

Universidad del Valle

CONGRESO NACIONAL DE
INGENIERÍA SÍSMICA

Santiago de Cali
Mayo 29 al 31 de 2019



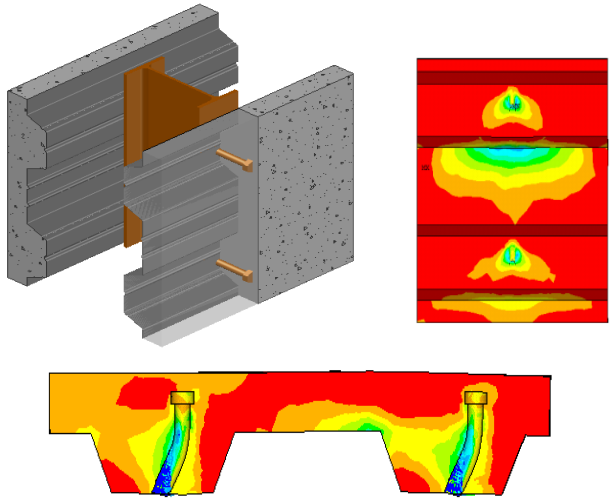
CONGRESO NACIONAL DE INGENIERÍA SÍSMICA

AIS Universidad del Valle

Comportamiento de Conectores de Cortante Tipo Tornillo en Secciones Compuestas con Lámina Colaborante.

Maritzabel Molina Herrera
Ingeniera Civil, MSc, PhD.

Luis Ernesto Erazo Hernández
Ingeniero Civil, MSc.



Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería, Ingeniería Civil y Agrícola

INTRODUCCIÓN

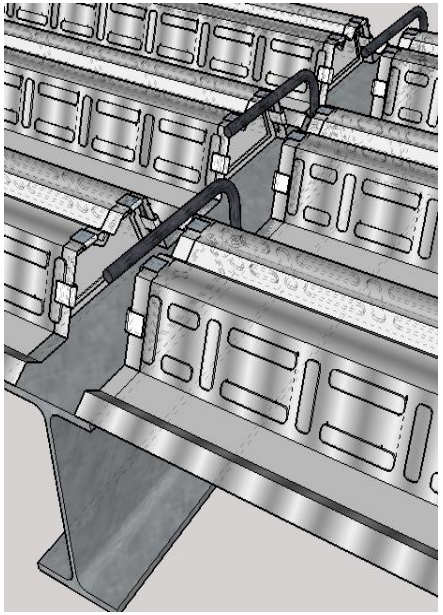
Comportamiento de Conectores de Cortante Tipo Tornillo.



a)



b)



c)

Figura 1. Conectores de cortante sistemas de entrepiso.
a) Tipo platina doblada b) Barra Doblada c) Tipo Bastón

INTRODUCCIÓN

Comportamiento de Conectores de Cortante Tipo Tornillo.

F.2.9.9 — CASOS ESPECIALES — Cuando la construcción compuesta no se ajuste a los requisitos de los numerales F.2.9.1 a F.2.9.8, la resistencia de los conectores de acero y los detalles de construcción deben ser establecidos mediante ensayos.

NSR-10

TÍTULO F — ESTRUCTURAS METÁLICAS

CONTENIDO

1. Introducción
2. Objetivos
3. Marco Teórico
4. Antecedentes
5. Descripción Experimental
6. Simulación Numérica MEF
7. Resultados Experimentales
8. Conclusiones y Recomendaciones

CONTENIDO

1. Introducción
2. Objetivos
3. Marco Teórico
4. Antecedentes
5. Descripción Experimental
6. Simulación Numérica MEF
7. Resultados Experimentales
8. Conclusiones y Recomendaciones

OBJETIVO GENERAL

Analizar el comportamiento de los conectores tipo tornillo en secciones compuestas con lámina colaborante ante solicitación de corte directo, mediante **ensayos experimentales** y **modelación numérica** por elementos finitos.

CONTENIDO

1. Introducción
2. Objetivos
3. Marco Teórico
4. Antecedentes
5. Descripción Experimental
6. Simulación Numérica MEF
7. Resultados Experimentales
8. Conclusiones y Recomendaciones

MECANISMO DE TRANSFERENCIA DE CARGA

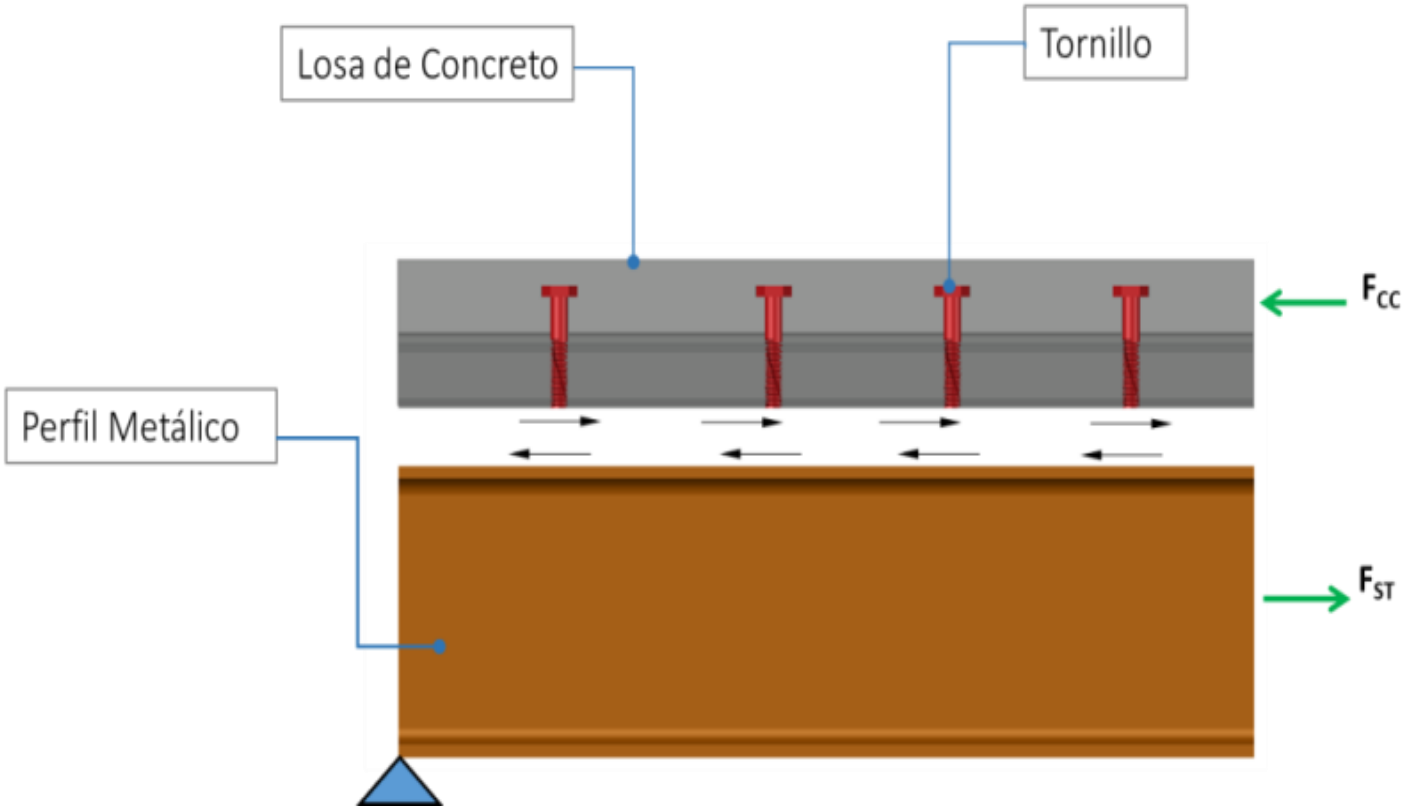
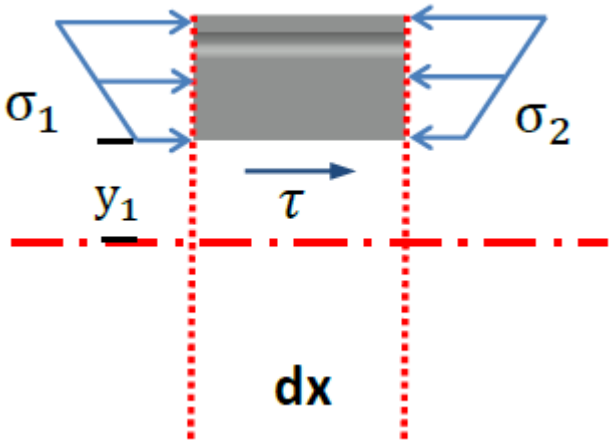


Figura 2. Mecanismo de transferencia de carga.

FLUJO DE CORTANTE



$$f = \frac{VQ}{I}$$

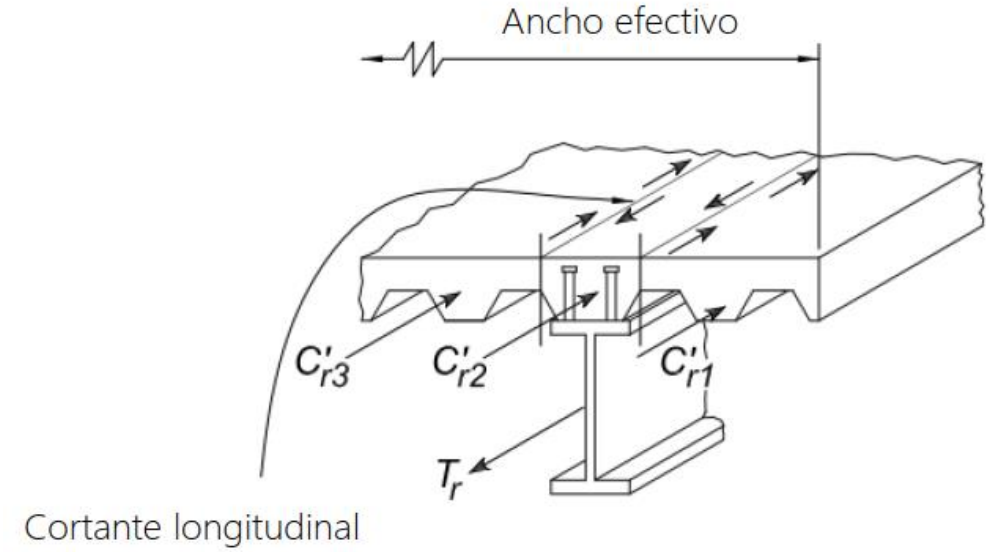


Figura 3. Cortante Longitudinal.

1. Introducción
2. Objetivos
3. Marco Teórico
4. Antecedentes
5. Descripción Experimental
6. Simulación Numérica MEF
7. Resultados Experimentales
8. Conclusiones y Recomendaciones

HURTADO Y MOLINA (2010).

Tabla 1. Configuración Experimental Hurtado (2007)

MODELO	Ø [in]	# TORNILLOS	SEPARACIÓN [m]
M4-1-0-1,2,3	1/2	2	---
M4-2-8-1,2,3	1/2	4	0.08
M4-2-12-1,2,3	1/2	4	0.12
M4-2-14-1,2,3	1/2	4	0.14
M4-3-12-1,2,3	1/2	6	0.12
M4-3-14-1,2,3	1/2	6	0.14
M5-1-0-1,2,3	5/8	2	---
M5-2-8-1,2,3	5/8	4	0.08
M5-2-12-1,2,3	5/8	4	0.12
M5-2-14-1,2,3	5/8	4	0.14
M5-3-12-1,2,3	5/8	6	0.12
M5-3-14-1,2,3	5/8	6	0.14
M6-1-0-1,2,3	3/4	2	---
M6-2-8-1,2,3	3/4	4	0.08
M6-2-12-1,2,3	3/4	4	0.12
M6-2-14-1,2,3	3/4	4	0.14
M6-3-12-1,2,3	3/4	6	0.12
M6-3-14-1,2,3	3/4	6	0.14

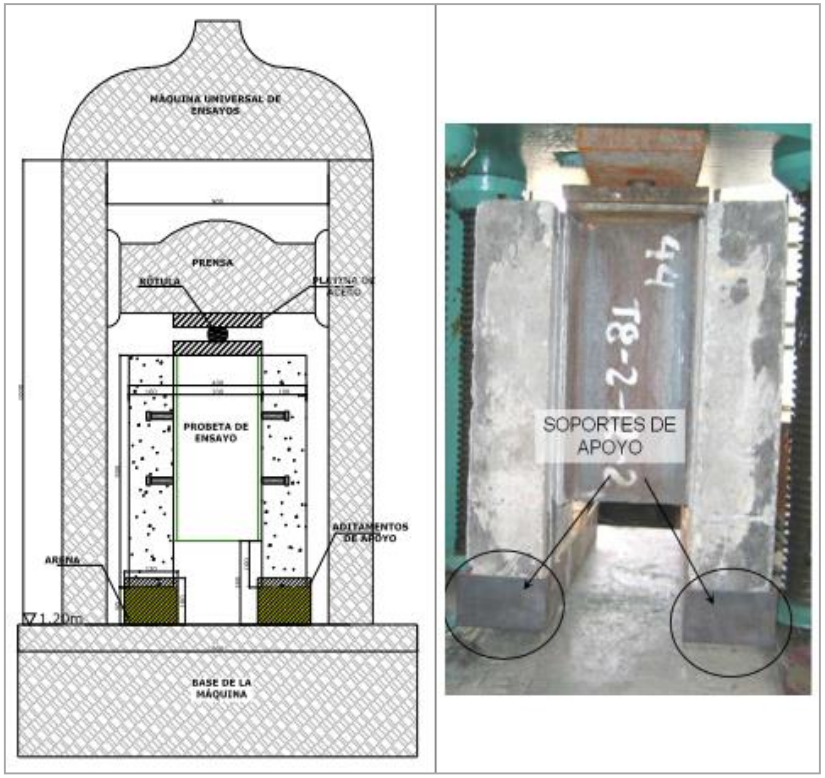


Figura 4. Montaje experimental

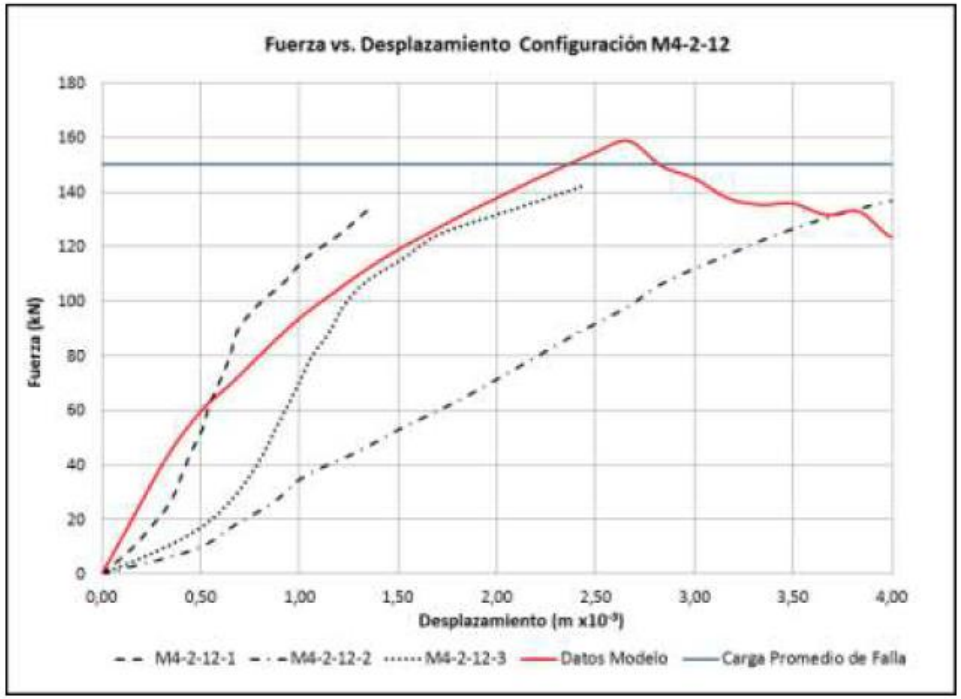
Dimensiones placas de concreto b= 0.30 m, h= 0.10 y L=0.50 m
Resistencia compresión uniaxila f'c= 42.4 MPa
Esfuerzo de fluencia acero del perfil Fy= 420 MPa

$$\frac{Q_n}{A_{SC}} = 0.143 \cdot (E_c \cdot f'_c)^{0.5} \cdot \left(\frac{S}{\phi}\right)^{0.25} \approx \frac{1}{7} \cdot (E_c \cdot f'_c)^{0.5} \cdot \left(\frac{S}{\phi}\right)^{0.25}$$

$$\frac{Q_n}{A_{SC}} = 0.164 \cdot (E_c \cdot f'_c)^{0.5} \cdot \left(\frac{S}{\phi}\right)^{0.25} \approx \frac{1}{6} \cdot (E_c \cdot f'_c)^{0.5} \cdot \left(\frac{S}{\phi}\right)^{0.25}$$

$$Q_n = 0.14 A_{cp} \sqrt{f'_c E_c} \left(\frac{S}{d_{cp}}\right)^{0.25} \leq A_{cp} F_u \qquad \textbf{(F.2.9.8-2)}$$

RIVERA (2012).



f_t (MPa)	15
f_c (MPa)	150
υ	0,25

Tabla 5- 3 Parámetros de caracterización concreto

Figura 5a. Respuesta estructural modelos Rivera (2012).

1. Introducción
2. Objetivos
3. Marco Teórico
4. Antecedentes
5. Descripción Experimental
6. Simulación Numérica MEF
7. Resultados Experimentales
8. Conclusiones y Recomendaciones

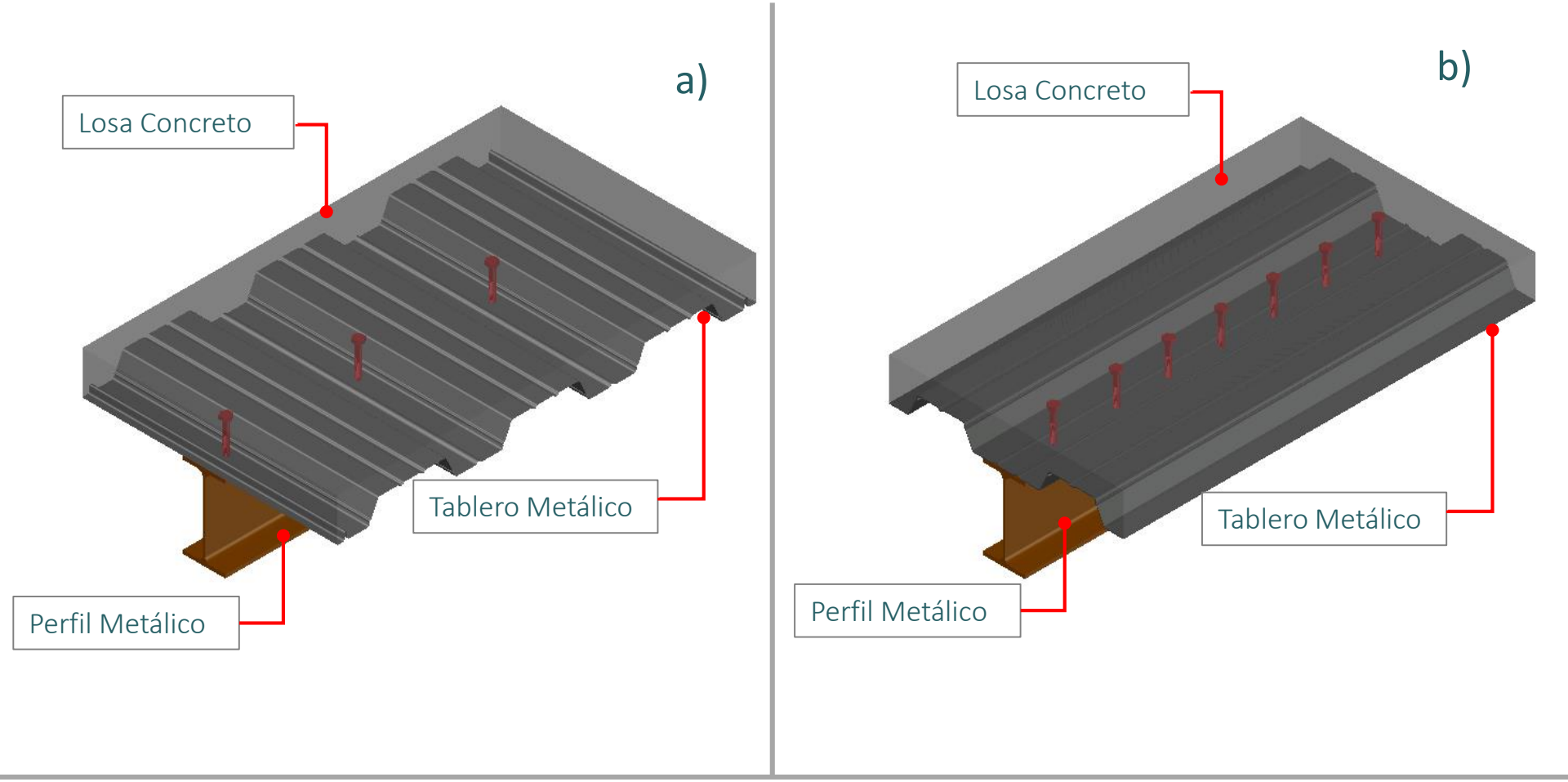


Figura 6. Sistema Compuesto con Tablero Metálico, a) Tablero Metálico Perpendicular y b) Tablero Metálico Paralelo.

CONVENCIONES

Sección Compuesta con tornillos de diámetro No. 4, 5, 6

Separación entre conectores en [cm], F = Posición Fuerte D = Posición Débil

SCA - B° - C - S - #

Disposición Lámina colaborante Paralela=0 Perpendicular = 90

Cantidad de conectores dispuestos en la sección

Numero de probeta de igual denominación

PROGRAMA EXPERIMENTAL

Tabla 3. Probetas corte directo tornillos en losa con tablero metálico.

Probeta	Tablero Met. h=2"	Ø Torn. [in]	Cant. Torn.	Sep. [cm]	Placas de Concreto			Cant.
					b [m]	h [m]	L [m]	
SC4-0°-1	Paralela	1/2"	2	--	0,56	0,10	0,50	3
SC5-0°-1	Paralela	5/8"	2	--	0,56	0,10	0,50	3
SC6-0°-1	Paralela	3/4"	2	--	0,56	0,10	0,50	3
SC4-90°-1	Perpendicular	1/2"	2	--	0,50	0,10	0,56	3
SC5-90°-1	Perpendicular	5/8"	2	--	0,50	0,10	0,56	3
SC6-90°-1	Perpendicular	3/4"	2	--	0,50	0,10	0,56	3
SC4-90°-2-D	Perpendicular	1/2"	4	30	0,50	0,10	0,54	3
SC5-90°-2-D	Perpendicular	5/8"	4	30	0,50	0,10	0,54	3
SC6-90°-2-D	Perpendicular	3/4"	4	30	0,50	0,10	0,54	3
SC4-90°-2-F	Perpendicular	1/2"	4	30	0,50	0,10	0,54	3
SC5-90°-2-F	Perpendicular	5/8"	4	30	0,50	0,10	0,54	3
SC6-90°-2-F	Perpendicular	3/4"	4	30	0,50	0,10	0,54	3

PROGRAMA EXPERIMENTAL

Tabla 3. Probetas corte directo tornillos en losa con tablero metálico (continuación).

Probeta	Tablero Met. h=2"	Ø Torn. [in]	Cant. Torn.	Sep. [cm]	Placas de Concreto			Cant.
					b [m]	h [m]	L [m]	
SC4-0°-2-8	Paralela	1/2"	4	8	0,56	0,10	0,50	3
SC4-0°-2-16	Paralela	1/2"	4	16	0,56	0,10	0,50	3
SC4-0°-2-30	Paralela	1/2"	4	30	0,56	0,10	0,50	3
SC5-0°-2-8	Paralela	5/8"	4	8	0,56	0,10	0,50	3
SC5-0°-2-16	Paralela	5/8"	4	16	0,56	0,10	0,50	3
SC5-0°-2-30	Paralela	5/8"	4	30	0,56	0,10	0,50	3
SC6-0°-2-8	Paralela	3/4"	4	8	0,56	0,10	0,50	3
SC6-0°-2-16	Paralela	3/4"	4	16	0,56	0,10	0,50	3
SC6-0°-2-30	Paralela	3/4"	4	30	0,56	0,10	0,50	3
TOTAL PROBETAS								**63**

CONFIGURACIÓN PROBETAS

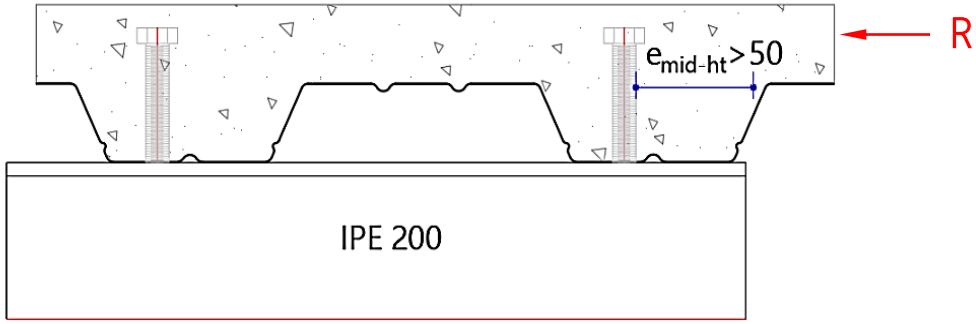


Figura 7 Ubicación tornillo posición fuerte Rp=0.75.

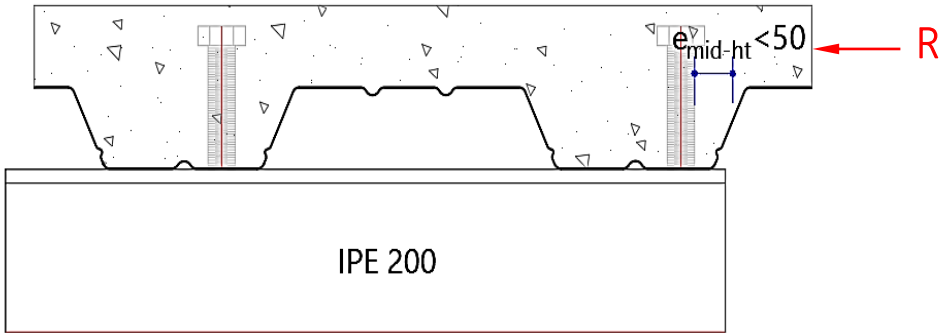


Figura 8 Ubicación tornillo posición débil Rp=0.60.

CONFIGURACIÓN PROBETAS

Tabla 4. Tamaño mínimo soldadura de filete para pernos de pequeño diámetro. (Fuente Structural Welding Code D1.1)

Table 7.2
Minimum Fillet Weld Size for Small Diameter Studs (see 7.5.5.4)

Stud Diameter		Min Size Fillet	
in.	mm	in.	mm
1/4 thru 7/16	6 thru 11	3/16	5
1/2	12	1/4	6
5/8, 3/4, 7/8	16, 20, 22	5/16	8
1	25	3/8	10

Es de gran importancia, el detallado de la conexión soldada del tornillo al perfil, debido a que la falla de la soldadura es frágil y el conector de cortante es el único vinculo entre los componentes del sistema.

CONFIGURACIÓN PROBETAS

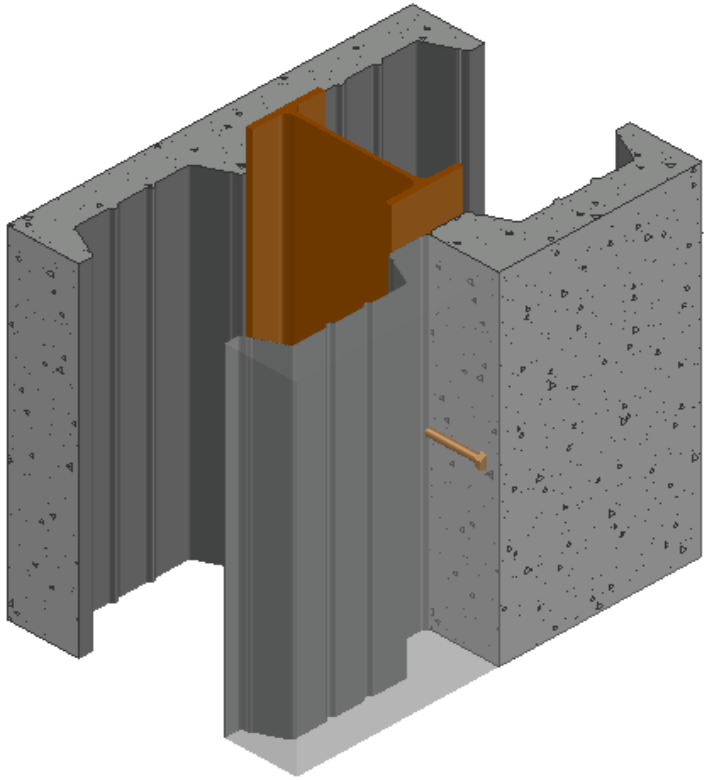


Figura 9. Probetas de un conector con lámina paralela al perfil.

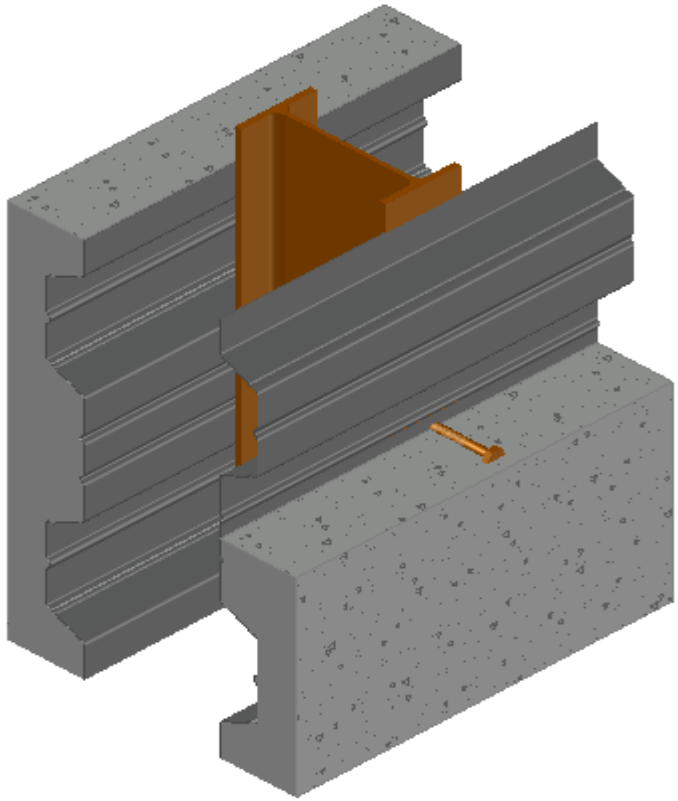


Figura 10. Probetas de un conector con lámina perpendicular al perfil.

CONFIGURACIÓN PROBETAS

a)

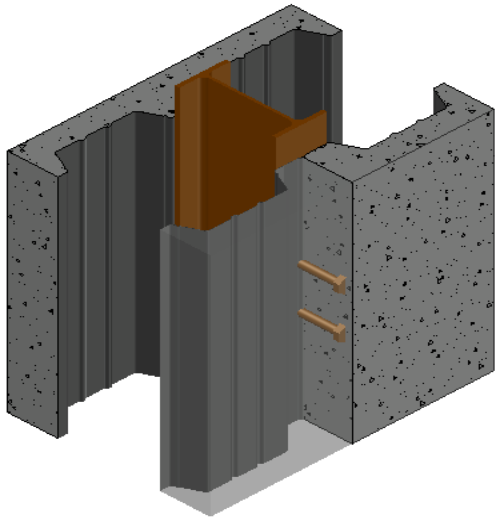


Figura 11.
Probetas de dos conectores separación: 8 cm

b)

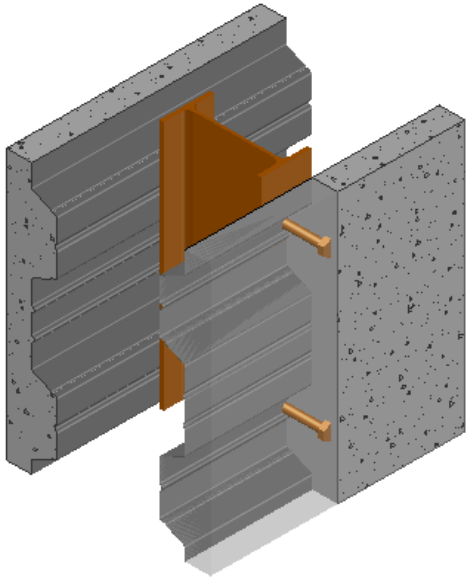


Figura 12.
Probetas dos conectores, tornillo en posición fuerte.

c)

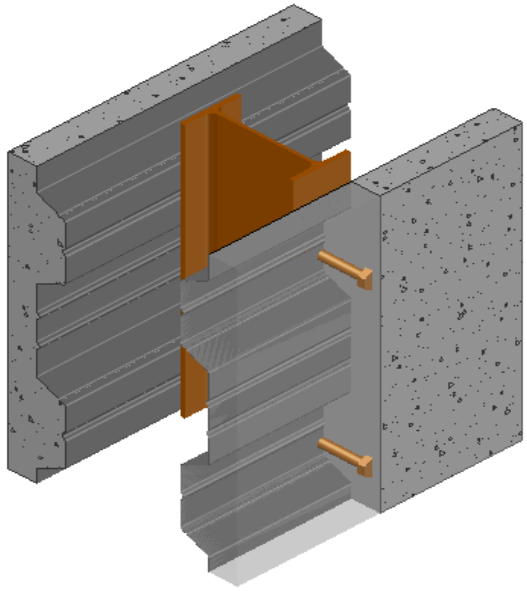


Figura 13.
Probetas dos conectores, tornillo en posición débil.

MONTAJE EXPERIMENTAL

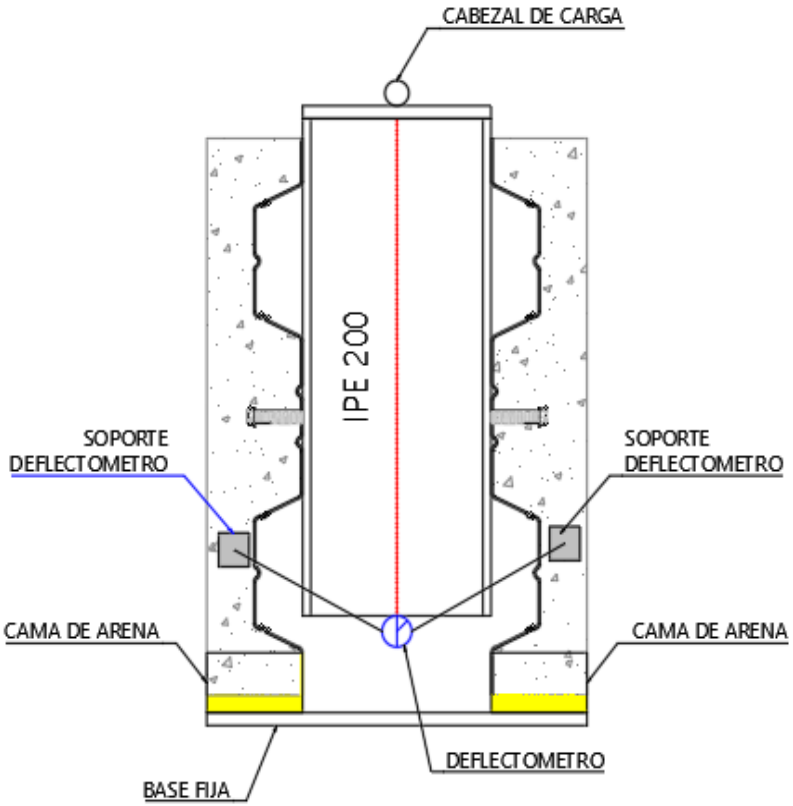




Figura 14. Montaje Experimental.

CARACTERIZACIÓN CONCRETO

Tabla 5. Caracterización mecánica mezclas de concreto.

Probeta	f'c [MPa]	f'c [MPa]	f'c [psi]	Ec [MPa]
SC4-0°-1 SC5-0°-1 SC6-0°-1 SC4-90°-2-F SC5-90°-2-F SC6-90°-2-F	Mezcla 1	33	4700	26950
SC5-0°-2-8 SC5-0°-2-16 SC5-0°-2-30 SC4-90°-2-D SC5-90°-2-D SC6-90°-2-D	Mezcla 2	36	5000	30151

Probeta	f'c [MPa]	f'c [MPa]	f'c [psi]	Ec [MPa]
SC4-90°-1 SC5-90°-1 SC6-90°-1 SC6-0°-2-16 SC6-0°-2-30 SC6-0°-2-8	Mezcla 3	27	3800	23200
SC4-0°-2-16 SC4-0°-2-30 SC4-0°-2-8	Mezcla 4	32	4500	21100

CONTENIDO

1. Introducción
2. Objetivos
3. Marco Teórico
4. Antecedentes
5. Descripción Experimental
6. Simulación Numérica MEF
7. Resultados Experimentales
8. Conclusiones y Recomendaciones

GEOMETRÍA MODELOS ANSYS

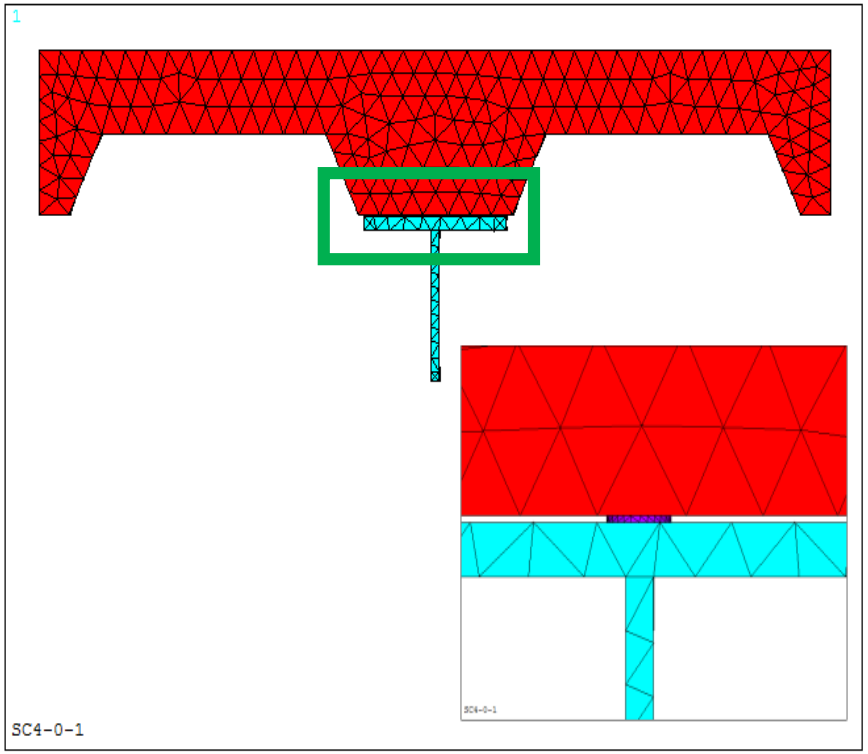


Figura 15. Dilatación superficie perfil placa.

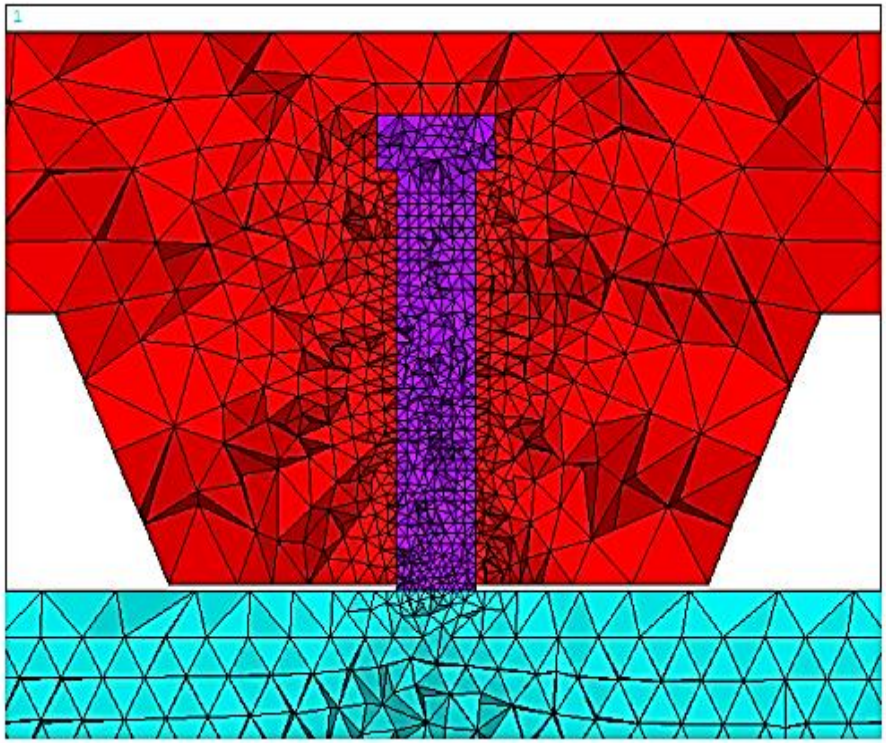


Figura 16. Compatibilidad de nodos interfaz de conexión.

CONDICIONES DE BORDE

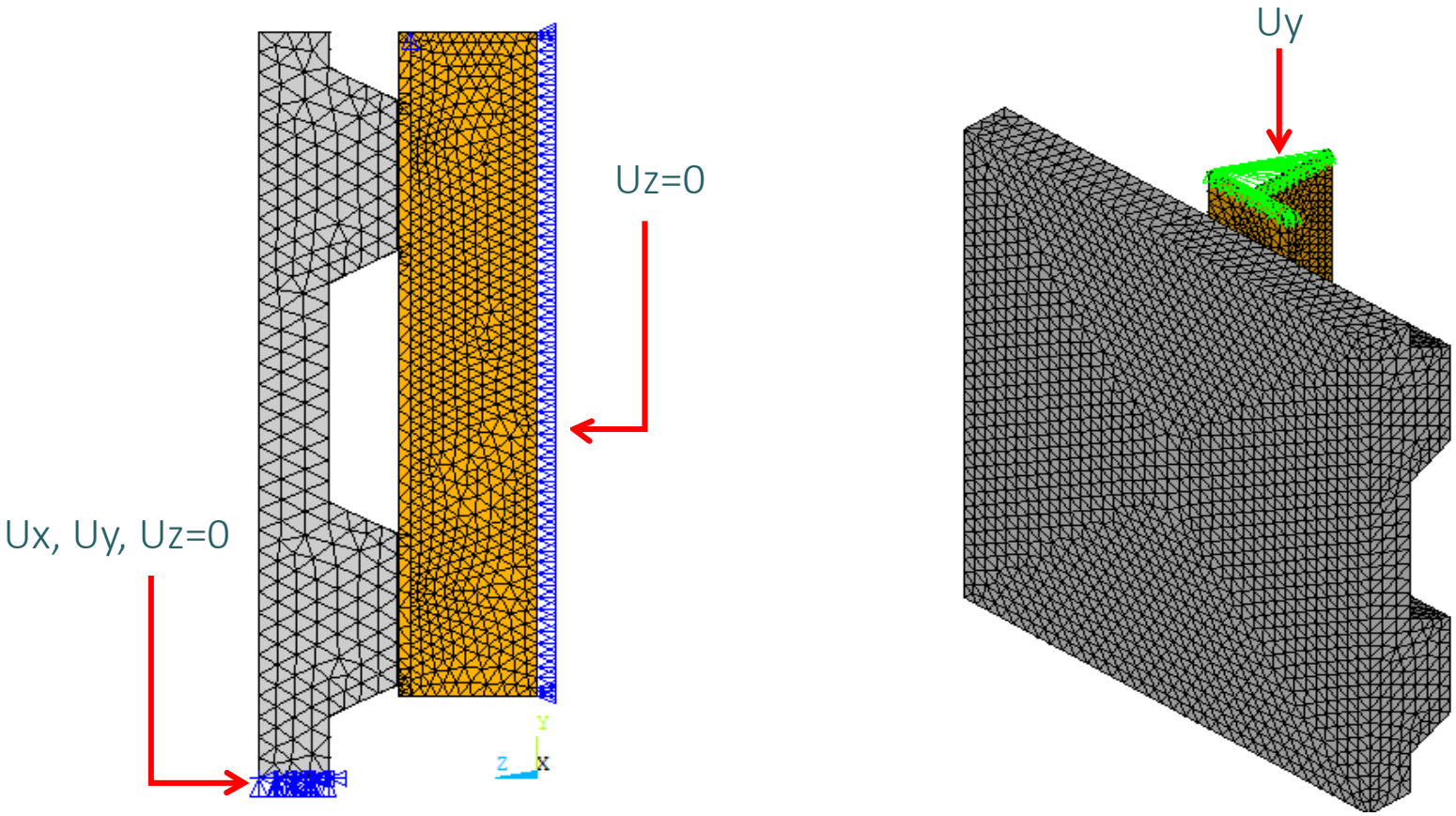
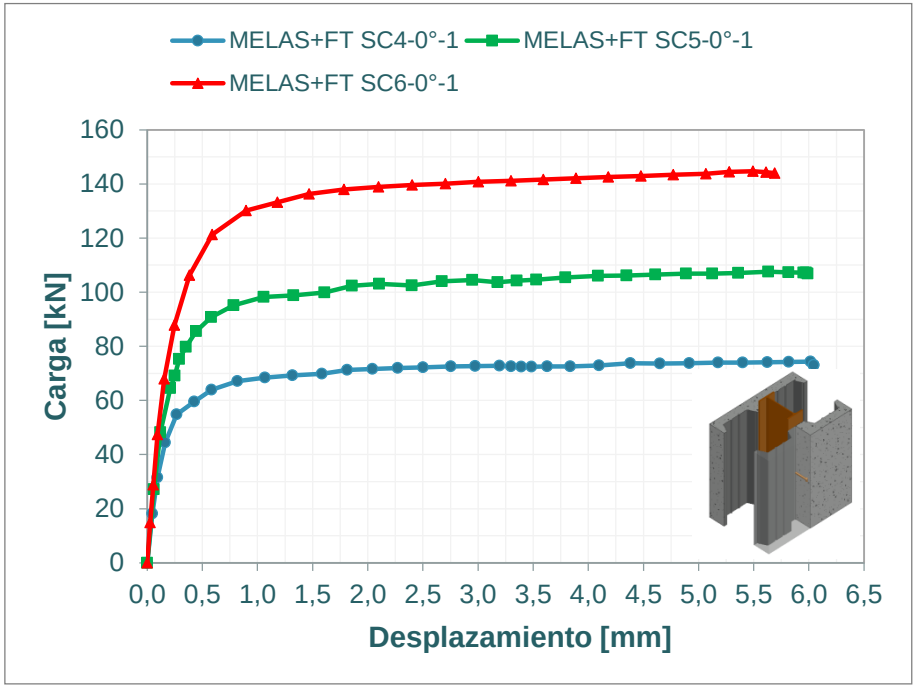


Figura 17. Condiciones de borde modelo numérico.

RESPUESTA ESTRUCTURAL MODELOS DE UN CONECTOR



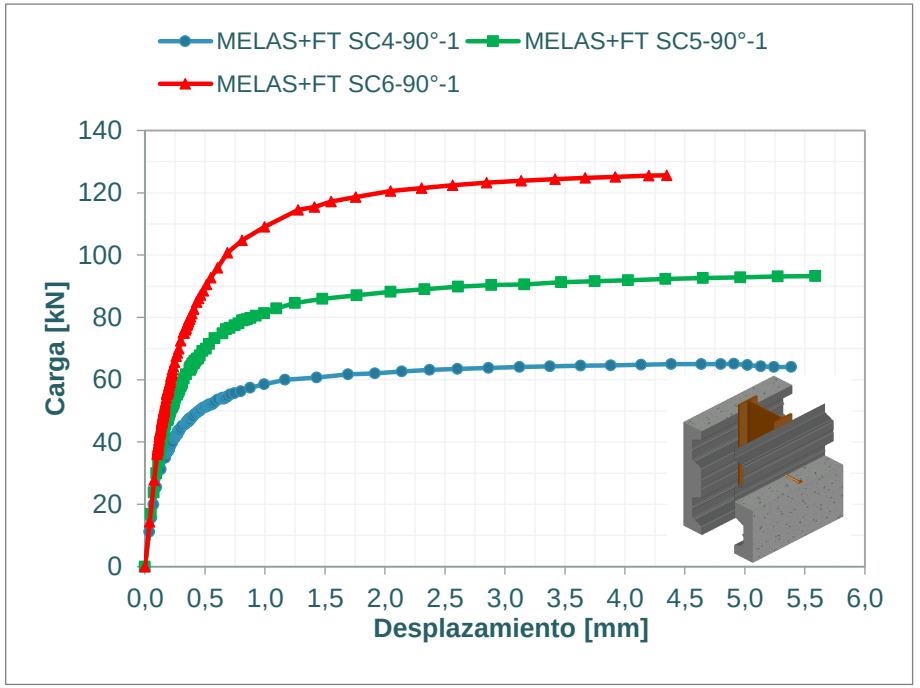
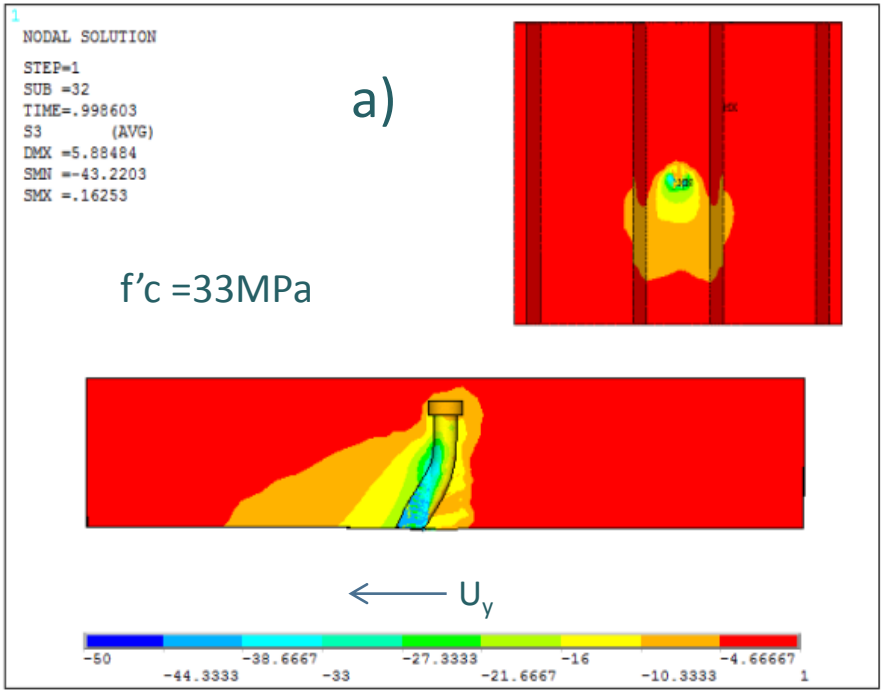


Figura 18. Respuesta estructural modelos de un conector.

DISTRIBUCIÓN ESFUERZOS MODELOS DE UN CONECTOR



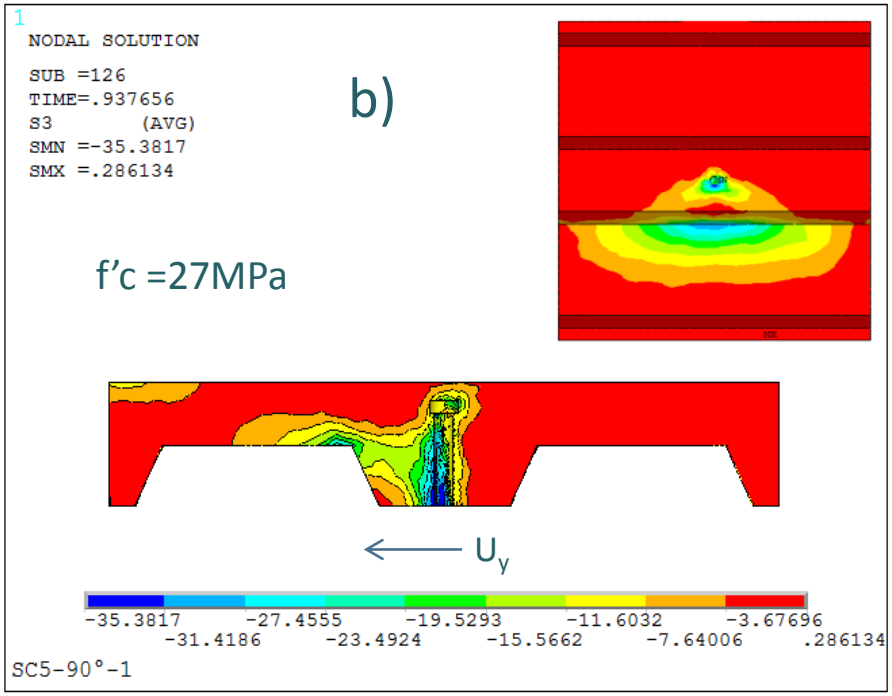
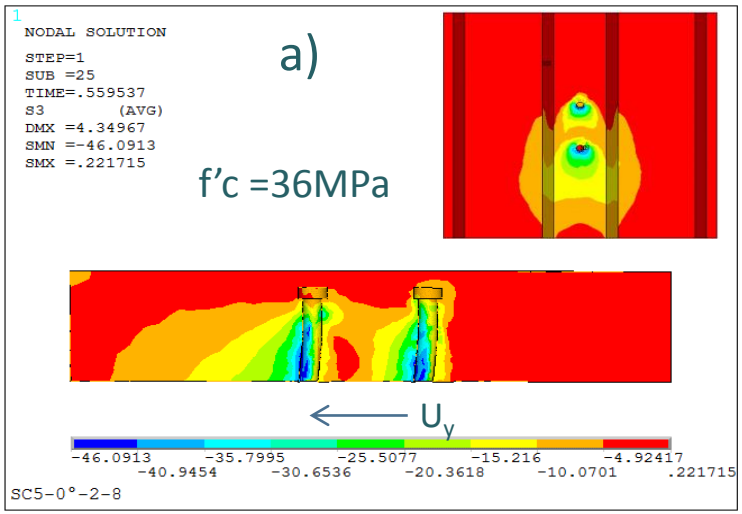
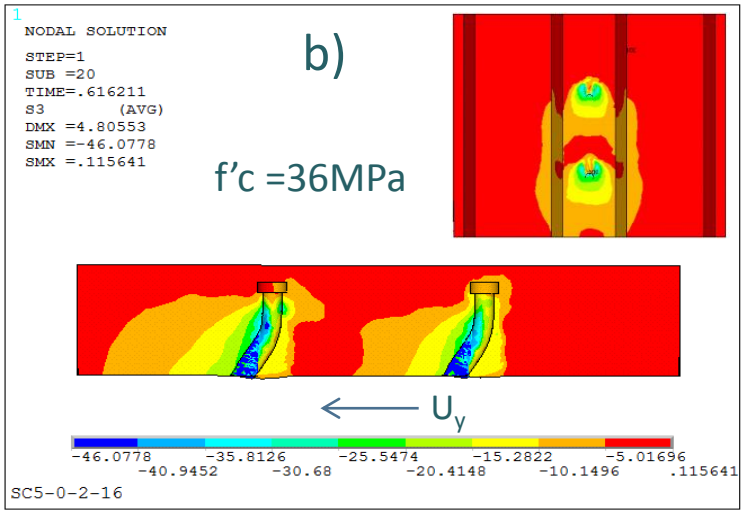


Figura 19. Distribución nodal promedio esfuerzo principal menor σ_3 modelos: a) SC5-0-1 y b) SC5-90-1

DISTRIBUCIÓN ESFUERZOS MODELOS DOS CONECTORES





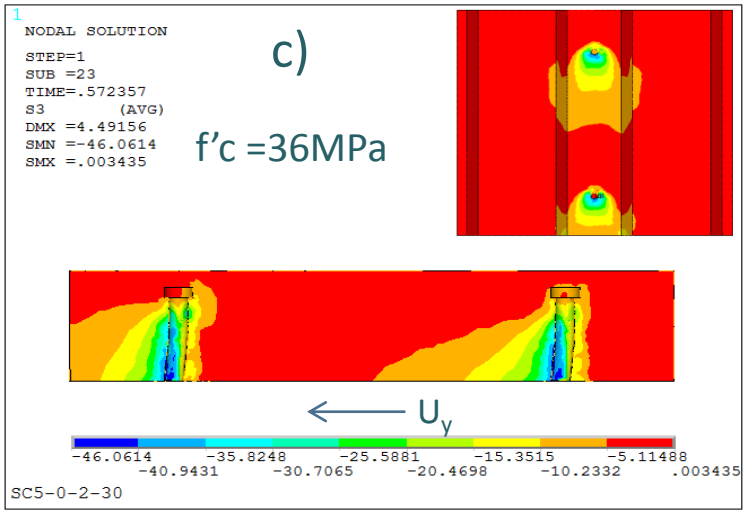
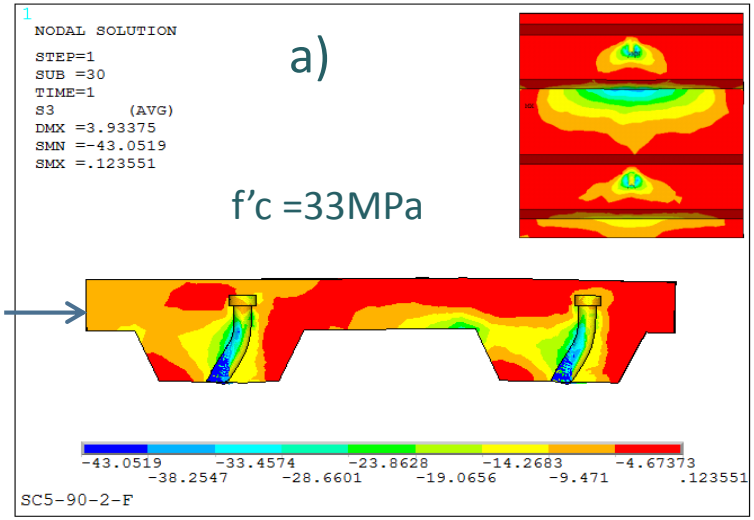
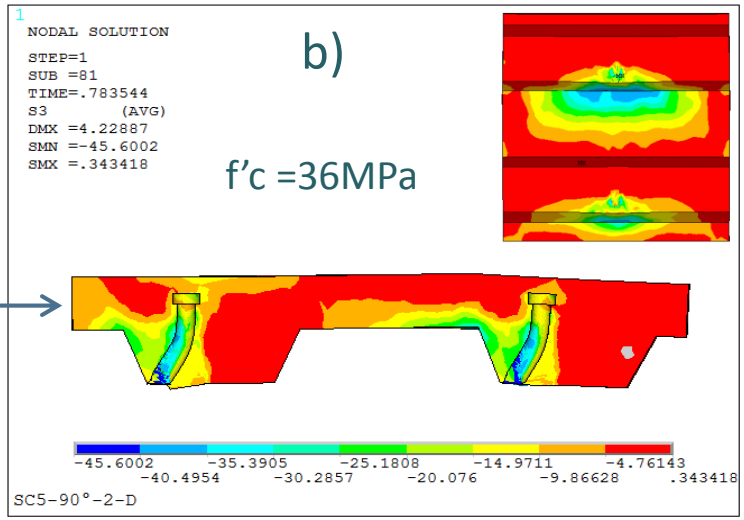


Figura 20. Distribución nodal promedio esfuerzo principal menor σ_3 modelos: a) SC5-0-2-8, b) SC5-0-2-16 y c) SC5-0-2-30.

DISTRIBUCIÓN ESFUERZOS MODELOS DOS CONECTORES





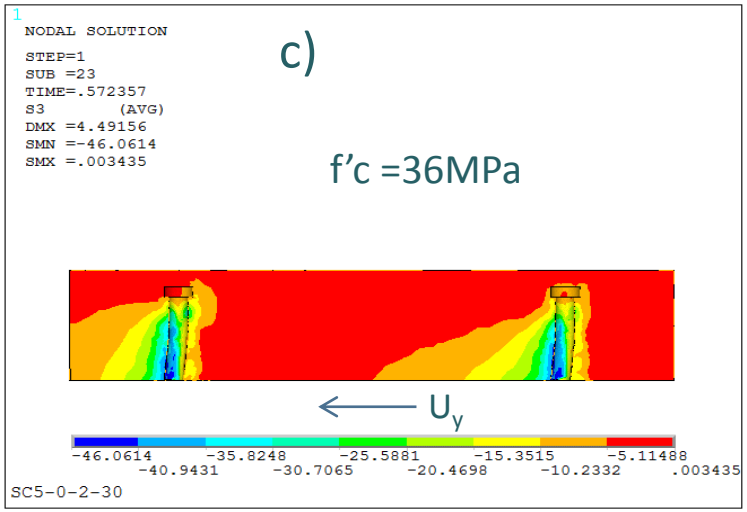
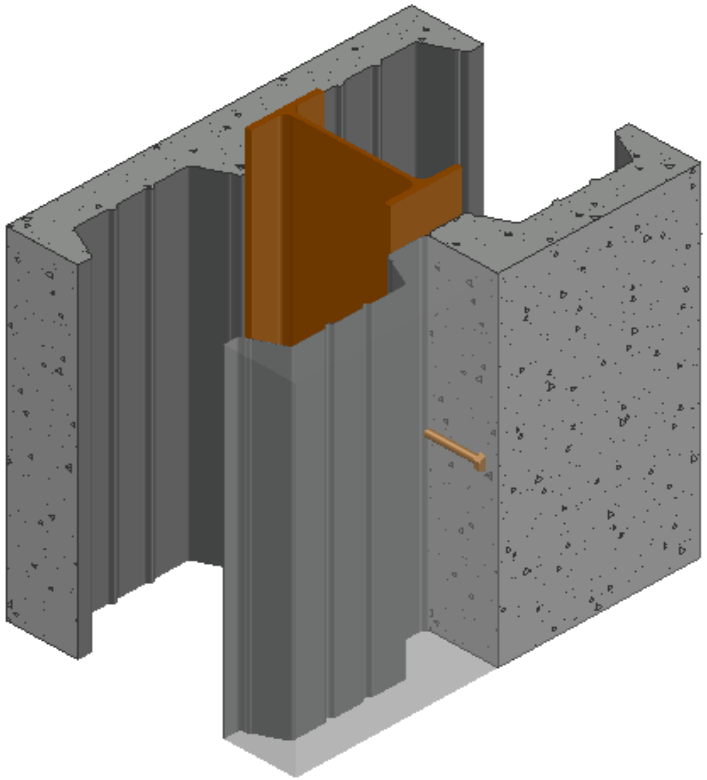


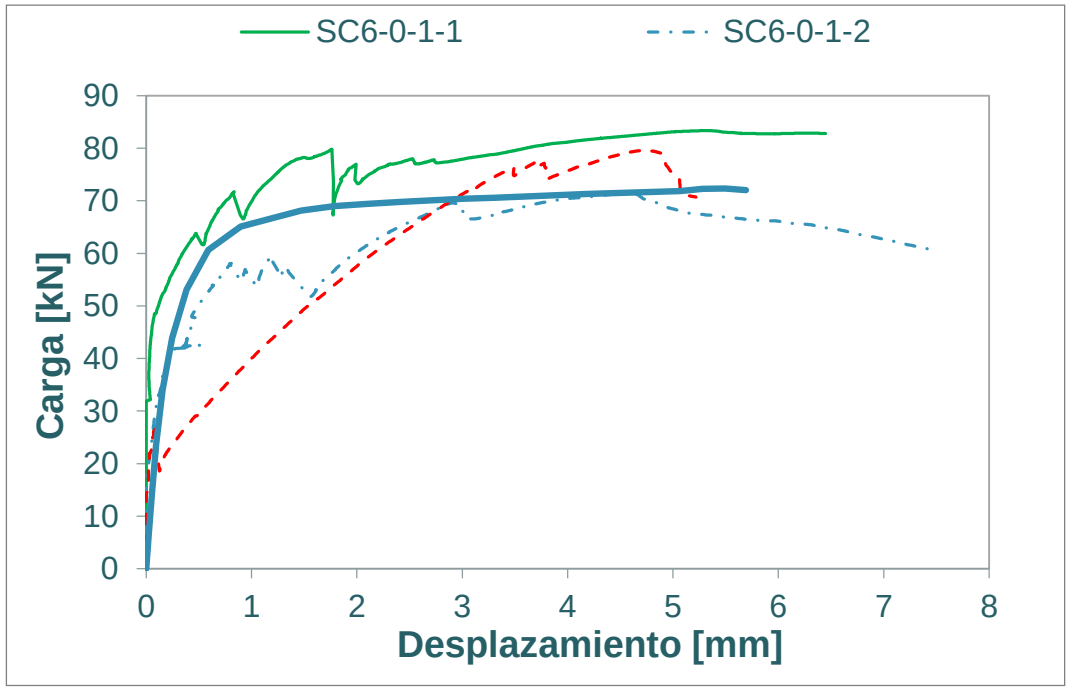
Figura 21. Distribución nodal promedio esfuerzo principal menor σ_3 modelos: a) SC5-90-2-F, b) SC5-90-2-D y c) SC5-0-2-30.

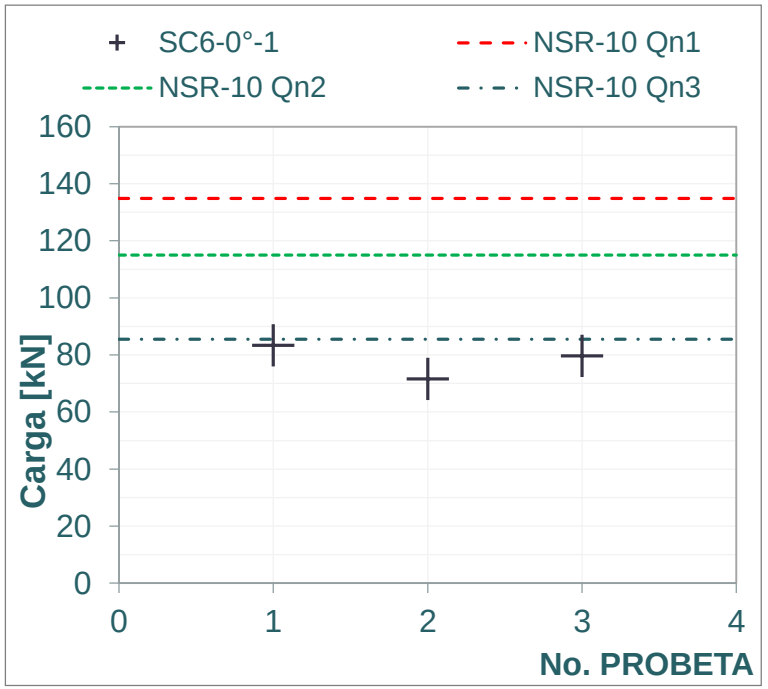
CONTENIDO

1. Introducción
2. Objetivos
3. Marco Teórico
4. Antecedentes
5. Descripción Experimental
6. Simulación Numérica MEF
7. Resultados Experimentales
8. Conclusiones y Recomendaciones

PROBETAS DE UN CONECTOR CON LÁMINA PARALELA AL PERFIL.







$Q_{n1} = 0.5A_{sc}\sqrt{f'_c E_c} = 134.87\ kN$

$Q_{n2} = R_g R_p A_{sc} F_u = 115\ \text{kN}$

$Q_{n3} = 0.14 \cdot A_{SC} \cdot (E_c \cdot f'_c)^{0.5} \cdot \left(\frac{S}{\phi}\right)^{0.25} = 85.53\ \text{kN}$

$Q_{prom} = 78.21\ \text{kN}$

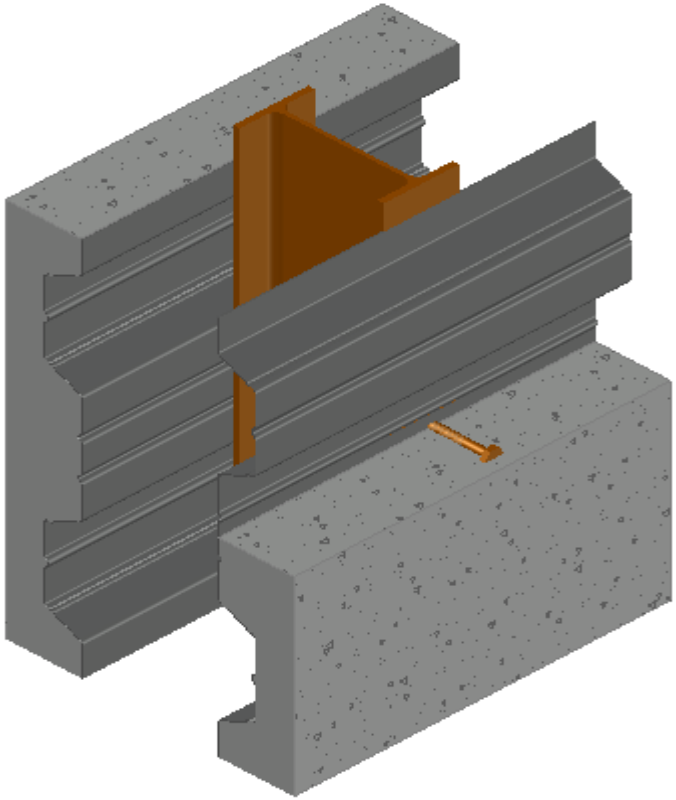
Figura 23. Resultados Experimentales Probetas SC6-0-1.

PATRONES DE FALLA



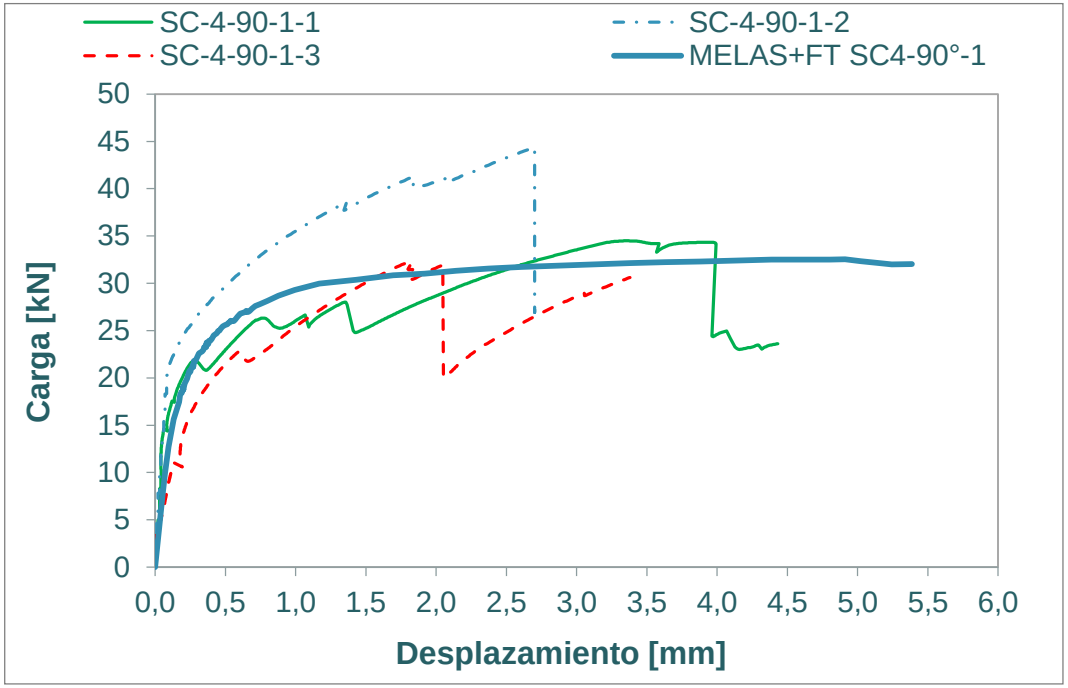
Figura 24. Patrón de fractura probeta SC5-0-1.

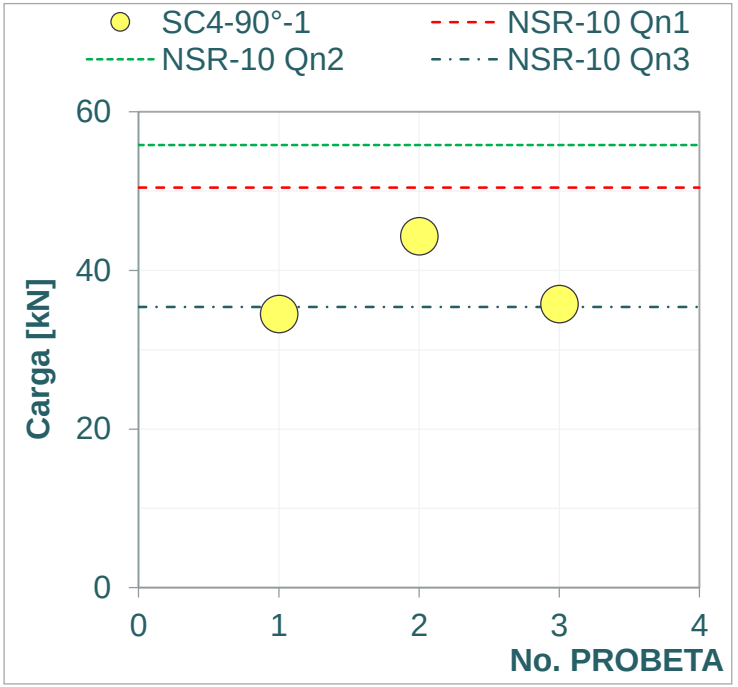
PROBETAS DE UN CONECTOR CON LÁMINA PERPENDICULAR AL PERFIL.



RESULTADOS EXPERIMENTALES

Comportamiento de Conectores de Cortante Tipo Tornillo.





$Q_{n1} = 0.5A_{sc}\sqrt{f_c' E_c} = 50.43\ kN$

$Q_{n2} = R_g R_p A_{sc} F_u = 55.82$ kN

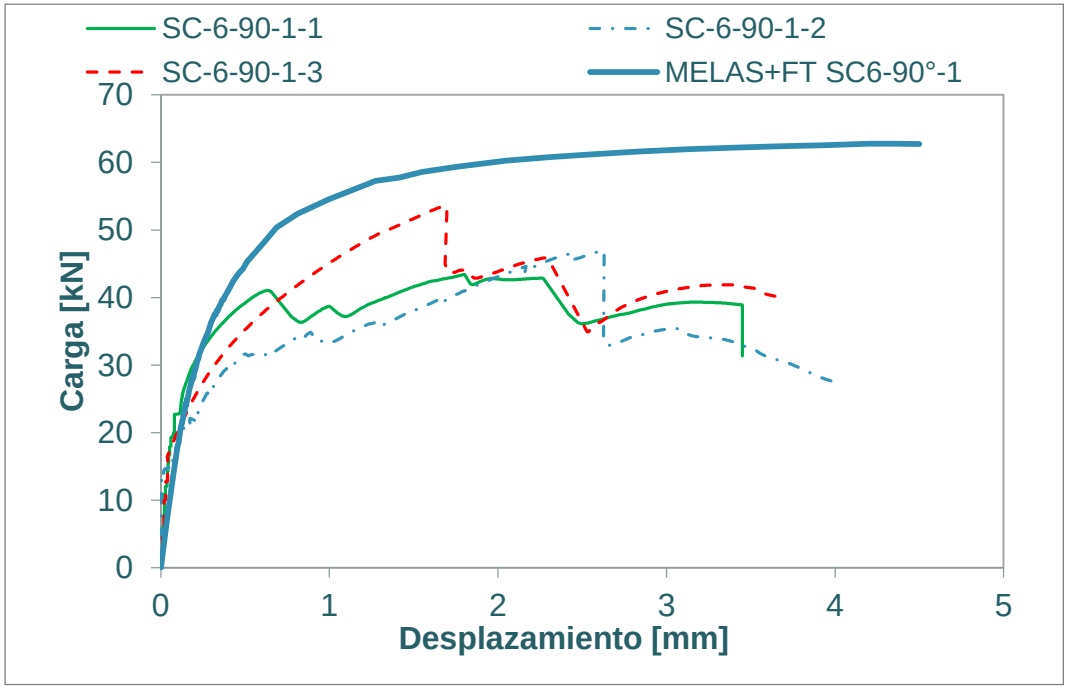
$Q_{n3} = 0.14 \cdot A_{SC} \cdot (E_c \cdot f_c')^{0.5} \cdot \left(\frac{S}{\phi}\right)^{0.25} = 35.37$ kN

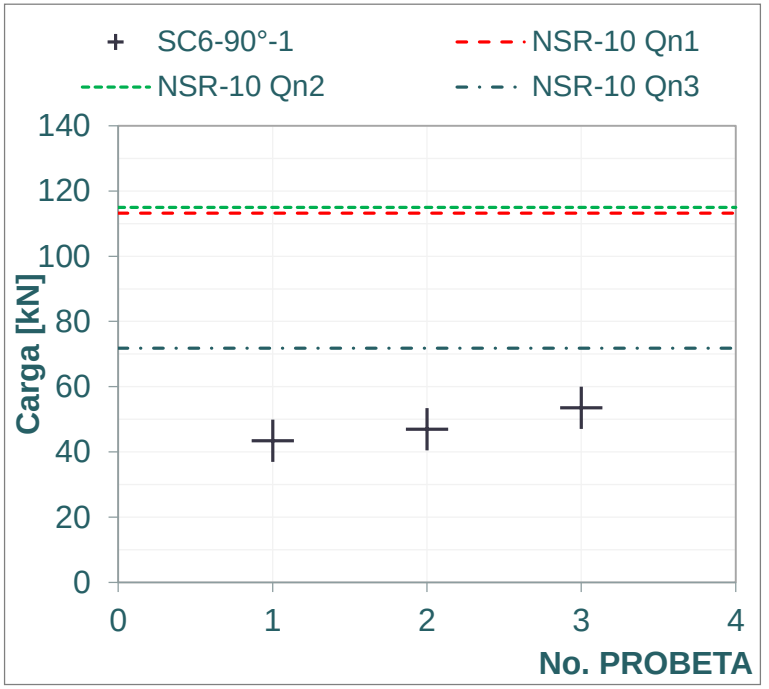
$Q_{prom} = 38.19$ kN

Figura 25. Resultados Experimentales Probetas SC4-90-1.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

Comportamiento de Conectores de Cortante Tipo Tornillo.





$Q_{n1} = 0.5 A_{sc} \sqrt{f'_c E_c} = 113.18\ kN$

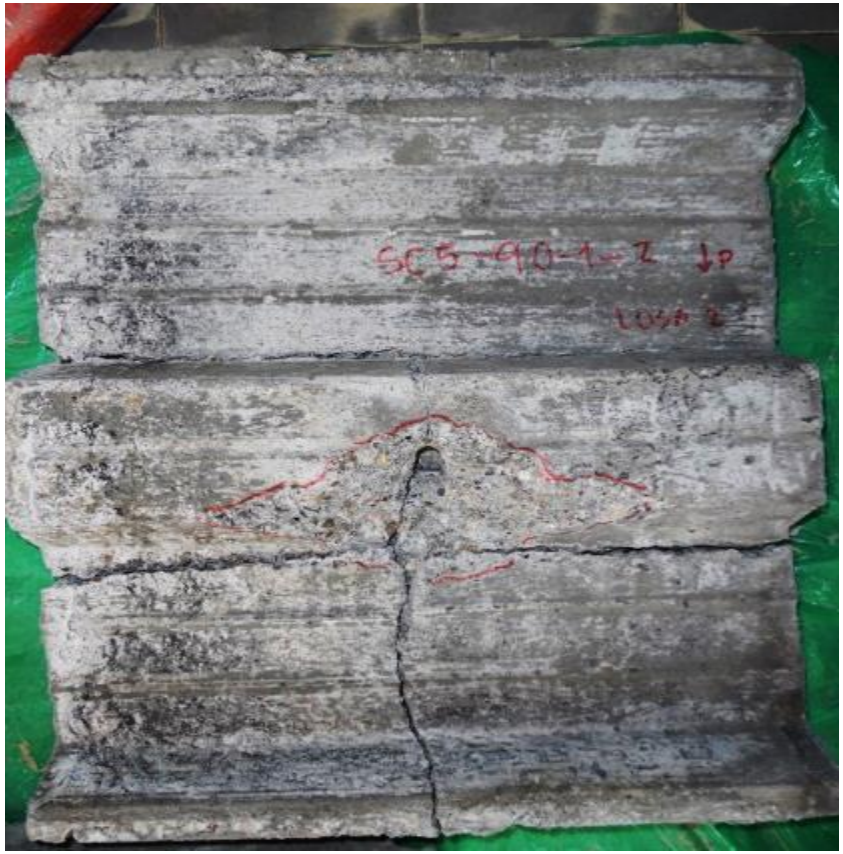
$Q_{n2} = R_g R_p A_{sc} F_u = 115.00\ \text{kN}$

$Q_{n3} = 0.14 \cdot A_{SC} \cdot (E_c \cdot f'_c)^{0.5} \cdot \left(\frac{S}{\phi}\right)^{0.25} = 71.78\ \text{kN}$

$Q_{prom} = 48.00\ \text{kN}$

Figura 26. Resultados Experimentales Probetas SC6-90-1.

PATRONES DE FRACTURA



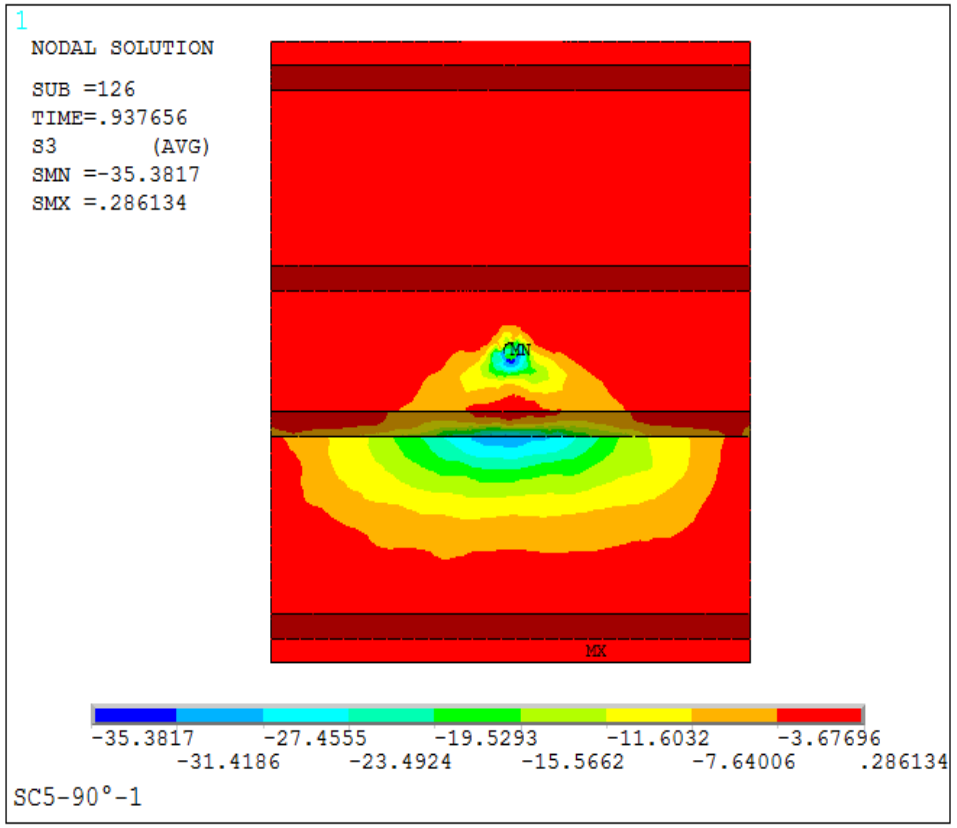
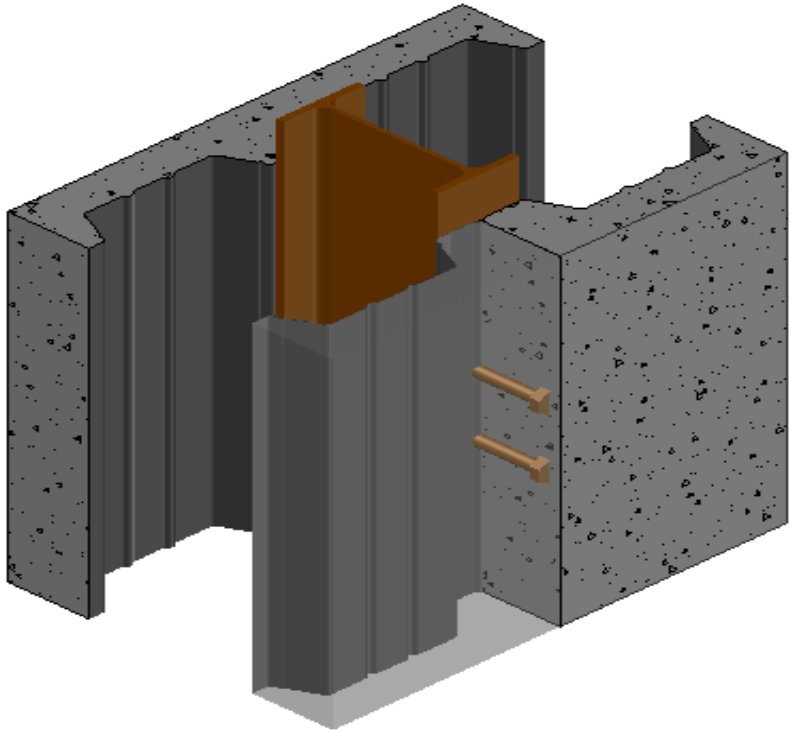
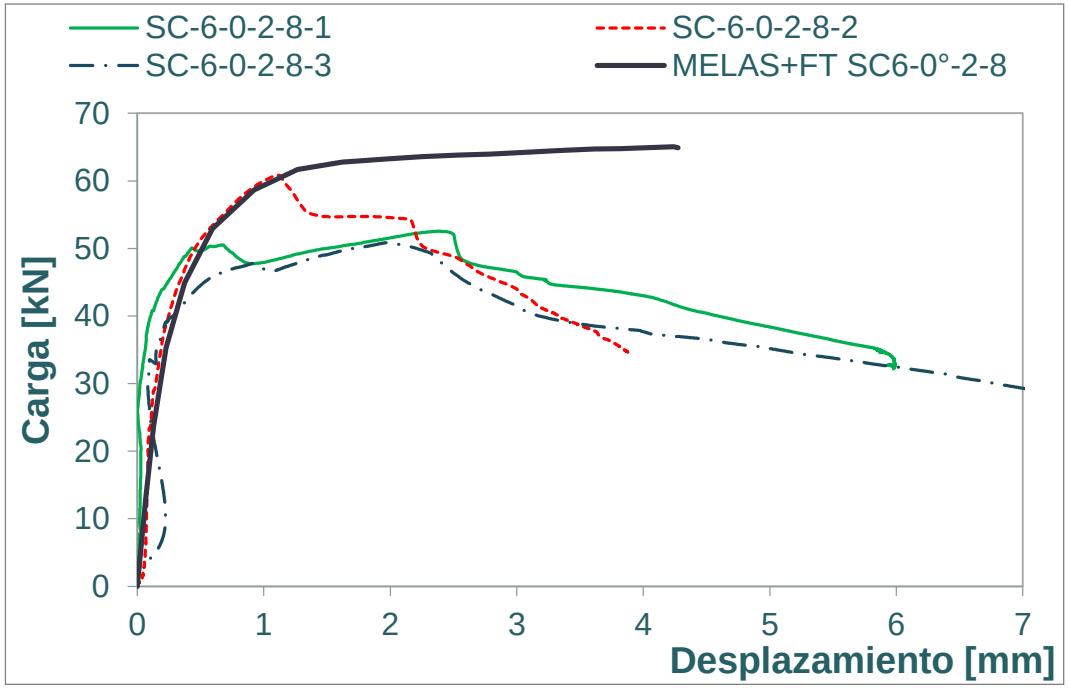
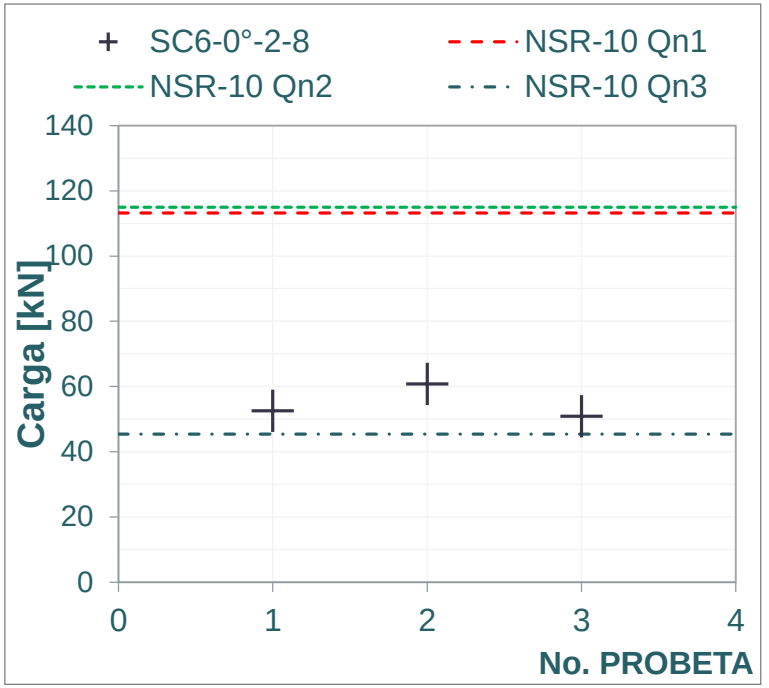


Figura 27 Patrón de fractura probeta SC5-90-1.

PROBETAS DE DOS CONECTORES CON LÁMINA PARALELA SEPARACIÓN: 8 CM







$Q_{n1} = 0.5 A_{sc} \sqrt{f'_c E_c} = 113.18\ kN$

$Q_{n2} = R_g R_p A_{sc} F_u = 115.00\ \text{kN}$

$Q_{n3} = 0.14 \cdot A_{SC} \cdot (E_c \cdot f'_c)^{0.5} \cdot \left(\frac{S}{\phi}\right)^{0.25} = 45.39\ \text{kN}$

$Q_{prom} = 54.74\ \text{kN}$

Figura 28. Resultados Experimentales Probetas SC6-0-2-8.

PATRONES DE FRACTURA



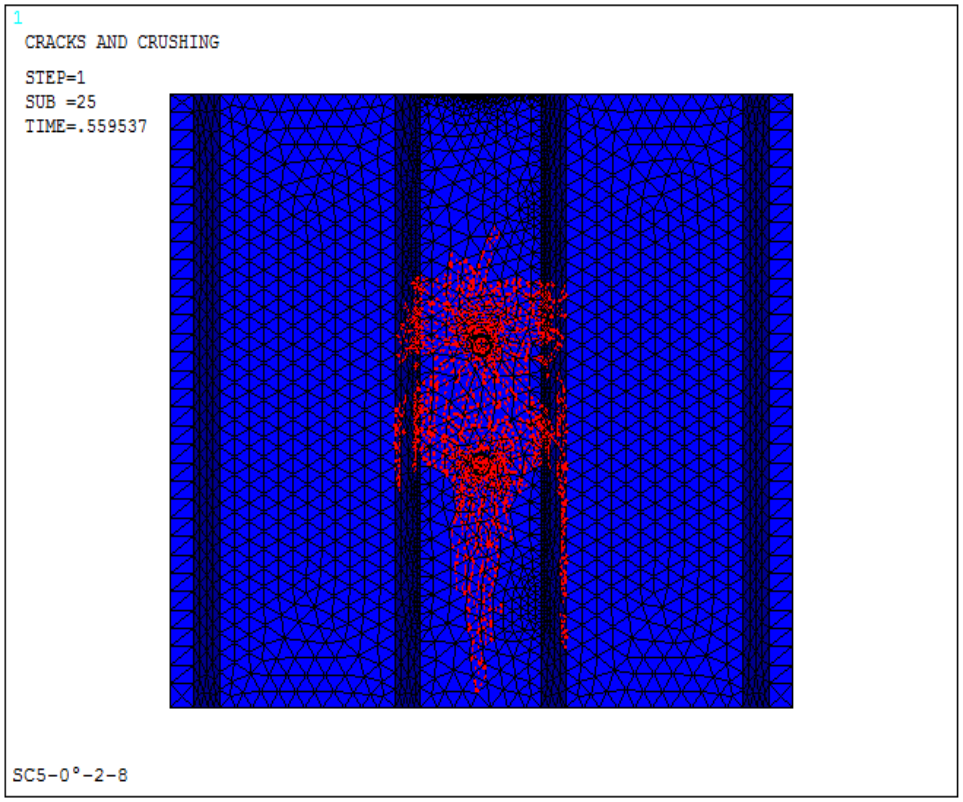
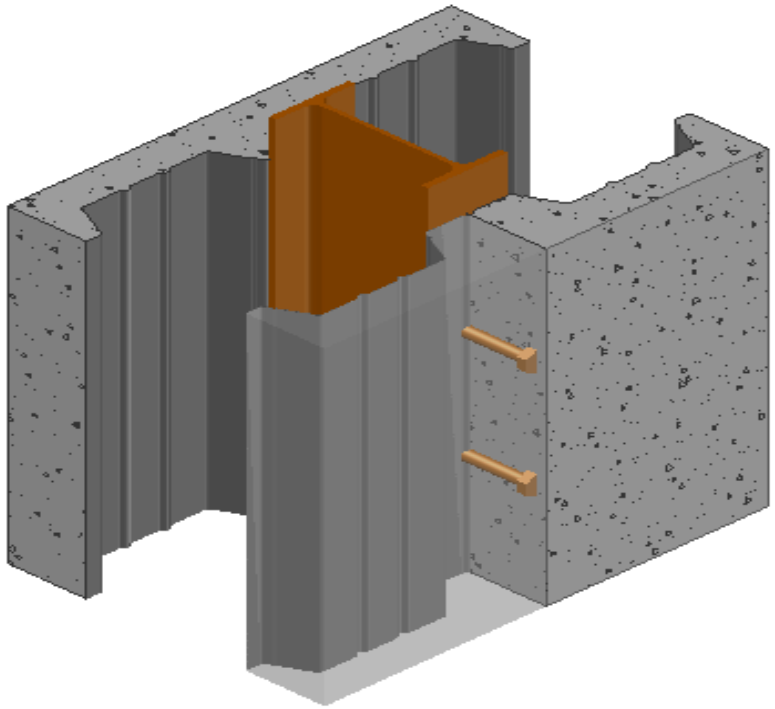
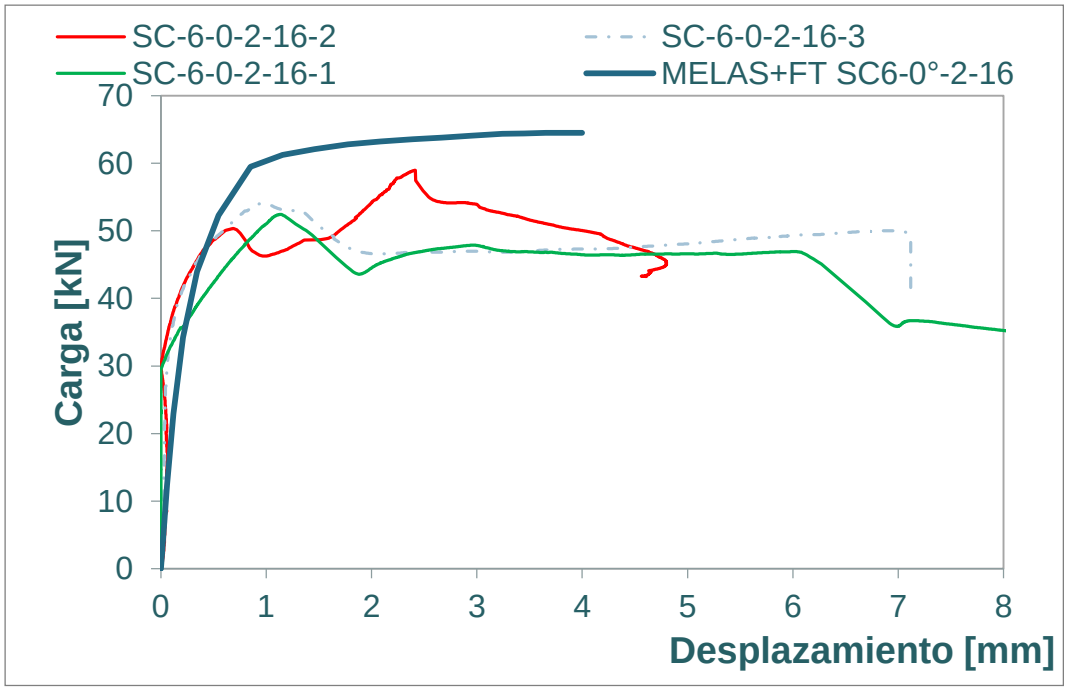
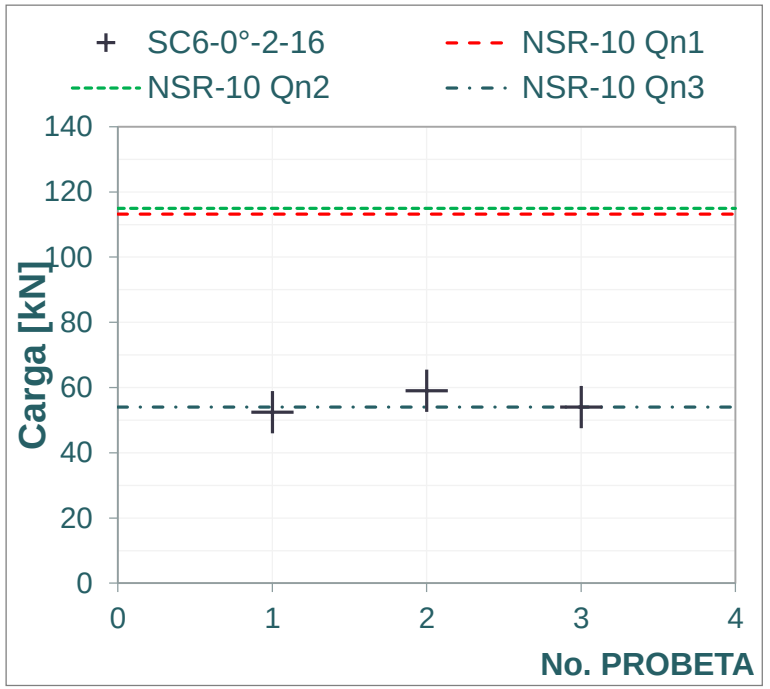


Figura 29. Patrón de fractura probeta SC5-0-2-8.

PROBETAS DE DOS CONECTORES CON LÁMINA PARALELA
SEPARACIÓN: 16 CM







$Q_{n1} = 0.5A_{sc}\sqrt{f_c' E_c} = 113.18\ kN$

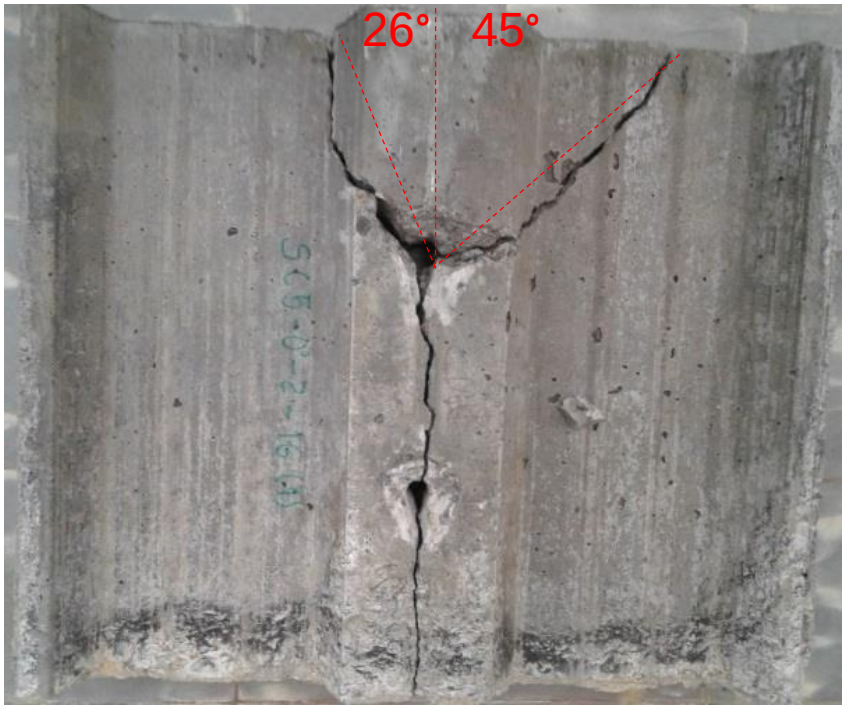
$Q_{n2} = R_g R_p A_{sc} F_u = 115.00\ \text{kN}$

$Q_{n3} = 0.14 \cdot A_{SC} \cdot (E_c \cdot f_c')^{0.5} \cdot \left(\frac{S}{\phi}\right)^{0.25} = 53.98\ \text{kN}$

$Q_{prom} = 55.15\ \text{kN}$

Figura 30. Resultados Experimentales Probetas SC6-0-2-16.

PATRONES DE FRACTURA



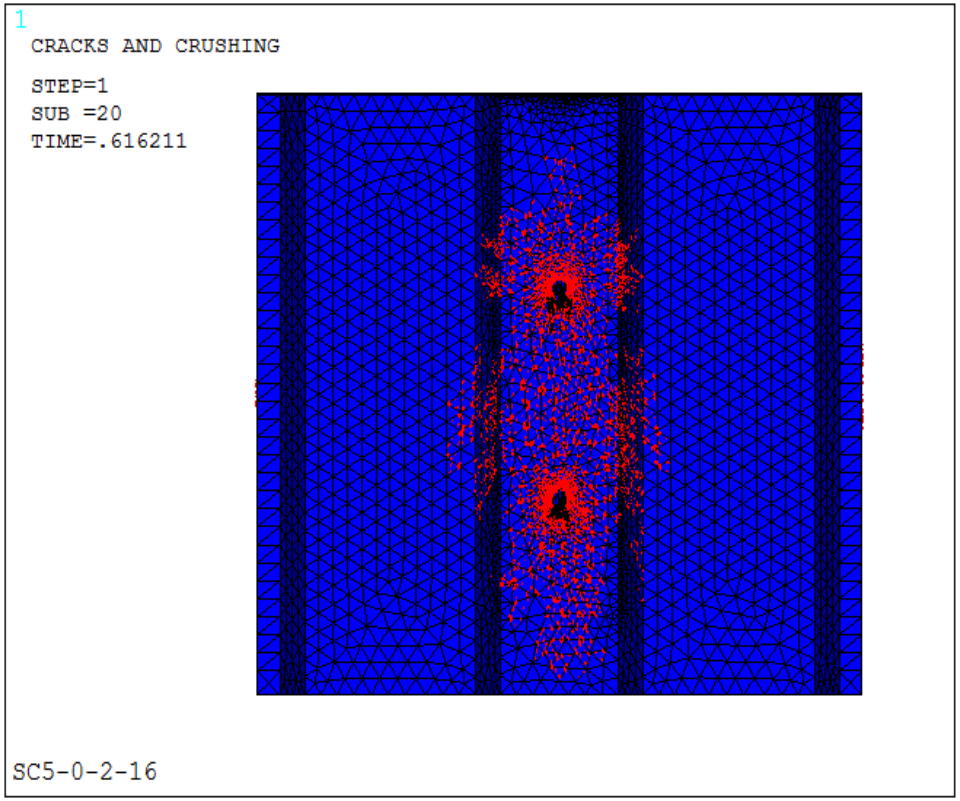
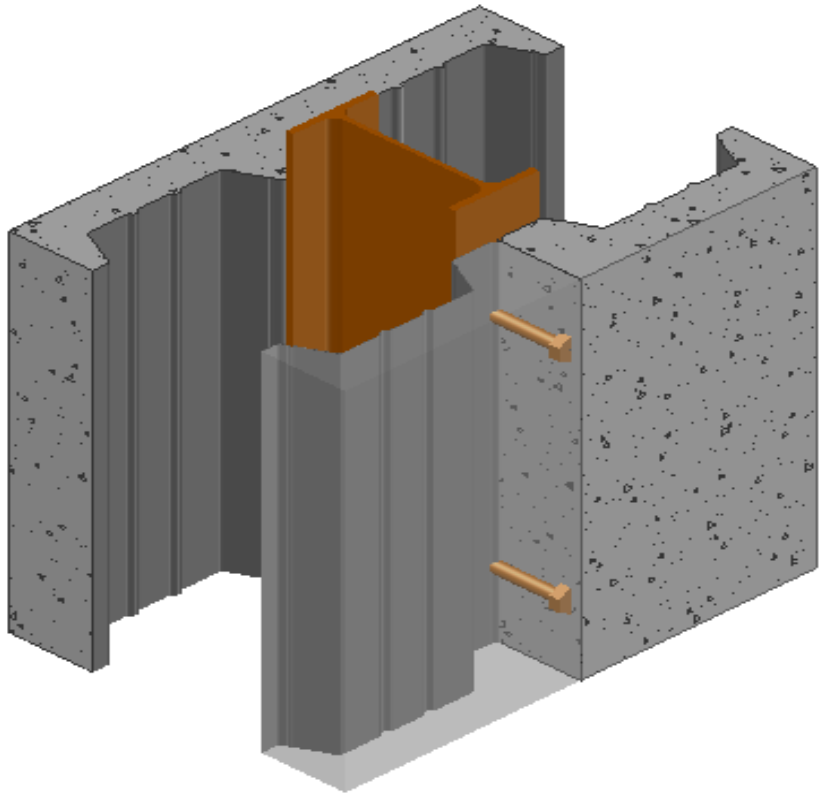
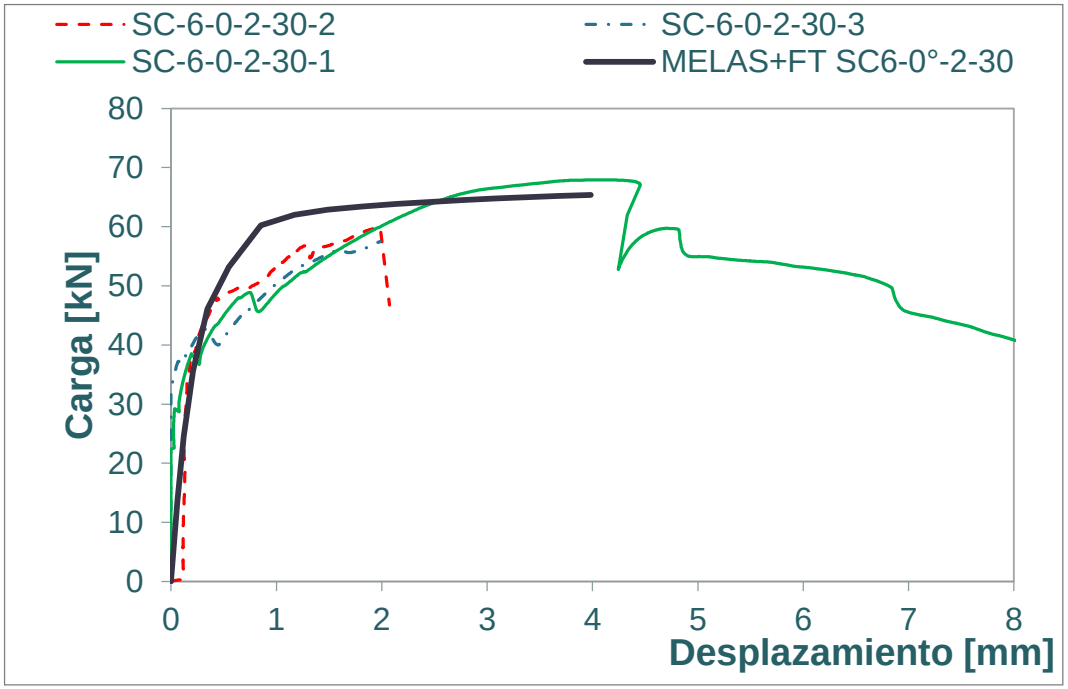
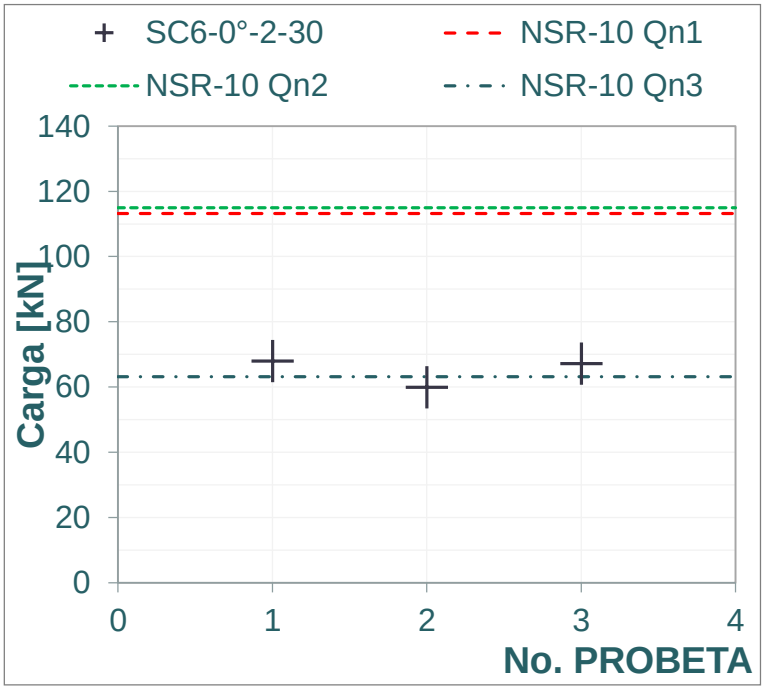


Figura 31. Patrón de fractura probeta SC5-0-2-16.

PROBETAS DE DOS CONECTORES CON LÁMINA PARALELA
SEPARACIÓN: 30 CM







$Q_{n1} = 0.5A_{sc}\sqrt{f_c' E_c} = 113.18\ kN$

$Q_{n2} = R_g R_p A_{sc} F_u = 115.00\ \text{kN}$

$Q_{n3} = 0.14 \cdot A_{SC} \cdot (E_c \cdot f_c')^{0.5} \cdot \left(\frac{S}{\phi}\right)^{0.25} = 63.17\ \text{kN}$

$Q_{prom} = 65.00\ \text{kN}$

Figura 32. Resultados Experimentales Probetas SC5-90-2-F.

PATRONES DE FRACTURA



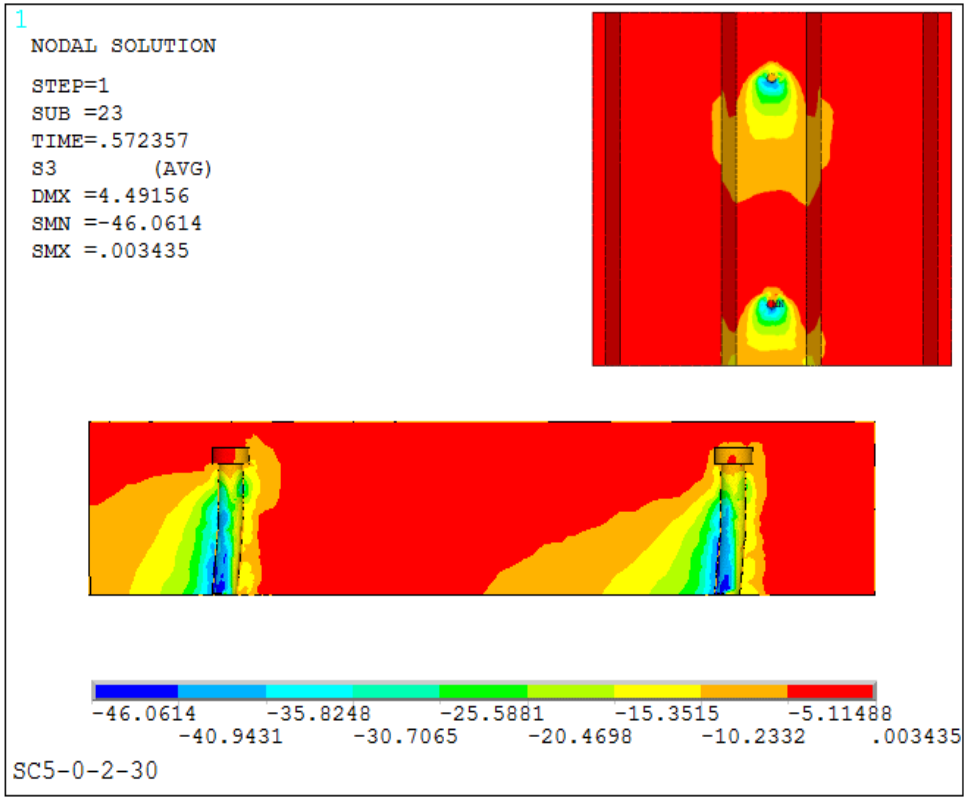
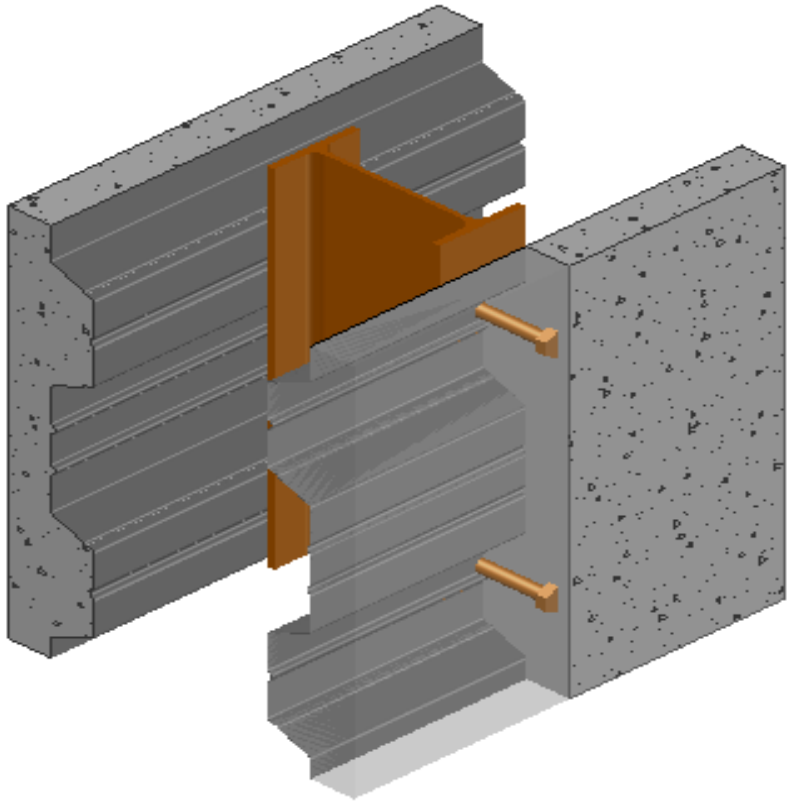
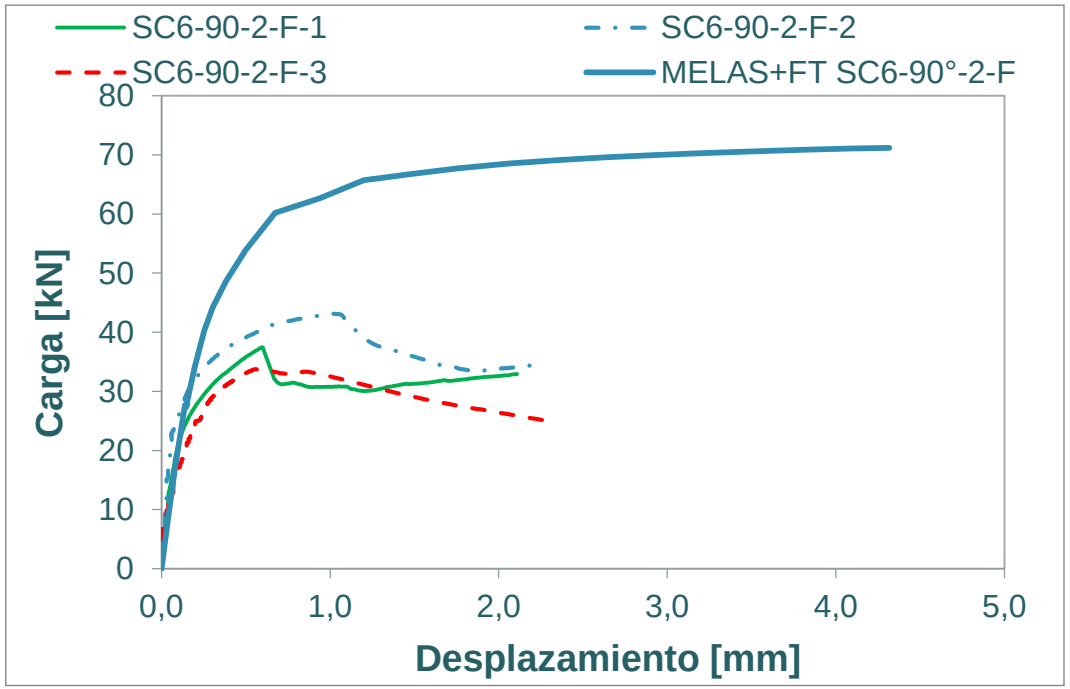
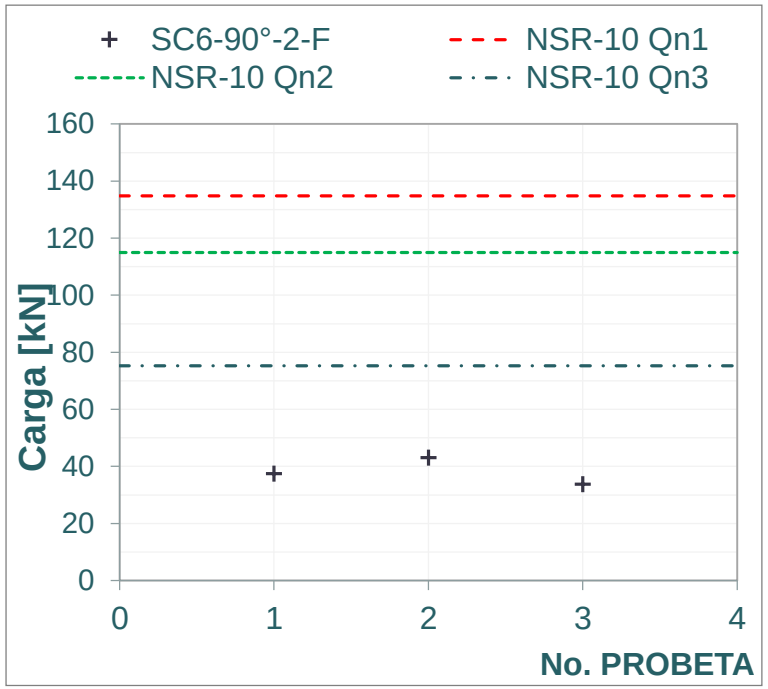


Figura 33. Patrón de fractura probeta SC5-0-2-30.

PROBETAS DOS CONECTORES PERPENDICULAR AL PERFIL, TORNILLO EN POSICIÓN FUERTE.







$Q_{n1} = 0.5A_{sc}\sqrt{f'_c E_c} = 134.87\ kN$

$Q_{n2} = R_g R_p A_{sc} F_u = 115.00\ \text{kN}$

$Q_{n3} = 0.14 \cdot A_{SC} \cdot (E_c \cdot f'_c)^{0.5} \cdot \left(\frac{S}{\phi}\right)^{0.25} = 75.28\ \text{kN}$

$Q_{prom} = 38.10\ \text{kN}$

Figura 34. Resultados Experimentales Probetas SC6-90-2-F.

PATRONES DE FRACTURA



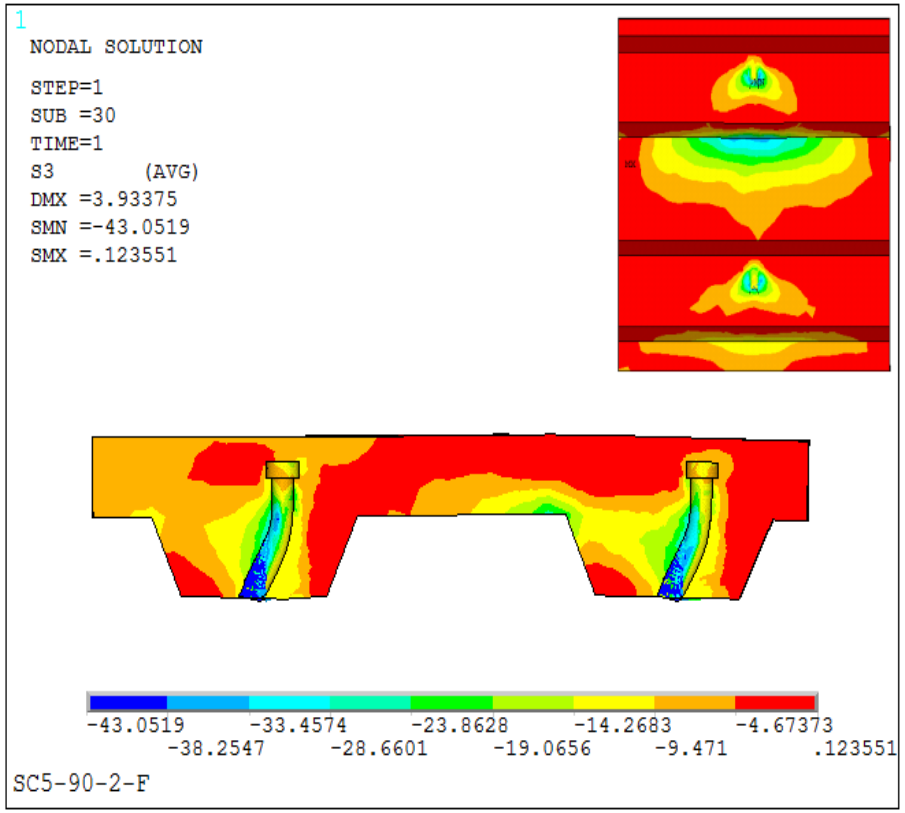
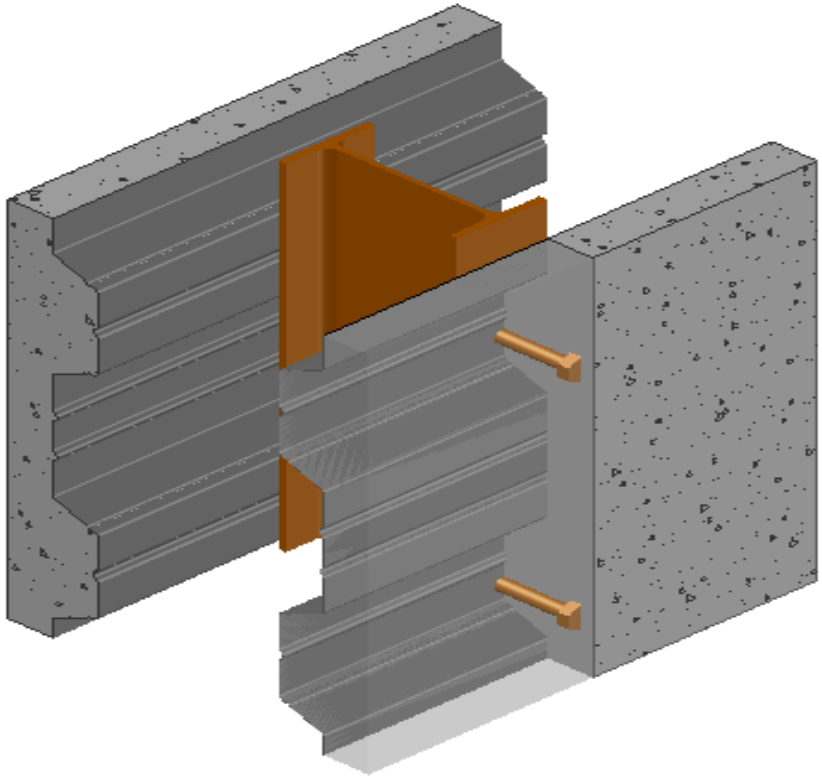
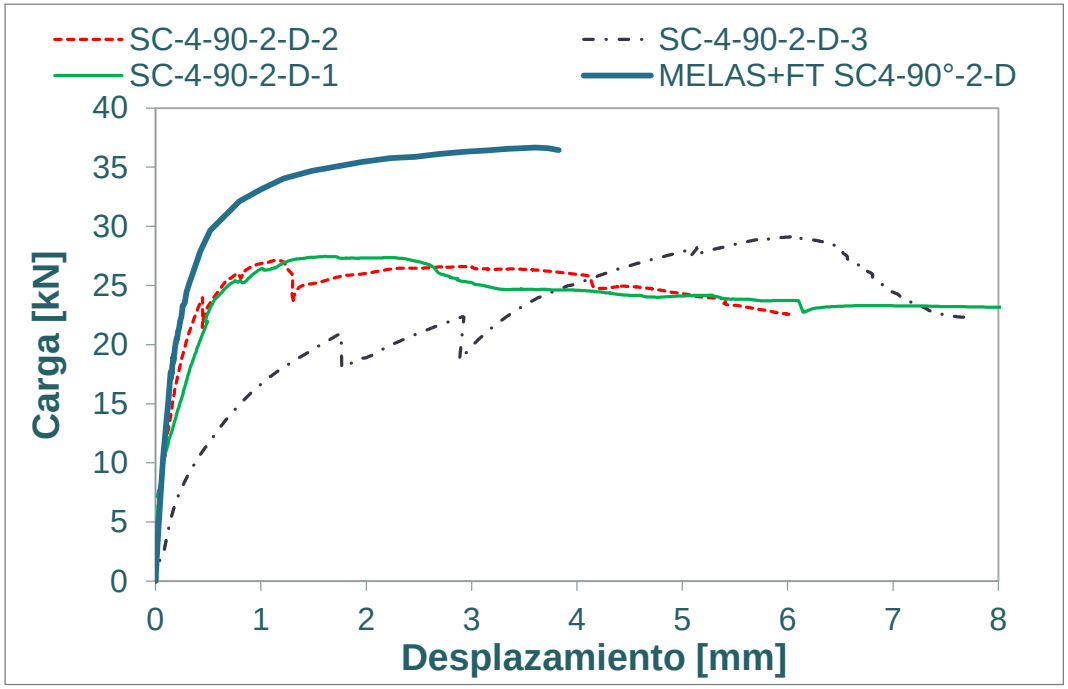
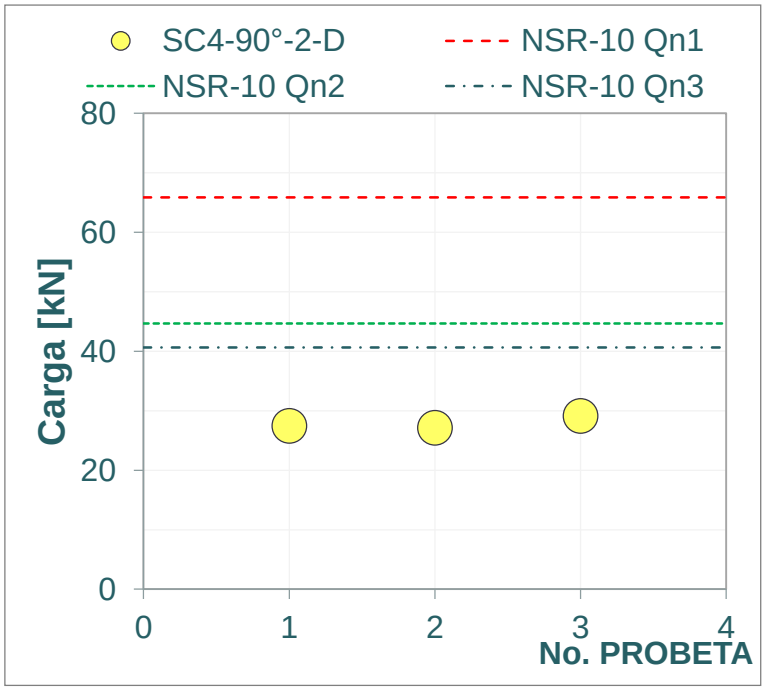


Figura 35. Patrón de fractura probeta SC5-90-2-F.

PROBETAS DOS CONECTORES PERPENDICULAR AL PERFIL, TORNILLO EN POSICIÓN DÉBIL.







$Q_{n1} = 0.5A_{sc}\sqrt{f'_c E_c} = 65.84\ kN$

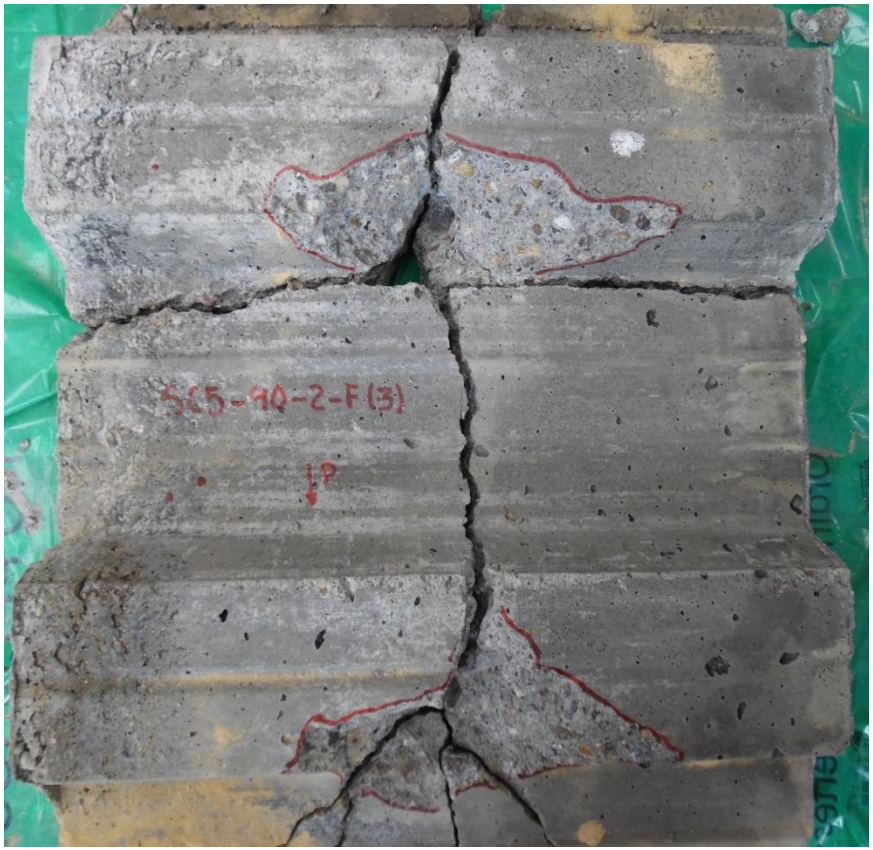
$Q_{n2} = R_g R_p A_{sc} F_u = 44.65\ \text{kN}$

$Q_{n3} = 0.14 \cdot A_{SC} \cdot (E_c \cdot f'_c)^{0.5} \cdot \left(\frac{S}{\phi}\right)^{0.25} = 40.64\ \text{kN}$

$Q_{prom} = 27.90\ \text{kN}$

Figura 36. Resultados Experimentales Probetas SC4-90-2-D.

PATRONES DE FRACTURA



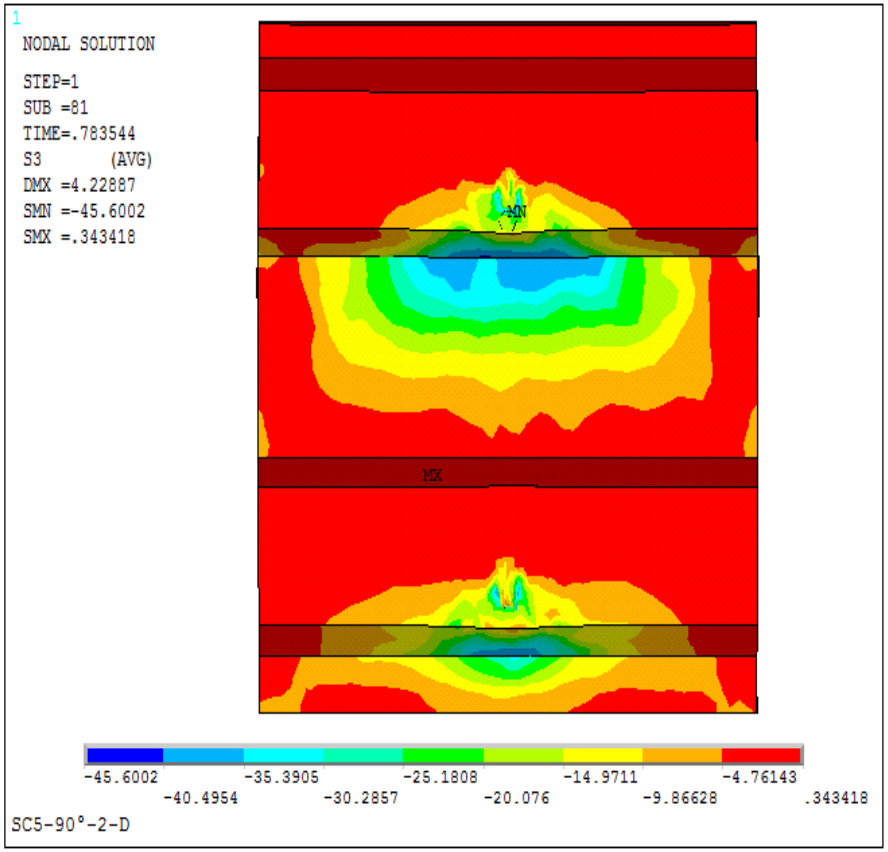
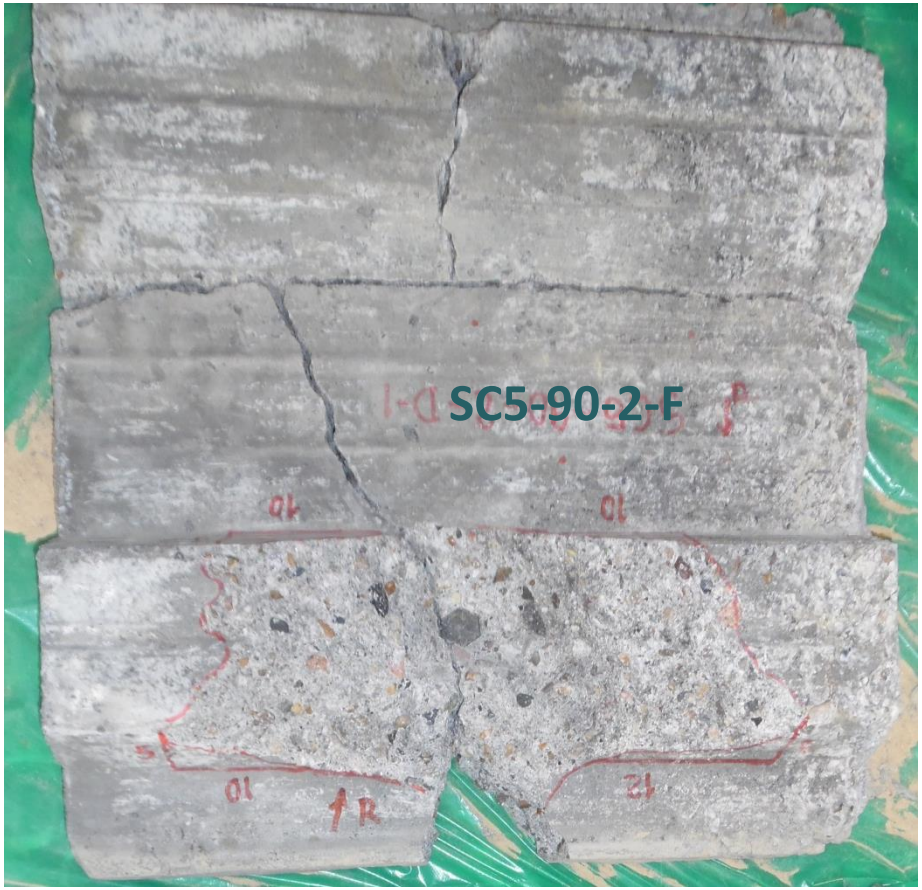


Figura 37. Patrón de fractura probeta SC5-90-2-D.

PATRONES DE FRACTURA



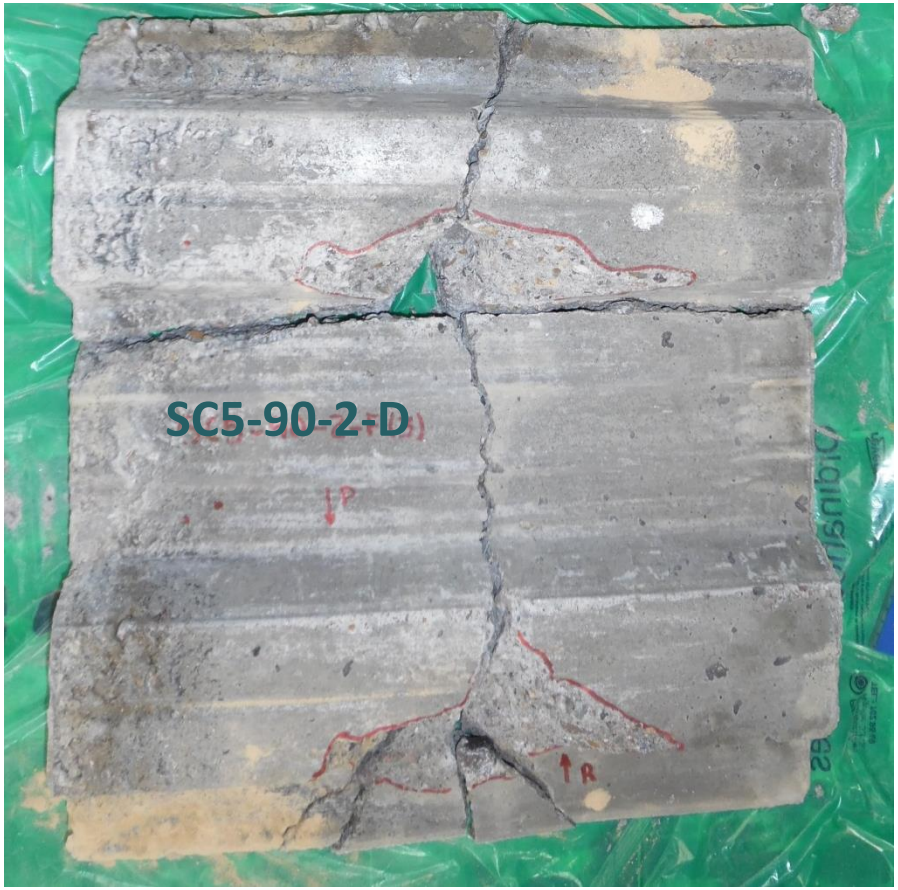


Figura 38. Comparativo patrón de fractura probeta SC5-90-2-F y SC5-90-2-F.

¿ REDUCCIÓN DE CAPACIDAD ?

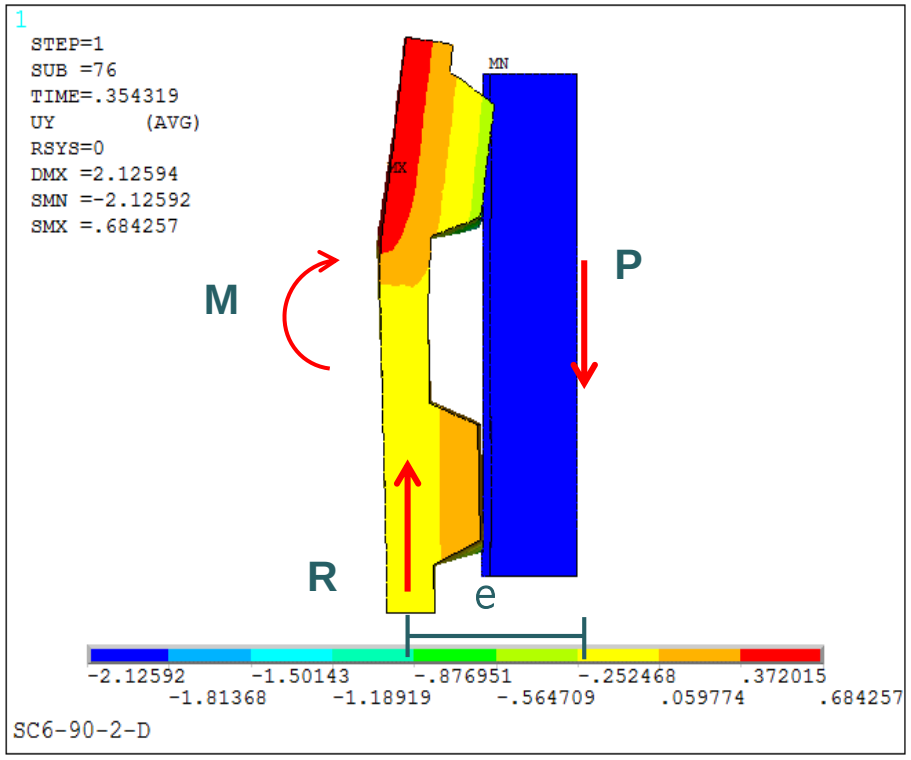




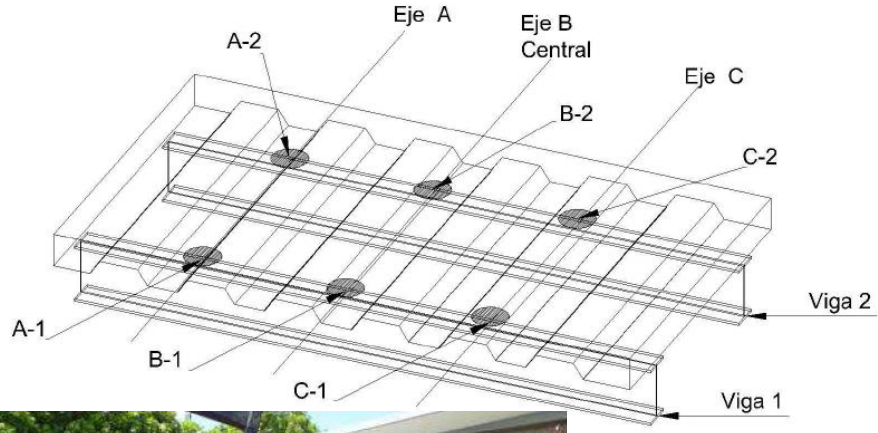
Figura 39. Falla local por flexión en la losa modelo SC6-90-2-D.

¿ REDUCCIÓN DE CAPACIDAD ?



(Prof. Luis Garza.)

Figura 40. Montaje con carga de pre-compresión en losa.





(Huertas,2013)

Figura 41. Montaje a flexión con lámina perpendicular a los perfiles.

CONTENIDO

1. Introducción
2. Objetivos
3. Marco Teórico
4. Antecedentes
5. Descripción Experimental
6. Simulación Numérica MEF
7. Resultados Experimentales
8. Conclusiones y Recomendaciones

CONCLUSIONES

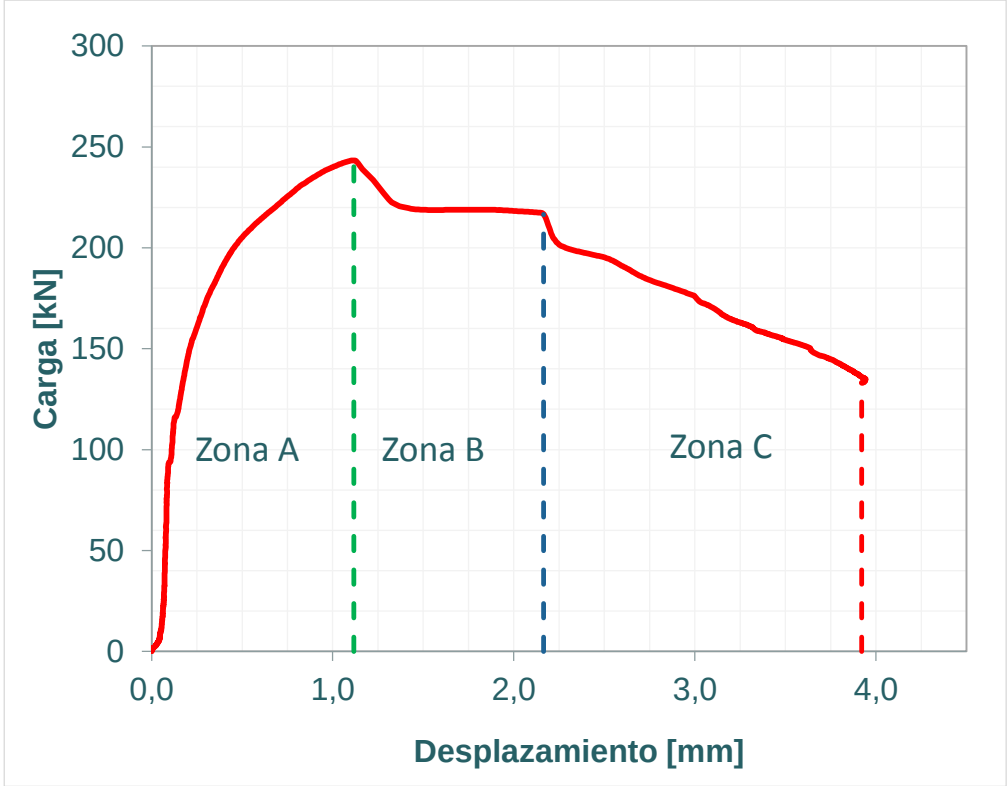
Comportamiento de Conectores de Cortante Tipo Tornillo.

En términos generales la respuesta estructural de los conectores en sección compuesta, se puede describir en tres zonas principales:

Zona A:
- Alta rigidez inicial
- Perdida gradual de rigidez
- Carga Máxima

Zona B:
- Perdidas de resistencia
- Fisuración del concreto
- Fluencia o endurecimiento

Zona C:
- Ablandamiento
- Fallas locales
- Máximo desplazamiento



El **comportamiento** de los conectores de cortante tipo tornillo, en secciones compuestas **con tablero metálico orientado paralelo** al perfil de acero, en términos de **capacidad**, presenta una **tendencia similar a la establecida por NSR-10** para este tipo de conectores en losa maciza.

Para **la orientación perpendicular**, se sugiere evaluar mediante futuras investigaciones las **diferencias** que induce la **aplicación de cargas de pre-compresión** en la reducción de **los fenómenos locales** que afectan el comportamiento del conector.

AGRADECIMIENTOS

1. **Departamento de ingeniería Civil Universidad Nacional de Colombia.**
2. **Colciencias:** Programa de Jóvenes Investigadores e Innovadores.
3. **Dirección de investigación sede Bogotá:** *Programa Nacional de Proyectos para el Fortalecimiento de la Investigación, la Creación y la Innovación en Posgrados.*
4. **Arquitectura & Concreto:** Director de obra, Ing. Juan Pablo Munera**,** Coordinador producción plantas de concreto ,Ing. Edicson García.
5. **Laboratorio de estructuras Universidad Nacional de Colombia:** Coordinador de laboratorios Ing. Juan Manuel Lizarazo, Jefe de Laboratorio Ing. Dario Moreno.
6. **Asociación de Ingeniería Sísmica:** Concurso Nacional de Trabajos de Grado Alberto Sarria Molina.

AGRADECIMIENTOS



GRACIAS!