como cabeza del conector de corte, lo cual evitó este efecto entre los dos elementos. Logrando de esta manera que las fallas vistas en los conectores se deban a la soldadura que fue utilizada para conectar el conector de corte con el patín de la viga.
- La curva carga vs. deslizamiento que se obtiene de los ensayos presenta un comportamiento típico para un elemento compuesto, como se observa en las gráficas 4.1 y 4.2, se puede evidenciar la zona elástica de la inelástica. La curva que presenta esta última zona indica la carga máxima de los conectores. Lo que facilitó la obtención de datos y el procesamiento de los mismos para los análisis de los resultados que se realizó en este proyecto técnico experimental.



- Para la mayoría de las probetas push out, de acuerdo con el deslizamiento característico de las 14 probetas, no se presentaron valores mayores a los 6 mm, por lo tanto, el comportamiento de los conectores de corte tipo ángulo para las dos posiciones, son considerados como dúctiles de acuerdo al euro código 4.
- El análisis de la resistencia y otras propiedades mecánicas de los conectores de corte tipo ángulo se muestra en la sección 4.7. Las propiedades mecánicas que se entablaron en esta sección fueron el deslizamiento característico, la ductilidad y rigidez característica donde los porcentajes de comparación favorecen al conector posicionado a 90°, sin embargo este conector presentó una falla frágil teniendo curvas con poco decaimiento en la zona inelástica. Además, el porcentaje en el que difieren la resistencia entre ambos conectores es el 2%. Por lo cual el conector a 45° presenta un comportamiento más semejante entre lo experimental y lo teórico, quedando así que este conector con dimensiones de 40x4mm y una altura de 80mm es el más favorable para emplearlo en el medio laboral de construcción.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- Al realizar la fundición de las losas, se sugiere que los encofrados de cada uno de estos deberían ser nivelados en el sitio donde se va a realizar el proceso de curado. No obstante, para evitar que se muevan los encofrados al momento de verter el hormigón y realizar la compactación del mismo, se recomienda utilizar un vibrador de concreto para evitar que las losas pierdan su nivelación previa.
- Existen investigaciones donde realizan la fundición de las losas de probetas push-out de manera vertical y no horizontal, esto lo hacen debido a que quieren analizar la resistencia de los conectores y no como se comporta la viga compuesta en conjunto. Se debería realizar este proceso en futuras investigaciones para comparar con los resultados de este proyecto y verificar si no hay una variación considerable en la resistencia de los conectores, lo

que facilitaría el proceso del ensamble de la viga compuesta, reduciendo factores externos que pueden afectar la resistencia de la probeta, cuando esta es ensamblada por separado.

- El proceso de soldadura debe ser realizado bajo condiciones de laboratorio, para garantizar, que la falla se produzca en el material del conector y no en la soldadura entre el patín y el conector de corte.
- Debido a que el análisis es para un solo tipo de conector, produce una falta de datos al determinar una ecuación para el diseño adecuado. Razón por la cual, se deberá extender esta investigación a dos o más, donde se varíe la geometría del conector y se mantengan el resto de las variables, para poder generar una curva con la cual se determine la ecuación que rijan este tipo de posición de conectores.
- El curado de los cilindros de hormigón se debe realizar de la misma forma en que se curan las losas. Al tratarse de una tesis técnica experimental, estos elementos deberían tratarse igual y no seguir el curado típico que es recomendado por las normas ASTM y NEC para cilindros.

## BIBLIOGRAFÍA

- ACI-318. (2019). Requisito de reglamentos para concreto estructural (ACI-318S-19) y comentario (ACI-318SR-19). Farmington Hill: American Concrete Institute.*
- ANSI/AISC 360-16. (2016). Specification for structural steel buildings. Chicago: American Institute of Steel Construction.*
- ASTM C39/C39M . (2020). Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de muestras de concreto cilíndrico. West Conshohocken, Estados Unidos: ASTM International.*
- ASTM C469. (2014). Método de prueba estándar para módulo de elasticidad estática y relación de Poisson de hormigón en compresión. West Conshohocken: ASTM International.*
- Bamaga, S., Tahir, M., Tan, C., Shek, P., & Aghlara, R. (2019). Push-out tests on three innovative shear connectors for composite cold-formed steel concrete beams. Construction and Building Materials, 288-298.*
- Bonilla, J., Mirambell, E., Larrúa, R., & Recarey, C. (2011). Behavior and strength of welded stud shear connectors in composite beam. Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia(63).*
- Bouchair, A., Bujnak, J., Duratna, P., & Lachal, A. (2012). Modeling of the steel-concrete push-out test. Slovakia: University of Zilina.*
- Cabrera, A., & Koller, M. (2017). Comportamiento a tracción del acero estructural según norma NTC-2289, de diferentes fabricantes de acero de refuerzo en el mercado. Bogotá, Colombia: Universidad Católica de Colombia.*
- Cassagne Rojas, A. Á. (Enero de 2009). Estado de la práctica del diseño y construcción de edificios existentes de acero resistentes a momento y recomendaciones para la construcción de edificios nuevos de acero en la ciudad de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Litoral.*

- Chacón, R., & Poveda, A. (2012). *Comportamiento de angulares como conectores de cortante en vigas de acero de sección compuesta*. Costa Rica: Univerisdad de Costa Rica.
- Chen, J., Jiang, A.-Y., & Jin, W.-L. (2016). *Behavior of correded stud shear connectors under fatigue loading*. Shenzhen: Shenzhen University.
- Crisafulli, F. (2018). *Diseño sismoresistente de construcciones de acero*. Mendoza: Alacero.
- Deng, W., Xiong, Y., Liu, D., & Zhang, J. (2019). *Stactic and fatigue behavior of shear connectors for a steel-concrete composite girder*. *Journal of Constructional Steel Research*, 134-146.
- García, A., & Molina, M. (2008). *Comportamiento de vigas de sección compuesta con perfil de acero laminado y losa de concreto empleando conectores cortante tipo tornillo grado dos*. Bogotá: Revista Ingeniería e Investigación.
- García, C., Díaz, J., González, M., & Ortegón, F. (28 de Septiembre de 2007). *Un modelo para la descripción de las transiciones de fases en una barra de acero*. Sevilla, España: Universidad de Cádiz.
- GB 50017. (2017). *Code for Design of Steel Structures*. Beijing: Ministry of Constructions of the People's Republic of China.
- Hällmark, R., Collin, P., & Hicks, S. (2019). *Post-installed shear connectors: Push-out tests of coiled spring pins vs headed studs*. *Journal of Constructional Steel Research*, 1-16.
- Herrería, S., & Villegas, F. (2008). *Módulos de elasticidad y curvas de esfuerzo deformación, en base a la compresión del hormigón a 21, 28, 35 MPa*. Quito: Universidad de las Fuerzas Armadas.
- Horita, Y., Tagawa, Y., & Asada, H. (2012). *Push-out test of headed stud in composite girder using Steel deck – An effect of stud length of projecting part from Steel deck on shear strength*. 15. Lisboa: Curran Associates.

- Huang, H., Li, A., Chen, L., Zeng, C., & Zhu, M. (2018). Push-out Tests for Shear Conectores in GFRP-Concrete Composite Bridge Deck Slabs. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 368-381.
- Hurtado, X., Molina, M., & Linero, D. (2008). Comportamiento de conectores de cortante tipo tornillo de resistencia de grado dos para un sistema de sección compuesta. *Ingeniería e investigación*, 28(2), 4-14.
- Jebara, K., Ozbolt, J., & Akanshu, S. (2019). Pryout capacity of headed stud anchor groups with stiff base plate: 3D finite element analysis. *Belgium: Structural Concrete*.
- Llano, C. (2009). Soldadura G.M.A.W-MIG/MAG. *Metal Actual*, 18-24.
- Lozano, W. (2011). Determinación del número mínimo de observaciones en investigación, obviando las estimaciones de la varianza de datos. *Didáctica Ambiental, S.I.*, 54-61.
- Luna Hermosa, G. V. (2014). *Estudio del Hormigón*. Quito, Pichincha, Ecuador: Edicumbre.
- McCormac, J. C., & Csernak, S. F. (2013). *Diseño de Estructuras de Acero* (Quinta Edición ed.). Ciudad de Mexico: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.
- McCormac, J., & Brown, R. (2018). *Diseño de Concreto Reforzado* (Décima ed.). Mexico: Alfaomega Grupo Editor.
- NEC-SE-AC. (2015). *Estructuras de Acero*. Quito: MIDUVI.
- NEC-SE-AC. (2015). *Guía práctica para el diseño de estructuras de acero*. Quito: MIDUVI.
- NEC-SE-HM. (2015). *Estructuras de Hormigón Armado*. Quito, Ecuador: MIDUVI.
- NTE INEN 2224. (2013). *Perfiles angulares estructurales de acero al carbono laminados en caliente. Requisitos e inspección*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.

- NTE INEN 3124. (2017). Hormigón. Elaboración y Cuidado de Especímenes De Ensayo en el Laboratorio. Quito, Ecuador: Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN.*
- Pallarés, L., Ramada, J., Pallarés, F., Agüero, A., & Eatheron, M. (2020). Monotonic shear strength of headed studs in reinforced infill walls. Valencia: Engineering Structures.*
- Pavlovic, M., Markovic, Z., Veljkovic, M., & Budevaca, D. (2013). Bolted shear connectors vs headed studs behaviour in push-out tests. Journal of Constructional Steel Research, 134-149.*
- Pereyra, M., Monfort, C., Dellepiane, A., & Villa, P. (2019). Módulo de elasticidad del hormigón. Estudio de la influencia del tipo de agregado y ajuste normativo. Chiapas: Congreso CONPAT 2019.*
- Pico Ponce, B. R. (2019). Módulo de elasticidad del hormigón en base a la compresión de ( $f'c=21,28$ ) MPa, con materiales de la cantera megarok de la provincia de manabí. Jipijapa: Universidad estatal del sur de Manabí.*
- Quiroz, M., & Salamanca, L. (2006). Apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de "Tecnología del Hormigón". Cochabamba, Bolivia: Universidad Mayor de San Simón .*
- Rivera L, G. (2010). Concreto Simple. Aditivos para concreto y mortero. Popayán, Valle del Cauca, Colombia: Universidad del Cauca.*
- Rivera, J., & Molina, M. (2012). Simulación numérica del comportamiento de conectores de cortante tipo tornillo en un sistema de sección compuesta ante sollicitación de corte directo. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.*
- Rogel, J., & Tenorio, G. (2018). Ensayo experimental de los conectores de corte tipo ángulo en losas tipo deck sobre estructura metálica. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.*
- Salazar Trujillo, J. E. (2007). Resistencia de materiales básica para estudiantes de ingeniería. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.*

- Shariati, A., Shariati, M., Sulong, R., Suhatri, M., & Khanouki, A. (2014). *Experimental assessment of angle shear connectors under monotonic and fully reversed cyclic loading in high strength concrete. Construction and Building Materials, 276-283.*
- Soty, R., & Shima, H. (2013). *Formulation for shear force-relative displacement relationship of L-Shape shear connector in steel-concrete composite structures. Engineering Structures, 581-592.*
- Titoum, M., Mazoz, A., Benanane, A., & Ouinas, D. (2016). *Experimental study and finite element modelling of push-out tests on new shear connector of I-shape. Advance Steel Construction, 487-506.*
- UNE-EN-1990. (2019). *Eurocódigo: Bases de cálculo de estructuras. Madrid: Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR).*
- UNE-EN-1994. (2013). *Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures- Part 1-1: General rules and rules for buildings. Madrid: Spanish Association for Standardization and Certification (AENOR).*
- Urbán Brotóns, P. (2010). *Construcción de Estructuras Metálicas. San Vicente , Alicante, España: Club Universitario.*
- Vizuet Romo, E. A. (2007). *Diseño de edificios de acero con elementos compuestos. Quito: EPN. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/8334>*

**ANEXOS**



## **ANEXO N° 1**

**Diseño de los elementos a compresión para la viga de acero**

## VALORES DEL PANDEO POR FLEXIÓN

Primero se determinará el radio de giro de los elementos debido a que la viga a realizar se debe determinar las inercias debido a que el radio de giro está en función de la inercia, como explica la siguiente ecuación:

$$R = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

El área de la sección se la determina de la siguiente manera

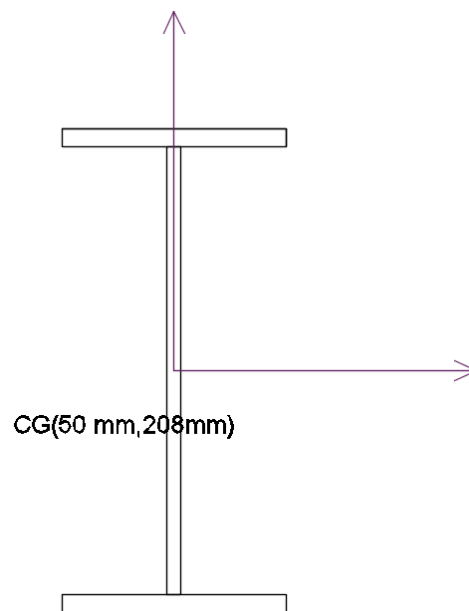
$$A = 2 \cdot (b_f \cdot t_f) + (h \cdot t_w)$$

$$A = 2 \cdot (100 \cdot 8) + (200 \cdot 6)$$

$$A = 1600 + 1200$$

$$A = 2800 \text{ mm}^2$$

Determinación de las inercias en X e Y con eje de simetría en el centro de la viga



Esquema del perfil de la viga con el centro de gravedad

Elaborado: Jonathan Franco, Miguel Martínez

Inercia alrededor del eje Y lyy

Inercia del patín

$$I_{patin1}=I_{patin2}=\frac{t_f \cdot b_f^3}{12} + (b_f \cdot t_f) \cdot (X_0 - X_1)^2$$

$$I_{patin1} = \frac{8 \cdot 100^3}{12} + (8 \cdot 100) \cdot (50 - 50)^2$$

$$I_{patin1} = \frac{8 \cdot 100^3}{12} = 666666.667 mm^4$$

Inercia del alma

$$I_{patin2} = \frac{h \cdot t_f^3}{12} + (h \cdot t_w) \cdot (X_0 - X_1)^2$$

$$I_{patin2} = \frac{200 \cdot 6^3}{12} + (200 \cdot 6) \cdot (50 - 50)^2$$

$$I_{patin2} = 3600 mm^4$$

La inercia total sería la sumatoria de inercias de las tres partes

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

$$I_{yy} = 666666.667 + 666666.667 + 3600$$

$$I_{yy} = 1336933.334 mm^4$$

Inercia alrededor del eje X lxx

Inercia del patín

$$I_{patin1} = \frac{b_f \cdot t_f^3}{12} + (b_f \cdot t_f) \cdot (y_0 - y_1)^2$$

$$I_{patin1} = \frac{100 \cdot 8^3}{12} + (8 \cdot 100) \cdot (108 - 4)^2$$

$$I_{patin1} = 8657066.667 mm^4$$

$$I_{patin2} = \frac{b_f \cdot t_f^3}{12} + (b_f \cdot t_f) \cdot (y_0 - y_2)^2$$

$$I_{patin1} = \frac{100 \cdot 8^3}{12} + (8 \cdot 100) \cdot (104)^2$$

$$I_{patin1} = 8657066.667 mm^4$$

Inercia del alma

$$I_{patin2} = \frac{t_f \cdot h^3}{12} + (h \cdot t_w) \cdot (X_0 - X_1)^2$$

$$I_{patin2} = \frac{6 \cdot 200^3}{12} + (200 \cdot 6) \cdot (108 - 108)^2$$

$$I_{patin2} = 4000000 mm^4$$

La inercia total sería la sumatoria de inercias de las tres partes

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

$$I_{xx} = 8657066.667 + 8657066.667 + 4000000$$

$$I_{xx} = 21314133.33 mm^4$$

De acuerdo a los resultados obtenidos el lado más débil en lo que se refiere a inercias, se obtiene el valor de  $I_{yy}$  para el análisis.

$$R = \sqrt{\frac{I_{yy}}{A}}$$











$$R = \sqrt{\frac{1336933.334}{2800}}$$

$$r = 21.85 \text{ mm} = 2.185 \text{ cm}$$

Para determinar el valor de la longitud efectiva "K" se utiliza la siguiente tabla.

Valores de longitud efectiva (K)

Fuente: ANSI/AISC 360, 2016

Tipo de movimiento de columnas						
Valor teórico de K	0.5	0.7	1	1	2	2
Valores de k cuando las condiciones reales son parecidas a la presentadas	0.65	0.8	1.2	1	2.1	2
Condiciones de extremo	 Rotación y traslación impedidos  Rotación libre y traslación impedidos  Rotación impedida y traslación libre  Rotación y traslación libres					

Como el elemento a ensayar está simplemente apoyado sobre la superficie y apoyado bajo la prensa hidráulica se estima que tendrá traslaciones impedidas pero podrá rotar libremente si el elemento llega a fallar corte directo, por lo tanto se opta por un factor de longitud efectiva de K=1.

## VALORES PARA PANDEO TORSIONAL

Determinación de la constante de alabeo  $t_w$

$$C_w = \frac{I_{yy} \cdot H1^2}{4}$$

H1 es la altura medida desde el centro del patín inferior hasta el centro del patín superior.

$$C_w = \frac{1336933.334 \cdot 208^2}{4} = 14.46027 \cdot 10^9 \text{ mm}^6 = 14460.27 \text{ cm}^6$$

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

Para determinar el módulo elástico de corte del acero se lo determina mediante fórmulas, para este caso de aplicará la siguiente fórmula.

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \mu)}$$

$$G = \frac{2.1 \cdot 10^6}{2 \cdot (1 + 0.3)}$$

$$G = 807692.308 \text{ kg/cm}^2$$

Factor de torsión o constante torsional, para determinar este factor se debe calcular varios valores afectan a la ecuación de la constante como es el de k1, k2,  $\alpha$ , S. La constante torsional se rige bajo la siguiente ecuación.

$$J = 2 \cdot k1 + k2 + 2 \cdot \alpha \cdot D^4$$

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

$$k1 = 100 \cdot 8^3 \cdot \left[ \frac{1}{3} - 0.21 \cdot \left( \frac{8}{100} \right) \cdot \left( 1 - \frac{8^4}{12 \cdot 100^4} \right) \right] = 16206.51 \text{ mm}^4$$

$$k_2 = \frac{(ht - 2 \cdot t_f) \cdot t_w^3}{3} = \frac{(216 - 2 \cdot 8) \cdot 6^3}{3}$$

$$k_2 = 14400 \text{ mm}^4$$

$$\alpha = 0.15 \cdot \frac{t_w}{t_f} = 0.15 \cdot \frac{6}{8} = 0.1125$$

$$D = \frac{t_f^2 + \frac{t_w^2}{4}}{t_f} = \frac{8^2 + \frac{6^2}{4}}{8} = 9.125 \text{ mm}$$

$$J = 2 \cdot 16206.51 + 14400 + 2 \cdot 0.1125 \cdot 9.125^4$$

$$J = 48372.9819 \text{ mm}^4 = 4.837 \text{ cm}^4$$

## **ANEXO N° 2**

**Ensayo a compresión del hormigón (Resistencias y Módulo de elasticidad)**





ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN

INF. No. 19 - 0304-I  
Hoja 02 de 02

Quito, 16 de diciembre de 2019

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Jonathan Franco; Miguel Martínez  
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía  
Teléfono: 0978851755

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A CORTE DE LOS CONECTORES TIPO ÁNGULO EN LOSAS DE HORMIGÓN ARMADO SOBRE ESTRUCTURA METÁLICA

Contratante: \*\*\*

Contratista: \*\*\*

Fiscalizador: \*\*\*

ELEMENTO: \*\*\*

NORMA: ASTM C39/C39M - 18

No.	IDENTIFICACIÓN	FECHA FABRICACIÓN	FECHA ROTURA	EDAD (días)	DIÁMETRO (mm)	ÁREA (mm <sup>2</sup> )	PESO ESPECÍFICO (kg/m <sup>3</sup> )	CARGA MÁX. (kN)	RESISTENCIA		TIPO DE FALLA*	DEFECTOS*
									(MPa)	(kg/cm <sup>2</sup> )		
1	38-I-05	2019-11-21	2019-11-28	7	103.00	8332	2160	98.8	11.9	121	TIPO 1	C
2	38-I-06	2019-11-21	2019-11-28	7	102.25	8211	2140	100.4	12.2	125	TIPO 1	A
3	38-I-07	2019-11-21	2019-11-28	7	101.25	8052	2140	104.9	13.0	133	TIPO 1	A
4	38-I-08	2019-11-21	2019-11-28	7	101.50	8091	2100	100.7	12.5	127	TIPO 1	A
5	38-I-09	2019-11-21	2019-11-28	7	102.50	8252	2160	125.2	15.2	155	TIPO 1	A



DESCRIPCIÓN DE DEFECTOS: A = NINGUNO; B = SEGREGADO; C = POROSIDAD; D = FISURAS PREEXISTENTES; E = OTRA

OBSERVACIONES: Todos los datos del ítem de ensayo (fecha de fabricación, elemento, identificación) son proporcionadas 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 (\*) corresponden a opiniones e interpretaciones realizadas por personal técnico autorizado por LEMSUR conforme a lo especificado en la norma ASTM C39.

ING. MERCEDES VILLACÍS  
JEFE DEL LABORATORIO



ESCUELA  
POLITÉCNICA  
NACIONAL

Tel.: 2976300  
Ext.: 1609

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 Email: lemsur@epn.edu.ec



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN

INF. No. 19 - 0304-I  
Hoja 01 de 02

Quito, 16 de diciembre de 2019

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Jonathan Franco; Miguel Martínez  
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía  
Teléfono: 0978851755

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A CORTE DE LOS CONECTORES TIPO ÁNGULO EN LOSAS DE HORMIGÓN ARMADO SOBRE ESTRUCTURA METÁLICA

Contratante: \*\*\*

Contratista: \*\*\*

Fiscalizador: \*\*\*

ELEMENTO: \*\*\*

NORMA: ASTM C39/C39M - 18

No.	IDENTIFICACIÓN	FECHA FABRICACIÓN	FECHA ROTURA	EDAD (días)	DIÁMETRO (mm)	ÁREA (mm <sup>2</sup> )	PESO ESPECÍFICO (kg/m <sup>3</sup> )	CARGA MÁX. (kN)	RESISTENCIA		TIPO DE FALLA*	DEFECTOS*
									(MPa)	(kg/cm <sup>2</sup> )		
1	38-I-01	2019-11-19	2019-12-05	16	100.25	7893	2110	197.7	25.1	256	TIPO 2	A
2	38-I-02	2019-11-19	2019-12-05	16	103.50	8413	2100	176.4	21.0	214	TIPO 2	A
3	38-I-03	2019-11-19	2019-12-05	16	102.00	8171	2130	183.9	22.5	229	TIPO 2	A
4	38-I-04	2019-11-19	2019-12-05	16	101.50	8091	2170	183.1	22.6	230	TIPO 3	A



DESCRIPCIÓN DE DEFECTOS: A = NINGUNO ; B = SEGREGADO ; C = POROSIDAD ; D = FISURAS PREEXISTENTES ; E = OTRA

OBSERVACIONES: Todos los datos del ítem de ensayo (fecha de fabricación, elemento, identificación) son proporcionadas 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 (\*) corresponden a opiniones e interpretaciones realizadas por personal técnico autorizado por LEMSUR conforme a lo especificado en la norma ASTM C39.

ING. MERCEDES VILLACÍS  
JEFE DEL LABORATORIO



Telf.: 2976300  
Ext.: 1609

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 Email: lemsur@epn.edu.ec



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



### COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN

INF. No. 19 - 0327-I  
Hoja 01 de 01

Quito, 19 de diciembre de 2019

#### DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Jonathan Franco; Miguel Martínez  
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía  
Teléfono: 0978851755

#### DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ÁNGULO EN LOSAS DE HORMIGÓN ARMADO SOBRE ESTRUCTURA METÁLICA  
Contratante: \*\*\*  
Contratista: \*\*\*  
Fiscalizador: \*\*\*  
ELEMENTO: \*\*\*  
NORMA: ASTM C39/C39M - 18

No.	IDENTIFICACIÓN	FECHA FABRICACIÓN	FECHA ROTURA	EDAD (días)	DIÁMETRO (mm)	ÁREA (mm <sup>2</sup> )	PESO ESPECÍFICO (kg/m <sup>3</sup> )	CARGA MÁX. (kN)	RESISTENCIA		TIPO DE FALLA*	DEFECTOS*
									(MPa)	(kg/cm <sup>2</sup> )		
1	P1	2019-11-21	2019-12-19	28	101.50	8091	2050	232.4	28.7	293	TIPO 1	A
2	P2	2019-11-21	2019-12-19	28	102.50	8252	2120	214.9	26.0	265	TIPO 1	A
3	P3	2019-11-21	2019-12-19	28	101.25	8052	2170	214.5	26.7	272	TIPO 1	A
4	P4	2019-11-21	2019-12-19	28	101.75	8131	2140	200.5	24.7	251	TIPO 1	A



DESCRIPCIÓN DE DEFECTOS: A = NINGUNO ; B = SEGREGADO ; C = POROSIDAD ; D = FISURAS PREEXISTENTES ; E = OTRA

OBSERVACIONES: Todos los datos del ítem de ensayo (fecha de fabricación, elemento, identificación) son proporcionadas 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 (\*) corresponden a opiniones e interpretaciones realizadas por personal técnico autorizado por LEMSUR conforme a lo especificado en la norma ASTM C39.

ING. MERCEDES VILLACIS  
JEFE DEL LABORATORIO



Telf.: 2976300  
Ext.: 1609





# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



## MÓDULO DE ELASTICIDAD DE HORMIGÓN

ENF. No. 20-08643  
Hoja 01 de 03

Quito, 9 de mayo de 2020

**SOLICITA:** MIGUEL MARTÍNEZ, JONATHAN FRANCO  
**Atribución:** Miguel Martínez, Jonathan Franco  
**Dirección:** Ladrón De Guevara E11-253 Y Andalucía

**PROYECTO:** ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A CORTE DE LOS CONECTORES TIPO ÁNGULO EN LOSAS DE HORMIGÓN ARMADO SOBRE ESTRUCTURA METÁLICA

**CONTRATISTA:** \*\*\*  
**FISCALIZADOR:** \*\*\*  
**ELEMENTO:** \*\*\*  
**MUESTRA:** E-1  
**NORMA REFERENCIAL:** ASTM C469 / C469M - 14  
**FECHA DE ENSAYO:** 55 DÍAS

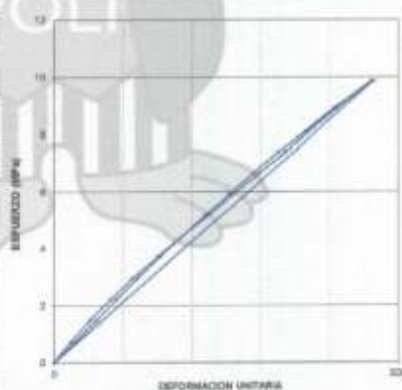
CARGA (KN)	DEF. AXIAL (mm)	ESFUERZO (MPa)
0	0	0.00
6	24	0.78
12	52	1.68
18	82	2.22
24	114	2.96
30	150	3.70
36	185	4.44
42	224	5.18
48	260	5.92
54	289	6.66
60	316	7.40
66	370	8.10
72	410	8.88
80	464	9.87
0	0	0.00
6	31	0.74
12	62	1.48
18	90	2.22
24	121	2.96
30	154	3.70
36	187	4.44
42	219	5.18
48	254	5.92
54	289	6.66
60	326	7.40
66	365	8.10
72	406	8.88
80	461	9.87

### CARACTERÍSTICAS DE LA PRUEBA

**DIÁMETRO (D) (mm):** 101.60  
**ALTURA (L) (mm):** 200  
**PESO (g):** ---  
**PESO UNITARIO (g/cm<sup>3</sup>):** ---

### RESUMEN DE RESULTADOS

**ÁREA (mm<sup>2</sup>):** 8107.33  
**RELACIÓN L/D:** 1.97  
**Carga máxima (KN):** 214.50  
**Módulo de Elasticidad (MPa):** 21330  
**Resistencia a la compresión (MPa):** 28.48  
**10 % de Resistencia a la compresión (MPa):** 10.54



Observación: El cliente interno no registró el peso de las probetas.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ING. PASCUAL GARCÍA  
LABORATORIO (E)



Tel.: 2976300  
Ext.: 1609



# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



## MÓDULO DE ELASTICIDAD DE HORMIGÓN

INF. No. 20-0964-I  
Hoja 02 de 03

Quito, 9 de mayo de 2020

**SOLICITA:** MIGUEL MARTÍNEZ, JONATHAN FRANCO  
**Atención:** Miguel Martínez, Jonathan Franco  
**Dirección:** Ladrón De Guevara E11-253 Y Andalucía

**PROYECTO:** ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A CORTE DE LOS CONECTORES TIPO ÁNGULO EN LOSAS DE HORMIGÓN ARMADO SOBRE ESTRUCTURA METÁLICA

**CONTRATISTA:** ---

**FISCALIZADOR:** ---

**ELEMENTO:** ---

**MUESTRA:** E-2

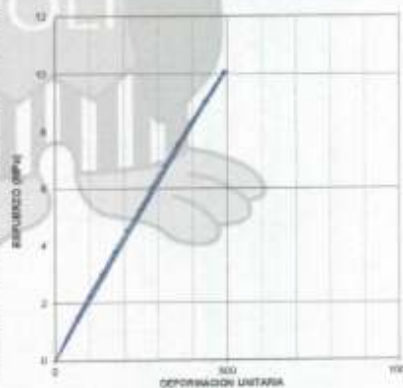
**NORMA REFERENCIA:** ASTM C469/ C469M - 14

**FECHA DE ENRAYO:** 33 DÍAS

CARGA (KN)	DEF. AXIAL (mm)	ESFUERZO (MPa)
0	0	0.00
6	10	0.75
12	61	1.51
18	57	2.26
24	134	3.02
30	170	3.77
36	207	4.52
42	246	5.28
48	279	6.04
54	317	6.79
60	354	7.55
66	394	8.30
72	431	9.06
80	489	10.06
0	0	0.00
6	31	0.75
12	66	1.51
18	103	2.26
24	140	3.02
30	177	3.77
36	215	4.52
42	252	5.28
48	288	6.04
54	325	6.79
60	360	7.55
66	398	8.30
72	441	9.06
80	497	10.06

CARACTERÍSTICAS DE LA PROBETA	
DIÁMETRO (D) (mm)	100.00
ALTURA (L) (mm)	200
PESO (g)	---
PESO UNITARIO (g/cm <sup>3</sup> )	---

RESUMEN DE RESULTADOS	
ÁREA (mm <sup>2</sup> )	7940.71
RELACIÓN L/D	1.00
Carga máxima (KN)	214.00
Módulo de Elasticidad (MPa)	21.021
Resistencia a la compresión (MPa)	27.04
10 % de Resistencia a la compresión (MPa)	10.81



Observación: El cliente interno no registró el peso de las probetas.



*[Firma manuscrita]*  
Dra. Mery STROGA  
INSTRUMENTADORA (E)



Tel.: 2976300  
Ext.: 1609



# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



## MÓDULO DE ELASTICIDAD DE HORMIGÓN

ENF. No. 20-0864-1  
Bajo 03 de 03

Quito, 9 de mayo de 2020

**SOLICITA:** MIGUEL MARTÍNEZ, JONATHAN FRANCO  
**Atención:** Miguel Martínez, Jonathan Franco  
**Dirección:** Ladrón de Guevara E11-253 Y Andalucía

**PROYECTO:** ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A CORTE DE LOS CONECTORES TIPO ÁNGULO EN LOSAS DE HORMIGÓN ARMADO SOBRE ESTRUCTURA METÁLICA

**CONTRATISTA:** \*\*\*  
**FISCALIZADOR:** \*\*\*  
**ELEMENTO:** \*\*\*  
**MUESTRA:** S-2  
**NORMA REFERENCIAL:** ASTM C449 / C469M - 14  
**FECHA DE ENSAYO:** 55 DÍAS

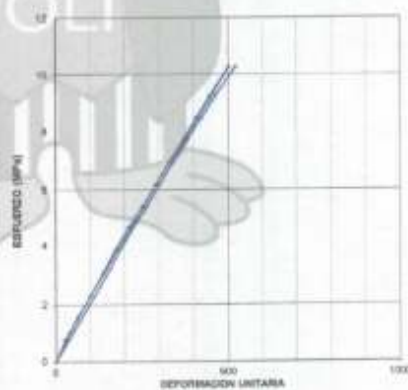
CARGA (KN)	DEF. AXIAL (µm/mm)	ESFUERZO (MPa)
0	0	0.00
6	30	0.77
12	65	1.56
18	100	2.31
24	137	3.08
30	174	3.85
36	213	4.62
42	253	5.39
48	290	6.16
54	330	6.93
60	371	7.70
66	407	8.47
72	446	9.24
80	502	10.27
0	0	0.00
6	27	0.77
12	63	1.54
18	100	2.31
24	139	3.08
30	180	3.85
36	219	4.62
42	263	5.39
48	300	6.16
54	340	6.93
60	382	7.70
66	423	8.47
72	463	9.24
80	522	10.27

### CARACTERÍSTICAS DE LA PROBETA

DIAMETRO (D) (mm)	50.00
ALTURA (L) (mm)	200
PESO (g)	---
PESO UNITARIO (g/cm <sup>3</sup> )	---

### RESUMEN DE RESULTADOS

ÁREA (mm <sup>2</sup> )	7701.28
RELACIÓN L/D	3.01
Carga máxima (KN)	200.50
Módulo de Elasticidad (MPa)	20027
Resistencia a la compresión (MPa)	28.73
48 % de Resistencia a la compresión (MPa)	10.28



Observación: El cliente interno no registró el peso de las probetas.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

*[Firma manuscrita]*  
INGENIERO EN MATERIALES  
LABORATORIO (F)



Tel.: 2976300  
Ext.: 1609

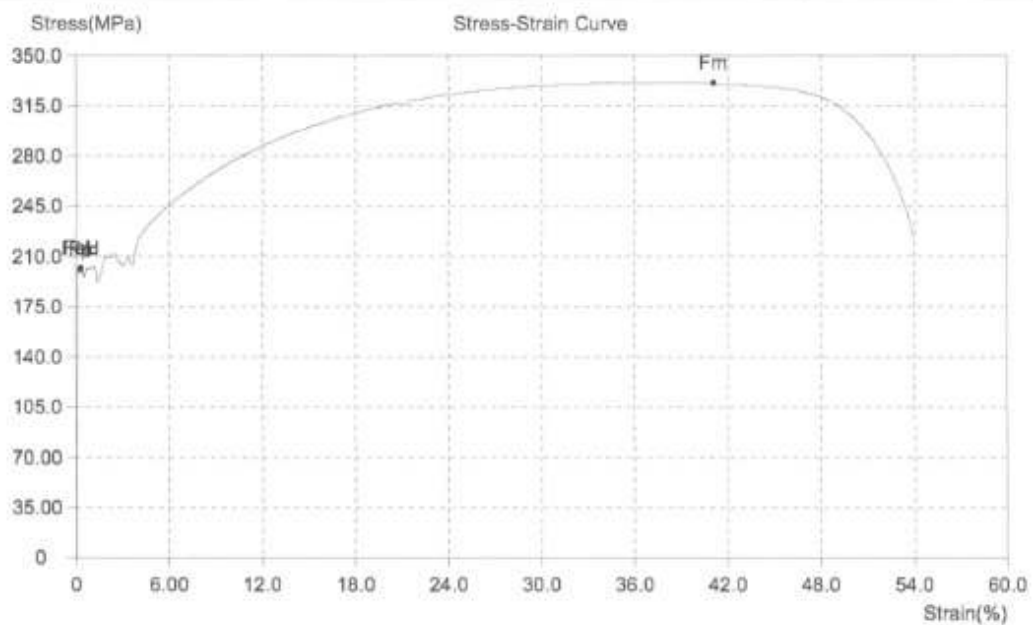
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 Email: lemsur@epn.edu.ec

## **ANEXO N° 3**

**Ensayo a tracción del ángulo 40x4mm**

ILPM CIA LTDA  
REGISTRO DE ENSAYO DE TRACCION

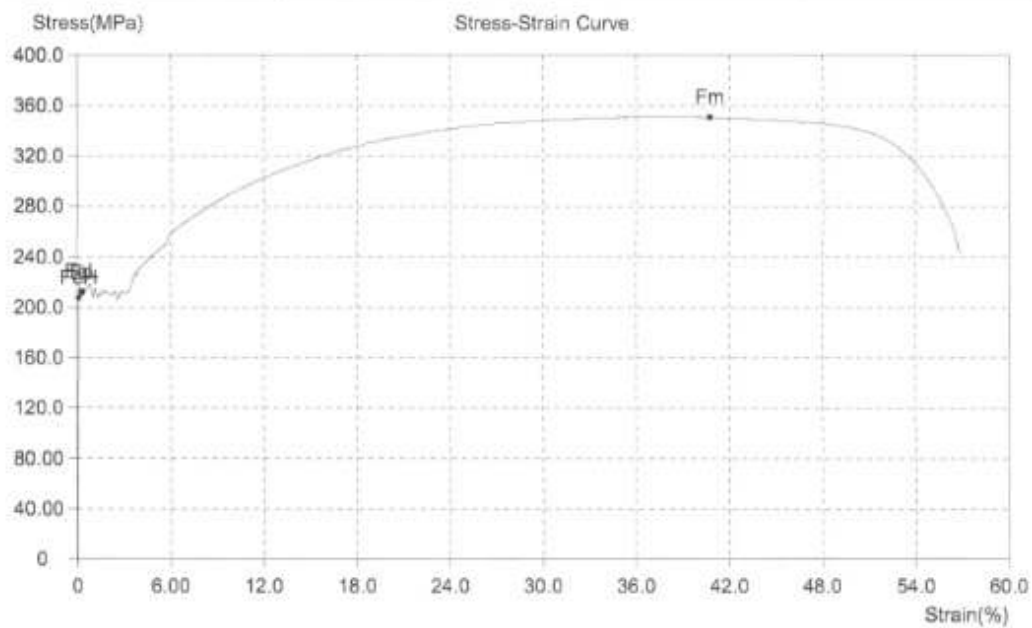
Customer/Informe	ILPM 2020-340		
Probeta No.	1		
TestDate	2020-09-16	Type	Flat
Size(mm)	3.86*12.27	So(mm <sup>2</sup> )	47.36
Lo(mm)	50	Lu(mm)	69.23
Fm(kN)	15.90	SUT(MPa)	336
FeL(kN)	9.700		





**ILPM CIA LTDA**  
**REGISTRO DE ENSAYO DE TRACCION**

Customer/Informe	ILPM 2020-340		
Probeta No.	2		
TestDate	2020-09-16	Type	Flat
Size(mm)	3.81*12.59	So(mm <sup>2</sup> )	47.97
Lo(mm)	50	Lu(mm)	69.62
Fm(kN)	16.85	SUT(MPa)	351
FeL(kN)	10.20		



**ILPM CIA LTDA**  
**REGISTRO DE ENSAYO DE TRACCION**

Customer/Informe	ILPM 2020-340		
Probeta No.	3		
TestDate	2020-09-16	Type	Flat
Size(mm)	3.81*12.59	So(mm <sup>2</sup> )	47.97
Lo(mm)	50	Lu(mm)	69.25
Fm(kN)	15.90	SUT(MPa)	331
FeL(kN)	9.650		

