



FUNDAMENTACIÓN EXPERIMENTAL DE SISTEMAS ESTRUCTURALES Y PRODUCTOS PARA EL DESARROLLO COMPETITIVO DE LA CONSTRUCCIÓN COMPUESTA.

COL 06-007

INVESTIGADORES:

DR. OSCAR M. RAMÍREZ RÍOS (UTP)

DR. RAFAEL LARRÚA QUEVEDO (UC)

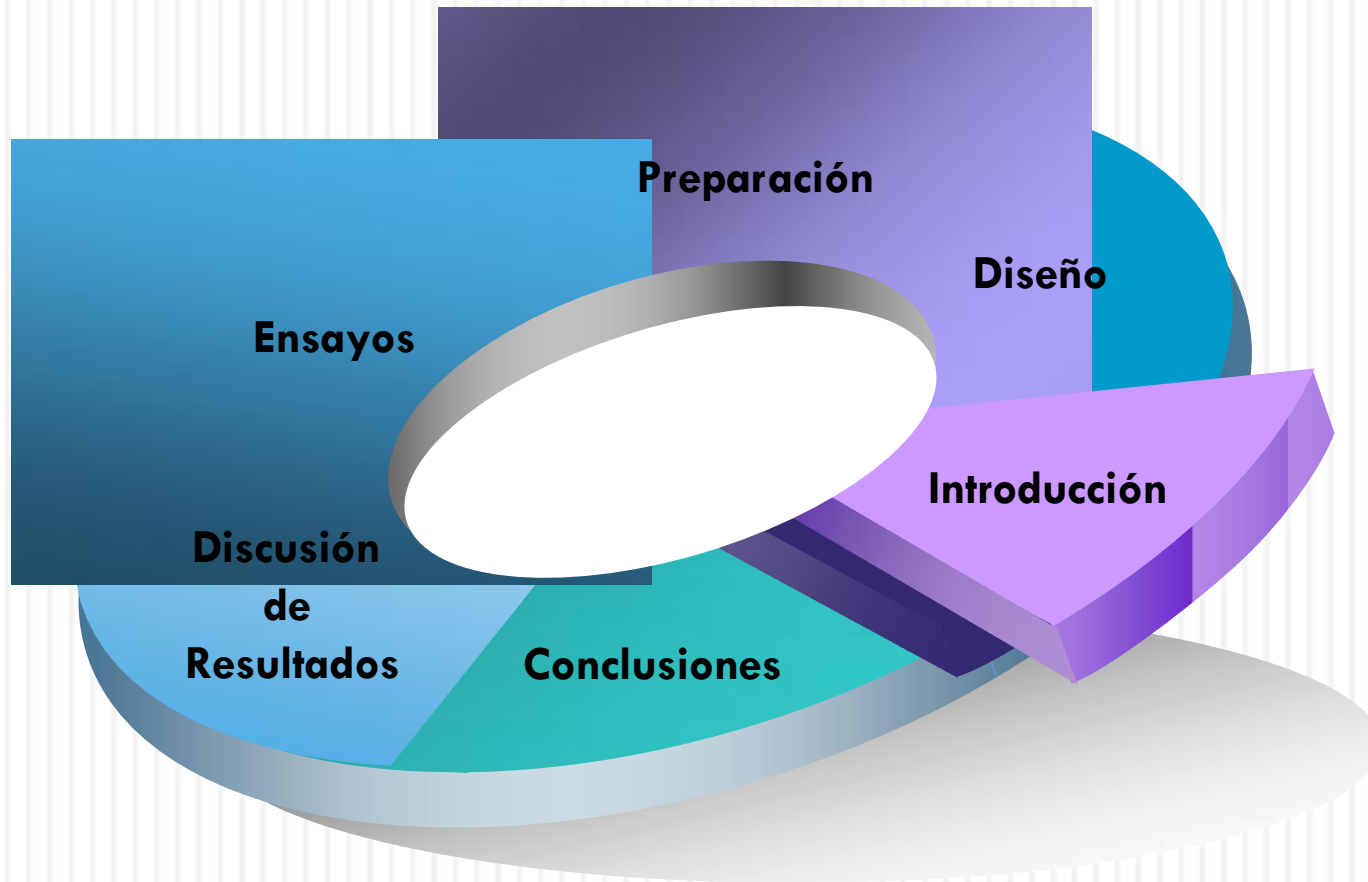
DR. RAMIRO VARGAS VERGARA (UTP)

DR. FRANCISCO YEOMANS REYNA (ITESM)

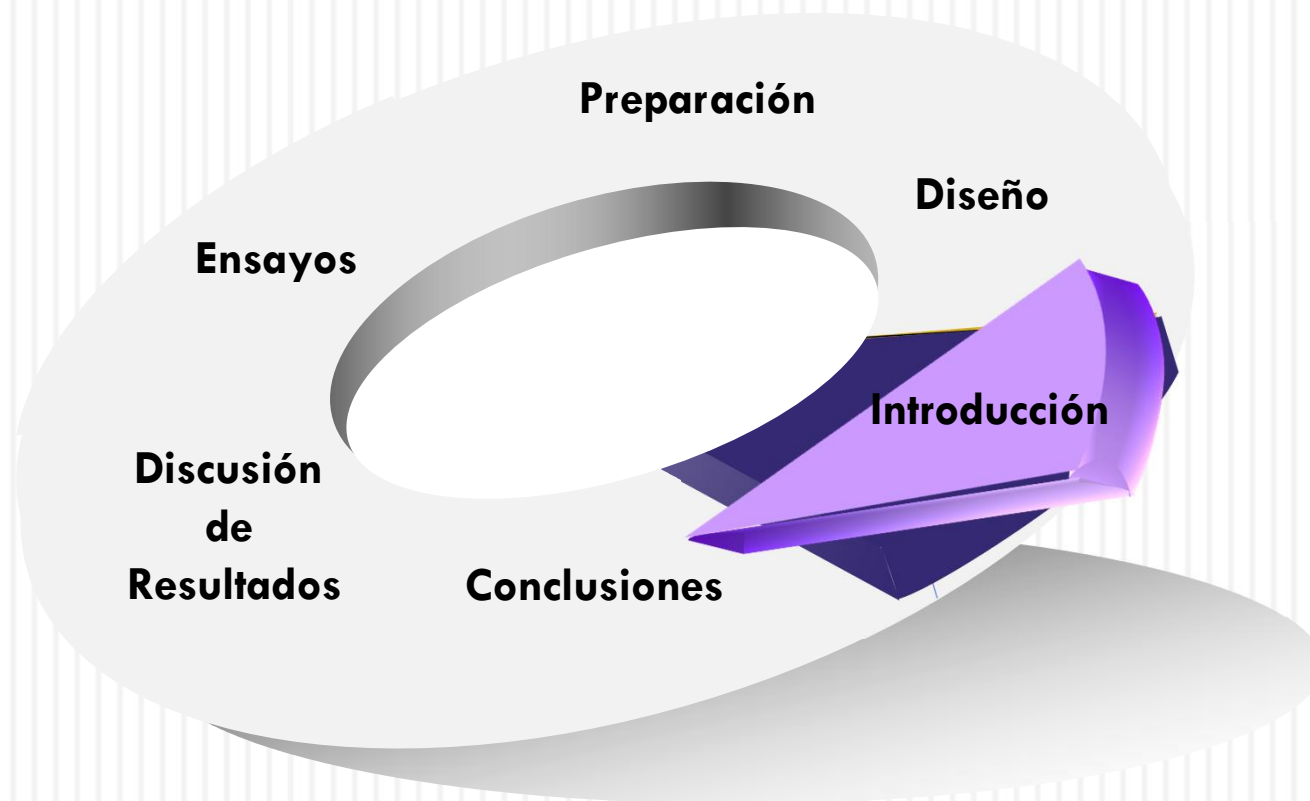
ING. MILAGROS PINTO NUÑEZ (UTP)



Contenido



Contenido



Introducción



Antecedentes



Beneficios



Beneficiarios

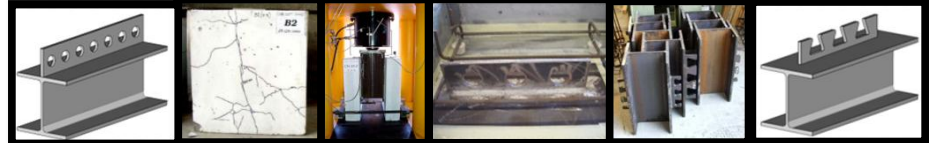


Objetivos

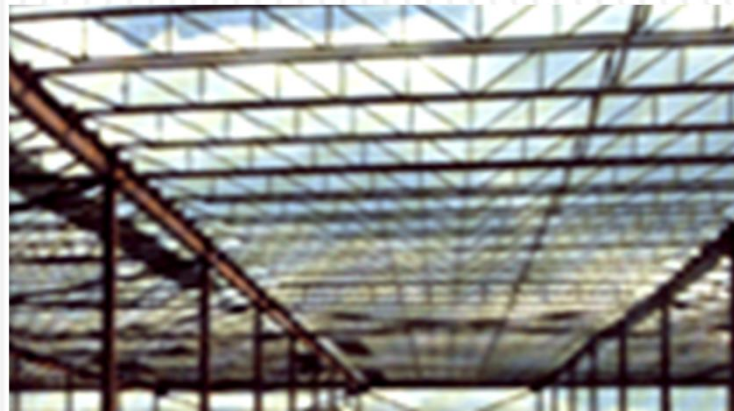
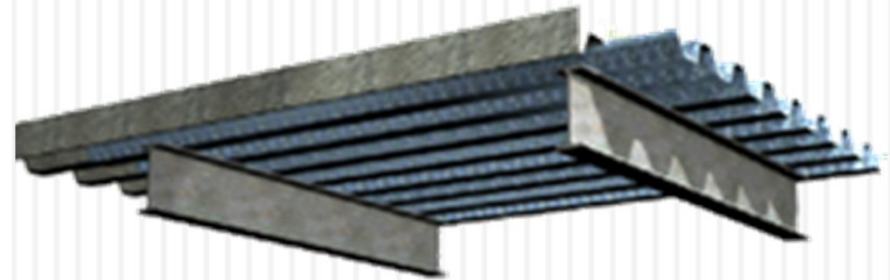


Colaboradores

Antecedentes

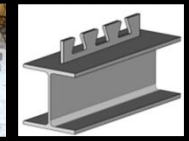
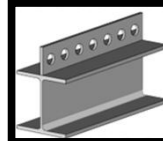


Uno de los grandes desafíos que enfrenta la Ingeniería en la actualidad es el desarrollo sustentable. Un modo de aportar al mismo es diseñar estructuras compuestas aprovechando al máximo las características de cada uno de ellos.



PRÁCTICA PANAMEÑA

Conectores



Pernos (stud)



Barras



Perfiles



Placa continua

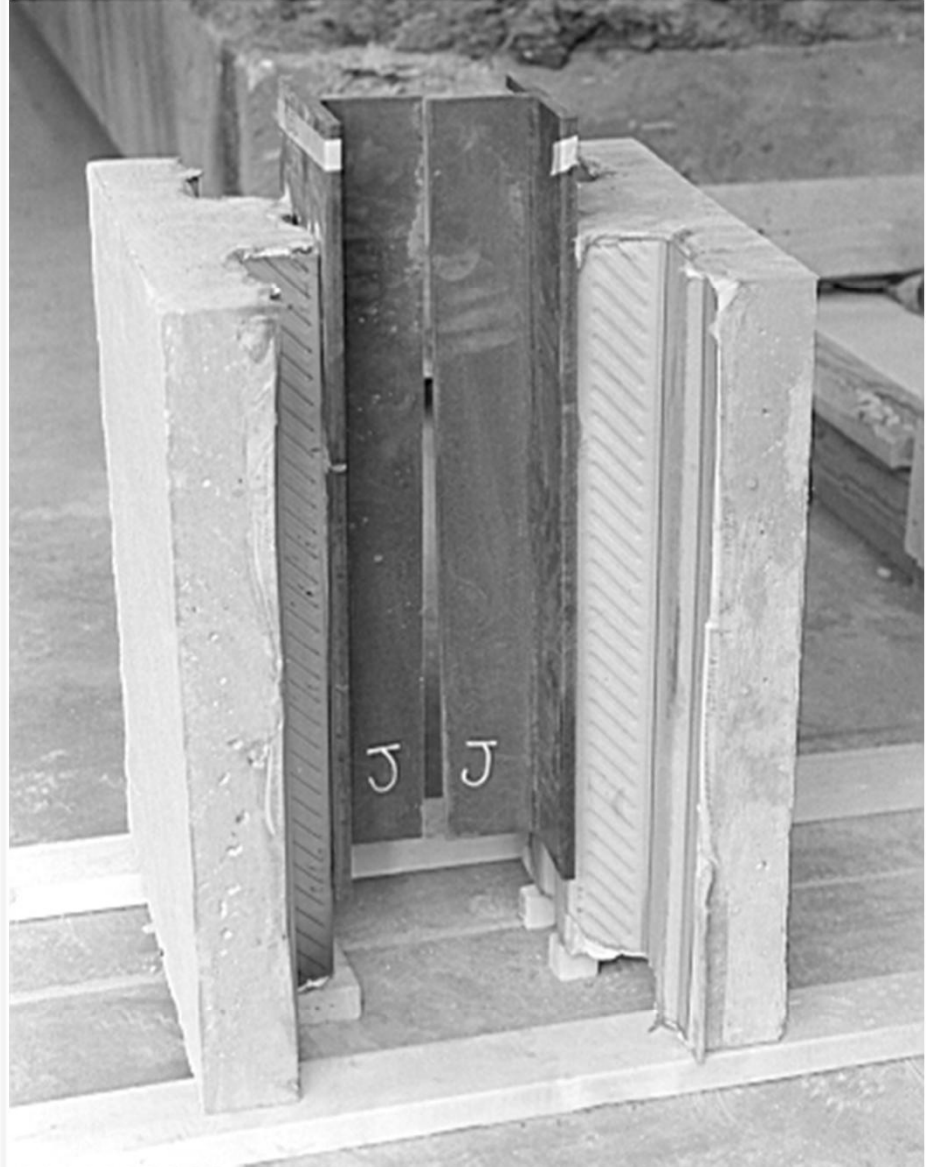
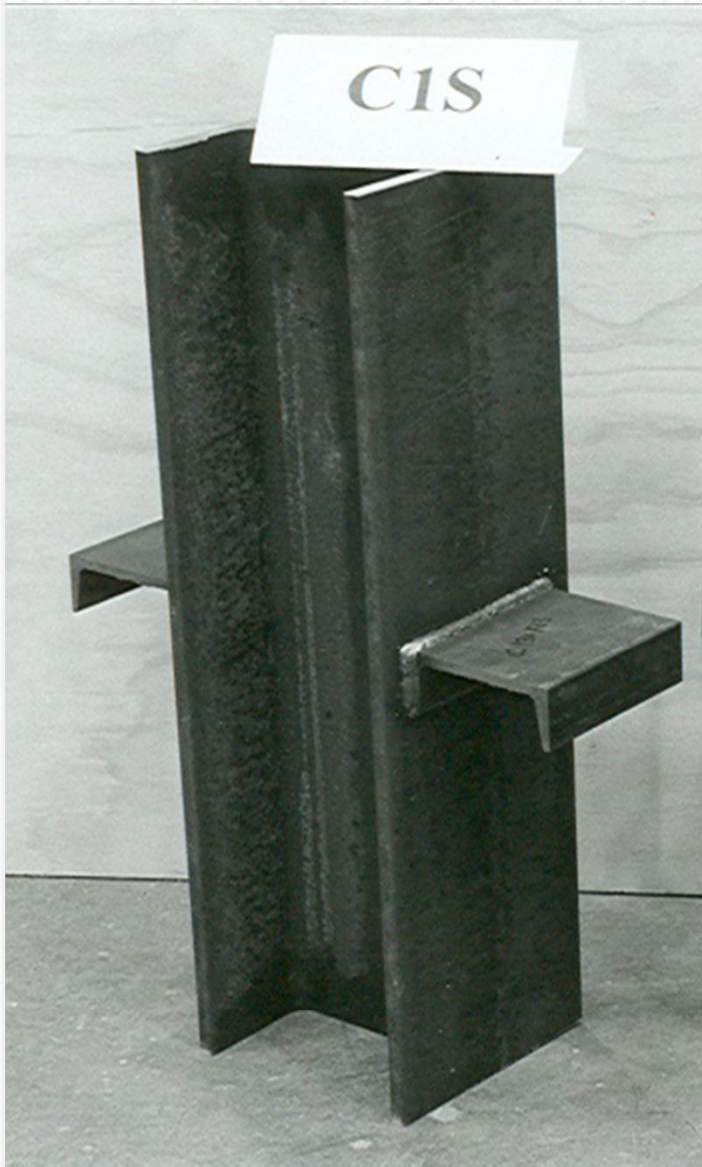
Antecedentes



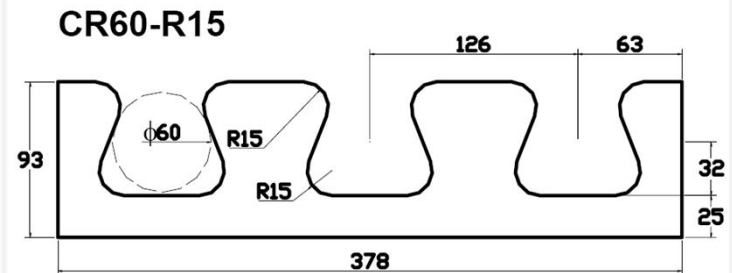
En la fase I se abordó el estado del arte, los elementos de conexión entre el concreto y el acero y el diseño del marco experimental ejecutado en la segunda etapa.



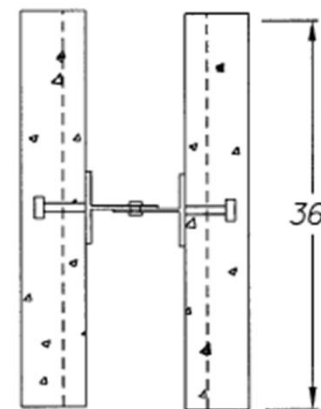
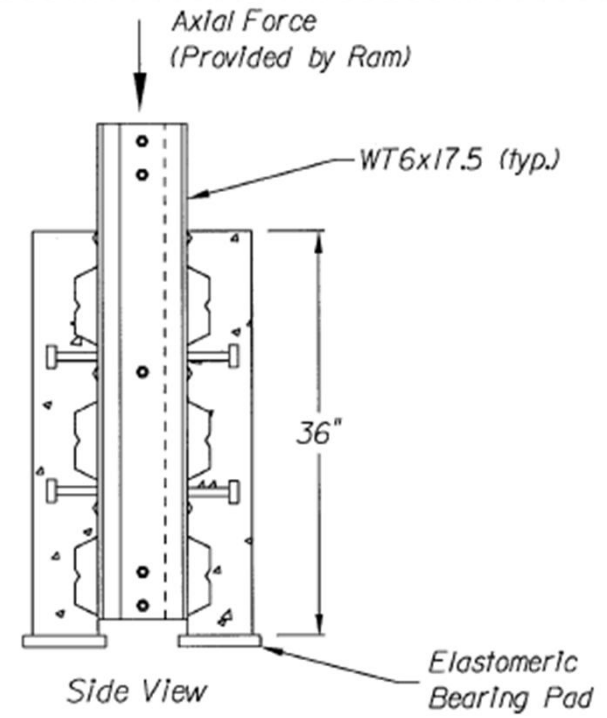
ESTADO DEL ARTE



AMIT PASHAN
University of Saskatchewan, Canada



Gustavo Veríssimo, et. al.
Universidade Federal de Viçosa - Minas Gerais, Brasil



Top View

Michelle Deanna Rambo-Roddenberry, Virginia
Polytechnic Institute and State University

Beneficios

- El equipo adquirido para desarrollar los ensayos; los cuales formarán parte del patrimonio de la Universidad Tecnológica de Panamá.
- Ecuaciones matemáticas validadas experimentalmente para el análisis y diseño de los sistemas compuestos con los distintos tipos de conectores estudiados.
- Caracterización experimental de los diferentes conectores a cortante en los sistemas de losa compuesta; cuyos resultados aportan conocimiento a la comunidad científica en el área de análisis y diseño estructural.

Beneficiarios

- Profesionales de la Ingeniería Civil orientados al análisis y diseño estructural.
- Investigadores del área del análisis y diseño estructural.
- Complemento al desarrollo de los cursos de Estructuras Metálicas, Puentes y Estructuras Especial del plan de estudio de la carrera de Ing. Civil.
- Complemento al desarrollo de los cursos de Estructuras Avanzadas de Acero, Análisis y Diseño de Sistemas Estructurales, Análisis Estructural Avanzado del plan de estudio de la Maestría en Ing. Estructural.
- Capacitación y entrenamiento en el uso de equipos, sistema de medición y captación de datos al personal del laboratorio de Estructuras del CEI.

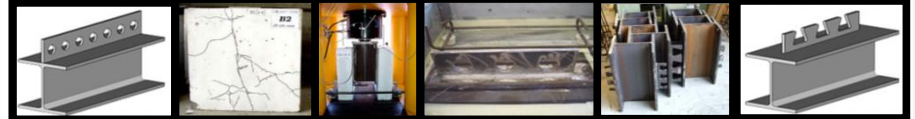
OBJETIVO GENERAL



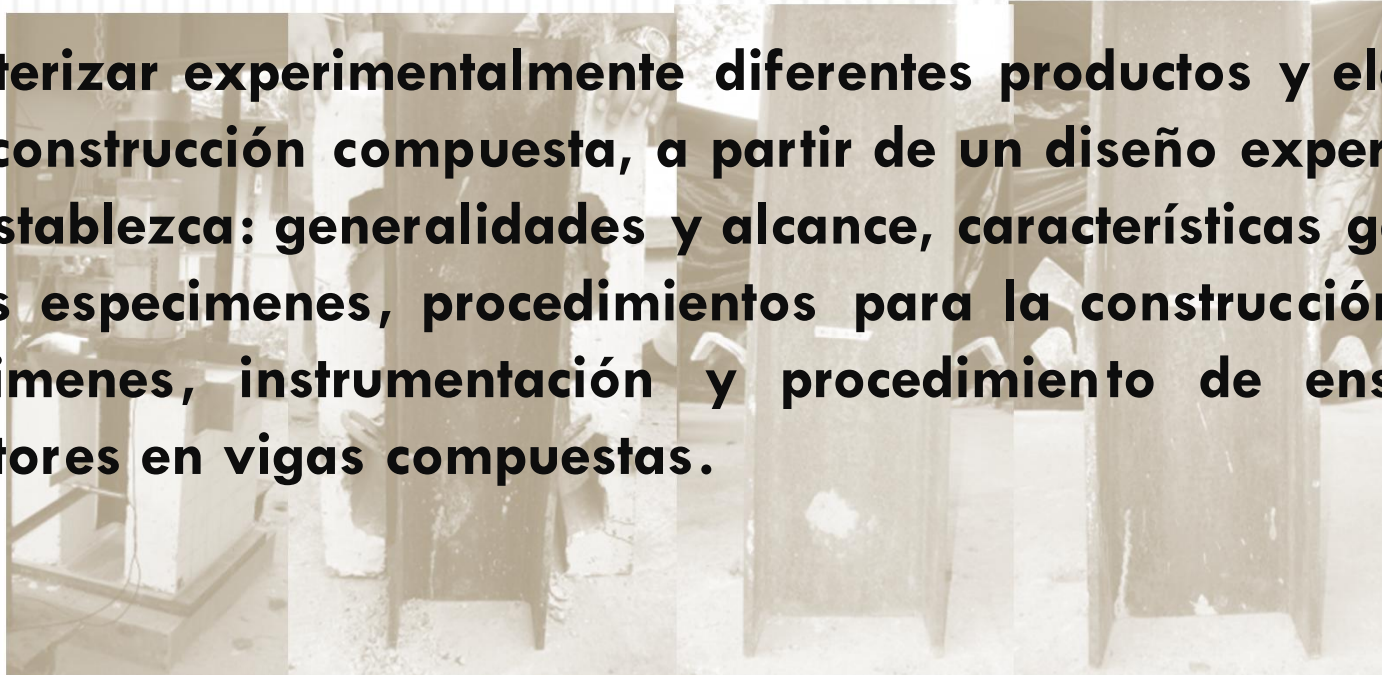
Fundamentar experimentalmente el perfeccionamiento y/o desarrollo de sistemas estructurales y productos que contribuyan al incremento de la competitividad de la construcción compuesta en Panamá.



OBJETIVO ESPECÍFICO



Caracterizar experimentalmente diferentes productos y elementos para construcción compuesta, a partir de un diseño experimental, que establezca: generalidades y alcance, características generales de los especímenes, procedimientos para la construcción de los especímenes, instrumentación y procedimiento de ensayo de conectores en vigas compuestas.



INTRODUCCIÓN



” La concepción del diseño del experimento, tiene como centro los ensayos monotónicos de especímenes con lámina plegada, según tres matrices independientes: una para cada tipo de conector, del tipo factorial 2^2 (dos factores con dos niveles), con una réplica.

” Lo anterior se complementa con el ensayo de especímenes con losa maciza bajo igual tipo de carga (4 para los conectores tipos B y C, y 6 para los conectores tipo P), para un total de 38 especímenes previstos.

Colaboradores del Proyecto

UTP

Dr. Oscar
Ramírez

Dr. Ramiro
Vargas

Ing.
Milagros
Pinto

UC

Dr. Rafael
Larrúa

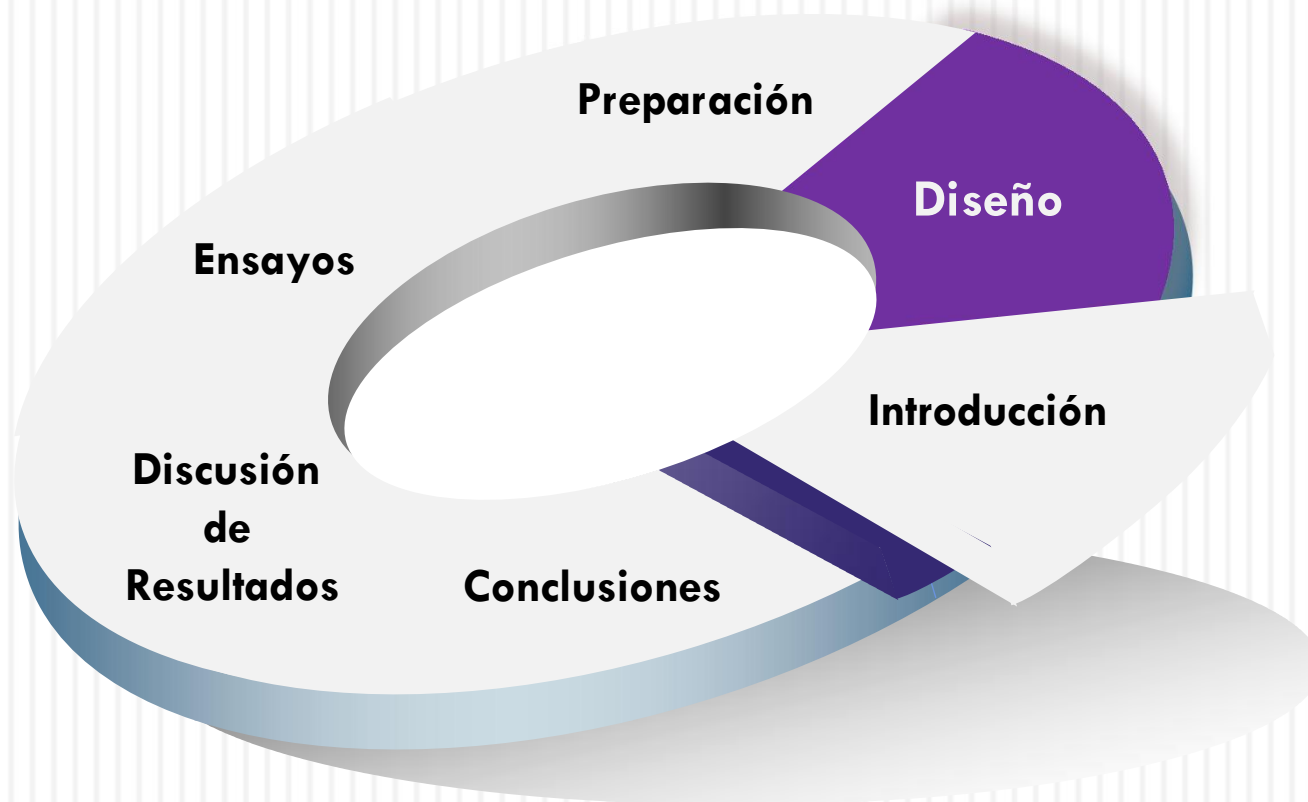
ITESM

Dr.
Francisco
Yeomans

Ing. Carlos
Nungaray



Contenido

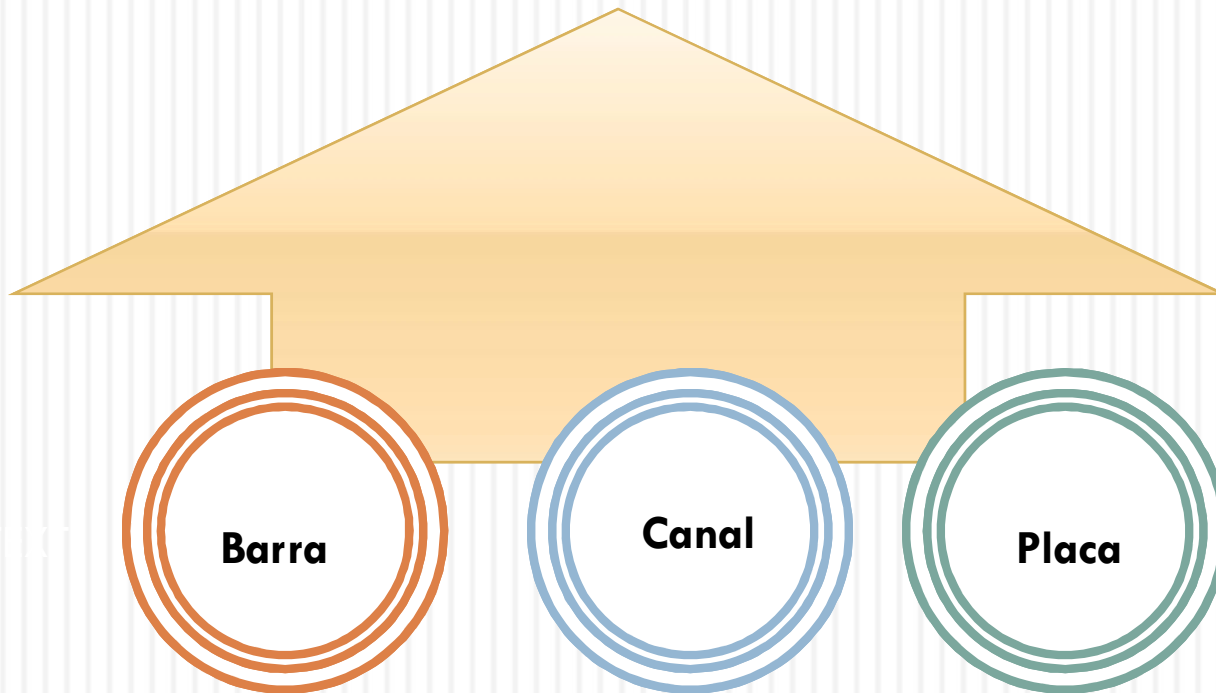


Diseño del Experimento

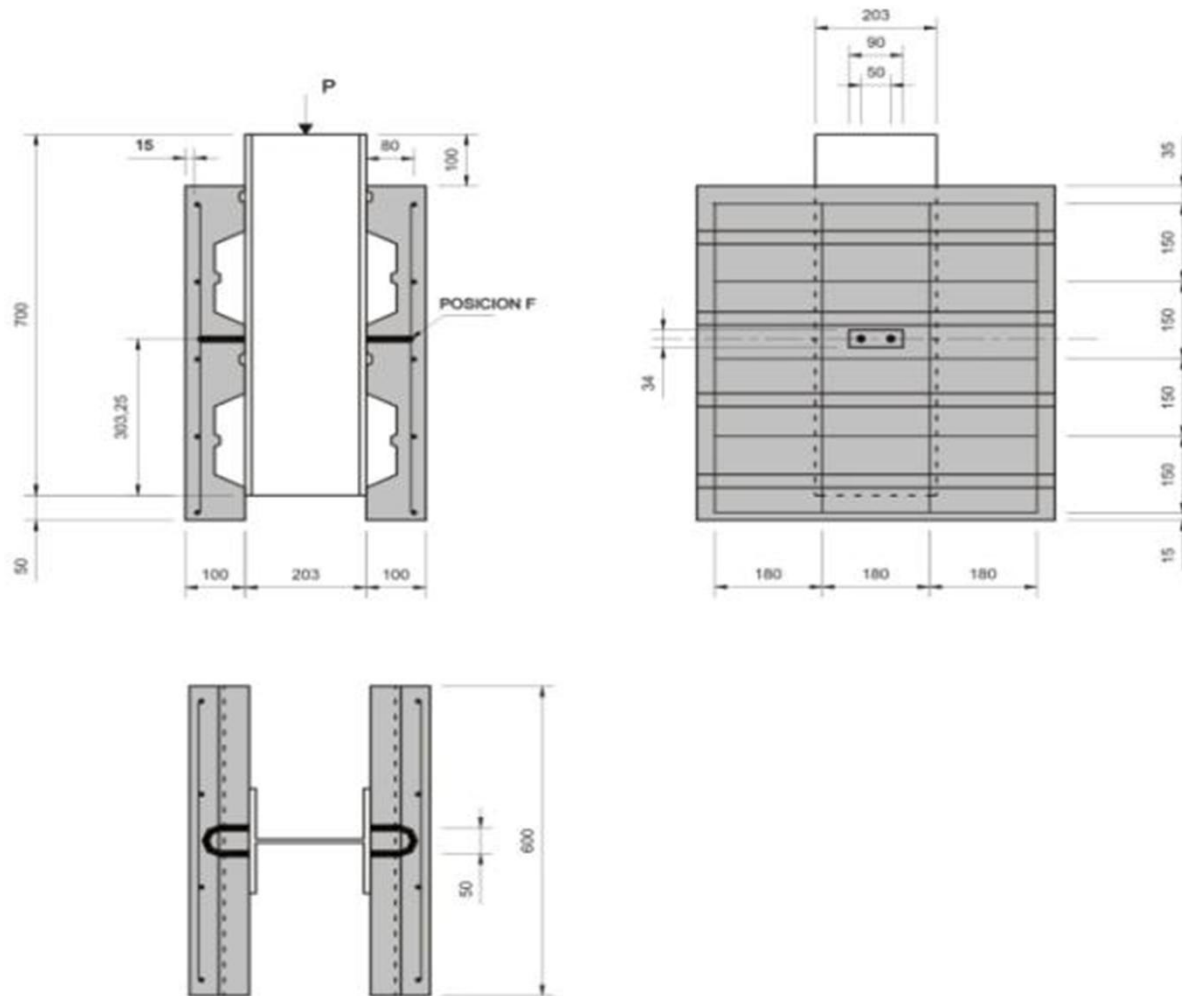
Tipo de conector	Variables	Denominación	Nivel máximo (+1)	Nivel mínimo (-1)
B	Posición	X1	Fuerte o favorable (F)	Débil o desfavorable (D)
	Separación entre barras (mm)	X2	150 mm	50 mm
C	Resistencia del concreto(MPa)	X1	21 MPa	28 MPa
	Ancho (mm)	X2	150 mm	50 mm
P	Espesor (mm)	X1	12,7 mm	6.35 mm
	Barras pasantes	X2	si	no



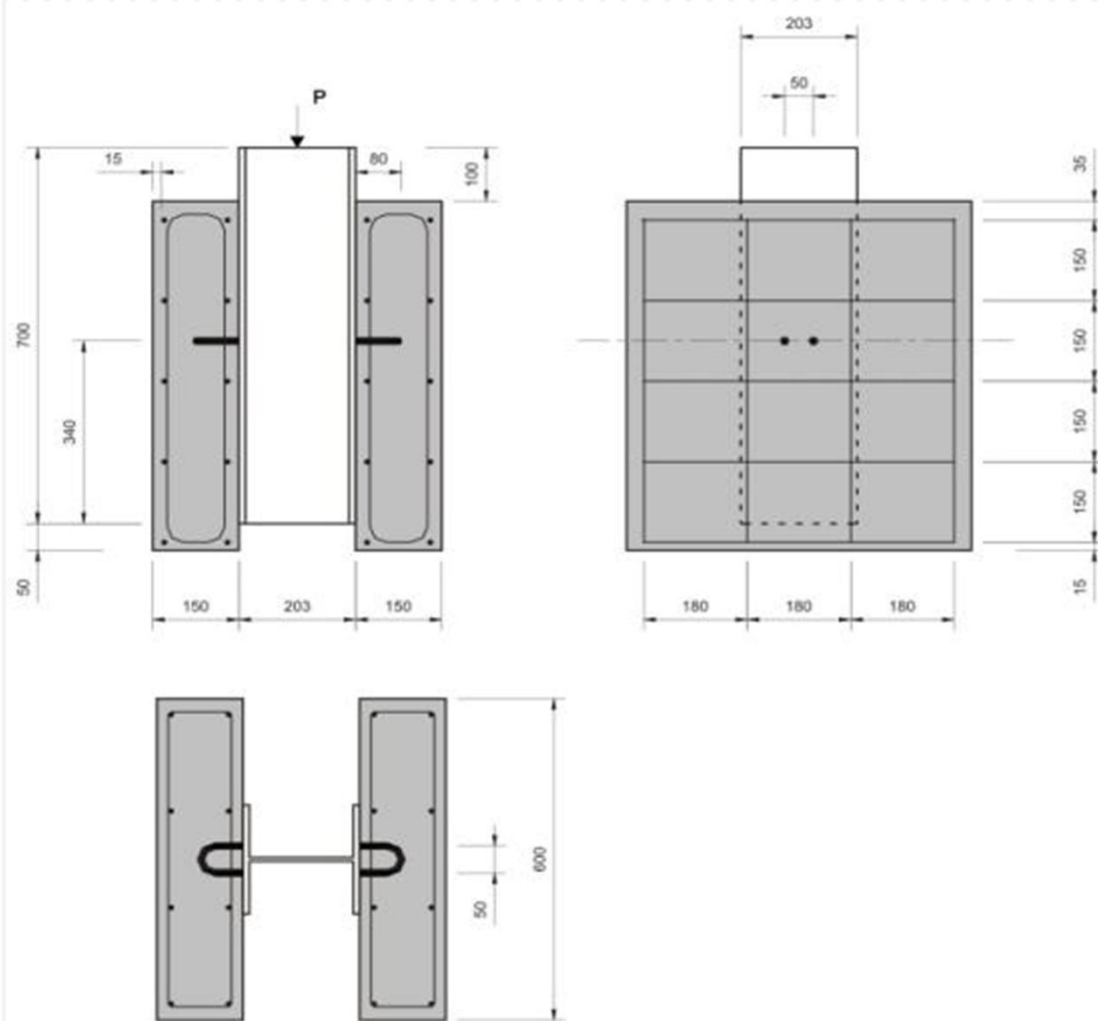
Diseño de especímenes



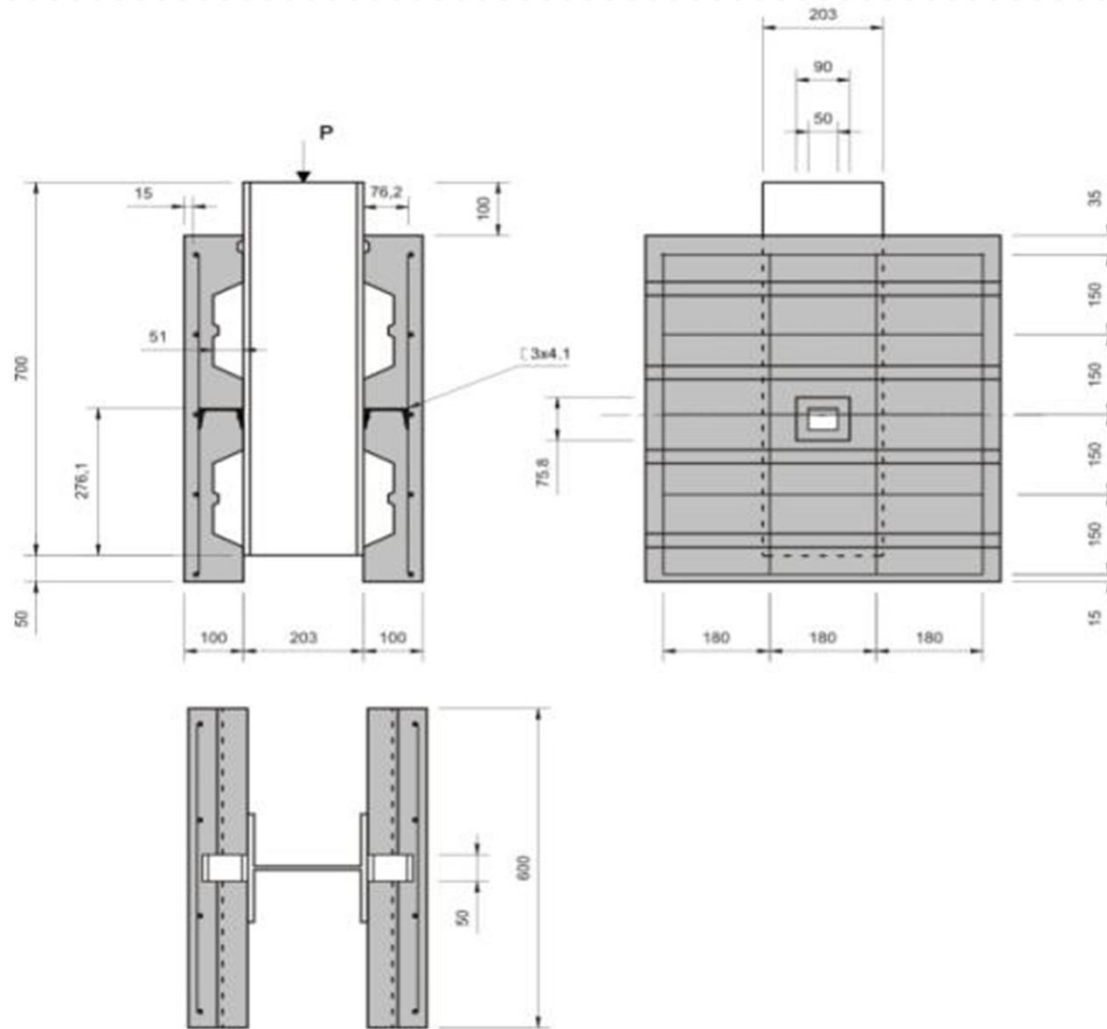
Conector Tipo B – Losa con Lámina



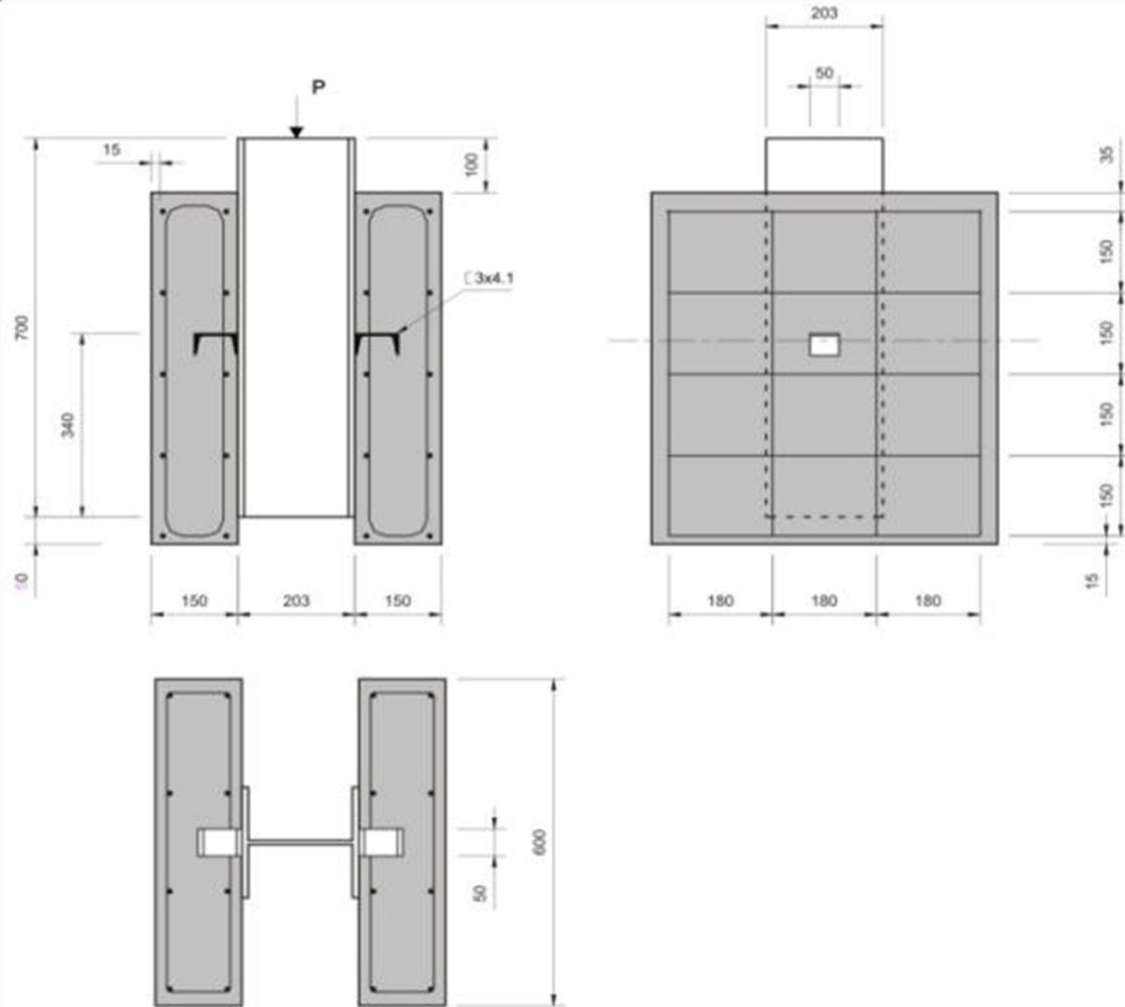
Conector Tipo B – Losa Maciza



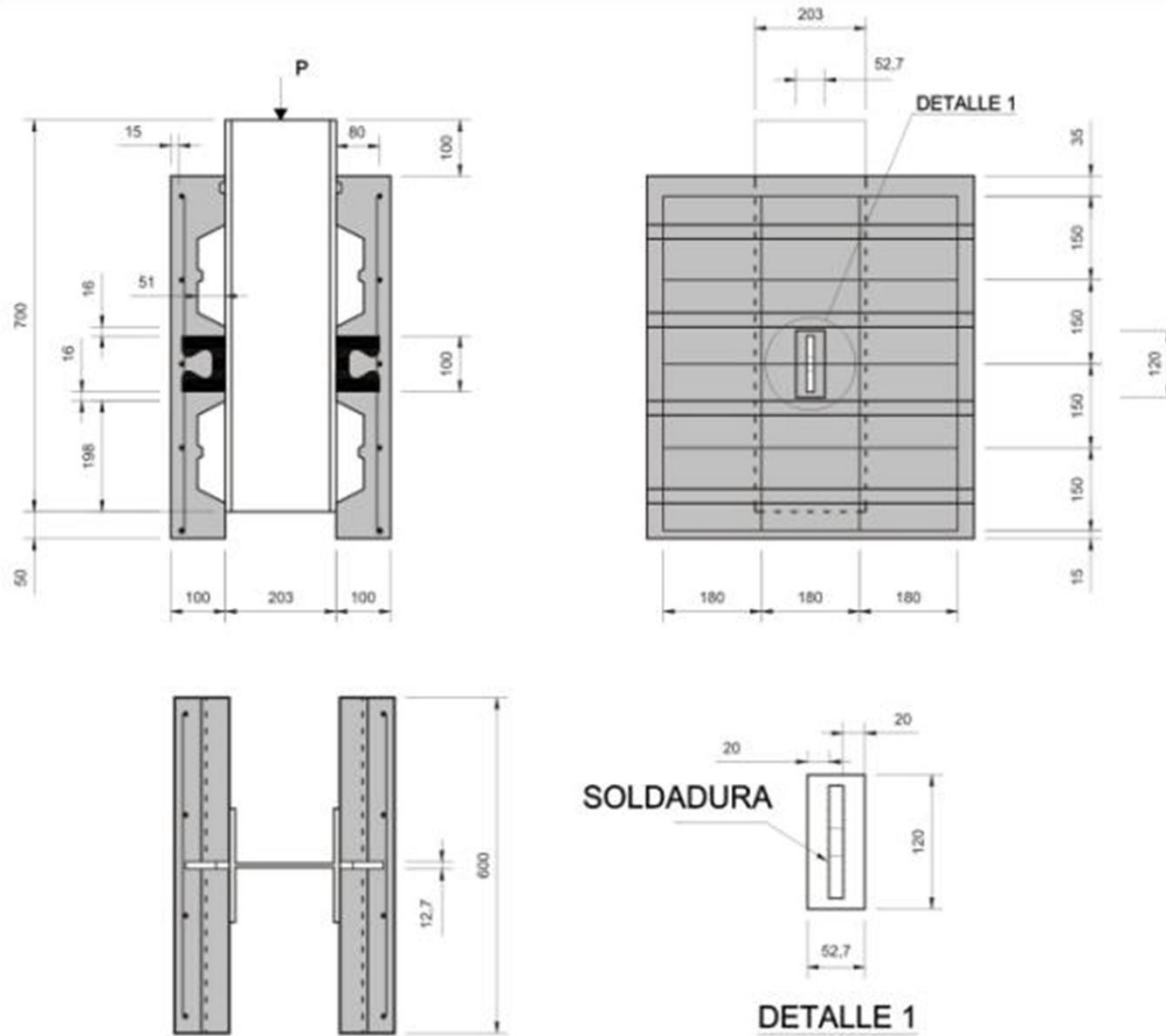
Conector tipo C – Losa con Lámina



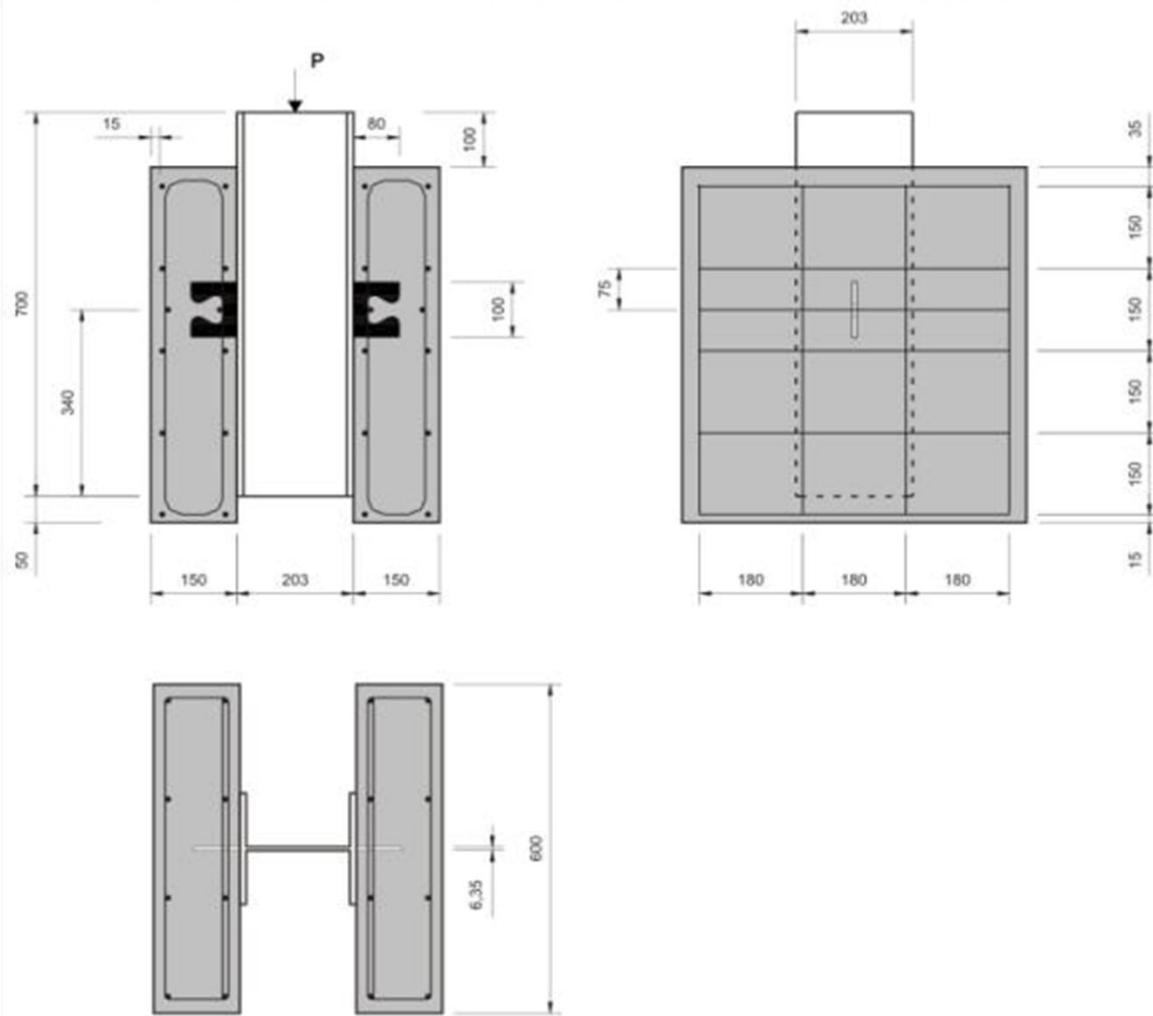
Conector tipo C – Losa Maciza



Conector tipo P – Losa con Lámina



Conector tipo P – Losa Maciza



Contenido



Preparación y Ejecución de los ensayos.

Todos los especímenes fueron cargados monotónicamente, con incrementos que fueron seleccionados en dependencia de la capacidad de carga esperada.

Estos incrementos oscilaron entre 3 y 6 kN y fueron aplicados hasta aprox. el 40 % de la capacidad máxima esperada, a partir de lo cual, se realizaron paradas para evaluar y registrar la evolución del daño, lo que incluyó marcar la trayectoria de avance de las grietas.



Contenido



Ensayos Experimentales



Conector Tipo Barra



(a)



(b)



(c)

Losa con lámina



(a)



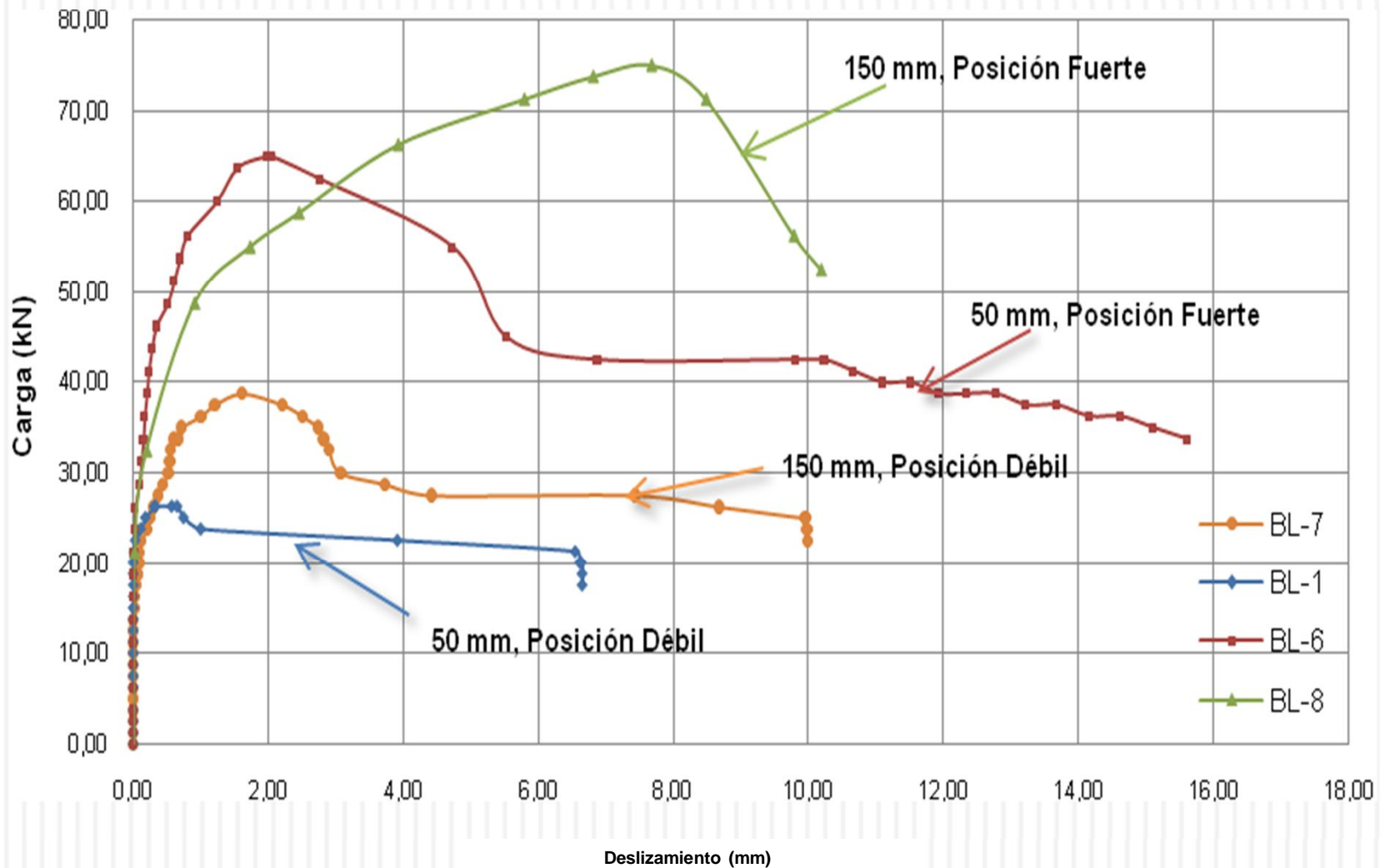
(b)



(c)

Losa maciza

Curva Carga – Deslizamiento - Barra



Conector Tipo Canal

Losa con lámina



(a)



(b)



(c)

Losa maciza



(a)

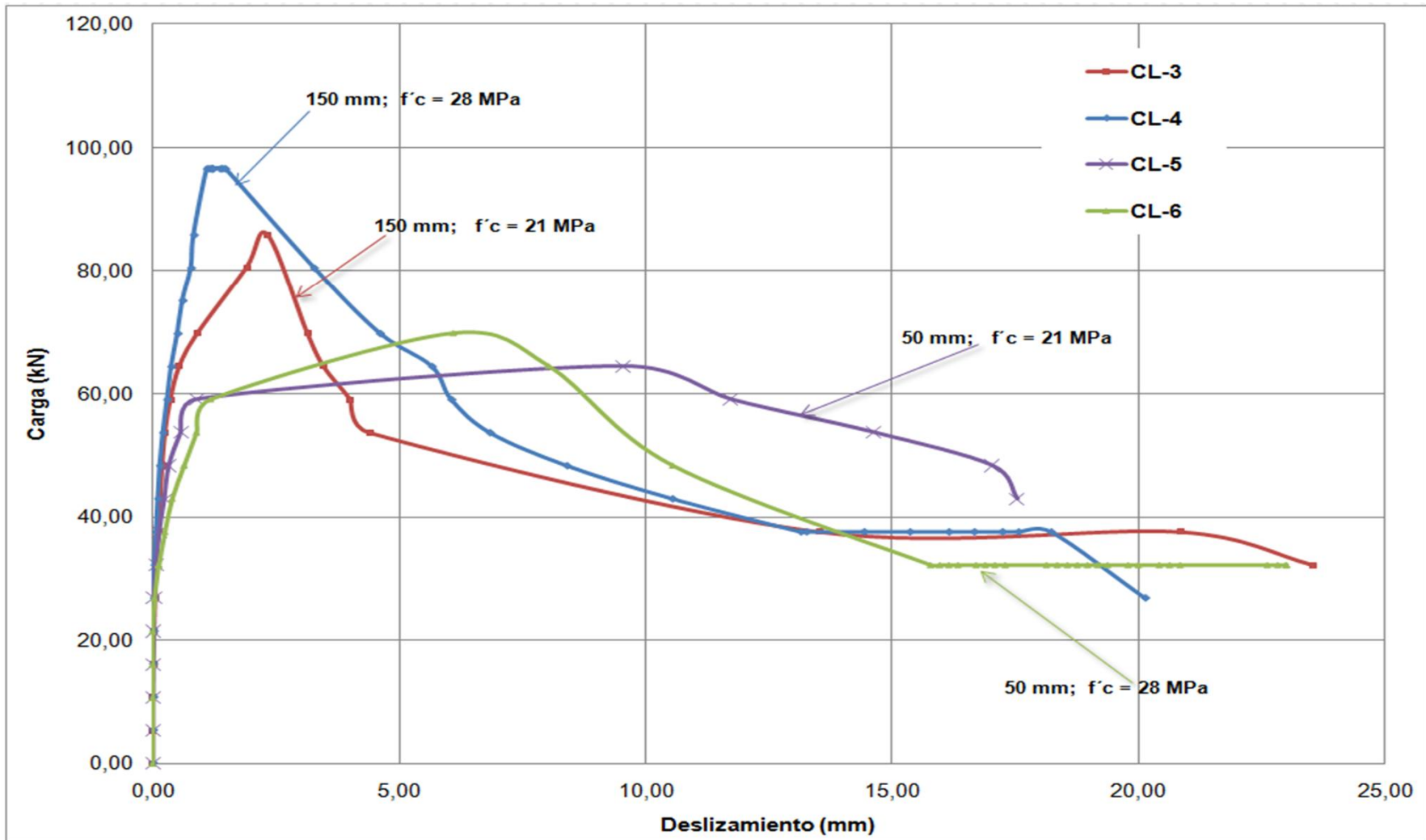


(b)

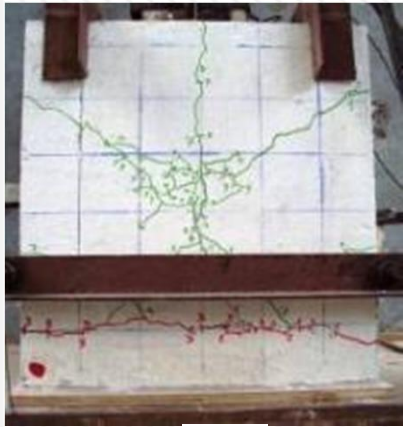


(c)

Curva Carga-Deslizamiento - Canal



Conector Tipo Placa



(a)

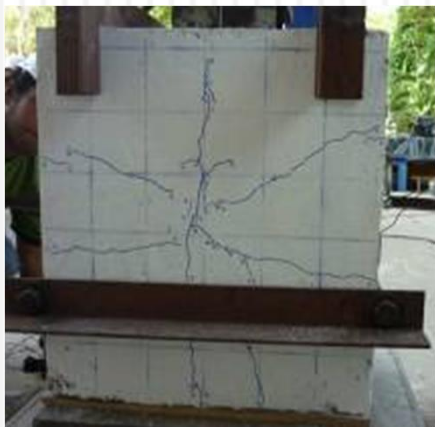


(b)



(c)

Losa con lámina



(a)



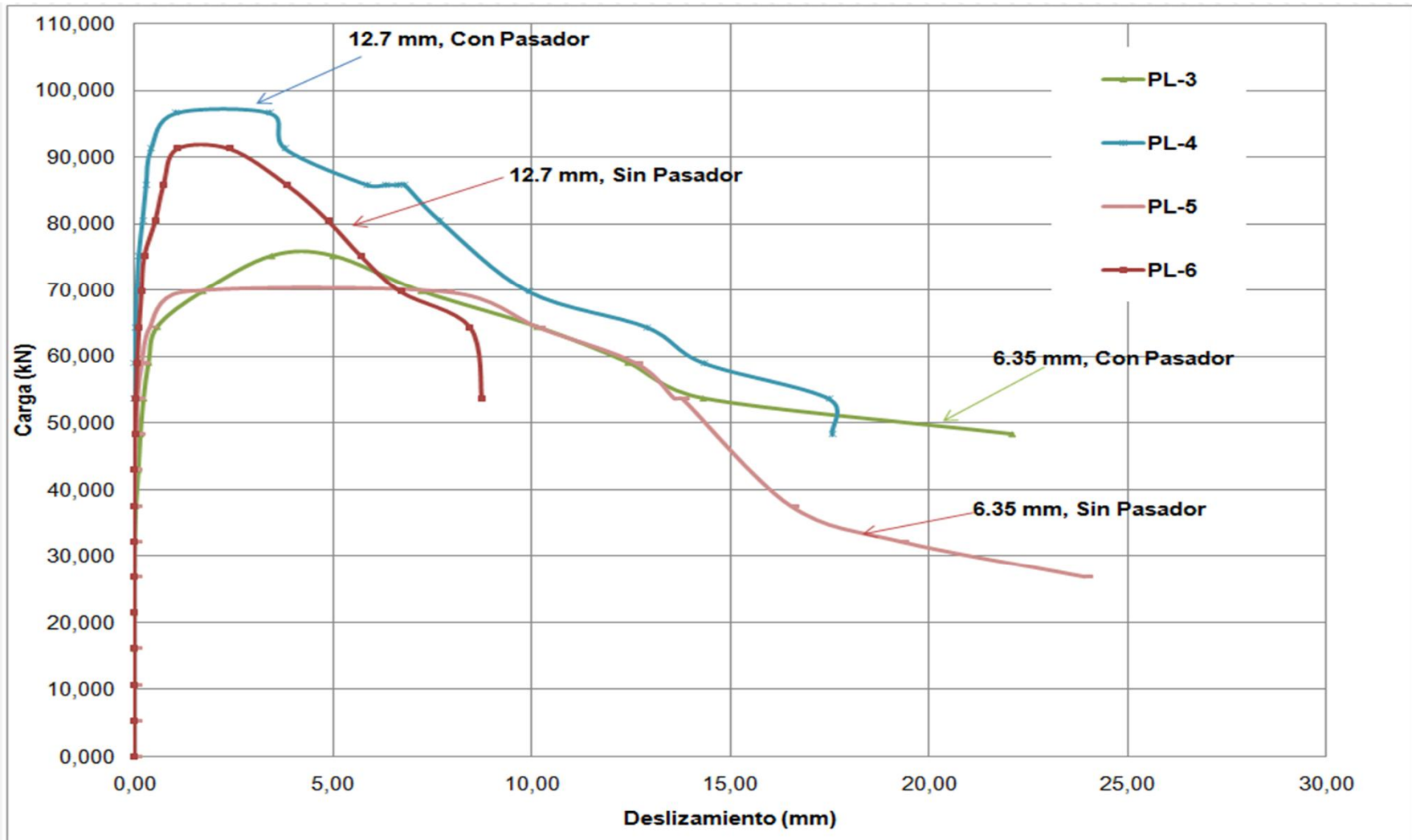
(b)



(c)

Losa maciza

Curva Carga-Deslizamiento - Placa



Gráficas Comparativas entre especímenes Losa Sólida Vs. Losa con Lámina



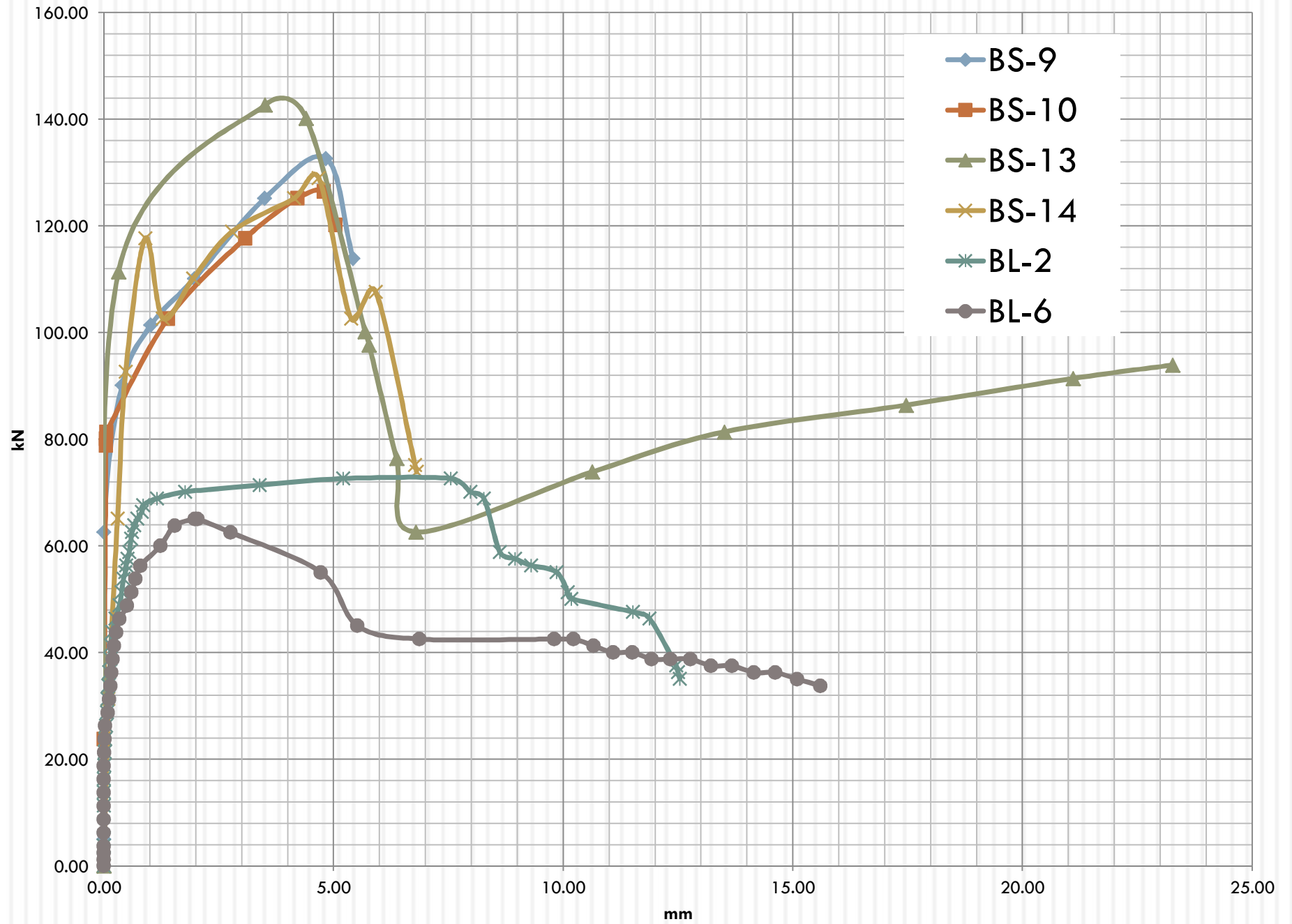
- Especímenes B de 50 mm
- Eje Fuerte

canal

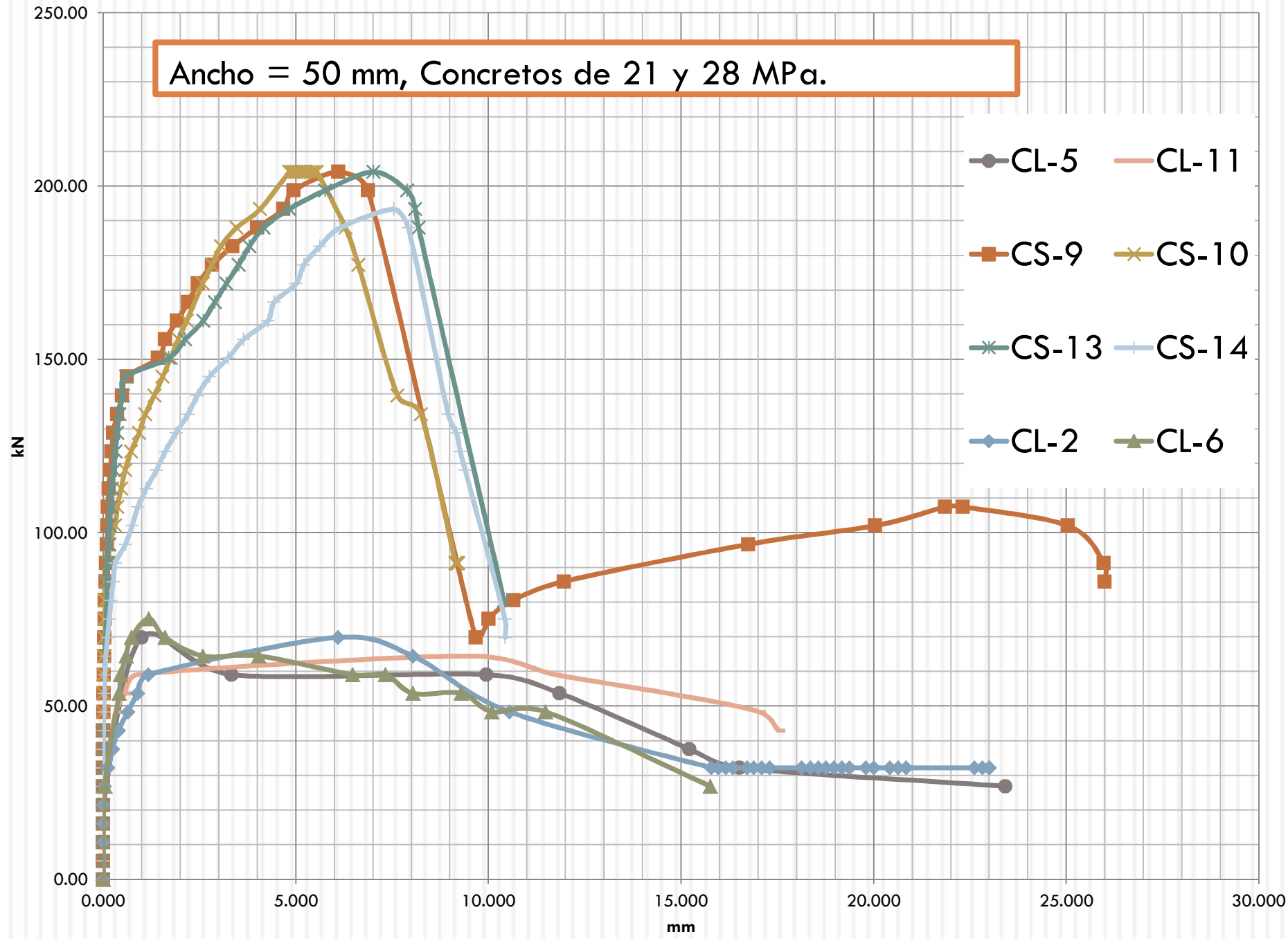
- Especímenes C de 50 mm
- Concreto de 21 y 28 MPa.

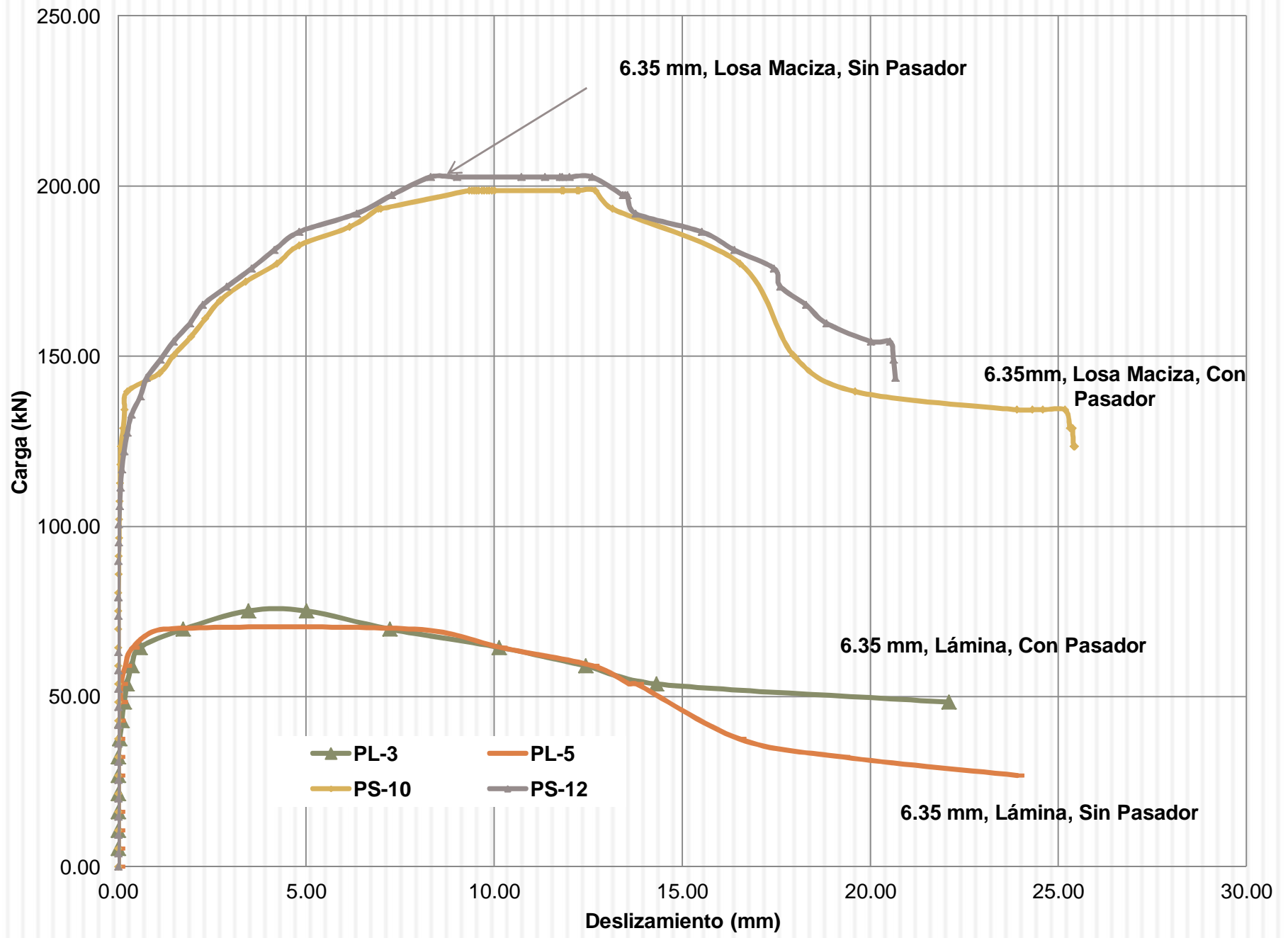
placa

- Especímenes P de 6.35 mm
- Con y Sin pasador.

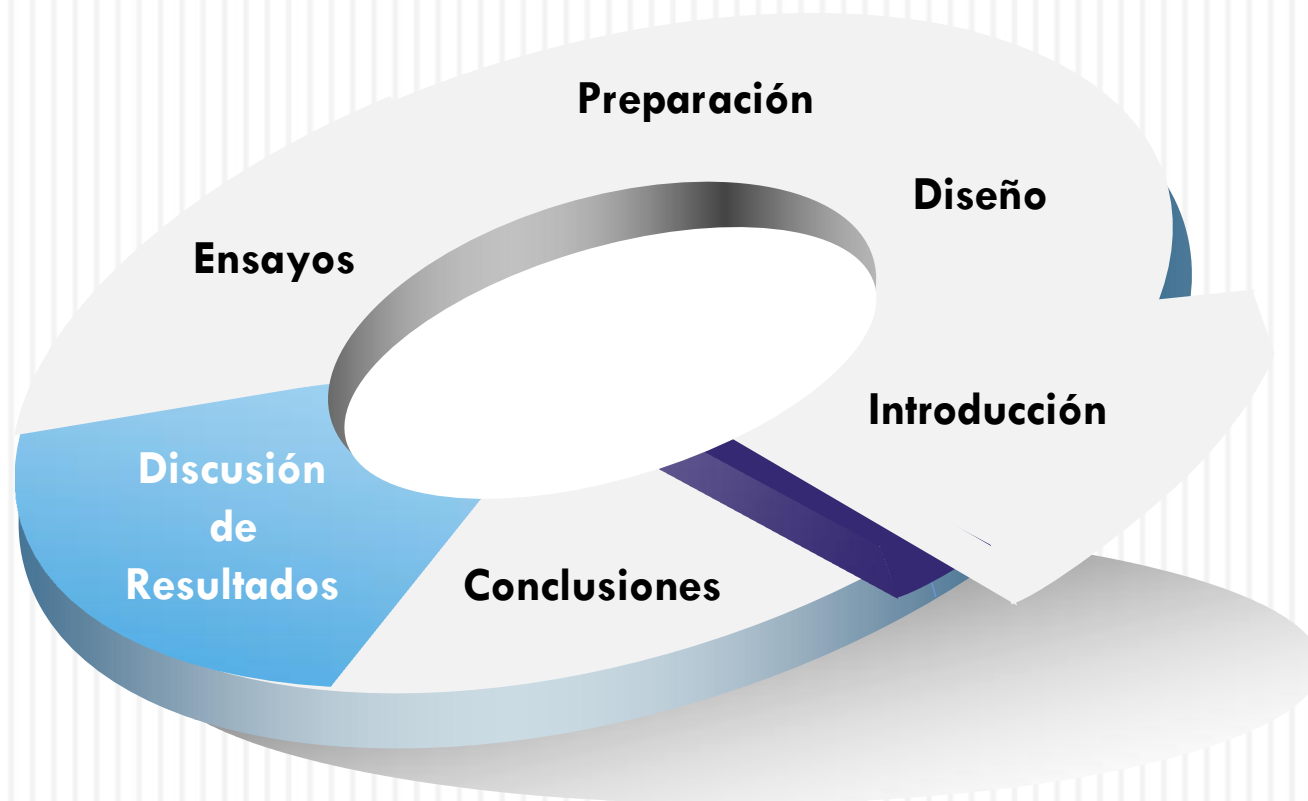


Ancho = 50 mm, Concretos de 21 y 28 MPa.





Contenido



Comparación de resultados experimentales con formulaciones de normas y autores internacionales.

Conexiones tipo B.

Espe- cimen	Ancho (mm)	Posición	Capacidad Resistente Experimental (kN)	$\frac{Exp}{AISC}$	$\frac{Exp}{R.R}$	$\frac{Exp}{NC}$	$\frac{Exp}{Bonilla}$	$\frac{Exp}{Eurocode 4}$
BL-1	50	D	26.28	0,440	0,627	0,712	0,603	0,481
BL-2	50	F	72.64	0,976	1,223	1,969	1,100	1,421
BL-3	150	D	45.05	0,757	1,075	1,221	1,034	0,825
BL-4	150	F	77.58	1,043	1,150	2,103	1,175	1,421
BL-6	50	F	65.07	0,875	0,965	1,764	0,986	1,192
BL-7	150	D	38.79	0,652	0,926	1,052	0,890	0,711
BL-8	150	F	75.08	1,009	1,113	2,035	1,137	1,375
BS-9	50	-	132.78	1,260	-	1,253	1,703	1,703
BS-10	50	-	126.45	1,200	-	1,120	1,621	1,621
BS-11	50	-	142.71	1,354	-	1,354	1,830	1,830
BS-12	50	-	128.95	1,224	-	1,224	1,653	1,653

Comparación de resultados experimentales con formulaciones de normas y autores internacionales.

Conexiones tipo C.

<u>Especimen</u>	Resistencia a la compresión del concreto (MPa)	Ancho (mm)	Capacidad Resistente Experimental (kN)	$\frac{Exp}{AISC}$	$\frac{Exp}{NC}$	$\frac{Exp}{CSA}$	$\frac{Exp}{Pashan}$
CL-1	21,9	50	69,80	-	-	-	-
CL-2	27,5	50	75,17	-	-	-	-
CL-3	21,9	150	85,91	-	-	-	-
CL-4	27,5	150	96,65	-	-	-	-
CL-5	21,9	50	64,43	-	-	-	-
CL-6	27,5	50	69,80	-	-	-	-
CL-7	21,9	150	75,18	-	-	-	-
CS-9	21,9	50	204,05	2,23	3,094	2,670	1,301
CS-10	21,9	50	204,05	2,23	3,094	2,670	1,301
CS-11	21,9	50	204,05	2,23	3,094	2,670	1,301
CS-12	21,9	50	193,31	2,11	2,931	2,529	1,233

Formulaciones propuestas

- Conector Canal en losa maciza:

$$Q_u = [1,6(t + w) + 0,5L]\sqrt{f'c}$$

- Coeficiente de reducción de la capacidad resistente en presencia de lámina perpendicular:

$$\mu = 0,113\left(\frac{Wr}{hr}\right) - 0,001L$$

Comparación de resultados experimentales con formulaciones de normas y autores internacionales, y formulaciones propuestas.

Conexiones tipo C.

Espe- cimen	Resistencia a la compresión del concreto (MPa)	Ancho (mm)	Capacidad Resistente Experimental (kN)	$\frac{Exp}{AISC}$	$\frac{Exp}{NC}$	$\frac{Exp}{CSA}$	$\frac{Exp}{Pashan}$	$\frac{Exp}{Propuestas}$
CL-1	21,9	50	69,80	-	-	-	-	1,163
CL-2	27,5	50	75,17	-	-	-	-	1,117
CL-3	21,9	150	85,91	-	-	-	-	0,990
CL-4	27,5	150	96,65	-	-	-	-	0,993
CL-5	21,9	50	64,43	-	-	-	-	1,073
CL-6	27,5	50	69,80	-	-	-	-	1,038
CL-7	21,9	150	75,18	-	-	-	-	0,866
CS-9	21,9	50	204,05	2,23	3,094	2,670	1,301	1,019
CS-10	21,9	50	204,05	2,23	3,094	2,670	1,301	1,019
CS-11	21,9	50	204,05	2,23	3,094	2,670	1,301	1,019
CS-12	21,9	50	193,31	2,11	2,931	2,529	1,233	0,966

Comparación de resultados experimentales con formulaciones de autores internacionales.

Conexiones tipo P

<u>Especimen</u>	<u>Espesor (mm)</u>	<u>Barra Pasante</u>	<u>Capacidad Resistente Experimental (kN)</u>	<u>Exp</u> <u>Verissimo et. al.</u>
PL-1	6,35	-	80,54	-
PL-2	12,7	-	91,28	-
PL-3	6,35	10 mm	75,17	-
PL-4	12,7	10 mm	96,65	-
PL- 5	6,35	-	69,8	-
PL-6	12,7	-	91,28	-
PL-7	6,35	10 mm	80,54	-
PL-8	12,7	10 mm	102,02	-
PS-9	6,35	-	198,68	0,91
PS-10	6,35	-	198,68	0,91
PS-11	6,35	10 mm	182,57	0,79
PS-12	6,35	10 mm	202,63	0,87
PS-13	6,35	10 mm	193,31	0,83
PS-14	6,35	10 mm	187,94	0,81

Formulaciones propuestas

- Conector Placa en losa maciza:

$$Qu = 2,4 \frac{h_{sc}^2}{t_c} t_{sc} f'c + 2,9nD^2 \sqrt{f'c} + 0,30A_{cc} \sqrt{f'c} + 5,0 \times 10^6 \left(\frac{A_{tr}}{A_{cc}} \right)$$

- Coeficiente de reducción de la capacidad resistente en presencia de lámina perpendicular:

$$\mu = 0,37$$

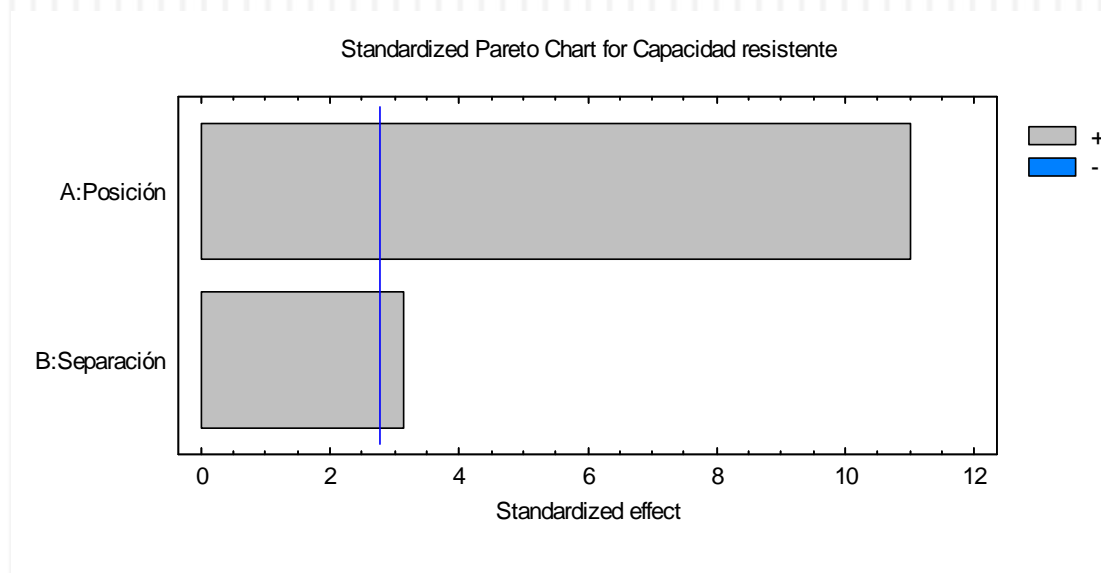
Comparación de resultados experimentales con formulaciones de autores internacionales, y formulaciones propuestas.

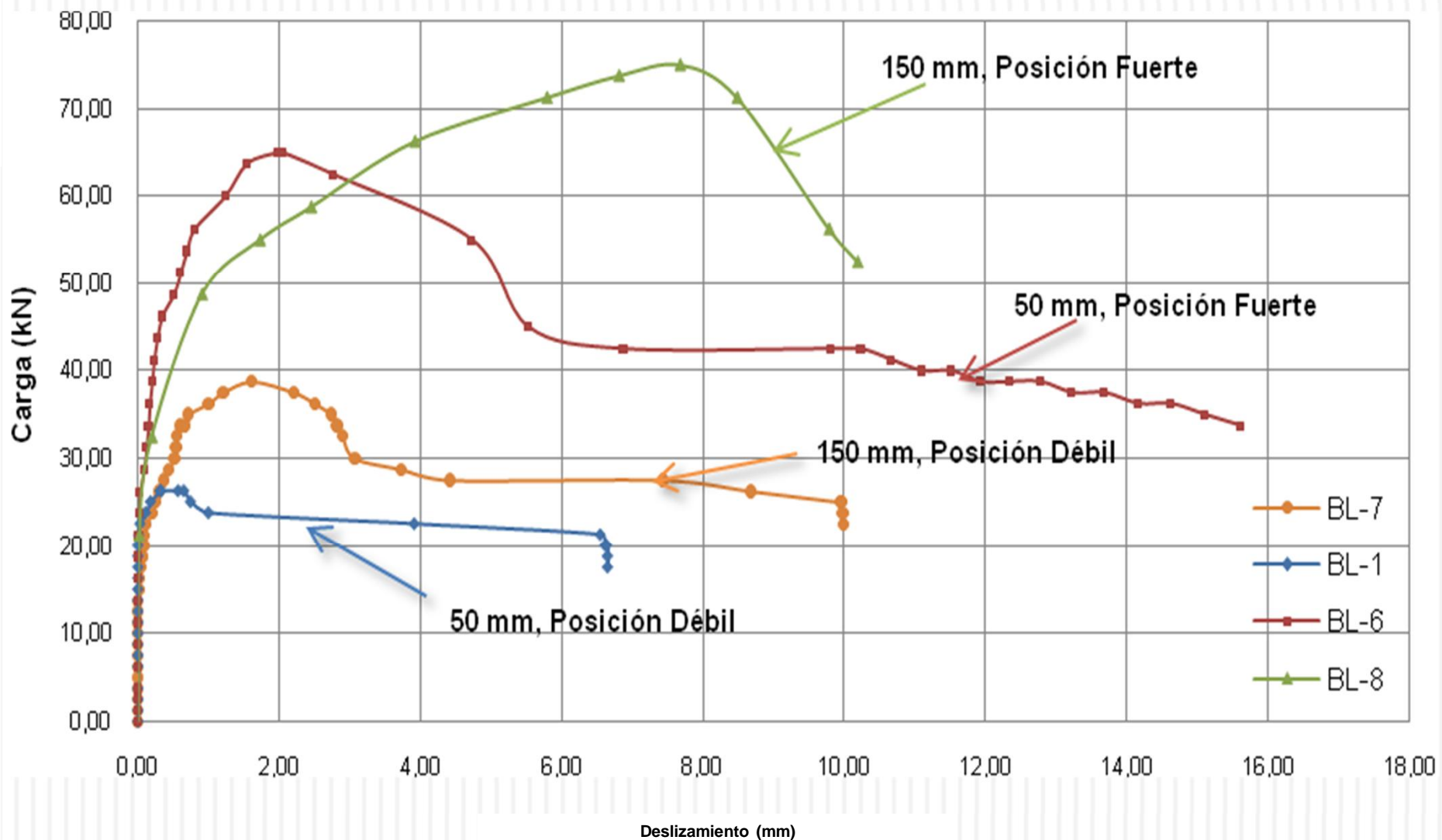
Conexiones tipo P

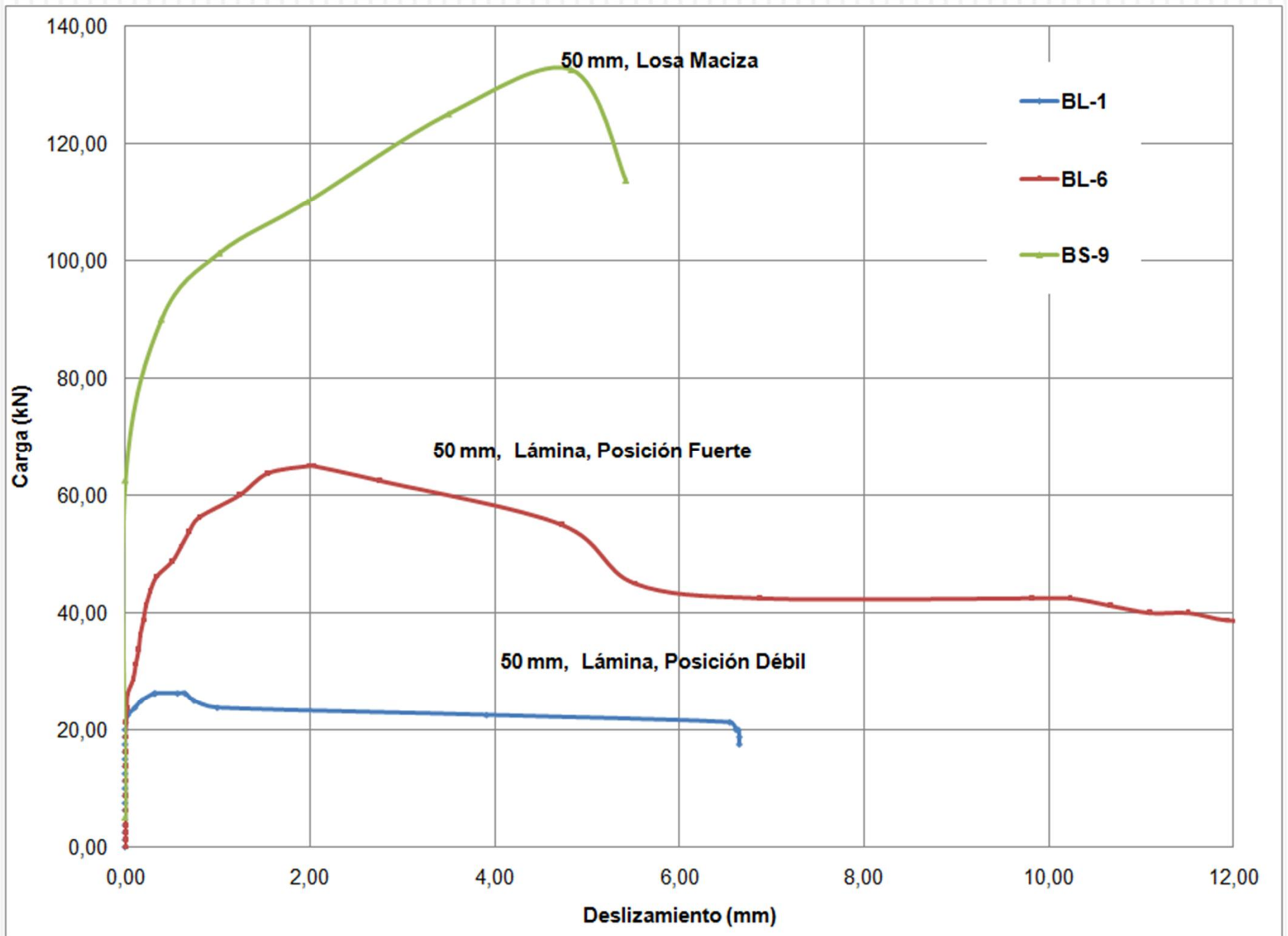
<u>Espe-</u> <u>ci-</u> <u>men</u>	Espesor (mm)	Barra Pasante	Capacidad Resistente Experimental (kN)	<i>Exp</i> <i>Veríssimo et. al.</i>	<i>Exp</i> <i>Propuestas</i>
PL-1	6,35	-	80,54	-	1,033
PL-2	12,7	-	91,28	-	1,039
PL-3	6,35	10 mm	75,17	-	0,905
PL-4	12,7	10 mm	96,65	-	1,039
PL- 5	6,35	-	69,8	-	0,895
PL-6	12,7	-	91,28	-	1,039
PL-7	6,35	10 mm	80,54	-	0,970
PL-8	12,7	10 mm	102,02	-	1,097
PS-9	6,35	-	198,68	0,91	0,986
PS-10	6,35	-	198,68	0,91	0,986
PS-11	6,35	10 mm	182,57	0,79	0,868
PS-12	6,35	10 mm	202,63	0,87	0,963
PS-13	6,35	10 mm	193,31	0,83	0,919
PS-14	6,35	10 mm	187,94	0,81	0,894

Análisis Estadístico – Conectores Tipo B

- Se demuestra que las variables independientes **posición** ($p = 0,0004$) y **separación entre barras** ($p = 0,0349$), son significativas al 95 % de confianza en la variable dependiente **capacidad resistente máxima**.

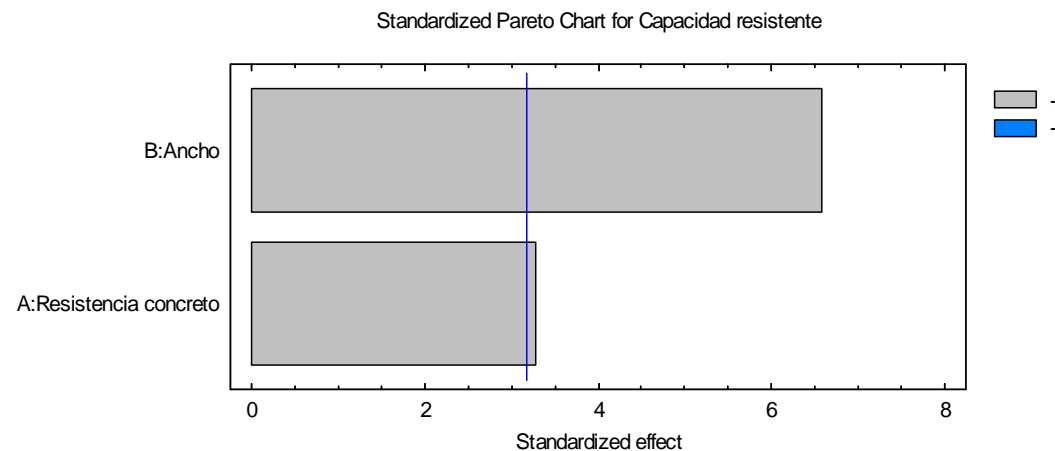


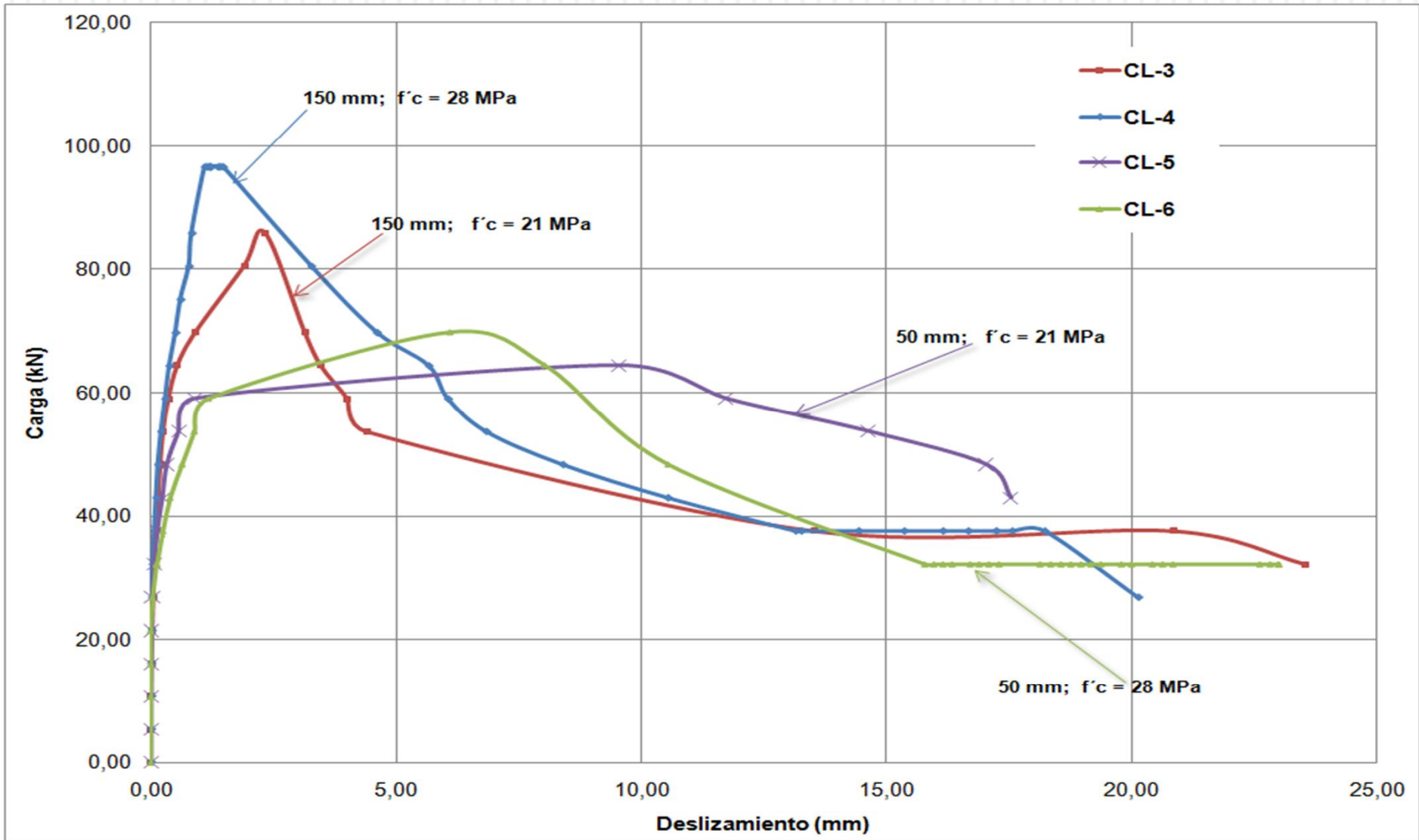


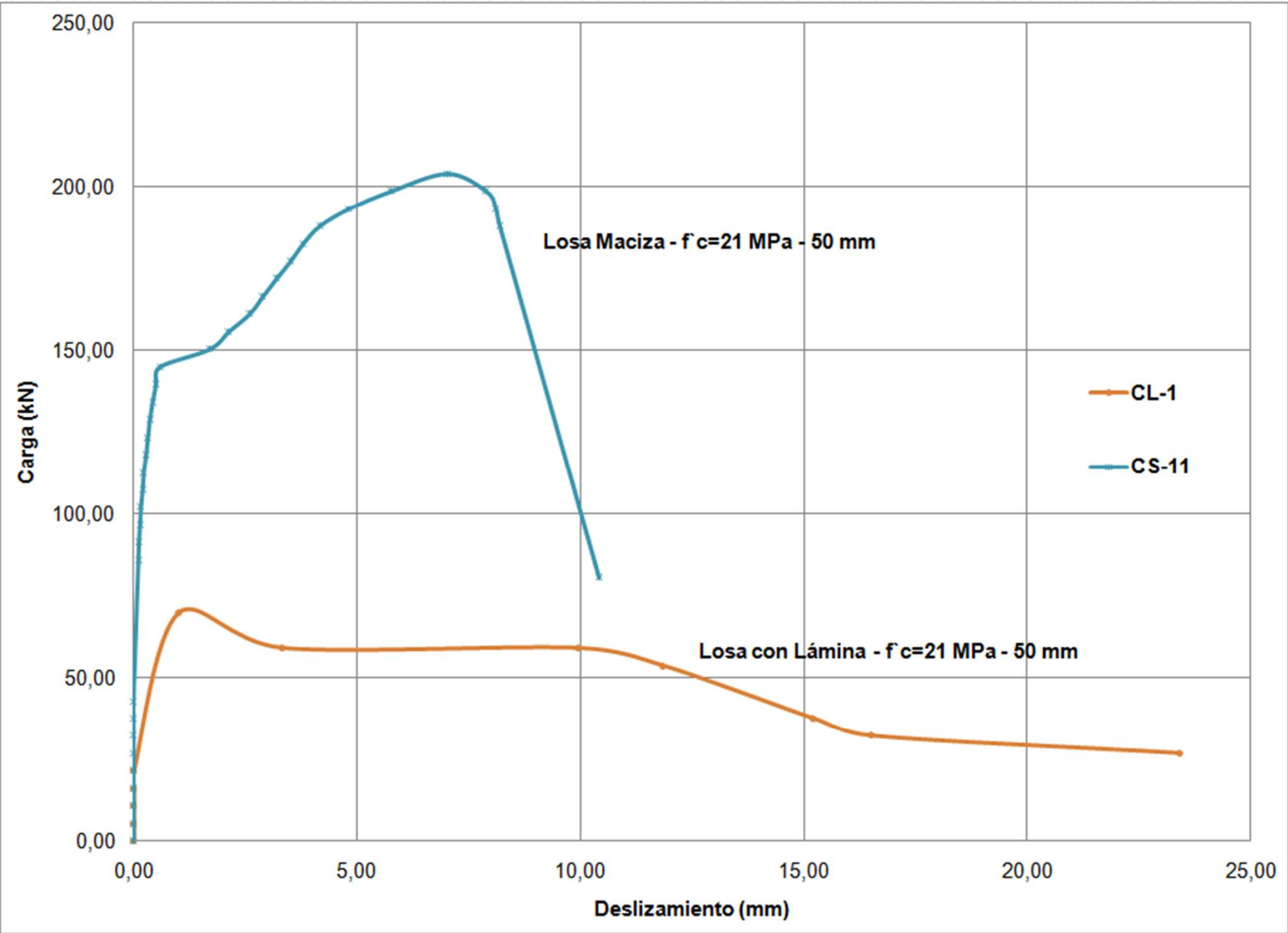


Análisis Estadístico – Conector Tipo C

- Se demuestra que las variables independientes **ancho** ($p = 0,0071$) y **resistencia a compresión del concreto** ($p = 0,0461$), son significativas al 95% de confianza en la variable dependiente **capacidad resistente máxima**.

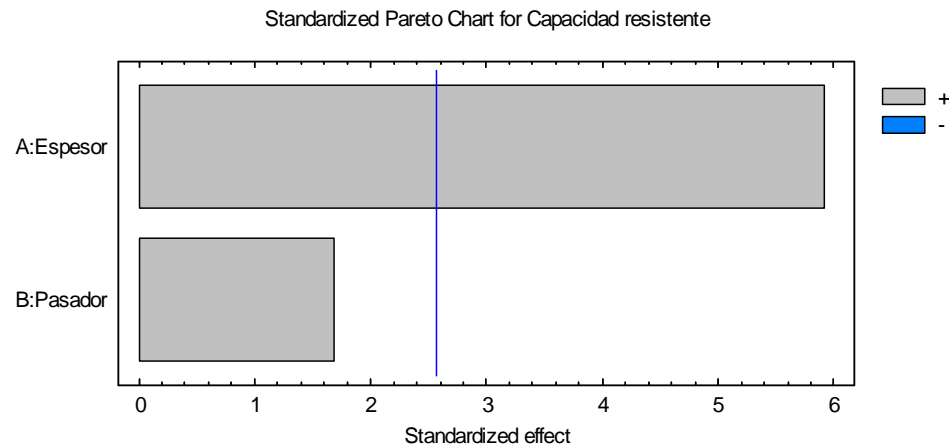


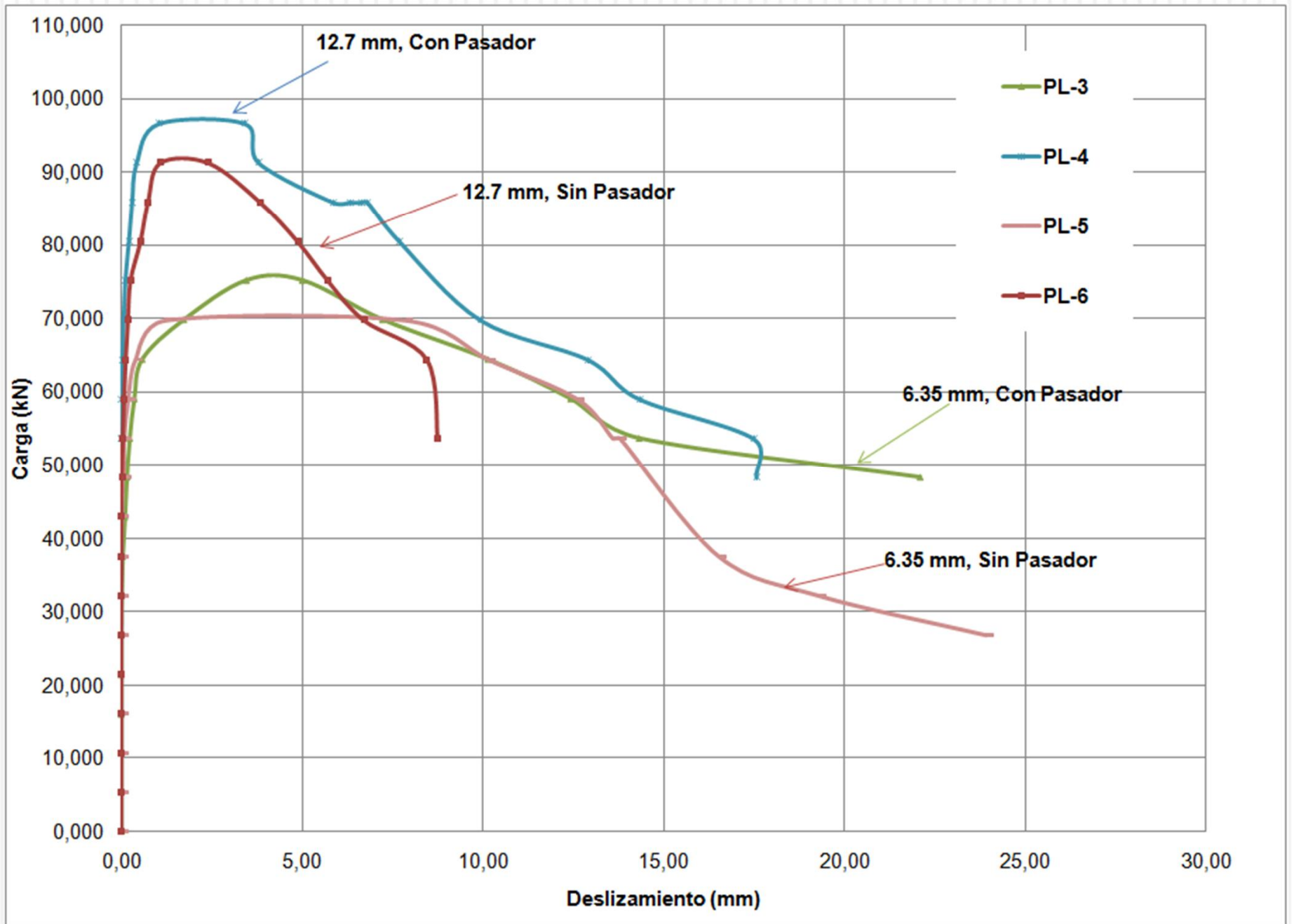


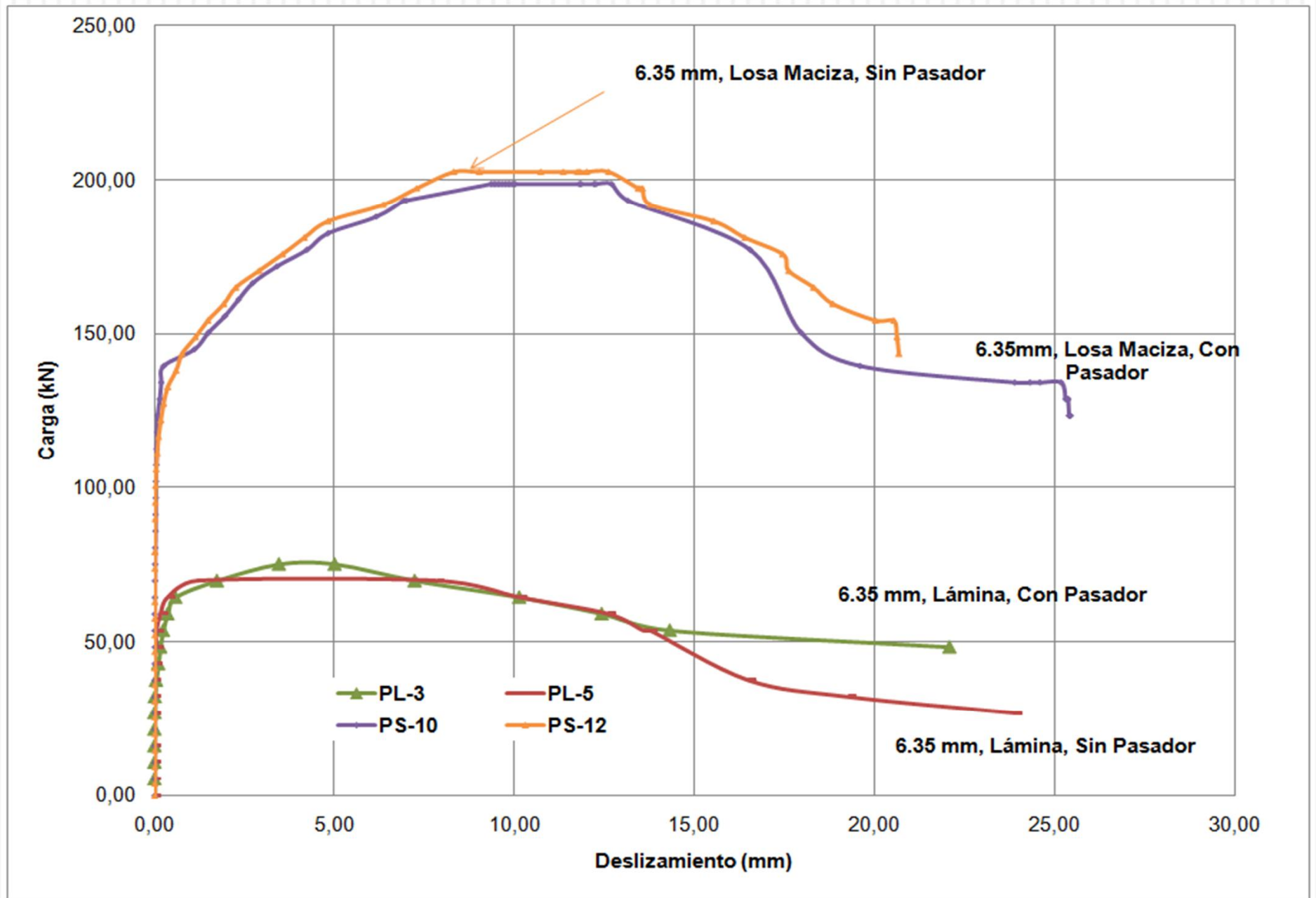


Análisis Estadístico – Conector Tipo P

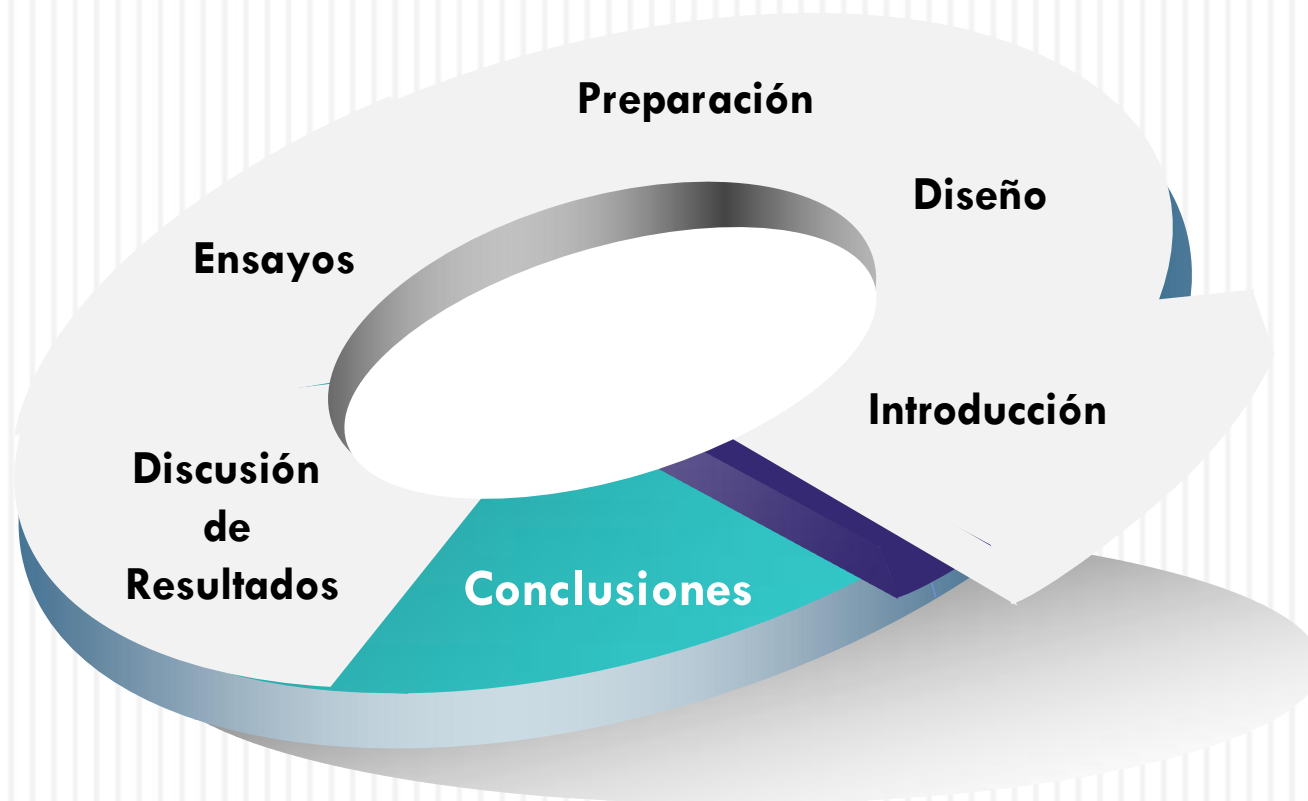
- Se demuestra que las variable independiente **espesor** ($p = 0,002$) es significativa al 95 % de confianza en la variable dependiente **capacidad resistente máxima**, mientras que la variable **barra pasante** ($p=0,15189$), no influye significativamente en la respuesta a ese nivel de confianza.







Contenido



Conclusiones

- Se pudo apreciar como la presencia de la lámina condujo a una reducción notable de la capacidad resistente máxima y a la aparición de grietas en etapas tempranas del ensayo.
- En los especímenes con láminas prevalece el fallo del concreto en la vecindad del conector a diferencia del fallo por corte de los conectores que prevalece en los especímenes con losa maciza.
- El adecuado diseño estadístico del experimento y la consecuente evaluación estadística de los resultados ha permitido apreciar la significación de las variables independientes consideradas.
- Es así como se definen como variables de mayor efecto, la posición en los conectores tipo B, el ancho de los conectores tipo C y el espesor de los conectores tipo P, sin descartar la significación de las variables separación de las barras en los conectores tipo B y resistencia del concreto a la compresión en los conectores tipo C.

Conclusiones

- La totalidad de las formulaciones internacionales consideradas para conectores tipo C en losa maciza subestiman los resultados experimentales obtenidos. La nueva ecuación 1 propuesta predice el conjunto del total de 46 ensayos considerados con un valor medio de la relación experimentación / predicción de 0,987, una desviación estándar de 0,068 y un coeficiente de determinación R² de 0,961, todos indicativos de una buena precisión.
- No se reportan ensayos precedentes ni formulaciones para el caso de conectores tipo C en presencia de lámina perpendicular. La aplicación combinada de las nuevas ecuaciones 1 y 3 a estos especímenes arroja un valor medio de la relación experimentación / predicción de 1,03 con una desviación estándar de 0,097.
- La única formulación internacional disponible para conectores tipo P en losa maciza sobrestima los resultados experimentales obtenidos. La nueva ecuación 4 predice los resultados experimentales del conjunto de 60 ensayos con un valor medio de la relación experimentación / predicción de 1,01, una desviación estándar de 0,08 y un coeficiente de determinación R² de 0,94, lo que es muestra de una notable precisión.

Agradecimientos



Cátedra de Desarrollo e Innovación de
Procesos y Tecnología de Vivienda -
ITESM

Referencias

- American Institute of Steel Construction, Inc. (AISC). (2005). “Specification for Structural Steel Buildings”. ANSI/AISC 360-05. pp. 77-89.
- Bonilla, J. (2008). “Estudio del comportamiento de conectores tipo perno de estructuras compuestas de hormigón y acero mediante modelación numérica”. Tesis Doctoral. UCLV, Santa Clara, Cuba. 127 p.
- European Committee for Standardization. (2004). “Design of Composite Steel and Concrete Structures – Part 1.1”. Eurocode 4. EN 1994-1-1. Brussels.
- Pashan , A. Behaviour of channel shear connectors: Push-out tests, 2006.
- Rambo-Roddenberry, M. D.(2002). “Behaviour and Strength of Welded Stud Shear Connectors”. PhD. Thesis. University of Blacksburg, Virginia. 245 p.