

**COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO
TORNILLO DE RESISTENCIA GRADO 2 (DOS) PARA UN SISTEMA
DE SECCIÓN COMPUESTA CON CONCRETO DE 21 MPa ANTE
SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO**

Ing. XAVIER FERNANDO HURTADO A.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL Y AGRICOLA
BOGOTÁ, 2007**

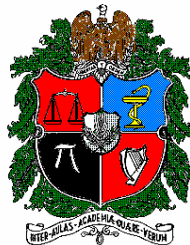
**COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO
TORNILLO DE RESISTENCIA GRADO 2 (DOS) PARA UN SISTEMA
DE SECCIÓN COMPUESTA CON CONCRETO DE 21 MPa ANTE
SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO**

***Ing. XAVIER FERNANDO HURTADO A.
CÓDIGO: 294451***

**Trabajo de grado presentado para optar al título de Magíster en Ingeniería -
Estructuras**

**Director:
Ing. MARITZABEL MOLINA HERRERA**

**Codirector:
Ing. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL Y AGRICOLA
BOGOTÁ, 2007**



*COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO
GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA*

NOTA DE ACEPTACIÓN

ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA

ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA

ING. CAORI PATRICIA TAKEUCHI

ING. JOSÉ RICARDO MARTÍNEZ

ING. ISMAEL SANTANA



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

RESUMEN

El óptimo funcionamiento de vigas de sección compuesta depende principalmente de la capacidad de transferencia de esfuerzos cortantes en la interfaz entre el acero y el concreto, para lo cual se emplean los conectores de cortante. En esta investigación se estudiaron probetas de sección compuesta en las cuales se emplearon conectores tipo tornillo dispuestos en diferentes configuraciones, donde se consideraron como variables la cantidad, el espaciamiento y el diámetro ante solicitud de corte directo (push-out). Para efectuar el análisis se hizo la comparación de los resultados de la experimentación con los obtenidos por medio de la modelación en un programa de elementos finitos, evaluando la incidencia de las variables mencionadas, en el comportamiento de los modelos, para posteriormente plantear una formulación de su diseño en secciones compuestas.

Palabras clave: Conectores de cortante, ensayos push-out, análisis no lineal.

ABSTRACT

The optimal performance of composite beams mainly depends of the ability of the stress transference between the steel and the concrete at the interface, which would employ shear connectors. In this research is the synthesis of study in composite section specimens using connector type screw arranged in different configurations, which are considered variables are quantity, spacing and diameter to shear direct solicitation. To perform the analysis was done comparing the results from experiments with the results obtained by modeling in a finite element program, evaluating the impact of the variables, then raise a formulation to design into composite sections.

Key words: Shear connectors, push-out test, non linear analysis.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO
GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	- 9 -
1. ASPECTOS TEORICOS	- 12 -
1.1. GENERALIDADES	- 12 -
1.2. MARCO TEÓRICO	- 14 -
1.2.1. GENERALIDADES DE LOS CONECTORES	- 14 -
1.2.1.1. Clasificación	- 14 -
1.2.1.2. Cono de corte	- 15 -
1.2.2. PLANTEAMIENTO ANALÍTICO	- 17 -
1.3. ANTECEDENTES	- 21 -
1.3.1. VIEST (1956)	- 21 -
1.3.2. CHINN (1965)	- 22 -
1.3.3. SLUTTER Y DRISCOLL (1965)	- 23 -
1.3.4. DAVIES (1967)	- 24 -
1.3.5. OLLGAARD, SLUTTER Y FISHER (1971)	- 24 -
1.3.6. JONHSON Y OEHLERS (1981)	- 26 -
1.3.7. OEHLERS Y COUGLAN (1986)	- 26 -
1.3.8. OEHLERS Y JHONSON (1987)	- 26 -
1.3.9. INVESTIGACIONES RECIENTES	- 27 -
1.3.10. INVESTIGACIONES REALIZADAS EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA	- 28 -
1.4. NORMATIVIDAD VIGENTE	- 29 -
2. DESCRIPCIÓN EXPERIMENTAL	- 32 -
2.1. CRITERIOS DE DISEÑO	- 32 -
2.2. DESCRIPCIÓN DE LAS PROBETAS	- 34 -
2.3. MATERIALES	- 36 -
2.3.1. CONCRETO	- 36 -
2.3.2. CONECTORES TIPO TORNILLO	- 38 -
2.3.3. PERFILES METÁLICOS (IPE200)	- 40 -
2.3.4. SOLDADURA	- 41 -
2.4. CARGAS NOMINALES	- 42 -
2.5. PROCESO CONSTRUCTIVO	- 47 -
2.6. MONTAJE	- 52 -
3. ENSAYOS DE LOS MODELOS FÍSICOS	- 55 -
3.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	- 55 -
3.1.1. RESULTADOS DE PROBETAS CON TORNILLOS DE 1/2"	- 56 -
3.1.1.1. Probetas M4-1-0-1,2,3	- 56 -



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO
GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

3.1.1.2 Probetas M4-2-8-1,2,3.....	- 57 -
3.1.1.3. Probetas M4-2-12-1,2,3.....	- 59 -
3.1.1.4. Probetas M4-2-14-1,2,3.....	- 61 -
3.1.1.5. Probetas M4-3-12-1,2,3.....	- 62 -
3.1.1.6. Probetas M4-3-14-1,2,3.....	- 63 -
3.1.2. RESULTADOS DE PROBETAS CON TORNILLOS DE 5/8".....	- 65 -
3.1.2.1. Probetas M5-1-0-1,2,3.....	- 65 -
3.1.2.2. Probetas M5-2-8-1,2,3.....	- 66 -
3.1.2.3. Probetas M5-2-12-1,2,3.....	- 68 -
3.1.2.4. Probetas M5-2-14-1,2,3.....	- 69 -
3.1.2.5. Probetas M5-3-12-1,2,3.....	- 70 -
3.1.2.6. Probetas M5-3-14-1,2,3.....	- 72 -
3.1.3. RESULTADOS DE PROBETAS CON TORNILLOS DE 3/4".....	- 73 -
3.1.3.1. Probetas M6-1-0-1,2,3.....	- 73 -
3.1.3.2. Probetas M6-2-8-1,2,3.....	- 75 -
3.1.3.3. Probetas M6-2-12-1,2,3.....	- 77 -
3.1.3.4. Probetas M6-2-14-1,2,3.....	- 78 -
3.1.3.5. Probetas M6-3-12-1,2,3.....	- 79 -
3.1.3.6. Probetas M6-3-14-1,2,3.....	- 81 -
3.1.4. SINTESIS DE RESULTADOS.....	- 82 -
3.2. MODOS DE FALLA	- 83 -
3.3. ANÁLISIS DE CARGA.....	- 85 -
3.3.1. CARGA ÚLTIMA.....	- 85 -
3.3.2. CARGA LINEAL ELÁSTICA MÁXIMA	- 86 -
3.3.3. CARGA DE FALLA Vs. CARGA ELÁSTICA LINEAL.....	- 87 -
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	- 89 -
4.1. CARGA DE FALLA Vs. DESPLAZAMIENTO PARA IGUAL SEPARACIÓN E IGUAL CANTIDAD DE CONECTORES	- 89 -
4.2. CARGA DE FALLA Vs. DESPLAZAMIENTO PARA IGUAL DIAMETRO E IGUAL CANTIDAD DE CONECTORES.....	- 94 -
4.3. CARGA DE FALLA Vs. DESPLAZAMIENTO PARA IGUAL DIAMETRO E IGUAL SEPARACIÓN	- 98 -
4.4. CARGA DE FALLA Vs. SEPARACIÓN PARA IGUAL CANTIDAD DE CONECTORES	- 102 -
4.5. CARGA DE FALLA Vs. SEPARACIÓN PARA IGUAL DIÁMETRO	- 103 -
4.6. CARGA DE FALLA Vs. DIÁMETRO PARA IGUAL CANTIDAD DE CONECTORES - 105 -	
4.7. CARGA DE FALLA Vs. DIÁMETRO PARA IGUAL SEPARACIÓN	- 106 -
4.8. COMPARACIONES GENERALES.....	- 107 -
5. FORMULACIÓN PARA EL DISEÑO DE SECCIONES COMPUESTAS CON CONECTORES TIPO TORNILLO	- 112 -



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO
GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

5.2. RELACIÓN CARGA DE FALLA Vs. DIÁMETRO	- 113 -
5.3. RELACIÓN CARGA DE FALLA Vs. SEPARACIÓN	- 115 -
5.4. METODOLOGÍA DE DISEÑO.....	- 116 -
6. MODELO MATEMÁTICO	- 120 -
6.1. MODELOS NUMÉRICOS DE LOS MATERIALES	- 121 -
6.1.1. CONCRETO.....	- 121 -
6.1.2. ACERO DE LOS CONECTORES DE CORTANTE	- 125 -
6.1.3. ACERO DEL PERFIL METÁLICO.....	- 126 -
6.2. CARACTERIZACIÓN DEL MODELO	- 127 -
6.2.1. TIPOS DE ELEMENTOS	- 127 -
6.2.1.1. Concreto	- 127 -
6.2.1.2. Acero	- 128 -
6.2.2. DISCRETIZACIÓN	- 128 -
6.2.3. CONDICIONES DE BORDE	- 129 -
6.3. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA MODELACIÓN	- 131 -
6.3.1. DESPLAZAMIENTOS.....	- 131 -
6.3.2. ESFUERZOS.....	- 136 -
6.4. ANALISIS Y COMPARACION DE RESULTADOS	- 146 -
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	- 150 -
BIBLIOGRAFÍA	- 153 -



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Fotografía de espigos.	- 13 -
Figura 1.2. Curva carga – desplazamiento conectores rígidos y flexibles.	- 14 -
Figura 1.3. Geometría de fisuración del cono de corte.	- 15 -
Figura 1.4. Reducción de área de corte efectiva por espaciamiento de conectores.	- 16 -
Figura 1.5. Reducción de área de corte efectiva por distancia al borde de la placa.	- 17 -
Figura 1.6. Viga construida con dos secciones sujetas con pernos verticales.	- 17 -
Figura 1.7. Segmento de viga para la deducción de flujo de cortante.	- 18 -
Figura 1.8. Transferencia de cortante por rugosidad en la interfase	- 19 -
Figura 1.9. Transferencia de cortante por rugosidad en la interfase	- 20 -
Figura 1.10. Cono de falla del concreto.	- 20 -
Figura 1.11. Falla por fluencia del conector.	- 20 -
Figura 1.12. Falla combinada del concreto y el conector.	- 21 -
Figura 1.13. Curva carga-deslizamiento empleada por chinn (1965)	- 23 -
Figura 2.1. Descripción del modelo de ensayo push-out.	- 33 -
Figura 2.2. Máquina de aplicación de carga	- 33 -
Figura 2.3. Configuración general de las probetas de ensayo. a) Vista en planta. b) Vista en alzada. c) Vista tridimensional.	- 34 -
Figura 2.4. Ensayo de compresión simple en el concreto.	- 36 -
Figura 2.5. Gráfica esfuerzo vs. Tiempo de cilindros testigo de concreto.	- 37 -
Figura 2.6. Geometría del tornillo.	- 38 -
Figura 2.7. Ensayos en los tornillos. a) Máquina de ensayos. b) Montaje de ensayo de corte. c) Montaje de ensayo de tensión.	- 39 -
Figura 2.8. Probeta de ensayo perfil ipe200	- 40 -
Figura 2.9. Perfiles metálicos antes de la fundida. a) Probeta sin tornillos. b) Probeta con un tornillo. c) Probeta con dos tornillos. d) Probeta con tres tornillos.	- 47 -
Figura 2.10. Modulación de la formaleta.	- 48 -
Figura 2.11. Formaleta empleada para la elaboración de las probetas.	- 49 -
Figura 2.12. Formaleta impregnada de aceite quemado.	- 50 -
Figura 2.13. a). Vaciado del concreto, b). Afinado de modelos. c) Estado final de los modelos después de la fundida.	- 50 -
Figura 2.14. Probetas sin conector las cuales se soltaron durante el desformateado	- 51 -
Figura 2.15. Estado final de las probetas después del desformateado	- 51 -
Figura 2.16. Detalle de los soportes de apoyo.	- 53 -
Figura 2.17. Detalle de los aditamentos de aplicación de la carga.	- 54 -
Figura 2.18. Instrumentación del ensayo.	- 54 -
Figura 3.1. Falla típica de las probetas m4-1-0.	- 56 -
Figura 3.2. Curva carga - desplazamiento de las probetas m4-1-0.	- 56 -
Figura 3.3. Falla del concreto de las probetas m4-2-8-2 y m4-2-8-3.	- 57 -
Figura 3.4. Falla de la soldadura de las probetas m4-2-8-1	- 58 -
Figura 3.5. Curva carga - desplazamiento de las probetas m4-2-8.	- 58 -
Figura 3.6. Falla de la soldadura de las probetas m4-2-12-2 y m4-2-12-3.	- 59 -
Figura 3.7. Falla del concreto de las probetas m4-2-12-1	- 60 -
Figura 3.8. Curva carga - desplazamiento de las probetas m4-2-12.	- 60 -
Figura 3.9. Falla típica de las probetas m4-2-14.	- 61 -



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

Figura 3.10. Curva carga - desplazamiento de las probetas m4-2-14.....	- 61 -
Figura 3.11. Falla típica de las probetas m4-3-12.....	- 62 -
Figura 3.12. Curva carga - desplazamiento de las probetas m4-3-12.....	- 63 -
Figura 3.13. Falla típica de las probetas m4-3-14.....	- 64 -
Figura 3.14. Curva carga - desplazamiento de las probetas m4-3-14.....	- 64 -
Figura 3.15. Falla típica de las probetas m5-1-0.....	- 65 -
Figura 3.16. Curva carga - desplazamiento de las probetas m5-1-0.....	- 66 -
Figura 3.17. Falla típica de las probetas m5-2-8.....	- 67 -
Figura 3.18. Curva carga - desplazamiento de las probetas m5-2-8.....	- 67 -
Figura 3.19. Falla típica de las probetas m5-2-12.....	- 68 -
Figura 3.20. Curva carga - desplazamiento de las probetas m5-2-12.....	- 68 -
Figura 3.21. Falla típica de las probetas m5-2-14.....	- 69 -
Figura 3.22. Curva carga - desplazamiento de las probetas m5-2-14.....	- 70 -
Figura 3.23. Falla típica de las probetas m5-3-12.....	- 71 -
Figura 3.24. Curva carga - desplazamiento de las probetas m5-3-12.....	- 71 -
Figura 3.25. Falla típica de las probetas m5-3-14.....	- 72 -
Figura 3.26. Curva carga - desplazamiento de las probetas m5-3-14.....	- 73 -
Figura 3.27. Falla típica de la soldadura de las probetas m6-1-0-1 y m6-1-0-2.....	- 74 -
Figura 3.28. Falla típica del concreto de la probeta m6-1-0-3.....	- 74 -
Figura 3.29. Curva carga - desplazamiento de las probetas m6-1-0.....	- 75 -
Figura 3.30. Falla típica de las probetas m6-2-8.....	- 76 -
Figura 3.31. Curva carga - desplazamiento de las probetas m6-2-8.....	- 76 -
Figura 3.32. Falla típica de las probetas m6-2-12.....	- 77 -
Figura 3.33. Curva carga - desplazamiento de las probetas m6-2-12.....	- 77 -
Figura 3.34. Falla típica de las probetas m6-2-14.....	- 78 -
Figura 3.35. Curva carga - desplazamiento de las probetas m6-2-14.....	- 79 -
Figura 3.36. Falla típica de las probetas m6-3-12.....	- 80 -
Figura 3.37. Curva carga - desplazamiento de las probetas m6-3-12.....	- 80 -
Figura 3.38. Falla típica de las probetas m6-3-14.....	- 81 -
Figura 3.39. Curva carga - desplazamiento de las probetas m6-3-14.....	- 81 -
Figura 3.40. Superficie de falla del concreto.....	- 84 -
Figura 3.41. Falla del concreto.....	- 84 -
Figura 3.42. Falla de la soldadura.....	- 85 -
Figura 4.1. Curva carga - desplazamiento 1 tornillo.....	- 90 -
Figura 4.2. Curva carga - desplazamiento 2 tornillos separación 0.08m.....	- 91 -
Figura 4.3. Curva carga - desplazamiento 2 tornillos separación 0.12m.....	- 91 -
Figura 4.4. Curva carga - desplazamiento 2 tornillos separación 0.14m.....	- 92 -
Figura 4.5. Curva carga - desplazamiento 3 tornillos separación 0.12m.....	- 92 -
Figura 4.6. Curva carga - desplazamiento 3 tornillos separación 0.14m.....	- 93 -
Figura 4.7. Trabajo conjunto de los materiales. a) Concreto. b) Tornillos.....	- 93 -
Figura 4.8. Curva carga - desplazamiento 2 tornillos $\varphi = 1/2"$	- 94 -
Figura 4.9. Curva carga - desplazamiento 3 tornillos $\varphi = 1/2"$	- 95 -
Figura 4.10. Curva carga - desplazamiento 2 tornillos $\varphi = 5/8"$	- 96 -
Figura 4.11. Curva carga - desplazamiento 3 tornillos $\varphi = 5/8"$	- 96 -
Figura 4.12. Curva carga - desplazamiento 2 tornillos $\varphi = 3/4"$	- 97 -
Figura 4.13. Curva carga - desplazamiento 3 tornillos $\varphi = 3/4"$	- 98 -
Figura 4.14. Curva carga - desplazamiento $\varphi = 1/2"$ separación 0.12m.....	- 98 -
Figura 4.15. Curva carga - desplazamiento $\varphi = 1/2"$ separación 0.14m.....	- 99 -
Figura 4.16. Curva carga - desplazamiento $\varphi = 5/8"$ separación 0.12m.....	- 100 -



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

Figura 4.17. Curva carga - desplazamiento $\varphi = 5/8"$ separación 0.14m.....	100 -
Figura 4.18. Curva carga - desplazamiento $\varphi = 3/4"$ separación 0.12m.....	101 -
Figura 4.19. Curva carga - desplazamiento $\varphi = 3/4"$ separación 0.14m.....	101 -
Figura 4.20. Curva carga – separación 2 tornillos	102 -
Figura 4.21. Curva carga – separación 3 tornillos	103 -
Figura 4.22. Curva carga - separación $\varphi = 1/2"$	103 -
Figura 4.23. Curva carga - separación $\varphi = 5/8"$	104 -
Figura 4.24. Curva carga - separación $\varphi = 3/4"$	104 -
Figura 4.25. Curvas carga – diámetro 2 tornillos	105 -
Figura 4.26. Curvas carga – diámetro 3 tornillos	106 -
Figura 4.27. Curva carga - separación 0.12m.....	106 -
Figura 4.28. Curva carga - separación 0.14m.....	107 -
Figura 4.29. Curva carga - desplazamiento $\varphi = 1/2"$	108 -
Figura 4.30. Curva carga - desplazamiento $\varphi = 5/8"$	108 -
Figura 4.31. Curva carga - desplazamiento $\varphi = 3/4"$	109 -
Figura 4.32. Curvas carga – separación	110 -
Figura 4.33. Curva carga - diámetro	110 -
Figura 5.1. Diagrama de flujo de diseño de conectores de cortante tipo tornillo.....	119 -
Figura 6.1. a). Superficie de falla del concreto bajo estado biaxial de esfuerzos (william & warne, 1975). b). Curva esfuerzo – deformación para un estado uniaxial de esfuerzos.....	124 -
Figura 6.2. Modelo elástico bilineal del acero de los conectores.....	125 -
Figura 6.3. Superficie de fluencia del acero bajo un estado biaxial de esfuerzos (von mises)	126 -
Figura 6.4. Geometría del elemento solid65	127 -
Figura 6.5. Geometría del elemento solid45	128 -
Figura 6.6. Malla de elementos finitos	129 -
Figura 6.7. Condiciones de borde del modelo de elementos finitos. a) Vista tridimensional del modelo. b) Detalle de las condiciones de borde.	130 -
Figura 6.8. Diagrama de desplazamientos en dirección z.....	131 -
Figura 6.9. Diagrama de desplazamientos en dirección z	132 -
Figura 6.10. Diagrama de desplazamientos en dirección z. Vista de la placa de concreto.	133 -
Figura 6.11. Diagrama de desplazamientos en dirección z. Detalle de los conectores.	133 -
Figura 6.12. Diagrama de desplazamientos en dirección x.	134 -
Figura 6.13. Diagrama de desplazamientos en dirección y.....	135 -
Figura 6.14. Evolución de curvas de isodesplazamientos.....	136 -
Figura 6.15. Estado de esfuerzos s_z en el perfil metálico y los conectores	136 -
Figura 6.16. Estado de esfuerzos s_z en el concreto.....	137 -
Figura 6.17. Estado de esfuerzos s_x en la sección.....	138 -
Figura 6.18. Estado de esfuerzos s_y en la sección.....	139 -
Figura 6.19. Estado de esfuerzos s_{xy} en la sección.....	140 -
Figura 6.20. Estado de esfuerzos s_{yz} en la sección.....	141 -
Figura 6.21. Estado de esfuerzos s_{zx} en la sección.....	142 -
Figura 6.22. Estado de esfuerzos principales s_{11} en la sección.....	143 -
Figura 6.23. Estado de esfuerzos principales s_{22} en la sección.....	144 -
Figura 6.24. Estado de esfuerzos principales s_{33} en la sección.....	145 -
Figura 6.25. Comportamiento conjunto del modelo m5-2-12. a) Deformación de los conectores. b) Fractura de la placa de concreto.....	146 -
Figura 6.26. Dispersión de datos carga – desplazamiento probeta m5-2-12	146 -
Figura 6.27. Resultados del modelo en elementos finitos con comportamiento elástico	147 -



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO
GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

Figura 6.28. Comparación de resultados entre modelo experimental y modelo en elementos finitos. - 148 -
Figura 6.29. Resultados del modelo en elementos finitos con comportamiento elástico - 149 -



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Numeración De Las Probetas De Ensayo	- 35 -
Tabla 2.2 Resumen De Los Resultados De Los Ensayos Del Concreto.....	- 37 -
Tabla 2.3 Propiedades Geométricas De Los Conectores Tipo Tornillo.....	- 38 -
Tabla 2.4 Resumen De Los Resultados De Los Ensayos De Los Tornillos A Tensión Simple	- 39 -
Tabla 2.5 Resumen De Los Resultados De Los Ensayos De Los Tornillos A Cortante.....	- 39 -
Tabla 2.6 Resumen De Los Resultados De Los Ensayos De Las Probetas Del Perfil Ipe200	- 40 -
Tabla 2.7 Resumen De Los Resultados De Los Ensayos De La Soldadura Por Tensión Simple	- 42 -
Tabla 2.8 Resumen De Los Resultados De Los Ensayos De La Soldadura Por Cortante	- 42 -
Tabla 2.9 Cargas Nominales De Falla Para Los Conectores Tipo Tornillo	- 44 -
Tabla 2.10 Cargas Nominales De Falla Para El Concreto.....	- 45 -
Tabla 2.11 Cargas Nominales De Falla Para La Soldadura.....	- 46 -
Tabla 2.12 Resumen De Los Resultados De Las Cargas Nominales	- 47 -
Tabla 3.1. Carga Última Nominal Y Experimental Y Modos De Falla.....	- 83 -
Tabla 3.2. Tabla Resumen Tipos De Falla Y Carga Última.	- 85 -
Tabla 3.3 Comparación Entre Carga Estimada N_{sr-98} Y Carga Máxima De Comportamiento Lineal.	- 87 -
Tabla 3.4 Comparación Entre Carga De Falla Y La Carga Máxima De Comportamiento Lineal.....	- 88 -
Tabla 5.1 Datos De Comparación Para La Formulación De Diseño.	- 113 -
Tabla 5.2 Datos De Comparación Para Correlacionar El Efecto Del Diámetro De Los Conectores....	- 114 -
Tabla 5.3 Datos De Comparación Para Correlacionar El Efecto De La Separación Entre Conectores.	- 115 -
Tabla 6.1 Caracterización De Las Variables Del Modelo Del Concreto	- 124 -
Tabla 6.2 Caracterización De Las Variables Del Modelo De Los Conectores	- 125 -
Tabla 6.3 Caracterización De Las Variables Del Modelo Del Perfil Metálico	- 127 -
Tabla 6.4. Comparación De Resultados Entre Modelo Experimental Y Modelo En Elementos Finitos.....	- 148 -



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la construcción en nuestro país, uno de los tipos de conectores de cortante más empleados desde hace muchos años son los tornillos, pero hasta este momento se está empezando a investigar sobre el tema, de manera que podamos conocer como es su comportamiento al estar involucrados en elementos de sección compuesta. Mas aún, en la mayoría de estudios desarrollados se emplean canales y espigos como conectores, y su metodología de diseño se contempla en *AISC-LRFD*¹ y en *NSR-98*². Asimismo, estas normas establecen que al emplear otro tipo de conectores a los que hacen referencia, son necesarios los ensayos de los materiales apropiados para determinar sus respectivas resistencias nominales que sustenten la metodología de diseño.

Junto con los habituales detalles para diseño a flexión, y cortante vertical se hace necesario especificar el diseño para el cortante horizontal generado en la interfase de la sección, y ajustar el diseño para las condiciones locales de construcción. Para este sistema, se hace indispensable el desarrollo de un estudio en el cual se analicen los diversos efectos producidos en las secciones compuestas cuando se emplean tornillos como conectores de cortante,

A través de este proyecto como parte de la investigación “*COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO*”, se presentan los resultados de los ensayos a corte directo, realizados a probetas fabricadas con perfiles de alma llena y losas de concreto de 21 MPa, en las cuales se emplearon configuraciones de 1, 2 ó 3 conectores de cortante tipo tornillo con diámetros 1/2”, 5/8” ó 3/4”; y para separaciones

¹ Load Resistance Factor Design (Diseño con Factores de Carga y Resistencia)

² Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismorresistente



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

de 0.08m, 0.12m ó 0.14m. De igual manera, se realiza la comparación de los resultados de la experimentación con los valores dados por el diseño de conectores tipo espigo con el objetivo de plantear una formulación de su diseño en secciones compuestas donde se involucren las variables consideradas en esta investigación: diámetro de conectores tipo tornillo y espaciamiento entre ellos; la cual pueda ser generalizada, en un futuro, por medio de otras investigaciones donde se incluyan parámetros no considerados en el presente estudio como resistencia del concreto y conectores; y de esta manera implementarla como metodología de diseño en la normatividad colombiana.

Por último, se hace el análisis comparativo entre los resultados de un modelo experimental con un modelo computacional en el cual se emplea el método de los elementos finitos, el cual ha sido calibrado a partir de los datos de los ensayos de los materiales.

El capítulo 1 presenta el desarrollo analítico concerniente al comportamiento de los conectores y la recopilación de investigaciones previas realizadas a espigos, en las cuales se desarrollan algunas metodologías de diseño.

En el capítulo 2 se plantean las consideraciones que se tuvieron en cuenta para especificar la geometría de los modelos, la descripción del ensayo de laboratorio y los resultados de las pruebas realizadas a los materiales.

Los resultados de los ensayos de las probetas, para cada uno de los 18 modelos, se encuentran en el capítulo 3, así como el análisis de las cargas de falla y la relación que existe con respecto a la carga elástica máxima y a la carga de diseño.

En el capítulo 4 está el análisis correspondiente a las principales variables en estudio: diámetro, separación y cantidad de conectores y se plantean relaciones matemáticas



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

entre ellas de acuerdo con los resultados obtenidos en los ensayos y de esta manera formular la metodología para el diseño de conectores tipo tornillo en el capítulo 5.

Finalmente, en el capítulo 6 se encuentra lo pertinente a la simulación por el método de los elementos finitos de un modelo con dos conectores de diámetro 5/8", separados 0.12m y la comparación de estos resultados con los correspondientes a los ensayos de laboratorio donde se presentó poca dispersión.

OBJETIVO GENERAL

- Plantear una formulación para el diseño de conectores de cortante tipo tornillo grado dos (2) y concreto de 21 MPa.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer mediante modelos físicos el efecto de la separación de los conectores de cortante tipo tornillo grado dos en la falla de la sección compuesta con concreto de 21 MPa, para tres espaciamientos: 0.08m, 0.12m y 0.14m.
- Determinar mediante ensayos experimentales la influencia del diámetro de los conectores de cortante tipo tornillo grado dos en la falla de la sección compuesta con concreto de 21 MPa, para tres diámetros diferentes: 1/2", 5/8" y 3/4".
- Calibrar un modelo de los conectores de cortante tipo tornillo en un sistema de sección compuesta, ante sollicitación de corte directo, por medio de un programa que emplee el método de los elementos finitos.
- Comparar los resultados obtenidos experimentalmente, los resultados de la modelación y la ecuación establecida en el numeral F.2.9.5 de la NSR-98.



1. ASPECTOS TEORICOS

1.1. GENERALIDADES

El uso de las secciones compuestas para elementos estructurales empleando concreto y acero se implementó desde los años 20, aprovechando las ventajas de resistencia a la compresión del concreto al tiempo que el acero trabaja a tensión. Su mayor impulso, primordialmente para los diseñadores y constructores de puentes, tuvo lugar a mediados de los años 50 con base en las especificaciones de *AASHTO* (1944), donde se emplearon conectores como elementos de transferencia de cortante, los cuales se sueldan a la sección metálica, garantizando que en la sección los dos materiales trabajen como unidad. En 1952, con las especificaciones de *AISC* se aprobó el uso de sección compuesta también para edificios.

El adecuado comportamiento de la sección depende principalmente de la transferencia de esfuerzos que ocurre entre los materiales y para este efecto se emplean los conectores de cortante. La ausencia de estos elementos implicaría que cada una de las secciones no vinculadas actúe independientemente desaprovechando las ventajas de la sección compuesta.

Antes de implementarse el uso de los conectores, el mecanismo de transferencia se lograba por medio de una superficie corrugada de acero, la cual entraría en contacto con el concreto, pero de acuerdo con lo observado en distintos experimentos se concluyó que de esta manera no se aprovechaba todo el potencial de la sección.

Con la gran acogida que tuvo esta modalidad constructiva se inició la experimentación de conectores empleando espirales, barras, zetas, canales, ángulos y espigos (studs),



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

siendo éstos últimos los de mayor preferencia en el mercado de Estados Unidos³. El espigo consta de una barra de acero con cabeza en uno de sus lados con diámetro mayor que el vástago, el cual se suelda a la sección metálica en su otro extremo. En la *figura 1.1* se observa la geometría del espigo.



Figura 1.1. Fotografía de espigos.

Específicamente, la experimentación en conectores tipo espigo fue iniciada por *Viest* en 1956, ensayando probetas a escala de secciones compuestas, en las cuales se variaba el diámetro del conector, la longitud y el espaciamiento que había entre ellos.

Hacia 1971, a partir los resultados presentados por gran cantidad de investigaciones y de los ensayos a escala realizados por *Ollgaard*, se estableció la ecuación que rige el diseño de conectores de cortante tipo espigo para sección compuesta la cual sigue siendo válida hoy en día en las especificaciones de diseño *AISC*⁴, *AASHTO-LRFD*⁵ y *NSR-98*.

³ Mc. Cormac, 1996.

⁴ American Institute of Steel Construction (*AISC*).

⁵ American Association of State of Highway and Transportation Oficiala (*AASHTO*).



1.2. MARCO TEÓRICO

1.2.1. GENERALIDADES DE LOS CONECTORES

1.2.1.1. Clasificación

La transmisión de la fuerza cortante depende directamente de las características geométricas de los conectores, el material y el área de concreto circundante a los mismos. El modificar cualquiera de estas particularidades de la sección implicaría cambios en la curva de carga vs. desplazamiento del conector, a partir de la cual se clasifican en *conectores de cortante rígidos* y *conectores de cortante flexibles*.

Los *conectores de cortante rígidos* son aquellos que no sufren deformaciones de consideración en su estado de servicio incluso al llegar a fallar o a provocar la fisuración del concreto, mientras que los conectores de cortante flexibles llegan a tener grandes deformaciones permanentes, llegando a resistir fuerzas cortantes por la flexión generada, tensión y corte en la unión con la viga. La falla de la sección compuesta con este tipo de conectores se caracteriza por ser dúctil y presentar desplazamientos relativos entre la viga metálica y la placa de concreto. En la *figura 1.2* se muestra la curva carga vs. desplazamiento para secciones compuestas con conectores rígidos y flexibles.

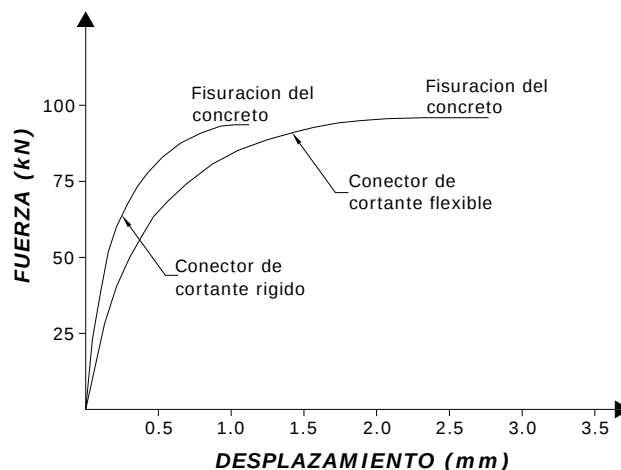


Figura 1.2. Curva Carga – Desplazamiento conectores rígidos y flexibles.



1.2.1.2. Cono de corte

De acuerdo con los ensayos de extracción (pull-out), cuando existen elementos embebidos en una masa de concreto (para este caso conectores), y se intentan extraer o se les aplica algún tipo de fuerza externa, se presenta la falla sobre una superficie cónica llamada *cono de corte*.

Las dimensiones del cono de corte están directamente afectadas por:

- La resistencia nominal del concreto.
- La longitud embebida (L_e)
- La cabeza del conector ($2r$)
- Espaciamiento entre conectores.
- Distancia de los conectores al borde.

En la *figura 1.3* se aprecia la geometría del cono de corte.

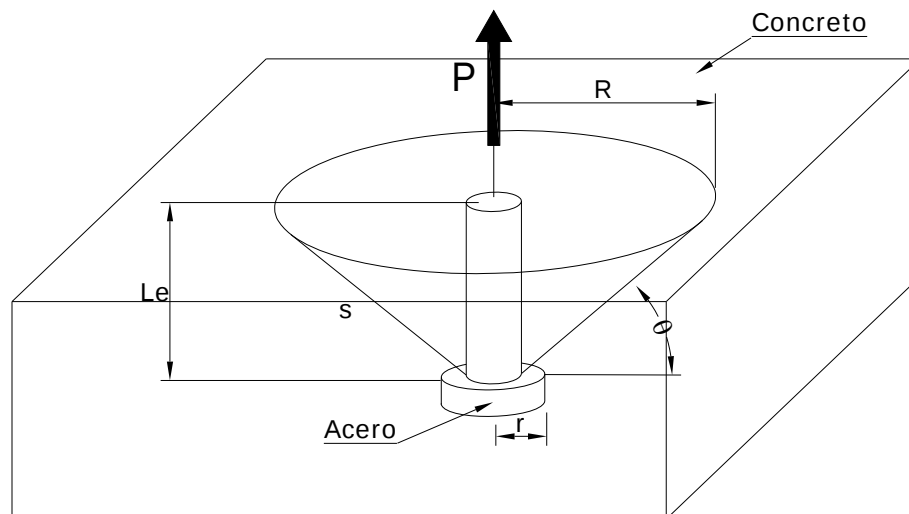


Figura 1.3. Geometría de fisuración del cono de corte.

De acuerdo con los resultados de la investigación de Nelson Stud (1977) "*Nelson embedment properties of headed studs*", si la longitud embebida del conector está entre 8 y 10 veces su diámetro se va a presentar su falla ya que el material ha excedido su capacidad. Una menor longitud embebida ocasiona la falla del concreto.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

La sección efectiva del área del cono de corte se puede reducir por dos razones:

- Efecto del espaciamiento de los conectores: Si los conectores se encuentran muy unidos existirán zonas en las cuales los conos traslapen sus áreas de influencia evitando que se desarrollen completamente, lo que reduce su eficiencia como se aprecia en la *figura 1-4*, mientras que si la separación es muy grande existirán zonas de concreto que no estén influenciadas por los conectores.

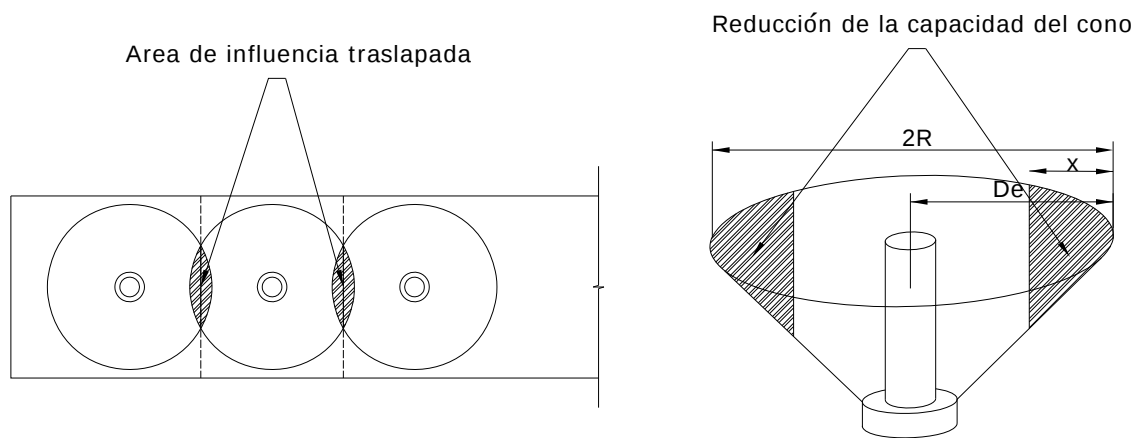


Figura 1.4. Reducción de área de corte efectiva por espaciamiento de conectores.

- Efecto de la distancia de los conectores al borde: Si los conectores se encuentran muy cerca al borde de la placa de concreto no desarrollan el cono de corte completo ya que parte de su área de influencia estará fuera de la placa. La *figura 1.5* ilustra este caso.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

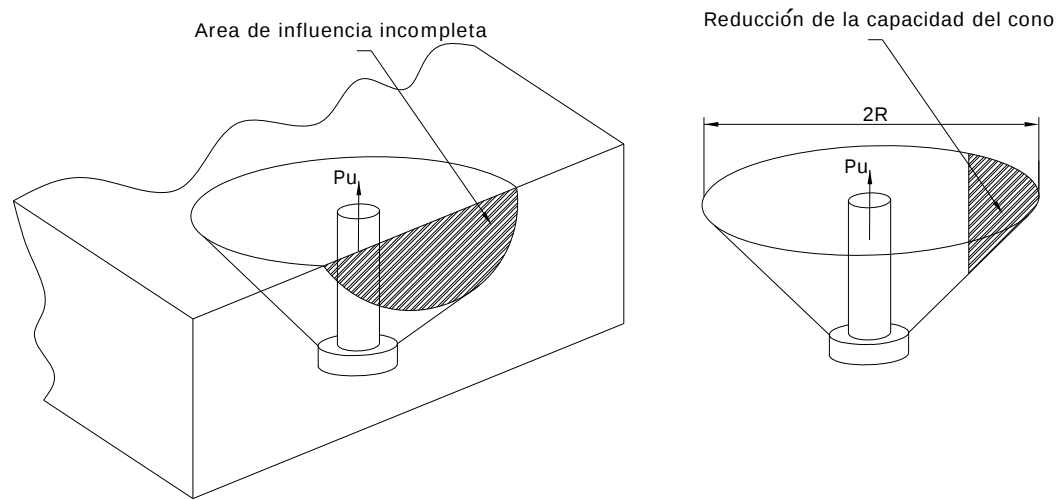


Figura 1.5. Reducción de área de corte efectiva por distancia al borde de la placa.

1.2.2. PLANTEAMIENTO ANALÍTICO

En la *figura 1.6* se muestra una viga construida con dos secciones sujetas entre si por medio de pernos verticales espaciados uniformemente, con el fin de que trabajen como una sola pieza.

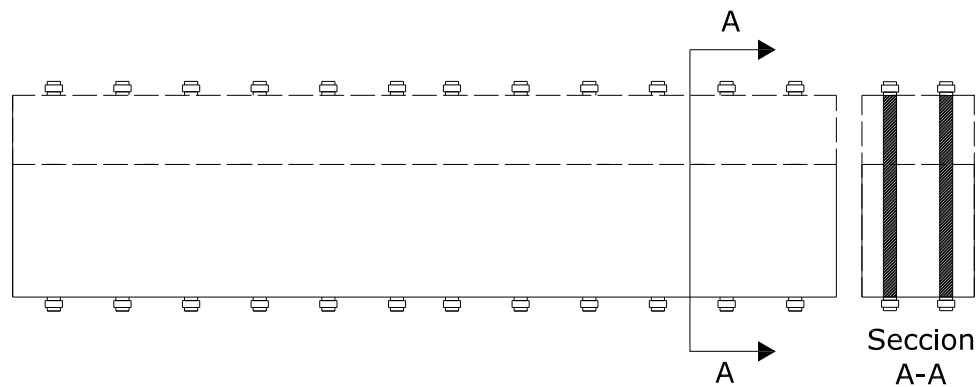


Figura 1.6. Viga construida con dos secciones sujetas con pernos verticales.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

Si a un segmento de viga se le aplica los momentos flexionantes M_A y M_B , en sus extremos inicial y final respectivamente, la sección transversal es solicitada a esfuerzos de flexión perpendiculares a la misma, de magnitud $\sigma_A = -\frac{M_A \cdot y}{I}$ y $\sigma_B = -\frac{M_B \cdot y}{I}$.

y : Distancia del centroide de la sección al eje neutro de la viga
 I : Momento de inercia de la sección

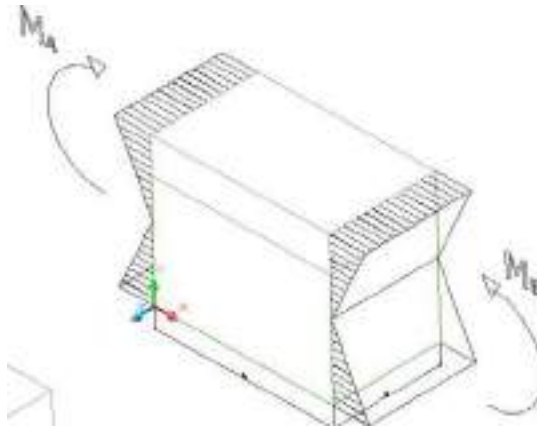


Figura 1.7. Segmento de viga para la deducción de flujo de cortante.

Es posible calcular la fuerza para un elemento de área infinitesimal dA sobre la cara A así:

$$dF_A = -\frac{M_A \cdot y}{I} \cdot dA$$

e integrando para la sección completa:

$$\int dF_A = -\frac{M_A}{I} \cdot \int y \cdot dA = -\frac{M_A}{I} \cdot Q$$

Si las magnitudes de los momentos aplicados (M_A y M_B) son iguales, el valor de las fuerzas encontradas es el mismo; pero si las magnitudes son distintas, la diferencia $dF = |F_A - F_B|$ es resistida por los pernos como fuerza de corte; en el que: $M_A = M_A$ y $M_B = M_A + dM$.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

$$dF = -\left(\frac{M_A + dM}{I}\right) \cdot Q - \left(-\frac{M_A}{I}\right) \cdot Q = -\frac{dM}{I} \cdot Q$$

Para no trabajar con una magnitud de fuerza dF que se desarrolla en una distancia dx , se maneja una fuerza por unidad de longitud, denominada flujo de cortante, y está dado por:

$$q = \frac{dF}{dx} = -\frac{dM}{dx} \cdot \frac{1}{I} \int y \cdot dA = \frac{V \cdot A \cdot y}{I} = \frac{V \cdot Q}{I}$$

Q : Primer momento de área sobre el cual se investiga el esfuerzo

V : Fuerza cortante que actúa en la sección

I : Momento de inercia de la sección

q : Flujo de cortante

Usualmente, el mecanismo de trabajo de las secciones compuestas es el siguiente:

- El cortante horizontal es transferido completamente a la interfase permaneciendo unidos los dos materiales hasta el momento de la ruptura de la misma como se observa en la *figura 1.8*.



Figura 1.8. Transferencia de cortante por rugosidad en la interfase

- Después de esto, la transferencia de esfuerzos es efectuada únicamente por los conectores como se aprecia en la *figura 1.9*, hasta llegar al estado límite de la capacidad de la sección donde se puede presentar la falla del concreto, de los conectores o combinada.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

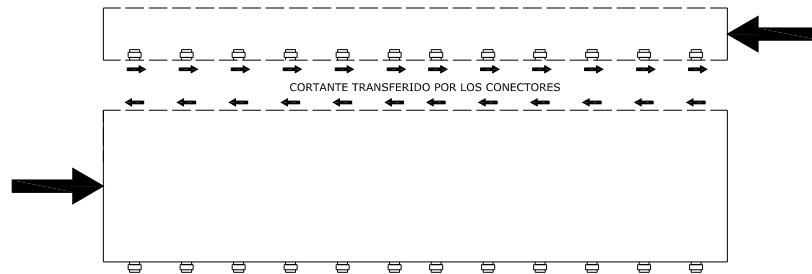


Figura 1.9. Transferencia de cortante por rugosidad en la interfase

- Falla del concreto: Hay degradación del concreto por compresión antes que el conector llegue a fluencia. Se genera un plano de falla el cual forma progresivamente un cono a 45° alrededor del conector (*Nelson Stud, 1977*).

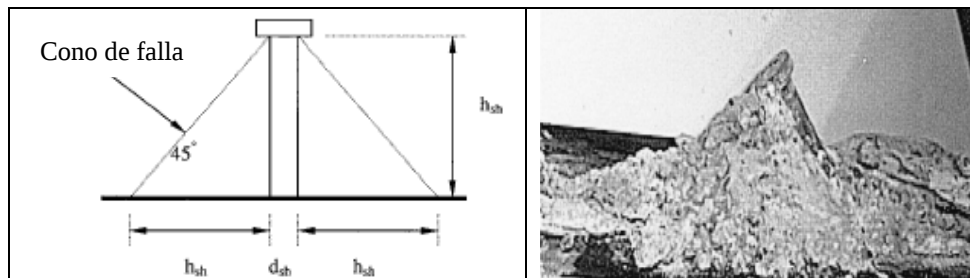


Figura 1.10. Cono de falla del concreto.

- Falla del conector: El conector llega a fluencia antes que ocurra falla del concreto.

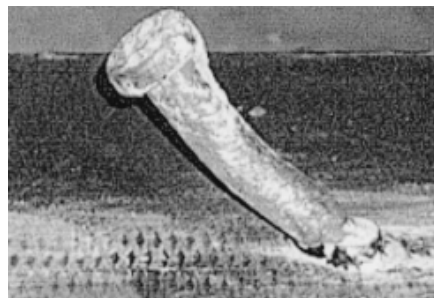


Figura 1.11. Falla por fluencia del conector.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

- Falla combinada: La falla de los dos materiales es casi simultánea; la diferencia de tiempo es muy corta.

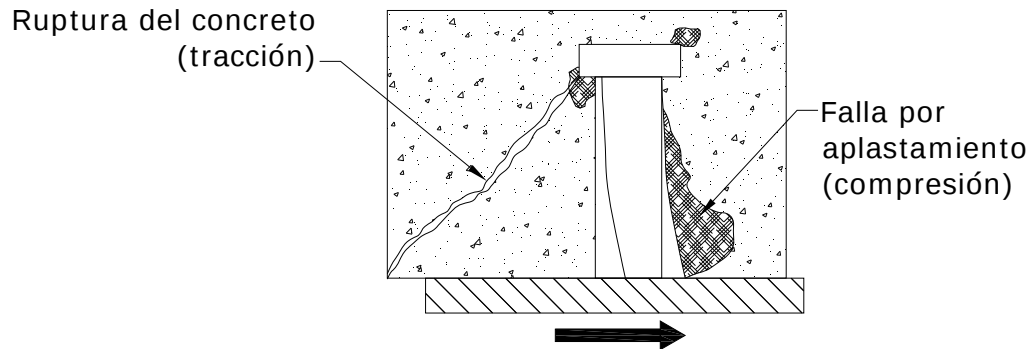


Figura 1.12. Falla combinada del concreto y el conector.

- Una vez ocurre la falla, los materiales actúan independientemente sin elementos de unión y por tanto sin transferencia alguna de carga.

1.3. ANTECEDENTES

La revisión bibliográfica acerca del comportamiento de conectores de cortante tipo espigo soldados a perfiles metálicos y embebidos en placas de concreto, conduce a una serie de formulaciones de diseño, sustentadas a partir de los resultados de ensayos de laboratorio. Los estudios más destacables se referencian a continuación;

1.3.1. VIEST (1956)

Este autor investigó el efecto del esfuerzo del concreto, el diámetro de los conectores tipo espigo y su espaciamiento en el comportamiento de la sección compuesta, por medio de ensayos push-out.

De los resultados de estos ensayos se destaca la proporcionalidad existente entre la capacidad de los conectores y el esfuerzo a compresión del concreto. La carga última,



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

para espigos con diámetro superior a 1" es proporcional al mismo, mientras que si el diámetro es inferior a 1", la carga última es proporcional al cuadrado del diámetro.

- o Conectores con diámetro menor a 1":

$$Q_{cr} = 5.25 \cdot d^2 \cdot f'_c \cdot \sqrt{\frac{4000}{f'_c}}$$

- o Conectores con diámetro mayor a 1":

$$Q_{cr} = 5 \cdot d \cdot f'_c \cdot \sqrt{\frac{4000}{f'_c}}$$

Q_{cr} : Carga crítica [lb]

d : diámetro del conector (espigo) [pul]

f'_c : Resistencia a la compresión del concreto [psi]

1.3.2. CHINN (1965)

Este investigador efectuó diez ensayos push-out y dos vigas de prueba, en modelos con placas macizas, usando concreto normal y concreto liviano. El diámetro de los conectores empleados en los diferentes modelos variaba entre 1/2" y 7/8". Previo a la fundida de las placas, los patines de la viga metálica se engrasaron reduciendo así el efecto de la fricción. Como resultado de la investigación se concluyó que el efecto de la descarga y la recarga no afecta el comportamiento de la curva Carga-Desplazamiento como se aprecia en la *figura 1.8*, de acuerdo con los resultados de dos ensayos cíclicos realizados.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

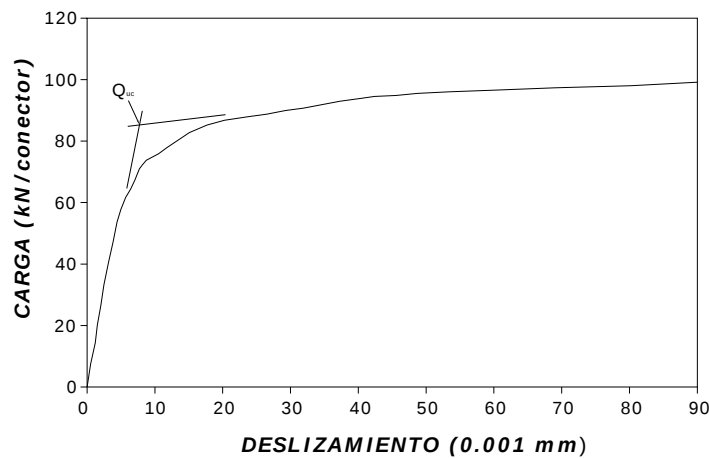


Figura 1.13. Curva Carga-Deslizamiento empleada por Chinn (1965)

La carga última, la cual ocurre para un deslizamiento alrededor de 0.030mm, se comporta según la relación:

$$Q_{uc} = 6.5 \cdot d^2 \cdot f'_c \cdot \sqrt{\frac{4000}{f'_c}}$$

Q_{cr} : Carga crítica [kg]

d : diámetro del conector (espigo) [pul]

f'_c : Resistencia a la compresión del concreto [psi]

1.3.3. SLUTTER Y DRISCOLL (1965)

Ellos estudiaron la resistencia última de secciones compuestas usando la teoría elástica y teoría de interacción entre placas de concreto y vigas de acero. Fueron ensayados nueve modelos push-out y doce vigas de sección compuesta de 4.5m de longitud, dos de las cuales no tenían conectores con el fin de investigar la adherencia natural entre concreto y acero. Los resultados de los ensayos se analizaron junto con datos obtenidos de otras investigaciones de condiciones similares, lo cual condujo a la siguiente expresión:

$$q_u = 930 \cdot d_s^2 \cdot \sqrt{f'_c}$$

q_u : Carga última del conector de cortante[kg]

d_s : diámetro del conector (espigo) [pul]

f'_c : Resistencia a la compresión del concreto [psi]



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

Esta ecuación limita su uso para concretos con resistencia a la compresión menor a 4000psi.

Los autores concluyen que la carga última de los conectores se relaciona directamente con la capacidad a flexión que tenga la viga: y que si existe la cantidad adecuada de conectores de cortante pueden ser colocados uniformemente espaciados, ya que las cargas son redistribuidas.

1.3.4. DAVIES (1967)

Este autor realizó 20 ensayos push-out a probetas en las cuales se consideraron como variables el número de conectores, espaciamiento y características de la soldadura. Se emplearon espigos de 3/8" de diámetro y 2" de longitud. Los patines de las vigas fueron engrasados previamente para reducir el efecto de la fricción en la interfase de acero y concreto

Los resultados de esta investigación conducen a decir que la carga última se incrementa linealmente a medida que se reduce el espaciamiento longitudinal entre conectores, pero esto podría conducir a una falla frágil en la sección, además que la carga máxima aumenta conforme se incrementa la cantidad de conectores soldados al patín de la viga.

1.3.5. OLLGAARD, SLUTTER Y FISHER (1971)

Ellos realizaron 48 ensayos push-out donde se consideraron como variables el esfuerzo a compresión, módulo de elasticidad y densidad del concreto, tipo de agregado, diámetro de los espigos y número de conectores por placa. Los diámetros de los conectores usados fueron 5/8" y 3/4"; y se emplearon concretos liviano y normal.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

Los modos de falla presentados fueron la fractura del concreto, el corte de los conectores y la combinación de las dos.

De los resultados de los ensayos se concluye que existe proporcionalidad entre el módulo de elasticidad, la resistencia a la compresión y la capacidad de los conectores.

Los autores de la investigación demostraron que la ecuación propuesta por *Slutter* y *Driscoll* no era aplicable para los diferentes valores de resistencia a compresión del concreto, y de acuerdo con los datos obtenidos en sus ensayos plantearon la siguiente expresión:

$$Q_u = 1.106 \cdot A_s \cdot f'_c{}^{0.3} \cdot E_c{}^{0.44}$$

Q_u : Carga última del conector [kg]

A_s : Área del conector [pul²]

f'_c : Resistencia a la compresión del concreto [psi]

E_c : Módulo de elasticidad del concreto [psi]

Redondeando los exponentes:

$$Q_u = 0.5 \cdot A_s \cdot \sqrt{f'_c \cdot E_c}$$

En esta ecuación se emplea el módulo de elasticidad que se obtiene a partir del ensayo de cilindros según la formulación de ACI⁶:

$$E_c = 3600 \cdot \sqrt{f'_c}$$

f'_c : Resistencia a la compresión del concreto [MPa]

E_c : Módulo de elasticidad del concreto [MPa]

La curva Carga-Desplazamiento obtenida con el registro continuo de datos fue:

$$Q = Q_u \cdot (1 - e^{-18 \cdot \Delta})^{\frac{2}{5}}$$

Q : Carga [kg]

Δ : Desplazamiento [pul]

⁶ American Concrete Institute (ACI)



1.3.6. JONHSON Y OEHLERS (1981)

Estos investigadores analizaron los resultados de 125 ensayos push-out, obtenidos de diferentes fuentes, y además experimentaron con 101 nuevas probetas. Según este estudio se revisó la incidencia de la soldadura que conecta el espigo al perfil, concluyendo que la existencia de un cordón menor de 5mm atrae el 70% del cortante que trasfiere la sección de concreto a la viga metálica.

1.3.7. OEHLERS Y COUGLAN (1986)

Ellos analizaron los resultados de 116 ensayos push-out, en los cuales se evaluaba la resistencia a corte de conectores tipo espigo. Los resultados demostraron que la rigidez de los conectores aumenta conforme aumenta la resistencia a la compresión del concreto. Los autores concluyen que las cargas últimas más bajas proceden de probetas en las cuales ha sido más incidente la cantidad de conectores embebidos y la forma del collar de soldadura.

1.3.8. OEHLERS Y JHONSON (1987)

Estos autores ensayaron 110 probetas con la metodología del push-out test, con el objetivo de generar una formulación que permita estimar la carga última a corte resistida por la sección compuesta. Los parámetros que se variaron en la experimentación fueron el área transversal de la soldadura que une el conector a la viga metálica, módulos de elasticidad del concreto y del conector, esfuerzo a compresión del concreto y esfuerzo de fluencia del conector. Los autores analizaron estáticamente los resultados obtenidos por Ollgaard, Johnson y Oehlers, encontrando que la carga de falla de la soldadura se puede expresar por medio de la relación:

$$P_p = K \cdot A \cdot \left(\frac{E_c}{E_s} \right)^{0.40} f_{cu}^{0.35} \cdot f_u^{0.65}$$



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

$$K = 4.1 - n^{-1/2}$$

n: Número de conectores con desplazamientos similares.

A: Área de corte de la soldadura.

E_c : Módulo de elasticidad del concreto.

E_s : Módulo de elasticidad del material de los conectores.

f_{cu} : Esfuerzo de compresión del concreto.

f_u : Esfuerzo de fluencia del material de los conectores.

De los resultados obtenidos por *Oehlers (1990)*, *Jayas y Hosain (1988)*, se deduce que los códigos de diseño no consideran todos los modos de falla que pueden ocurrir en los conectores; los códigos consideran principalmente la falla de la soldadura de los conectores. La falla del concreto se asume que se controla con el reforzamiento de la placa o limitando el recubrimiento de los conectores.

1.3.9. INVESTIGACIONES RECIENTES

Actualmente, la tendencia de la investigación tiende hacia la simulación de los ensayos mediante modelos matemáticos elaborados por computador por el alto costo y el tiempo que implica la experimentación con probetas a escala; pero la calibración de dichos modelos necesariamente está sujeta a parámetros de laboratorio, de tal manera que la simulación se ajuste tanto a la geometría como al comportamiento de los materiales y de la interfase bajo un estado tridimensional de esfuerzos y deformaciones.

Entre los pioneros de estos modelos se encuentra *Dennis Lam (2005)*, quien comparó los resultados obtenidos en ensayos push-out y la modelación por el método de los elementos finitos con el programa *ABAQUS*, en la cual se simula la sección compuesta usando espigos como elementos de transferencia de esfuerzos cortantes. De acuerdo con los resultados obtenidos, se concluyó que los modelos hechos mediante programas de elementos finitos pueden reemplazar los ensayos de laboratorio siempre y cuando se haya realizado la adecuada calibración.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

Otra modelación en elementos finitos fue realizada por *Mohsen Issa (2003)*, quien investiga la incidencia de grupos de conectores en la falla de la sección compuesta. Se realizó la comparación entre el análisis push-out y los resultados del modelo en elementos finitos en el programa *ANSYS*. Se concluyó que para las cargas últimas los resultados de la modelación en elementos finitos y la experimentación fueron muy similares.

Civjan (2003) es otro investigador encaminado al desarrollo de modelos por computador. En una de sus investigaciones presenta los resultados de los análisis obtenidos al modelar una sección compuesta ante carga cíclica, pero los resultados no fueron comparados con los obtenidos en los ensayos a escala.

1.3.10. INVESTIGACIONES REALIZADAS EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

En la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá, la investigación acerca de conectores de cortante se ha venido desarrollando gradualmente. *Caro y Muñoz (2003)* efectuaron ensayos a flexión sobre algunas probetas en sección compuesta empleando tornillos como conectores de cortante, los cuales fueron diseñados a través de la ecuación de la NSR-98. Con la falla repentina del concreto en las probetas ensayadas se evidenció que no es recomendable utilizar la normativa correspondiente para el diseño de los conectores de cortante tipo espigo para el diseño de tornillos.

Montaña (2004) tuvo como objetivo plantear una formulación para estimar el comportamiento de los conectores de varilla redonda usando como punto de referencia el comportamiento de los conectores tipo tornillo aplicando la formulación de NSR-98. Los resultados obtenidos en esta investigación no mostraron correspondencia entre el comportamiento de los elementos ensayados y las especificaciones de la norma.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

Larrañaga (2006) construyó pequeñas probetas conformadas por perfil MM y concreto de 28MPa, en las cuales se variaba el diámetro de los tornillos y la separación de los mismos con el fin de evaluar la incidencia de estos dos factores en la resistencia de la sección compuesta a través del ensayo de push-out. En estos ensayos, el uso de los perfiles de lámina delgada indujeron a problemas no previstos en la metodología del ensayo, dejando a la vista la necesidad de tener formulación independiente para perfiles de lámina delgada y perfiles de alma llena.

1.4. NORMATIVIDAD VIGENTE

Las *Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismorresistente NSR-98* en el capítulo F.2.9.5 contiene lo pertinente al diseño de conectores de cortante.

- *F.2.9.5.2. Fuerza cortante horizontal:* La fuerza cortante horizontal entre el punto de máximo momento positivo y el punto de momento cero, se halla calculando el menor valor entre:

$0.85 f'_c \cdot A_c$ (Fuerza máxima esperada por flexión en la placa de concreto)

$A_s \cdot F_y$ (Fuerza máxima esperada de tensión resistida por el perfil metálico)

$\sum Q_n$ (Suma de resistencias nominales de los conectores de cortante)

Donde:

f'_c : Esfuerzo de nominal de compresión del concreto.

A_c : Área de concreto

f_y : Esfuerzo de nominal de fluencia del acero.

A_s : Área de acero.

- *F.2.9.5.3. Resistencia de los conectores de cortante tipo espigo:* La resistencia nominal de un conector tipo espigo se calcula con la expresión:

$$Q_u = 0.5 \cdot A_s \cdot \sqrt{f'_c \cdot E_c}$$



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

Donde:

Q_u : Carga última del conector [kN]
 A_s : Área del conector [mm²]
 f'_c : Resistencia a la compresión del concreto [MPa]
 E_c : Módulo de elasticidad del concreto [MPa]

- *F.2.9.5.4. Resistencia de los conectores de cortante tipo canal:* La resistencia nominal de un conector tipo canal se calcula con la expresión:

$$Q_u = 0.3 \cdot (t_f + 0.5 \cdot t_w) \cdot L_c \cdot \sqrt{f'_c \cdot E_c}$$

Donde:

Q_u : Carga última del conector [kN]
 t_f : Espesor de la aleta del conector de cortante tipo canal [mm]
 t_w : Espesor del alma del conector de cortante tipo canal [mm]
 L_c : Longitud del conector de cortante tipo canal [mm]
 f'_c : Resistencia a la compresión del concreto [MPa]
 E_c : Módulo de elasticidad del concreto [MPa]

- *F.2.9.5.5. Número requerido de conectores de cortante:* la cantidad requerida de conectores de cortante se obtiene dividiendo la fuerza cortante horizontal de la sección entre la resistencia nominal de un conector.
- *F.2.9.5.6. Colocación y espaciamiento de los conectores de cortante:* Los conectores de cortante requeridos en cada lado del punto de máximo momento flector, positivo o negativo, se distribuirán uniformemente entre aquel punto y los puntos adyacentes de momento cero. Además, el número de conectores colocados entre cualquier carga concentrada y el punto más cercano de momento cero deberá ser suficiente para desarrollar el máximo momento requerido en el punto de la carga concentrada.

Los conectores de cortante deberán tener como mínimo 0.025m de recubrimiento lateral de concreto, y su diámetro deberá ser menor de 2.5 veces el espesor de la aleta a la cual se sueldan, a menos que estén colocados sobre el alma.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

El espaciamiento mínimo centro a centro de los conectores tipo espigo debe ser igual a 6 diámetros a lo largo el eje longitudinal de la viga compuesta y a 4 diámetros en dirección transversal al eje longitudinal de la viga. El espaciamiento máximo centro a centro de los conectores de cortante no debe exceder 8 veces el espesor total de la placa.



2. DESCRIPCIÓN EXPERIMENTAL

En este capítulo se presentan las consideraciones básicas que se tuvieron en cuenta para la fabricación de las probetas y la geometría establecida; posteriormente se describe el proceso constructivo de los modelos, el montaje y la instrumentación del ensayo tipo.

Junto con esto, se muestran los resultados de los ensayos realizados a los materiales que se emplearon en la construcción de las probetas, con los cuales se hizo un análisis comparativo estimando la carga nominal última esperada para cada configuración, identificando cual es el material que predomina en la falla.

2.1. CRITERIOS DE DISEÑO

El ensayo push-out como se aprecia en la *figura 2.1*, consiste en cargar hasta la falla una probeta compuesta por dos placas de concreto, las cuales se unen a una sección metálica solamente por medio de conectores de cortante. Esta prueba particularmente permite aislar el efecto de corte directo sobre los conectores en la transmisión de esfuerzos del concreto al perfil metálico y viceversa. Para el caso de esta investigación los conectores empleados son tornillos grado dos.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

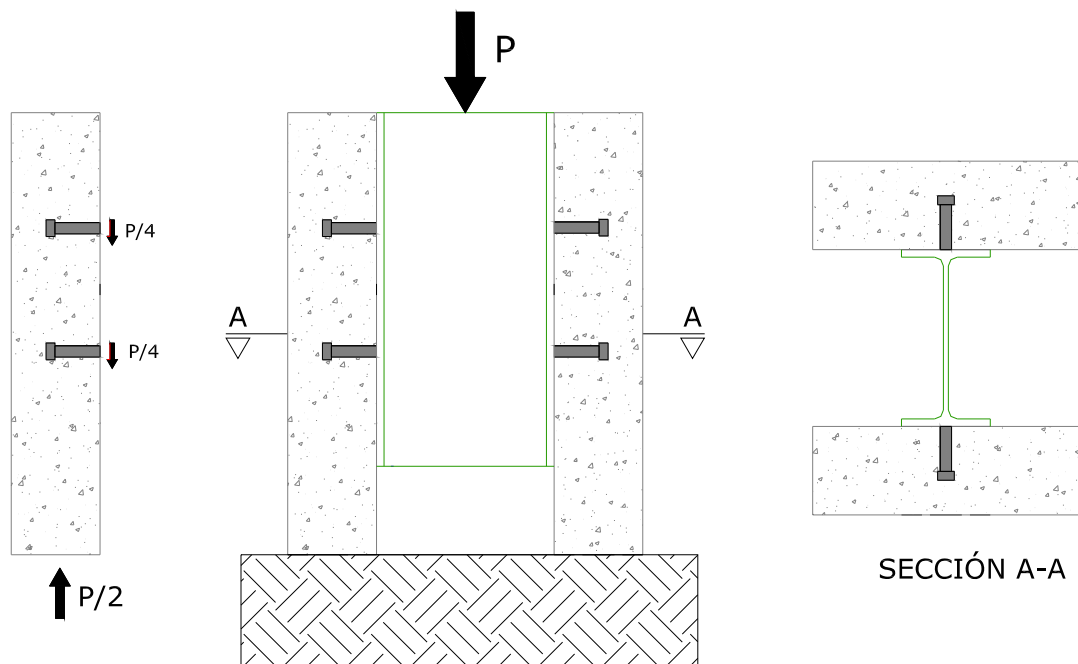


Figura 2.1 Descripción del modelo de ensayo push-out

Para establecer las dimensiones de las probetas se tuvo en cuenta la disponibilidad de equipos de los Laboratorios del Instituto de Extensión e Investigación (I.E.I.) de la Universidad Nacional. En este proyecto se contó con la máquina Universal de Ensayos ubicada en el Laboratorio de Ensayos Mecánicos, con capacidad máxima de 900kN.



Figura 2.2 Máquina de aplicación de carga



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

Se deja una diferencia de 0.10m entre las longitudes de la placa de concreto y el perfil metálico (*figura 2.3(b)*), espacio en el que se pretende colocar los dispositivos pertinentes a la instrumentación del ensayo para medir el desplazamiento entre el perfil y las losas de concreto.

2.2. DESCRIPCIÓN DE LAS PROBETAS

Con el objetivo de cumplir los requisitos del numeral F.2.3.9.1 de *NSR-98*, se adoptó el ancho de la placa de concreto como tres veces el ancho del patín de la viga metálica. Los especímenes de ensayo consisten en dos placas de concreto de 0.30m de alto, 0.50m de largo y 0.10m de ancho, adosadas a los patines de una viga metálica IPE200 por medio de conectores de cortante tipo tornillo, de diámetros 1/2", 5/8" Y 3/4", y con separaciones de 0.08m, 0.12m y 0.14m. La cantidad de conectores también variaba entre 1, 2 o 3 tornillos obteniendo así 18 configuraciones distintas cada una con tres probetas, para un total de 54. Con el fin de conocer el efecto de la fricción entre el perfil metálico y el concreto se fabricaron tres probetas sin conectores. En la *figura 2.3* se muestra la geometría de las probetas de ensayo.

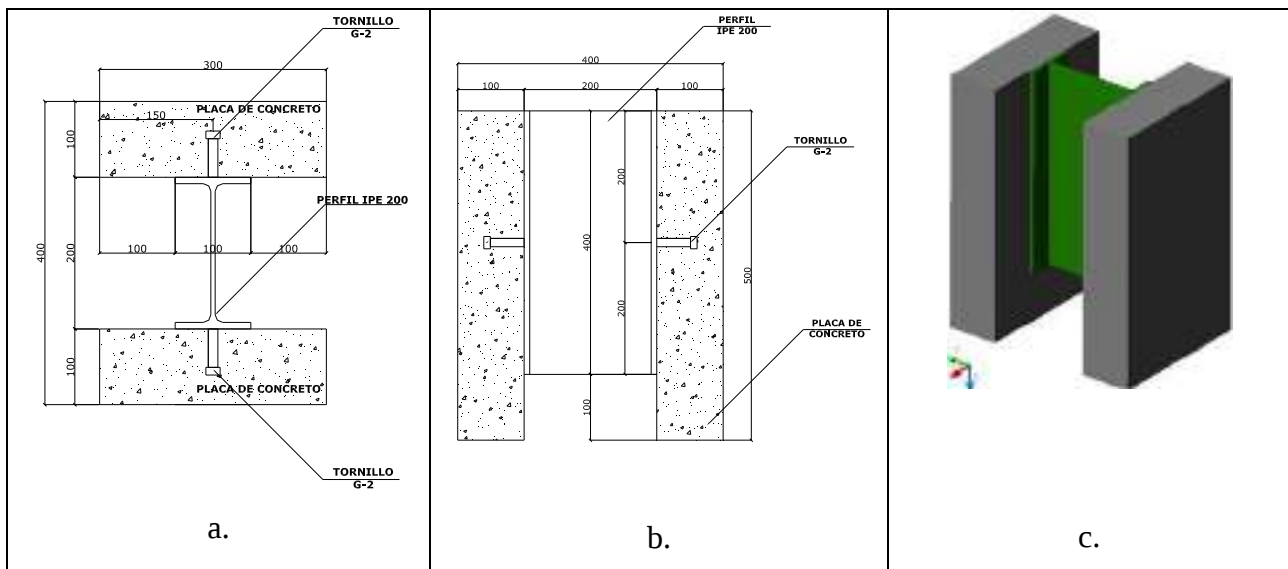
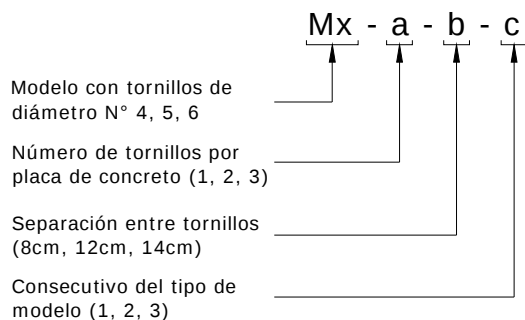


Figura 2.3 Configuración general de las probetas de ensayo. a) Vista en planta. b) Vista en alzada. c) Vista tridimensional.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

La nomenclatura utilizada para nombrar los modelos tanto en los ensayos como en el modelo por computador y a la cual se hará referencia en este documento es la siguiente:



Por ejemplo, la probeta con dos conectores de 5/8" separados 8cm con el consecutivo número tres (3) tendría la siguiente nomenclatura:

M5 - 2 - 8 - 3

En la tabla 2.1 se presenta la nomenclatura de todas las probetas ensayadas.

MODELO	TORNILLOS			PLACAS DE CONCRETO			PERFIL IPE 200
	φ (pul)	N. DE TORNILLOS	SEPARACIÓN (m)	b (m)	h (m)	L _c (m)	L _a (m)
M4-1-0-1,2,3	1/2	2	---	0.30	0.10	0.50	0.40
M4-2-8-1,2,3	1/2	4	0.08	0.30	0.10	0.50	0.40
M4-2-12-1,2,3	1/2	4	0.12	0.30	0.10	0.50	0.40
M4-2-14-1,2,3	1/2	4	0.14	0.30	0.10	0.50	0.40
M4-3-12-1,2,3	1/2	6	0.12	0.30	0.10	0.50	0.40
M4-3-14-1,2,3	1/2	6	0.14	0.30	0.10	0.50	0.40
M5-1-0-1,2,3	5/8	2	---	0.30	0.10	0.50	0.40
M5-2-8-1,2,3	5/8	4	0.08	0.30	0.10	0.50	0.40
M5-2-12-1,2,3	5/8	4	0.12	0.30	0.10	0.50	0.40
M5-2-14-1,2,3	5/8	4	0.14	0.30	0.10	0.50	0.40
M5-3-12-1,2,3	5/8	6	0.12	0.30	0.10	0.50	0.40
M5-3-14-1,2,3	5/8	6	0.14	0.30	0.10	0.50	0.40
M6-1-0-1,2,3	3/4	2	---	0.30	0.10	0.50	0.40
M6-2-8-1,2,3	3/4	4	0.08	0.30	0.10	0.50	0.40
M6-2-12-1,2,3	3/4	4	0.12	0.30	0.10	0.50	0.40
M6-2-14-1,2,3	3/4	4	0.14	0.30	0.10	0.50	0.40
M6-3-12-1,2,3	3/4	6	0.12	0.30	0.10	0.50	0.40
M6-3-14-1,2,3	3/4	6	0.14	0.30	0.10	0.50	0.40

Tabla 2.1 Numeración de las probetas de ensayo



2.3. MATERIALES

2.3.1. CONCRETO

El concreto empleado para la construcción de los modelos correspondió a una resistencia nominal de 21MPa y un tamaño máximo de agregado de 1".

Se tomaron 9 cilindros testigo el día de la fundida junto con 3 núcleos extraídos a las probetas ensayadas con el fin de tener resultados de resistencia a la compresión simple y módulo de elasticidad según las normas *NTC 550*⁷, *NTC 504*⁸ y *NTC 673*⁹, cuyo montaje se observa en la *figura 2.4*.



Figura 2.4 Ensayo de compresión simple en el concreto.

En la *figura 2.5* se muestra la curva de Esfuerzo Vs. Tiempo de acuerdo con los ensayos de los cilindros a 7, 14 y 28 días.

⁷ Elaboración y curado de especímenes de concreto en obra.

⁸ Refrentado de especímenes de cilindros de concreto.

⁹ Ensayo de resistencia a la compresión de cilindros de concreto.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

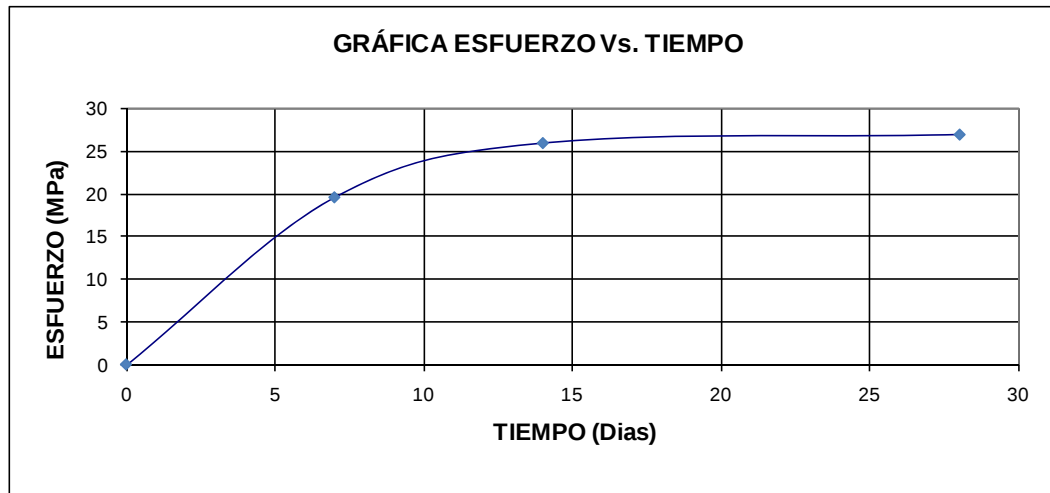


Figura 2.5 Gráfica Esfuerzo Vs. Tiempo de cilindros testigo de concreto.

En la *tabla 2.2* se encuentran los resultados de las pruebas realizadas a los núcleos.

No.	ENSAYO	f'_c (MPa)	E_c (MPa)
1	NÚCLEO 1	41.0	
2	NÚCLEO 2	43.6	20781
3	NÚCLEO 3	42.6	21868
PROMEDIO		42.4	21324.3

Tabla 2.2 Resumen de los resultados de los ensayos del concreto

Los resultados detallados de los ensayos se encuentran en el *anexo D*.

Existe una diferencia del 57% entre los resultados en los ensayos realizados a los cilindros y a los núcleos, lo cual puede atribuirse a la diferencia de edades a que fueron realizados los ensayos y la manipulación de las muestras en estado fresco y durante su curado. Para efectos de modelación numérica y análisis de resultados se trabajó con los resultados de los núcleos.



2.3.2. CONECTORES TIPO TORNILLO

Fueron utilizados tornillos grado dos (2) de cabeza hexagonal de 2" de longitud para diámetros de 1/2", 5/8" y 3/4." y resistencia nominal de 500MPa. Este tipo de conectores fue seleccionado ya que no presenta tratamientos térmicos en su fabricación que lleguen a afectar la resistencia cuando se realice la aplicación de la soldadura. Las características geométricas se aprecian en la *tabla 2.3*.

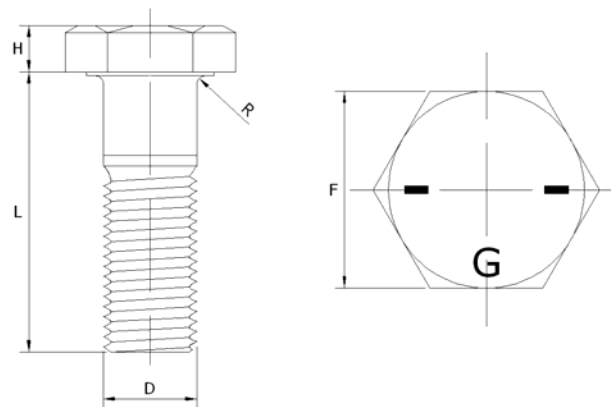


Figura 2.6 Geometría del tornillo

<i>D</i> DIAMETRO (pul)	<i>F</i> DISTANCIA ENTRE CARAS CARAS (m)	<i>H</i> ALTURA DE LA CABEZA (m)	LONGITUD DE LA ROSCA (m)	<i>L</i> LONGITUD (m)
1/2"	0.019	0.008	0.032	0.05
5/8"	0.024	0.010	0.038	0.05
3/4"	0.029	0.012	0.045	0.05

Tabla 2.3 Propiedades geométricas de los conectores tipo tornillo

Los tornillos se ensayaron a tensión simple y a cortante según las normas NTC 858¹⁰ y NTC 4034¹¹, como se observa en la *figura 2.7*. Los ensayos fueron realizados en la Escuela Colombiana de Ingeniería y los resultados que se obtuvieron se indican en las *tablas 2.4 y 2.5*.

¹⁰ Tornillos, pernos y partes similares roscadas. Requisitos generales.

¹¹ Elementos de fijación. Especificación para tornillos y pernos de acero al carbono con 410 Mpa de resistencia a la tensión.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

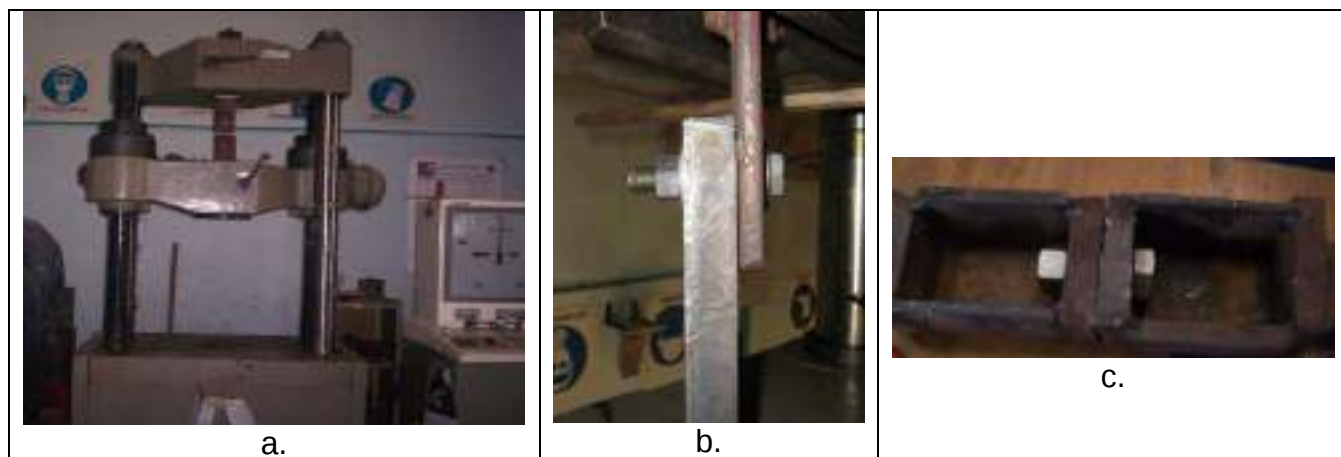


Figura 2.7 Ensayos en los tornillos. a) Máquina de ensayos. b) Montaje de ensayo de corte. c) Montaje de ensayo de tensión

No	DIÁMETRO	CARGA MÁXIMA (kN)	ESFUERZO MÁXIMO (MPa)	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA
1	1/2	73.87	0.58	Deslizamiento de la rosca
2	1/2	69.55	0.55	Deslizamiento de la rosca
3	5/8	77.30	0.39	Por tornillo
4	5/8	75.78	0.38	Por tornillo
5	3/4	132.24	0.46	Deslizamiento de la rosca
6	3/4	92.12	0.32	Por tornillo
PROMEDIO 1/2:		72 kN	0.57 MPa	
PROMEDIO 5/8:		77 kN	0.39 MPa	
PROMEDIO 3/4:		112 kN	0.39 MPa	

Tabla 2.4 Resumen de los resultados de los ensayos de los tornillos a tensión simple

No	DIÁMETRO	CARGA MÁXIMA (kN)	ESFUERZO MÁXIMO (MPa)	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA
1	1/2	47.28	0.37	Por tornillo
2	1/2	50.08	0.40	Por tornillo
3	5/8	62.78	0.32	Por tornillo
4	5/8	63.96	0.32	Por tornillo
5	5/8	64.60	0.33	Por tornillo
6	5/8	65.24	0.33	Por tornillo
7	5/8	65.09	0.33	Por tornillo
8	5/8	63.62	0.32	Por tornillo
9	3/4	82.31	0.29	Por tornillo
10	3/4	100.94	0.35	Por tornillo
PROMEDIO 1/2:		49 kN	0.33 MPa	
PROMEDIO 5/8:		64 kN	0.33 MPa	
PROMEDIO 3/4:		92 kN	0.32 MPa	

Tabla 2.5 Resumen de los resultados de los ensayos de los tornillos a cortante



2.3.3. PERFILES METÁLICOS (IPE200)

Los perfiles empleados para la construcción de los modelos fueron IPE200, los cuales tenían como resistencia nominal $F_y = 325$ MPa y $F_u = 480$ MPa.

Se extrajeron probetas de acero para realizar los ensayos con la geometría que se aprecia en la *figura 2.8*.

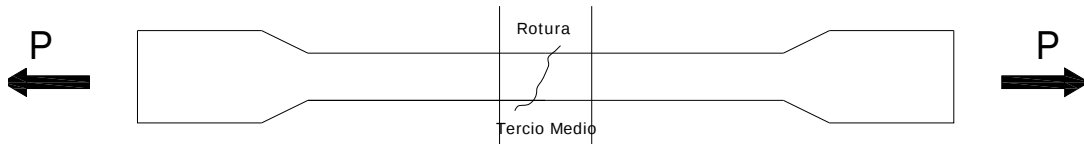


Figura 2.8 Probeta de ensayo perfil IPE200

Fueron ensayadas dos probetas a tensión simple según la norma *NTC 1920*¹² cuyos resultados se presentan en la *tabla 2-6*.

No.	ENSAYO	FLUENCIA (MPa)	FALLA (MPa)
1	PROBETA 1	344	496
2	PROBETA 2	333	486
PROMEDIO		339 MPa	491 MPa

Tabla 2.6 Resumen de los resultados de los ensayos de las probetas del perfil IPE200

En el análisis realizado al perfil se calculó la carga máxima a la compresión que podría resistir de acuerdo con las especificaciones de *AISC*¹³-05 teniendo como base sus propiedades geométricas y las propiedades mecánicas obtenidas en los ensayos.

¹² Acero estructural

¹³ American Institute of Steel Construction

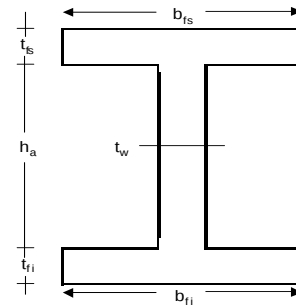


COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LA SECCIÓN

L	400 mm
F _y	33.85 kg/mm ²
E	20400 kg/mm ²
F _r	11.60 kg/mm ²
h _c	183.0 mm
t _w	5.6 mm
b _f	100.0 mm
t _f	8.5 mm
r _x	82.6 mm
d	200 mm
Área	2848 mm ²
Cb	1.00

IPE200



$$\frac{h_c}{t_w} \leq \frac{813}{\sqrt{F_y}}$$

$$\frac{h_c}{t_w} = 32.68 <$$

$$\frac{813}{\sqrt{F_y}} = 139.74 \text{ Diseño como viga laminada}$$

Revisión de aletas

$$\frac{b_f}{2 \cdot t_f} \leq \frac{55}{\sqrt{F_y}}$$

$$\frac{b_f}{2 \cdot t_f} = 5.88 <$$

$$\frac{55}{\sqrt{F_y}} = 9.45 \text{ O.K.}$$

Revisión del alma

$$\frac{h_c}{t_w} \leq \frac{537}{\sqrt{F_y}}$$

$$\frac{h_c}{t_w} = 32.68 <$$

$$\frac{537}{\sqrt{F_y}} = 92.3 \text{ O.K.}$$

Resistencia de diseño a la compresión

$$\lambda = \left(\frac{K \cdot L}{r} \right)_{\max} = 4.84$$

si $\lambda_c \leq 1.5$

$$F_{cr} = (0.658^{\lambda_c^2}) \cdot F_y$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{E}} = 0.06$$

si $\lambda_c > 1.5$

$$F_{cr} = \left[\frac{0.877}{\lambda_c^2} \right] \cdot F_y$$

$$F_{cr} = 32.12 \text{ kg/mm}^2$$

$$P_c = 77748.17 \text{ kg}$$

$$P_c = 762.71 \text{ kN}$$

De acuerdo con la revisión de diseño, no se produce pandeo local en aletas ni arrugamiento del alma. Es de destacar que para las dimensiones y para las cargas últimas esperadas para los ensayos de las probetas de las secciones compuestas, el perfil no falla por plastificación de la sección, lo cual indica que todo el trabajo será desarrollado en el rango elástico en lo referente al perfil.

2.3.4. SOLDADURA

La soldadura nominal empleada fue E7018. Para la evaluación de su resistencia se efectuaron 6 ensayos de tensión y 6 ensayos de corte a probetas con tornillo obteniendo los resultados que se presentan en las *tablas 2.7 y 2.8*.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

No	DIÁMETRO	CARGA MÁXIMA (kN)	ESFUERZO MÁXIMO (MPa)	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA
1	1/2	38.41	0.30	Por soldadura
2	1/2	34.53	0.27	Por soldadura
3	5/8	70.98	0.36	Por soldadura
4	5/8	41.05	0.21	Por soldadura
5	3/4	77.79	0.27	Por soldadura
6	3/4	63.77	0.22	Por soldadura
PROMEDIO 1/2:		36 kN	0.29 MPa	
PROMEDIO 5/8:		56 kN	0.28 MPa	
PROMEDIO 3/4:		71 kN	0.25 MPa	

Tabla 2.7 Resumen de los resultados de los ensayos de la soldadura por tensión simple

No	DIÁMETRO	CARGA MÁXIMA (kN)	ESFUERZO MÁXIMO (MPa)	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA
1	1/2	48.46	0.38	Por tornillo
2	1/2	47.14	0.37	Por tornillo
3	5/8	67.69	0.34	Por soldadura
4	5/8	66.76	0.34	Por soldadura
5	3/4	93.39	0.33	Por soldadura
6	3/4	65.43	0.23	Por tornillo
PROMEDIO 1/2:		48 kN	0.38 MPa	
PROMEDIO 5/8:		67 kN	0.34 MPa	
PROMEDIO 3/4:		79 kN	0.28 MPa	

Tabla 2.8 Resumen de los resultados de los ensayos de la soldadura por cortante

2.4. CARGAS NOMINALES

Con base en los resultados de las pruebas realizadas al concreto, la soldadura, el perfil metálico y los conectores, se estableció la carga teórica de falla para cada una de las configuraciones de probetas existentes de la siguiente manera:

- En la *tabla 2.9* se muestra el análisis realizado con el fin de calcular la carga nominal de falla de los conectores de acuerdo con la formulación de NSR-98 (F.2.9.5.3) para espigos, y la carga de falla del concreto para escoger como carga última la menor entre las dos.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

- En la *tabla 2.10* se encuentra el análisis efectuado para establecer la carga nominal de falla de compresión y corte en el concreto junto con la carga de plastificación del perfil metálico.
- En la *tabla 2.11* se revisa la soldadura, calculando su resistencia nominal de falla por tensión y corte.

En la *tabla 2.12* se resume la información de cargas nominales calculadas y en la última columna se muestra el material que gobierna la correspondiente falla esperada de cada modelo.



**COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO
GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA**

CONECTORES	MODELO	φ (pul)	N. DE TORNILLOS	SEPARACIÓN (m)	A_{sc} (m ²)	A_{sc} (mm ²)	f'_c (MPa)	E_c (MPa)	F_u tensión (MPa)	Q_n - NSR98* (kN)	Q_n - NSR98** (kN)	Q_n - NSR98*** (kN)
	M4-1-0	1/2	2	---	1.27E-04	127	42.4	21324	577.1	240.9	292.4	240.9
	M4-2-8	1/2	4	0.08	1.27E-04	127	42.4	21324	577.1	481.8	584.8	481.8
	M4-2-12	1/2	4	0.12	1.27E-04	127	42.4	21324	577.1	481.8	584.8	481.8
	M4-2-14	1/2	4	0.14	1.27E-04	127	42.4	21324	577.1	481.8	584.8	481.8
	M4-3-12	1/2	6	0.12	1.27E-04	127	42.4	21324	577.1	722.7	877.2	722.7
	M4-3-14	1/2	6	0.14	1.27E-04	127	42.4	21324	577.1	722.7	877.2	722.7
	M5-1-0	5/8	2	---	1.98E-04	198	42.4	21324	394.2	376.4	312.1	312.1
	M5-2-8	5/8	4	0.08	1.98E-04	198	42.4	21324	394.2	752.8	624.2	624.2
	M5-2-12	5/8	4	0.12	1.98E-04	198	42.4	21324	394.2	752.8	624.2	624.2
	M5-2-14	5/8	4	0.14	1.98E-04	198	42.4	21324	394.2	752.8	624.2	624.2
	M5-3-12	5/8	6	0.12	1.98E-04	198	42.4	21324	394.2	1129.2	936.3	936.3
	M5-3-14	5/8	6	0.14	1.98E-04	198	42.4	21324	394.2	1129.2	936.3	936.3
	M6-1-0	3/4	2	---	2.85E-04	285	42.4	21324	401.2	542.0	457.4	457.4
	M6-2-8	3/4	4	0.08	2.85E-04	285	42.4	21324	401.2	1084.1	914.8	914.8
	M6-2-12	3/4	4	0.12	2.85E-04	285	42.4	21324	401.2	1084.1	914.8	914.8
	M6-2-14	3/4	4	0.14	2.85E-04	285	42.4	21324	401.2	1084.1	914.8	914.8
	M6-3-12	3/4	6	0.12	2.85E-04	285	42.4	21324	401.2	1626.1	1372.2	1372.2
	M6-3-14	3/4	6	0.14	2.85E-04	285	42.4	21324	401.2	1626.1	1372.2	1372.2

A_{sc} : Área transversal de los conectores

f'_c : Resistencia a la compresión del concreto

E_c : Módulo de elasticidad del concreto

F_u : Resistencia a la tensión de los conectores

Q_n : Carga nominal máxima esperada para la falla de los tornillos (kN).

Q_n - NSR98* $Q_n = 0.5 \cdot A_{sc} \cdot \sqrt{f'_c \cdot E_c}$ (F.2.9.5.3 NSR-98)

Q_n - NSR98** $Q_n = F_u \cdot A_{sc}$ (F.2.9.5.3 NSR-98)

Q_n - NSR98*** Mínimo valor de carga entre Q_n - NSR98** y Q_n - NSR98*

Tabla 2.9 Cargas nominales de falla para los conectores tipo tornillo



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

		CONCRETO						PERFIL					
						1 PLACA	2 PLACAS						
CONCRETO	MODELO	b (m)	h (m)	A _c (m ²)	f' _c (MPa)	0.85 A _c f' _c (kN)	0.85 A _c f' _c (kN)	A _s (mm ²)	F _y (MPa)	F _y A _s (kN)	FC (kN)	FA (kN)	FCC (kN)
	M4-1-0	0.30	0.10	0.03	42.4	1081	2162	2848	338.5	964	2162	964	65.1
	M4-2-8	0.30	0.10	0.03	42.4	1081	2162	2848	338.5	964	2162	964	73.8
	M4-2-12	0.30	0.10	0.03	42.4	1081	2162	2848	338.5	964	2162	964	78.1
	M4-2-14	0.30	0.10	0.03	42.4	1081	2162	2848	338.5	964	2162	964	80.3
	M4-3-12	0.30	0.10	0.03	42.4	1081	2162	2848	338.5	964	2162	964	91.2
	M4-3-14	0.30	0.10	0.03	42.4	1081	2162	2848	338.5	964	2162	964	95.5
	M5-1-0	0.30	0.10	0.03	42.4	1081	2162	2848	338.5	964	2162	964	65.1
	M5-2-8	0.30	0.10	0.03	42.4	1081	2162	2848	338.5	964	2162	964	73.8
	M5-2-12	0.30	0.10	0.03	42.4	1081	2162	2848	338.5	964	2162	964	78.1
	M5-2-14	0.30	0.10	0.03	42.4	1081	2162	2848	338.5	964	2162	964	80.3
	M5-3-12	0.30	0.10	0.03	42.4	1081	2162	2848	338.5	964	2162	964	91.2
	M5-3-14	0.30	0.10	0.03	42.4	1081	2162	2848	338.5	964	2162	964	95.5
	M6-1-0	0.30	0.10	0.03	42.4	1081	2162	2848	338.5	964	2162	964	65.1
	M6-2-8	0.30	0.10	0.03	42.4	1081	2162	2848	338.5	964	2162	964	73.8
	M6-2-12	0.30	0.10	0.03	42.4	1081	2162	2848	338.5	964	2162	964	78.1
	M6-2-14	0.30	0.10	0.03	42.4	1081	2162	2848	338.5	964	2162	964	80.3
	M6-3-12	0.30	0.10	0.03	42.4	1081	2162	2848	338.5	964	2162	964	91.2
M6-3-14	0.30	0.10	0.03	42.4	1081	2162	2848	338.5	964	2162	964	95.5	
b: Ancho de la placa de concreto													
h: Espesor de la placa de concreto													
A _c : Área transversal sección de concreto													
A _s : Área transversal sección del perfil metálico													
S: Separación entre los conectores													
N _c : Número de conectores por placa													
F _y : Resistencia de fluencia de los conectores													
FC: Fuerza máxima esperada por flexión en la placa de concreto FC = 0.85 · A _c · f' _c (F.2.9.5.2 NSR-98)													
FA: Fuerza máxima esperada de tensión resistida por el perfil metálico FA = F _y · A _s (F.2.9.5.2 NSR-98)													
FCC: Fuerza máxima esperada de corte en la zona de colocación de los conectores FCC = $\frac{\sqrt{f'_c}}{6} \cdot S \cdot (N_c - 1) \cdot h$ (Ecuación planteada en la investigación)													

Tabla 2.10 Cargas nominales de falla para el concreto



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO
GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

SOLDADURA	MODELO	φ (pul)	N. DE TORNILLOS	t (mm)	L (mm)	A_{sol} (mm ²)	F_y (MPa)	$R_{n \text{ corte}}$ (kN)	$R_{n \text{ tensión}}$ (kN)	Res Soldadura (kN)
	M4-1-0	1/2	2	3	49.32	104.63	339	61.52	70.83	61.52
	M4-2-8	1/2	4	3	49.32	104.63	339	123.04	141.67	123.04
	M4-2-12	1/2	4	3	49.32	104.63	339	123.04	141.67	123.04
	M4-2-14	1/2	4	3	49.32	104.63	339	123.04	141.67	123.04
	M4-3-12	1/2	6	3	49.32	104.63	339	184.57	212.50	184.57
	M4-3-14	1/2	6	3	49.32	104.63	339	184.57	212.50	184.57
	M5-1-0	5/8	2	3	59.30	125.79	339	73.96	85.16	73.96
	M5-2-8	5/8	4	3	59.30	125.79	339	147.93	170.32	147.93
	M5-2-12	5/8	4	3	59.30	125.79	339	147.93	170.32	147.93
	M5-2-14	5/8	4	3	59.30	125.79	339	147.93	170.32	147.93
	M5-3-12	5/8	6	3	59.30	125.79	339	221.89	255.48	221.89
	M5-3-14	5/8	6	3	59.30	125.79	339	221.89	255.48	221.89
	M6-1-0	3/4	2	3	69.27	146.95	339	86.41	99.48	86.41
	M6-2-8	3/4	4	3	69.27	146.95	339	172.81	198.97	172.81
	M6-2-12	3/4	4	3	69.27	146.95	339	172.81	198.97	172.81
	M6-2-14	3/4	4	3	69.27	146.95	339	172.81	198.97	172.81
	M6-3-12	3/4	6	3	69.27	146.95	339	259.22	298.45	259.22
	M6-3-14	3/4	6	3	69.27	146.95	339	259.22	298.45	259.22

t: Tamano de la soldadura

L: Longitud de la soldadura $L = \pi \cdot (\varphi + t)$

A_{sol} : Área de la soldadura $A_{sol} = t \cdot L \cdot \cos(45^\circ)$

N_c : Número de conectores por placa

F_y : Resistencia de fluencia de la soldadura

$R_{n \text{ corte}}$: Resistencia nominal a corte de la soldadura $R_{n \text{ corte}} = 0.6 \cdot A_{sol} \cdot E70XX \cdot N_c$ (F.2.10.2.4 NSR-98)

$R_{n \text{ tensión}}$: Resistencia nominal a tensión de la soldadura $R_{n \text{ tensión}} = A_{sol} \cdot F_y$ (F.2.10.2.4 NSR-98)

Tabla 2.11 Cargas nominales de falla para la soldadura



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

MODELO	Qn - NSR98*** (kN)	FC (kN)	FCC (kN)	FA (kN)	Res. Corte (kN)	Res. Tensión (kN)	CARGA NOMINAL (kN)	MATERIAL DE FALLA
M4-1-0	120.5	2162	65.12	964	61.52	70.83	61.52	SOLDADURA
M4-2-8	240.9	2162	73.80	964	123.04	141.67	73.80	CONCRETO
M4-2-12	240.9	2162	78.14	964	123.04	141.67	78.14	CONCRETO
M4-2-14	240.9	2162	80.31	964	123.04	141.67	80.31	CONCRETO
M4-3-12	361.4	2162	91.16	964	184.57	212.50	91.16	CONCRETO
M4-3-14	361.4	2162	95.50	964	184.57	212.50	95.50	CONCRETO
M5-1-0	156.1	2162	65.12	964	73.96	85.16	65.12	CONCRETO
M5-2-8	312.1	2162	73.80	964	147.93	170.32	73.80	CONCRETO
M5-2-12	312.1	2162	78.14	964	147.93	170.32	78.14	CONCRETO
M5-2-14	312.1	2162	80.31	964	147.93	170.32	80.31	CONCRETO
M5-3-12	468.2	2162	91.16	964	221.89	255.48	91.16	CONCRETO
M5-3-14	468.2	2162	95.50	964	221.89	255.48	95.50	CONCRETO
M6-1-0	228.7	2162	65.12	964	86.41	99.48	65.12	CONCRETO
M6-2-8	457.4	2162	73.80	964	172.81	198.97	73.80	CONCRETO
M6-2-12	457.4	2162	78.14	964	172.81	198.97	78.14	CONCRETO
M6-2-14	457.4	2162	80.31	964	172.81	198.97	80.31	CONCRETO
M6-3-12	686.1	2162	91.16	964	259.22	298.45	91.16	CONCRETO
M6-3-14	686.1	2162	95.50	964	259.22	298.45	95.50	CONCRETO

Tabla 2.12 Resumen de los resultados de las cargas nominales

2.5. PROCESO CONSTRUCTIVO

De acuerdo con las configuraciones planteadas en la *tabla 2.1*, las probetas se fabricaron con perfiles IPE200 de 0.40m de largo, a los cuales se soldaron 1, 2 ó 3 tornillos de 2" de longitud y diámetros de 1/2", 5/8" y 3/4", con soldadura E7018 como se observa en la *figura 2.9*. Los espaciamientos usados entre conectores fueron 0.08m, 0.12m y 0.14m.

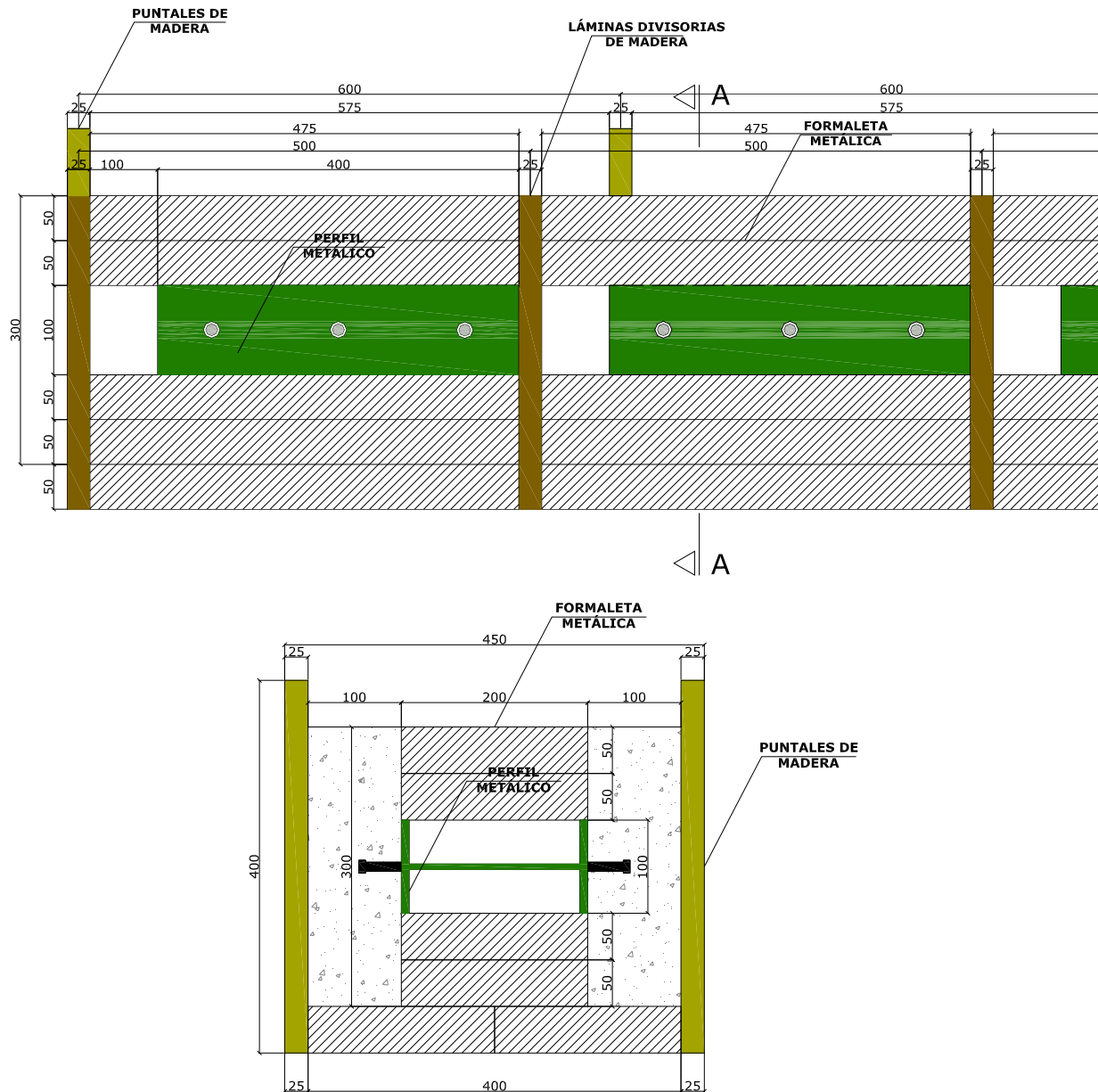


Figura 2.9 Perfiles metálicos antes de la fundida. a) Probeta sin tornillos. b) Probeta con un tornillo. c) Probeta con dos tornillos. d) Probeta con tres tornillos.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

Como formaletas se emplearon secciones de lámina metálica de 0.05m, 0.10m y 0.20m, y tableros de madera limpiados previamente, modulados de acuerdo con las dimensiones requeridas para las probetas como se puede observar en las *figuras 2.10 y 2.11*.



SECCIÓN A-A

Figura 2.10 Modulación de la formaleta



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

Como testeros de borde se utilizaron tableros de madera apuntalados cada 0.60m con el propósito que la geometría de las probetas se mantuviera al momento de vaciar el concreto.



Figura 2.11 Formaleta empleada para la elaboración de las probetas.

Con el objetivo de mejorar el acabado de las probetas y afinar el detalle de los voladizos de las plaquetas de concreto fueron usadas láminas de madera que separaran las probetas.

La formaleta fue impregnada con aceite quemado con el fin de evitar problemas de pega con el concreto endurecido en la etapa de desencofrado.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA



Figura 2.12 Formaleta impregnada de aceite quemado.

Una vez lista la formaleta se procedió al vaciado del concreto, el vibrado y el afinado en los respectivos moldes terminados y a la toma de 9 cilindros testigo para verificar la resistencia del concreto de acuerdo con la norma *NTC 550*.

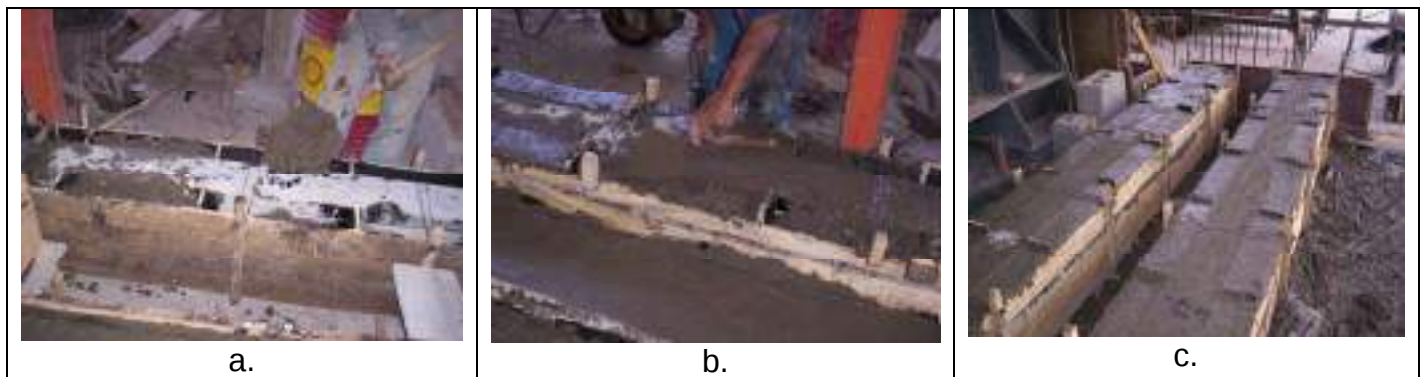


Figura 2.13 a). Vaciado del concreto, b).Afinado de modelos, c) Estado final de los modelos después de la fundida.

El curado de las probetas se realizó esparciendo arena sobre toda la superficie de concreto expuesta al aire y el humedecimiento de la misma con agua dos veces al día. Después del desencofrado las probetas fueron rociadas con agua durante 10 días.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

El retiro de la formaleta se efectuó tres días después del vaciado del concreto. Durante esta actividad, se separaron las probetas que no contenían conectores de las placas de concreto del perfil, sin permitir conocer el efecto de la adherencia y la fricción entre el acero y el concreto durante los ensayos. Las demás probetas salieron completas en perfecto estado, salvo algunas irregularidades en las superficies de apoyo ocasionadas por insuficiencia en el apuntalamiento, falta de control, supervisión y cuidado con el alineamiento de las probetas en el momento del vaciado de concreto.



Figura 2.14 Probetas sin conector las cuales se soltaron durante el desformaleteado



Figura 2.15 Estado final de las probetas después del desformaleteado



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

2.6. MONTAJE

Con el propósito de corregir las irregularidades en las bases de los modelos, se utilizaron soportes conformados por perfiles metálicos tipo canal rellenos con arena, lo cual proporciona la adecuada distribución de esfuerzos en toda la superficie de apoyo como se observa en la figura 2.16. Antes de cargar el cada probeta, se aplicó una pequeña carga con la cual se pretendía que todo el sistema encajara totalmente y la arena se densificara.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

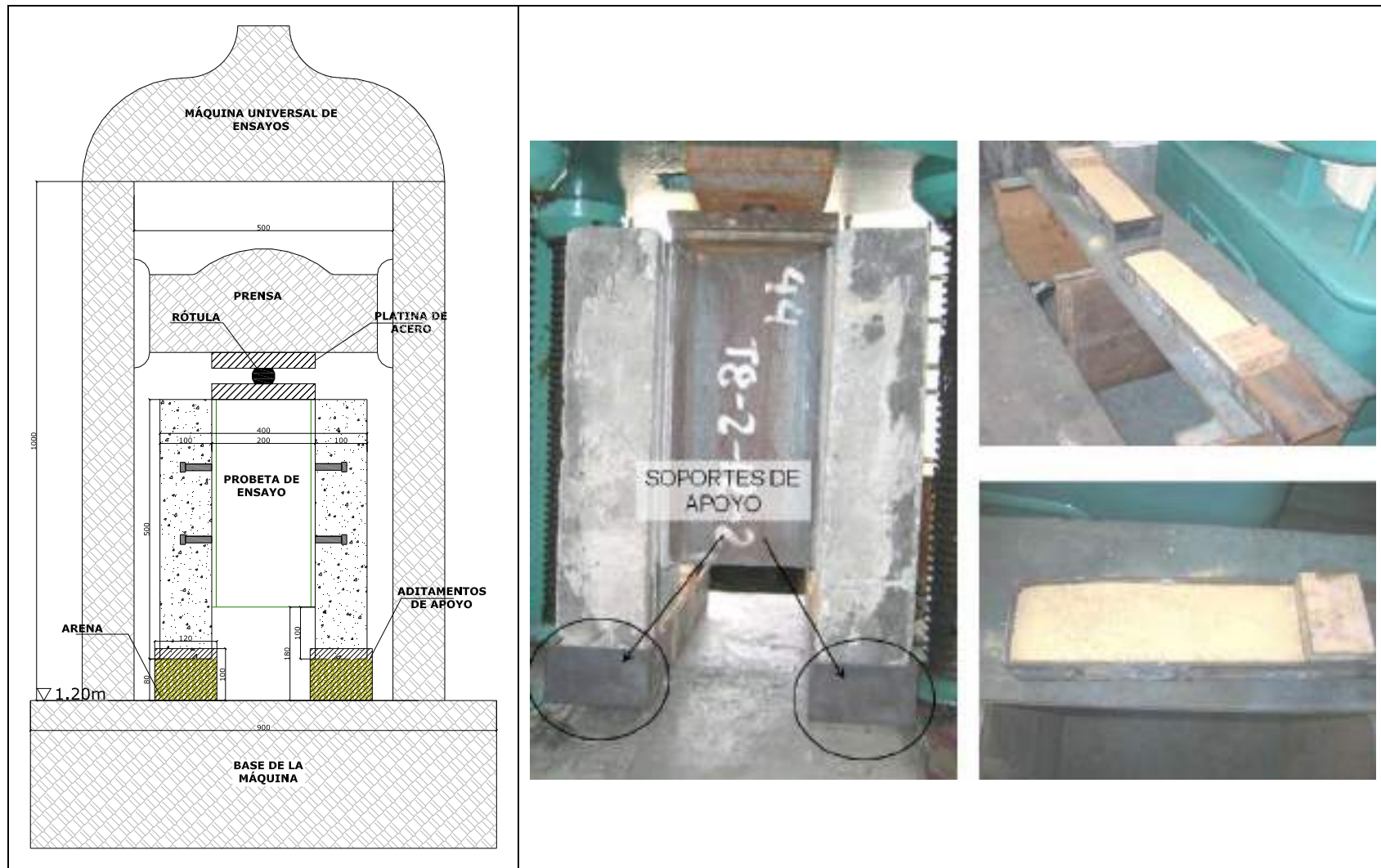


Figura 2.16 Detalle de los soportes de apoyo



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

Para que los tornillos estuvieran solicitados a corte directo, la carga fue aplicada sobre el perfil metálico por medio de un sistema de rótula y platinas de 2" de espesor, a través del cual se trató de generar una distribución uniforme de la carga y garantizar el efecto únicamente de carga axial.



Figura 2.17 Detalle de los aditamentos de aplicación de la carga.

La instrumentación del ensayo se hizo con 2 (dos) deformímetros mecánicos localizados en la parte inferior del perfil alejándolos del centro, con el propósito de medir desplazamientos promedio del mismo y de revisar si se presentan giros durante el ensayo. La carga se controló aplicando incrementos de 8.9kN (2000lb), hasta llegar al 80% de la carga nominal esperada, evitando que el exceso de desplazamientos pudiera afectar los elementos de medición.



Figura 2.18 Instrumentación del ensayo.



3. ENSAYOS DE LOS MODELOS FÍSICOS

En este capítulo se recopila la información obtenida en los ensayos de laboratorio, haciendo una descripción de los desplazamientos medidos, las cargas últimas y los modos de falla para cada una de las configuraciones descritas en el capítulo anterior.

Finalmente se hace un análisis comparativo entre las cargas nominales de acuerdo con *NSR-98*, el comportamiento lineal elástico de los modelos y las cargas de falla registradas en los ensayos. Dicho comportamiento fue definido hasta el punto en el cual existe mayor degradación de rigidez de acuerdo con la tendencia de la grafica carga vs. desplazamiento, después de la zona de reacomodación por precarga.

3.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

En el presente documento se presenta la información resumida a partir de los valores de carga y desplazamiento tomados en el laboratorio durante la ejecución de los ensayos, y a continuación se analizan las curvas de carga vs. desplazamiento para cada una de las configuraciones. Adicionalmente se presentan los valores de carga nominal esperada según los lineamientos de la *NSR-98* y la localización de la zona de comportamiento lineal elástico. En el *anexo E* se encuentra contenido el registro completo de datos de laboratorio. La nomenclatura usada corresponde a la mostrada en el capítulo anterior.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

3.1.1. RESULTADOS DE PROBETAS CON TORNILLOS DE 1/2"

3.1.1.1. Probetas M4-1-0-1,2,3

La carga última promedio medida en los ensayos fue de 100.42kN. En ninguno de los casos las placas de concreto evidenciaron fisuras perceptibles a simple vista. La falla de las tres probetas fue gobernada por corte en la soldadura y el conector quedó embebido en el concreto, como se aprecia en la *figura 3.1*.



Figura 3.1 Falla típica de las probetas M4-1-0

En la *figura 3.2* se muestra la gráfica Carga – Desplazamiento para las tres probetas y la curva promedio entre ellas.

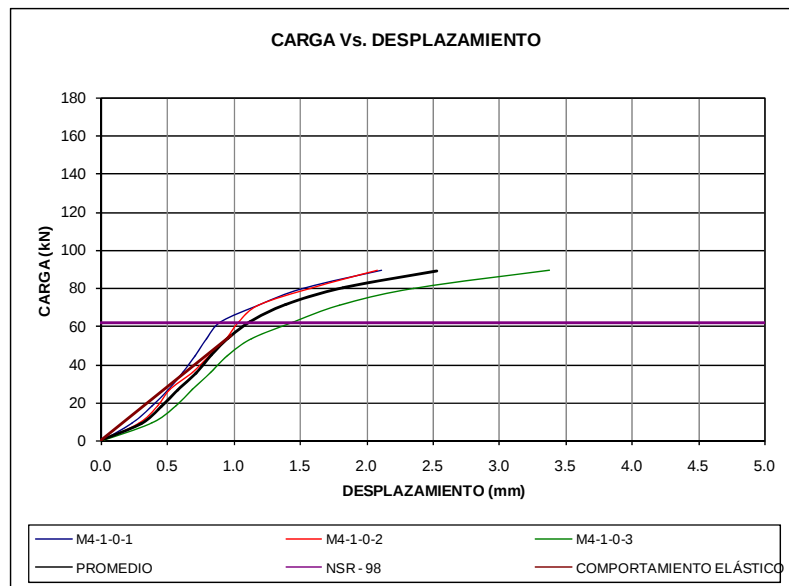


Figura 3.2 Curva Carga - Desplazamiento de las probetas M4-1-0



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

La tendencia de las curvas de Carga Vs. Desplazamiento fue similar para las tres probetas. Se destaca la menor rigidez presentada en M4-1-0-3, alcanzando desplazamientos mayores al 60% de los conseguidos por las otras dos muestras.

El comportamiento lineal elástico que se aprecia, denota valores máximos de 55kN y 0.98mm para carga y desplazamiento respectivamente, correspondientes a 54.77% de la carga de falla.

3.1.1.2 Probetas M4-2-8-1,2,3

El valor promedio registrado de carga última fue 187.54kN. La falla de las probetas M4-2-8-2 y M4-2-8-3 se presentó como fractura longitudinal en una placa de concreto, iniciando en el eje de localización de los tornillos con una ligera desviación como se observa en la *figura 3.3*. La deformación de los tornillos es más evidente en el más alejado al punto de aplicación de la carga.



Figura 3.3 Falla del concreto de las probetas M4-2-8-2 y M4-2-8-3

La falla del modelo M4-2-8-1 fue ocasionada por corte en la soldadura de los conectores de una placa al perfil, los cuales quedaron embebidos en el concreto.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA



Figura 3.4. Falla de la soldadura de las probetas M4-2-8-1

En la *figura 3.5* se muestra la gráfica Carga – Desplazamiento para las tres probetas y la curva promedio entre ellas.

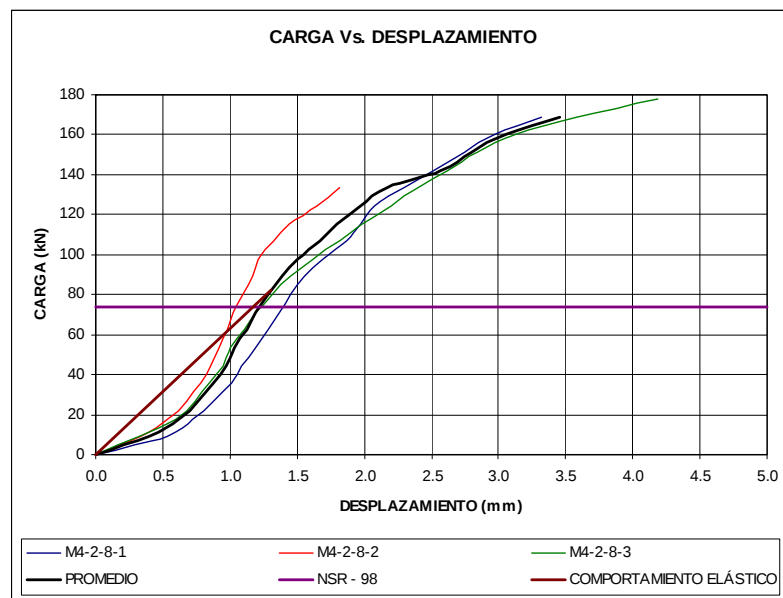


Figura 3.5 Curva Carga - Desplazamiento de las probetas M4-2-8

De acuerdo con la *figura 3.5*, la rigidez de las probetas M4-2-8-1 y M4-2-8-3 fue menor comparada con M4-2-8-2, dado que los desplazamientos fueron superiores un 80%. La diferencia existente entre los desplazamientos del modelo M4-2-8-1, que falló por la soldadura, y M4-2-8-3, cuya falla fue en el concreto, es del orden del 5%, por lo tanto la tendencia fue similar.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

El comportamiento lineal elástico de las probetas se dió hasta alcanzar el 43.72% de la carga de falla, correspondiente a 82kN y un desplazamiento de 1.31mm.

3.1.1.3. Probetas M4-2-12-1,2,3

La carga promedio última fue 150.16kN. La falla registrada para las probetas M4-2-12-2 y M4-2-12-3 fue gobernada por la soldadura del conector al perfil metálico a un solo lado, donde los tornillos quedaron embebidos en la placa de concreto como se aprecia en la *figura 3.6*.



Figura 3.6 Falla de la soldadura de las probetas M4-2-12-2 y M4-2-12-3

La falla de la probeta M4-2-12-1 fue ocasionada por la fractura longitudinal de una placa de concreto por el eje de los conectores, con muy poca desviación del mismo. La deformación presentada por los tornillos es más evidente en el más alejado al punto de aplicación de la carga como se ve en la *figura 3-7*. Esta diferencia de posición en los tornillos deformados se atribuye a la redistribución de los esfuerzos en sentido longitudinal, recargando los conectores más alejados a la zona de aplicación de la carga.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA



Figura 3.7 Falla del concreto de las probetas M4-2-12-1

En la *figura 3.8* se muestra la gráfica Carga – Desplazamiento para las tres probetas y la curva promedio entre ellas.

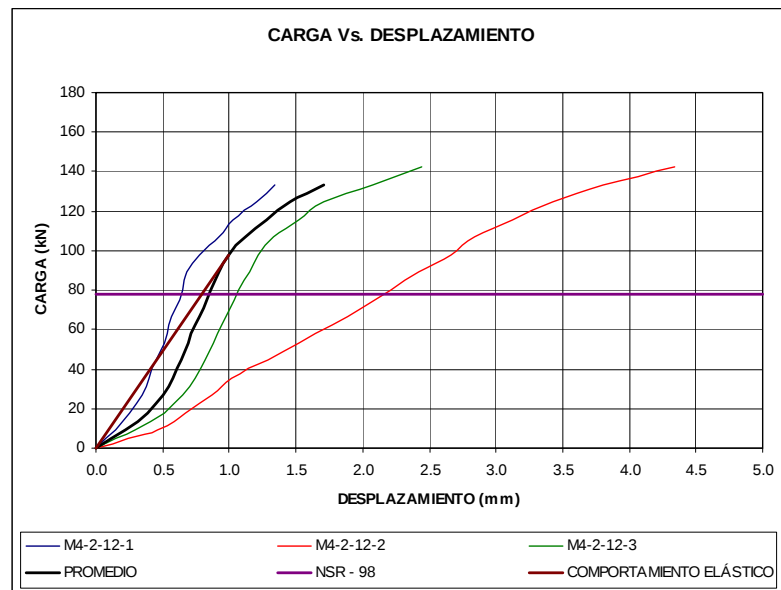


Figura 3.8 Curva Carga - Desplazamiento de las probetas M4-2-12

La tendencia de las probetas fue similar en cuanto a las cargas de falla, pero con respecto a los desplazamientos la probeta M4-2-12-1, que falló por el concreto, tuvo una menor rigidez con desplazamientos superiores al 40% con respecto a las otras dos probetas, razón por la cual no se tuvo en cuenta para el cálculo del promedio.

El comportamiento lineal elástico de las probetas se dio hasta alcanzar el 65.26% de la carga de falla, correspondiente a 98kN y un desplazamiento de 1.00mm.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

3.1.1.4. Probetas M4-2-14-1,2,3

La carga última promedio medida en los ensayos fue 180.38kN. La falla de las tres probetas ocurrió a partir de la fractura longitudinal en una de las placas de concreto sobre el eje de ubicación de los tornillos con una ligera desviación, sin que la otra placa evidenciara algún tipo de fisuración perceptible. Los tornillos mostraron doblamiento considerable, particularmente en el más alejado al punto de aplicación de la carga. En la *figura 3.9* se observa el detalle de la falla.



Figura 3.9 Falla típica de las probetas M4-2-14

En la *figura 3.10* se muestra la gráfica Carga – Desplazamiento para las tres probetas y la curva promedio entre ellas.

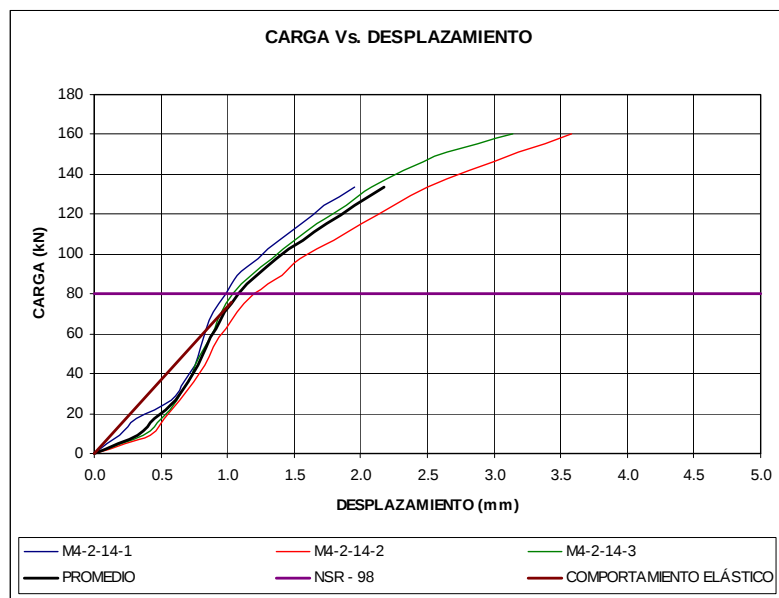


Figura 3.10 Curva Carga - Desplazamiento de las probetas M4-2-14



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

La tendencia de las curvas de Carga Vs. Desplazamiento fue similar para las tres probetas. En M4-2-14-1 no se hizo el registro completo que se realizó para los otros dos modelos, por ello su curva correspondiente muestra un menor valor de carga última. Sin embargo, resistió 20% más de carga antes de la falla comparando con M4-2-14-2 y M4-2-14-3.

El comportamiento lineal elástico que se aprecia, denota valores máximos de 76kN y 1.03mm para carga y desplazamiento respectivamente, correspondientes a 42.13% de la carga de falla.

3.1.1.5. Probetas M4-3-12-1,2,3

El valor promedio registrado de carga última fue 234.22kN. La falla de las tres probetas se presentó como fractura longitudinal en una placa de concreto, iniciando en el eje de localización de los tornillos con una ligera desviación, como se aprecia en la *figura 3.11*. La deformación de los tornillos es más evidente en el que se localizó en la parte inferior de la probeta.



Figura 3.11 Falla típica de las probetas M4-3-12

Cabe destacar que para este modelo la desviación de la fractura de la placa del eje de los tornillos es mucho menor.

En la *figura 3.12* se muestra la gráfica Carga – Desplazamiento para las tres probetas y la curva promedio entre ellas.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

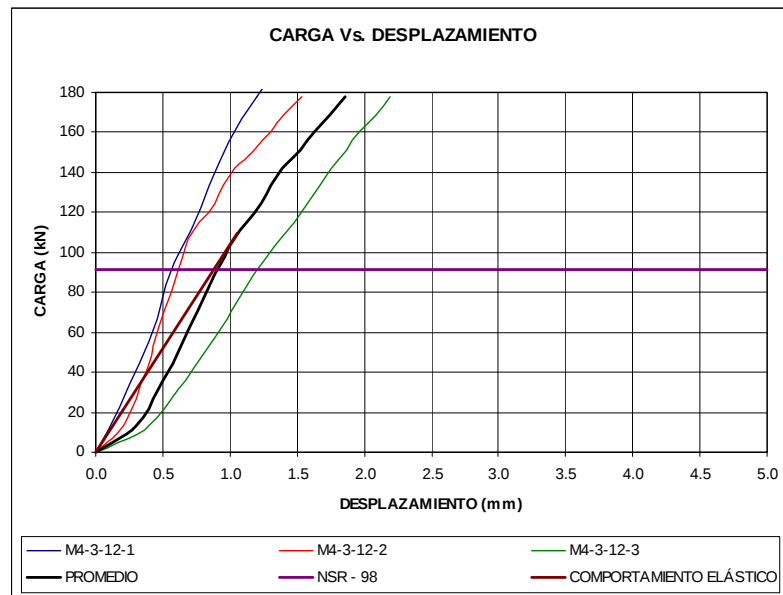


Figura 3.12. Curva Carga - Desplazamiento de las probetas M4-3-12

La tendencia existente en la forma de las curvas de los tres modelos es similar, resaltando la relativa baja rigidez del modelo M4-3-12-3 el cual muestra desplazamientos superiores al 40% con respecto a M4-3-12-2. Los datos de la probeta M4-3-12-1 no fueron tenidos en cuenta para el cálculo del promedio, debido a que la carga se aplicó con intervalos diferentes.

El comportamiento lineal elástico de las probetas se dió hasta alcanzar el 46.97% de la carga de falla, correspondiente a 110kN y un desplazamiento de 1.05mm.

3.1.1.6. Probetas M4-3-14-1,2,3

La carga promedio última fue de 243.73kN. La falla registrada para las tres probetas fue gobernada por la rotura longitudinal de una placa de concreto en dos partes, por el eje de ubicación de los tornillos. La otra placa no evidenció fisuras apreciables a simple vista. Los conectores tuvieron deformaciones considerables en mayor proporción los



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

que se encuentran en la parte inferior de las probetas, como se aprecia en la *figura 3.13*.



Figura 3.13 Falla típica de las probetas M4-3-14

En la *figura 3.14* se muestra la gráfica Carga – Desplazamiento para las tres probetas y la curva promedio entre ellas.

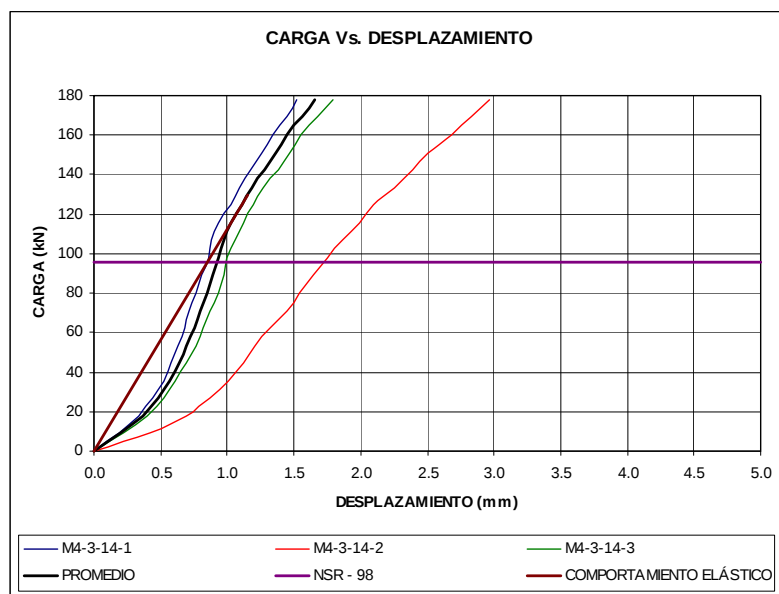


Figura 3.14 Curva Carga - Desplazamiento de las probetas M4-3-14

La tendencia de las probetas M4-3-14-1 y M4-3-14-3 fue similar en cuanto a las cargas de falla y los desplazamientos. La probeta M4-3-14-2 alcanzó valores similares de carga pero la rigidez presentada fue menor, llegando a desplazamientos superiores en un 66% con respecto a las otras dos, por lo cual no fue incluida en el cálculo del promedio.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

El comportamiento en el rango elástico se dio hasta el 53.34% de la carga de falla promedio correspondiente a 130kN y un desplazamiento de 1.15mm.

3.1.2. RESULTADOS DE PROBETAS CON TORNILLOS DE 5/8"

3.1.2.1. Probetas M5-1-0-1,2,3

La carga última promedio medida en los ensayos fue de 129.32kN. Ninguna de las dos placas de concreto evidenció fisuras perceptibles a simple vista. La falla de las tres probetas fue gobernada por corte en la soldadura del conector quedando embebido en el concreto, como se aprecia en la *figura 3.15*



Figura 3.15 Falla típica de las probetas M5-1-0

En la *figura 3.16* se muestra la gráfica Carga – Desplazamiento para las tres probetas y la curva promedio entre ellas.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

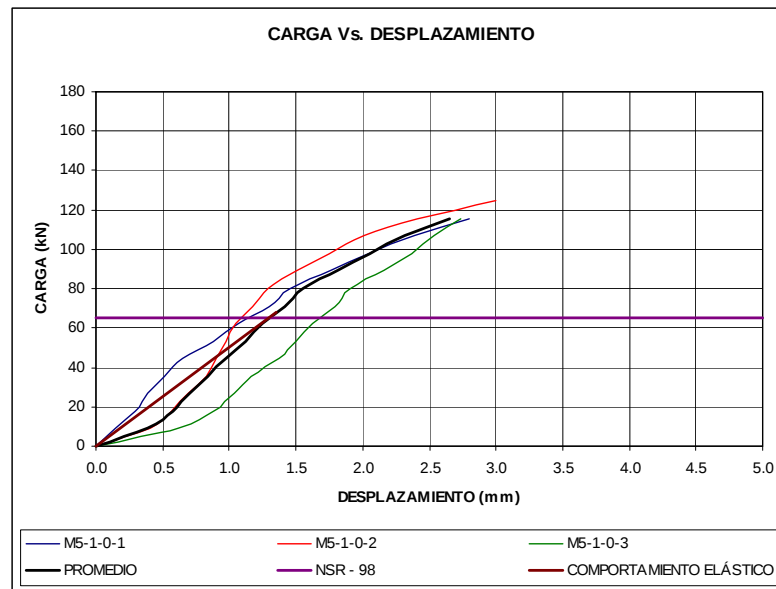


Figura 3.16 Curva Carga - Desplazamiento de las probetas M5-1-0

La tendencia de las curvas de Carga Vs. Desplazamiento tuvo diferencias en su parte inicial, pero los valores finales registrados fueron similares.

El comportamiento elástico que se aprecia, denota valores máximos de 68kN y 1.35mm que corresponde a 52.58% de la carga de falla.

3.1.2.2. Probetas M5-2-8-1,2,3

El valor promedio registrado de carga última fue 195.33kN. La falla de las tres probetas se dio como fractura longitudinal en una placa de concreto, iniciando en el eje de localización de los conectores con una ligera desviación, como se aprecia en la *figura 3.17*. La deformación de los tornillos es más evidente en el más alejado al punto de aplicación de la carga.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA



Figura 3.17 Falla típica de las probetas M5-2-8

En la *figura 3.18* se muestra la gráfica Carga – Desplazamiento para las tres probetas y la curva promedio entre ellas.

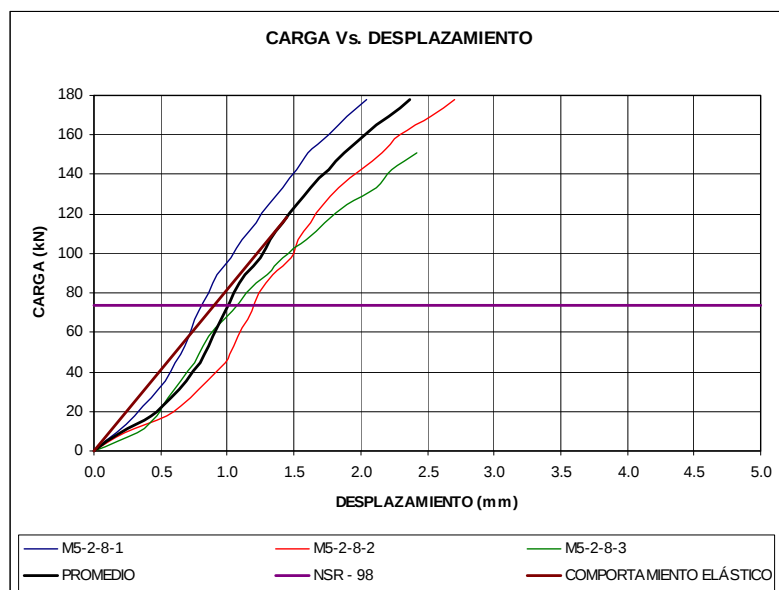


Figura 3.18 Curva Carga - Desplazamiento de las probetas M5-2-8

La tendencia de las tres curvas es similar. Se observa el leve aumento de rigidez de la probeta M5-2-8-1 cuyos desplazamientos fueron el 80% menores con respecto a M5-2-8-2. Para la curva de M5-2-8-3 no registraron la misma cantidad de datos que las otras dos, y la carga de falla fue el 80% del promedio.

El comportamiento lineal elástico de las probetas se presentó hasta alcanzar el 60.41% de la carga de falla, correspondiente a 118kN y un desplazamiento de 1.45mm.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

3.1.2.3. Probetas M5-2-12-1,2,3

La carga promedio última fue de 234.97kN. La falla registrada para las tres probetas fue gobernada por la rotura longitudinal de una placa de concreto en dos partes, por el eje de ubicación de los tornillos. La otra placa no evidenció fisuras apreciables a simple vista. Los conectores presentaron deformaciones de consideración, en mayor proporción los que se encuentran en la parte inferior de las probetas, como se aprecia en la *figura 3.19*.



Figura 3.19 Falla típica de las probetas M5-2-12

En la *figura 3.20* se muestra la gráfica Carga – Desplazamiento para las tres probetas y la curva promedio entre ellas.

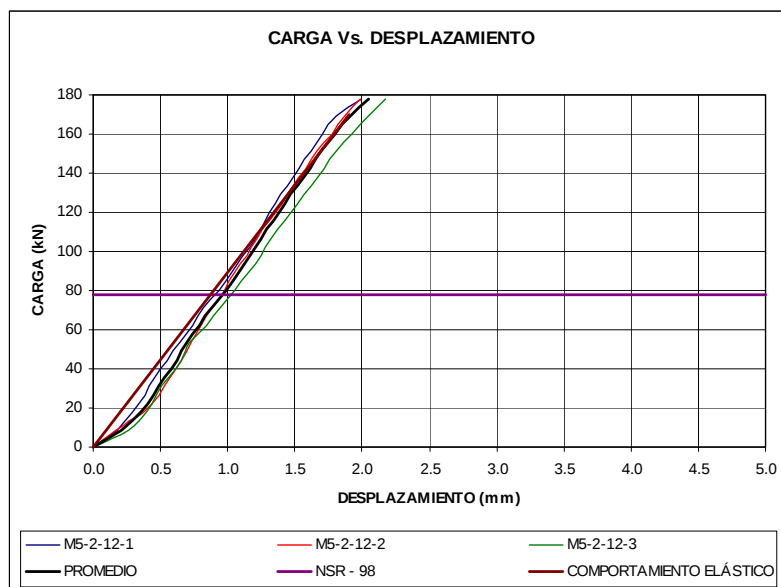


Figura 3.20 Curva Carga - Desplazamiento de las probetas M5-2-12



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

La tendencia de las tres probetas es parecida, tanto para valores de carga y desplazamiento, reflejando comportamiento lineal en casi todo el periodo de registro, 72.35% de la carga de falla que corresponde a 170kN y a un desplazamiento de 1.90mm.

3.1.2.4. Probetas M5-2-14-1,2,3

La carga última promedio medida en los ensayos fue de 232.48kN. La falla de las tres probetas fue gobernada por la fractura longitudinal de una de las placas de concreto a través del eje de ubicación de los conectores con una ligera desviación. La placa que no se fracturó no evidenció fisuras que pudieran ser perceptibles a simple vista. La deformación de los conectores fue más notoria en los localizados en la parte inferior de la probeta como se ve en la *figura 3.21*.



Figura 3.21 Falla típica de las probetas M5-2-14

En la *figura 3.22* se muestra la gráfica Carga – Desplazamiento para las tres probetas y la curva promedio entre ellas.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

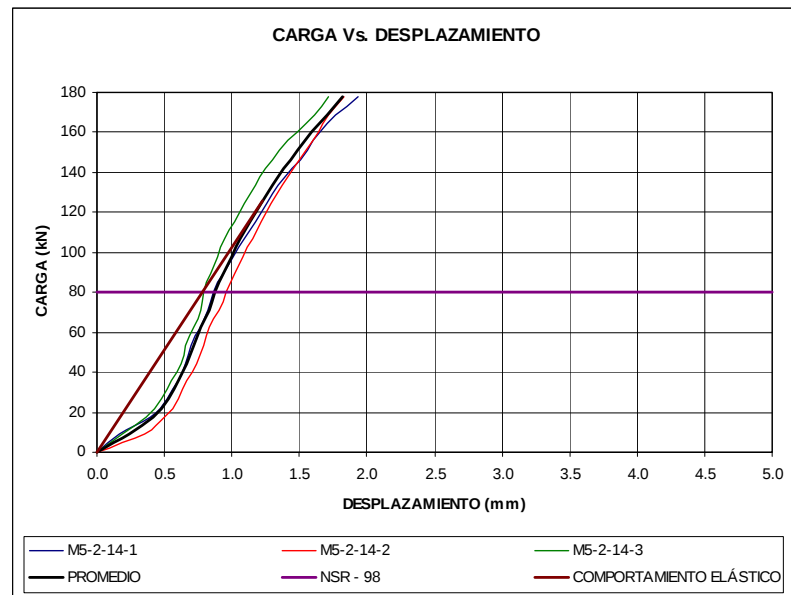


Figura 3.22 Curva Carga - Desplazamiento de las probetas M5-2-14

La tendencia de las curvas de Carga Vs. Desplazamiento fue similar para las tres probetas tanto en cargas como en desplazamientos, presentando un comportamiento lineal en la mayoría de los registros tomados durante los ensayos, alcanzando el 54.20% de la carga de falla que corresponde a 126kN y un desplazamiento de 1.23mm.

3.1.2.5. Probetas M5-3-12-1,2,3

El valor promedio registrado de carga última fue 232.48kN. La falla de las tres probetas se dio por la fractura longitudinal en una placa de concreto, iniciando en el eje de localización de los conectores con una ligera desviación, como se aprecia en la *figura 3.23*. La deformación de los tornillos es más evidente en el que se localizó en la parte inferior de la probeta.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA



Figura 3.23 Falla típica de las probetas M5-3-12

Es relevante que para este modelo la desviación de la fractura de la placa del eje de los conectores es menor.

En la *figura 3.24* se muestra la gráfica Carga – Desplazamiento para las tres probetas y la curva promedio entre ellas.

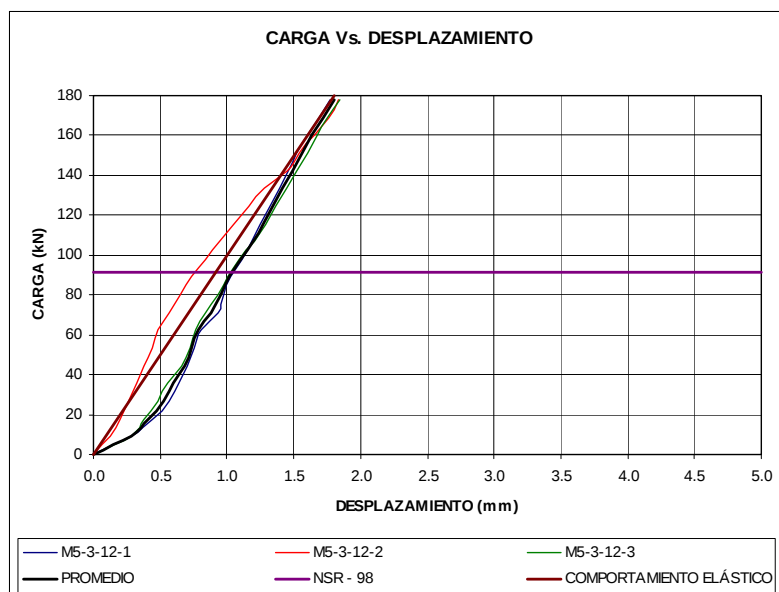


Figura 3.24. Curva Carga - Desplazamiento de las probetas M5-3-12

La tendencia de la probeta M5-3-12-2 fue un poco dispersa con respecto a M5-3-12-1 y M5-3-12-3, pero los valores finales de carga y desplazamiento leídos fueron similares entre si.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

El comportamiento lineal elástico de las probetas se dio hasta alcanzar el 72.55% de la carga de falla, correspondiente a 180kN y un desplazamiento de 1.80mm.

3.1.2.6. Probetas M5-3-14-1,2,3

La carga promedio última fue de 214.59kN. La falla registrada para las probetas M5-3-14-2 y M5-3-14-3, fue gobernada por la rotura longitudinal de las placas de concreto en dos partes, por el eje de ubicación de los tornillos. Para la probeta M5-3-14-2 sólo se fracturó una placa y la que no falló no evidenció fisuras apreciables a simple vista. Los conectores sufrieron deformaciones considerables en mayor proporción los que se ubicaban en la parte inferior de las probetas, como se aprecia en la *figura 3.25*.



Figura 3.25 Falla típica de las probetas M5-3-14

En la *figura 3.26* se muestra la gráfica Carga – Desplazamiento para las tres probetas y la curva promedio entre ellas.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

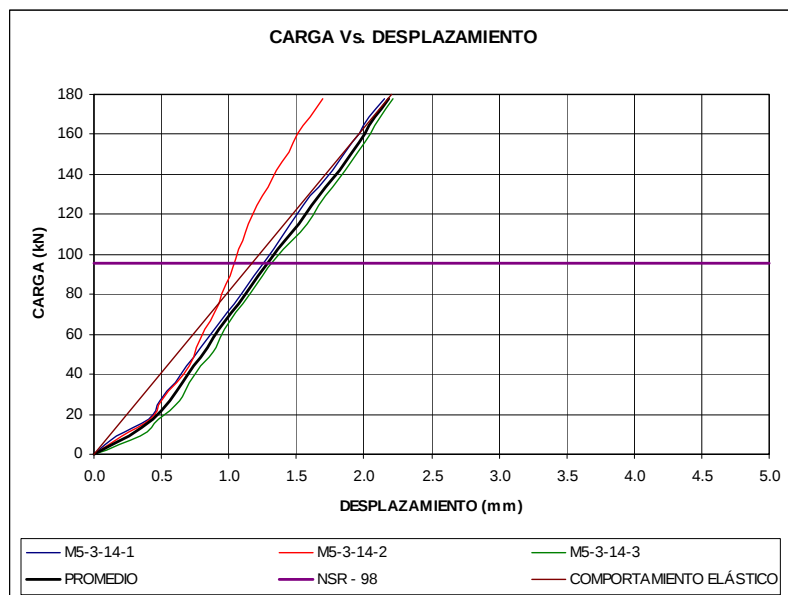


Figura 3.26 Curva Carga - Desplazamiento de las probetas M5-3-14

La tendencia de las probetas M5-3-14-1 y M5-3-14-3 fue similar en cuanto a las cargas de falla y los desplazamientos. La probeta M4-5-14-2 alcanzó valores de carga parecidos pero la rigidez presentada fue mayor, con desplazamientos del 80% de las otras dos probetas, por lo cual no fue incluida en el cálculo del promedio.

El comportamiento lineal elástico de las probetas se dio hasta alcanzar el 83.88% de la carga de falla, correspondiente a 180kN y un desplazamiento de 2.20mm.

3.1.3. RESULTADOS DE PROBETAS CON TORNILLOS DE 3/4"

3.1.3.1. Probetas M6-1-0-1,2,3

La carga última promedio medida en los ensayos fue de 178.59kN. Ninguna de las dos placas de concreto evidenció fisuras perceptibles a simple vista. La falla de las probetas M6-1-0-1 y M6-1-0-2 fue completamente gobernada por corte en la soldadura del conector dejándolo embebido en el concreto, como se aprecia en la *figura 3.27*.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA



Figura 3.27 Falla típica de la soldadura de las probetas M6-1-0-1 y M6-1-0-2

La falla de la probeta M6-1-0-3 fue ocasionada por la fractura longitudinal de una placa de concreto coincidiendo con la ubicación del conector. La deformación presentada por el tornillo ve en la *figura 3.28*.



Figura 3.28 Falla típica del concreto de la probeta M6-1-0-3

En la *figura 3.29* se muestra la gráfica Carga – Desplazamiento para las tres probetas y la curva promedio entre ellas.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

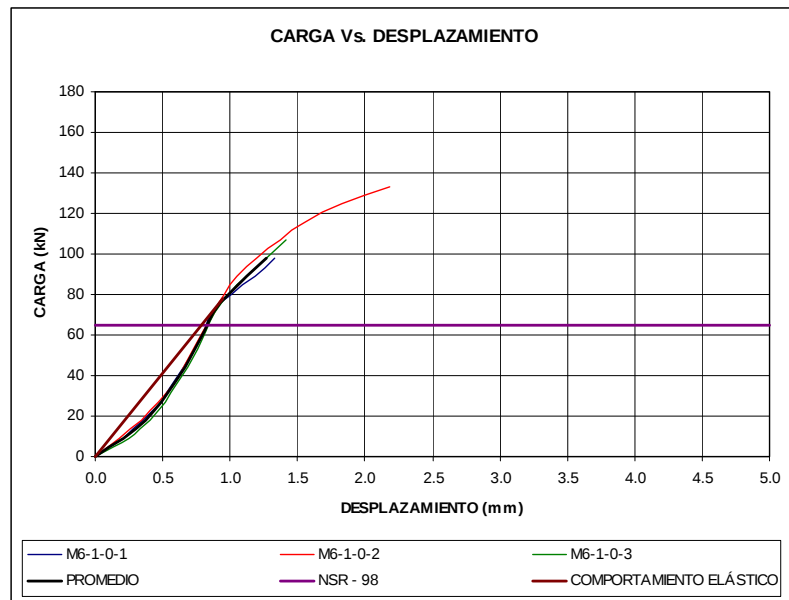


Figura 3.29 Curva Carga - Desplazamiento de las probetas M6-1-0

La tendencia de las curvas de Carga Vs. Desplazamiento fue similar para las tres probetas. Se destaca la menor rigidez presentada en M6-1-0-2 donde falló el concreto, con lo cual alcanzó desplazamientos del 60% mayores a los conseguidos por las otras dos muestras.

El comportamiento lineal elástico que se aprecia, denota valores máximos de 55kNy 0.98mm que corresponde a 43.68% de la carga de falla.

3.1.3.2. Probetas M6-2-8-1,2,3

El valor promedio registrado de carga última fue 253.38kN. La falla de las tres probetas se presentó por fractura longitudinal en una placa de concreto, iniciando en el eje de localización de los conectores con una ligera desviación, como se aprecia en la *figura 3.30*. La deformación de los tornillos es más evidente en el que se localizó en la parte superior de la probeta.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA



Figura 3.30 Falla típica de las probetas M6-2-8

En la *figura 3.31* se muestra la gráfica Carga – Desplazamiento para las tres probetas y la curva promedio entre ellas.

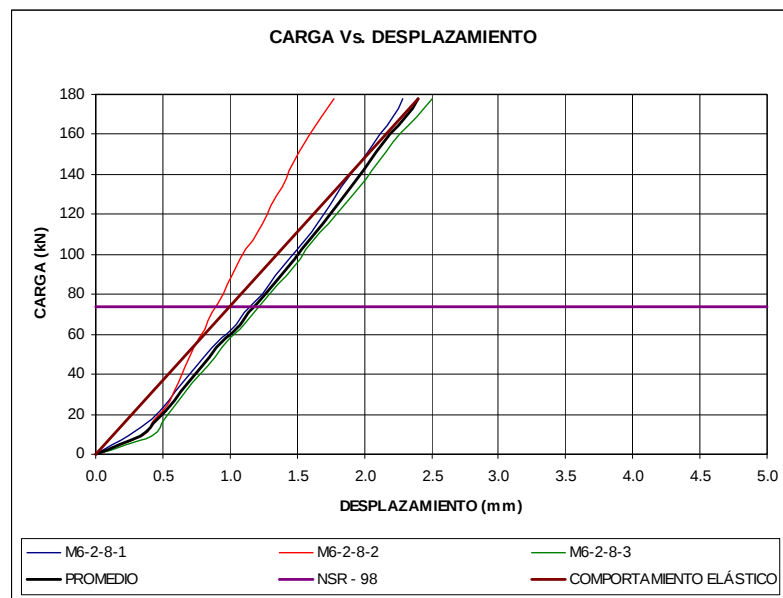


Figura 3.31 Curva Carga - Desplazamiento de las probetas M6-2-8

De acuerdo con esta gráfica, la rigidez de la probetas M4-2-8-2 fue mayor comparada con las otras dos, alcanzando desplazamientos del 73% con respecto al promedio.

El comportamiento lineal elástico de las probetas se dio hasta alcanzar el 70.25% de la carga de falla, correspondiente a 176kN y un desplazamiento de 2.40mm.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

3.1.3.3. Probetas M6-2-12-1,2,3

La carga promedio última fue de 278.42kN. La falla para las tres probetas fue gobernada por la rotura longitudinal de una placa de concreto en dos partes, por el eje de ubicación de los tornillos, la otra placa no evidenció fisuras apreciables a simple vista. Los conectores presentaron deformaciones considerables en mayor proporción los que se encuentran en la parte inferior de las probetas, como se aprecia en la *figura 3.32*.



Figura 3.32 Falla típica de las probetas M6-2-12

En la *figura 3.33* se muestra la gráfica Carga – Desplazamiento para las tres probetas y la curva promedio entre ellas.

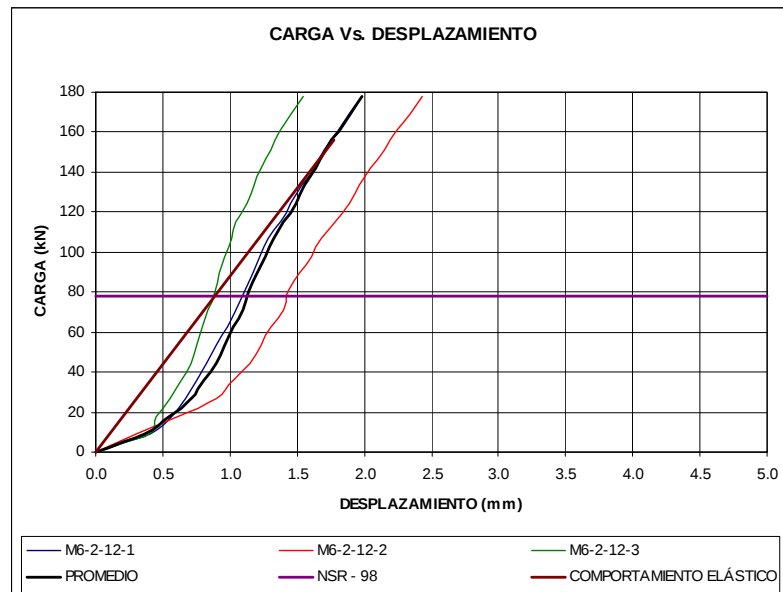


Figura 3.33. Curva Carga - Desplazamiento de las probetas M6-2-12



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

Los datos de desplazamientos registrados fueron dispersos, con valores de resistencia mayores hasta en un 60% entre M6-2-12-3 y M6-2-12-2, las probetas con mayor y menor rigidez respectivamente. La probeta M6-2-12-1 presentó valores más cercanos al promedio.

El comportamiento lineal elástico de las probetas se dio hasta alcanzar el 56.03% de la carga de falla, correspondiente a 156kN y un desplazamiento de 1.77mm.

3.1.3.4. Probetas M6-2-14-1,2,3

La carga última promedio medida en los ensayos fue de 232.96kN. La falla de las tres probetas fue completamente gobernada por la fractura longitudinal de una de las placas de concreto a través del eje de ubicación de los conectores con una ligera desviación. La placa que no se fracturó no mostró fisuras que pudieran ser perceptibles a simple vista.



Figura 3.34 Falla típica de las probetas M6-2-14

En la *figura 3.35* se muestra la gráfica Carga – Desplazamiento para las tres probetas y la curva promedio entre ellas.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

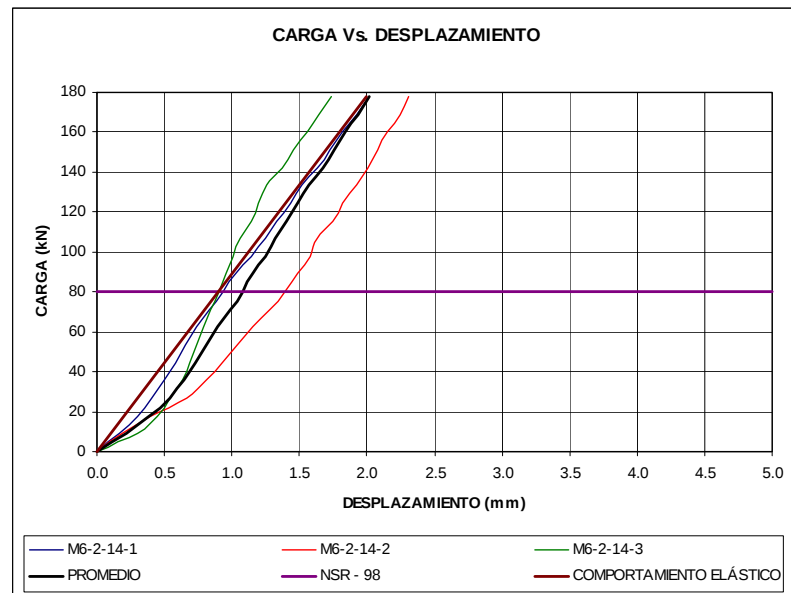


Figura 3.35 Curva Carga - Desplazamiento de las probetas M6-2-14

La dispersión de los datos de desplazamientos indica valores de resistencia mayores un 30% entre M6-2-12-3 y M6-2-12-2, las probetas de mayor y menor rigidez respectivamente. La probeta M6-2-12-1 presentó valores más cercanos al promedio.

El comportamiento lineal elástico de las probetas se presentó en la mayoría de datos registrados hasta alcanzar el 76.41% de la carga de falla, correspondiente a 176kN y un desplazamiento de 2.00mm.

3.1.3.5. Probetas M6-3-12-1,2,3

El valor promedio registrado de carga última fue 318.85kN. La falla de las tres probetas se presentó como fractura longitudinal en una placa de concreto, iniciando en el eje de localización de los conectores con una ligera desviación, como se aprecia en la *figura 3.36*. La deformación de los tornillos es más evidente en el que se localizó en la parte inferior de la probeta.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA



Figura 3.36. Falla típica de las probetas M6-3-12

En la *figura 3.37* se muestra la gráfica Carga – Desplazamiento para las tres probetas y la curva promedio entre ellas.

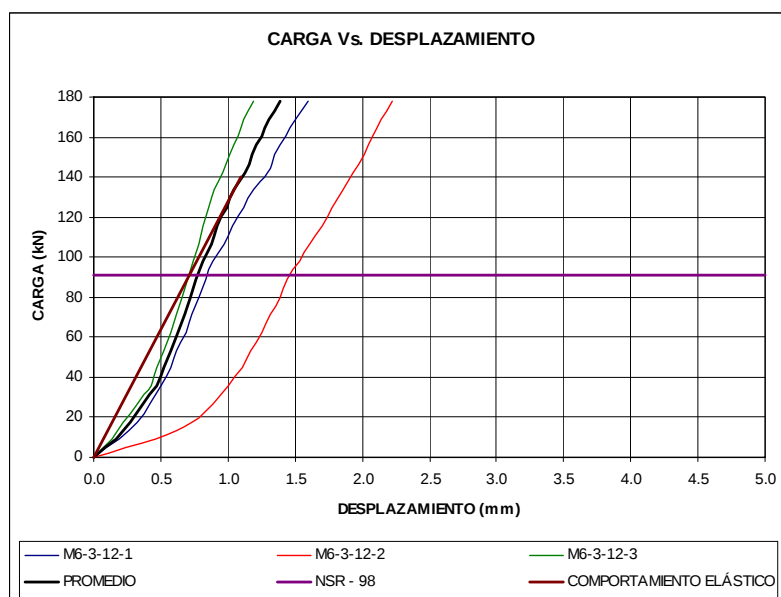


Figura 3.37. Curva Carga - Desplazamiento de las probetas M6-3-12

La tendencia de las probetas fue similar en cuanto a las cargas de falla, pero con respecto a los desplazamientos la probeta M4-2-12-2 tuvo una menor rigidez con desplazamientos superiores al 90% con respecto a las otras probetas, razón por la cual no se tuvo en cuenta para el cálculo del promedio.

El comportamiento lineal elástico de las probetas se dio hasta alcanzar el 43.91% de la carga de falla, correspondiente a 140kN y un desplazamiento de 1.10mm.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

3.1.3.6. Probetas M6-3-14-1,2,3

La carga promedio última fue de 333.24kN. La falla registrada para las tres probetas fue gobernada por la rotura longitudinal de una placa de concreto en dos partes, por el eje de ubicación de los tornillos. La otra placa no evidenció fisuras apreciables a simple vista. Los conectores sufrieron deformaciones considerables en mayor proporción los que se encontraban en la parte inferior de las probetas, como se observa en la *figura 3.38*.



Figura 3.38. Falla típica de las probetas M6-3-14

En la *figura 3.39* se muestra la gráfica Carga – Desplazamiento para las tres probetas y la curva promedio entre ellas.

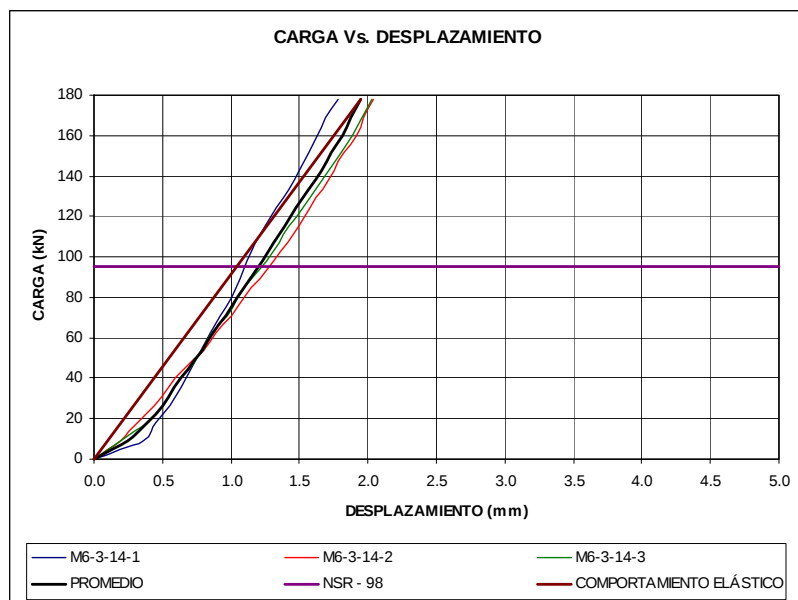


Figura 3.39. Curva Carga - Desplazamiento de las probetas M6-3-14



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

La tendencia de las tres probetas muy parecida, tanto para valores de carga y desplazamiento, reflejando comportamiento lineal en todo el periodo de registro: 53.26% de la carga de falla, correspondiente a 178kN y un desplazamiento de 1.95mm.

3.1.4. SINTESIS DE RESULTADOS

En la *tabla 3.1* se presentan los modos de falla, las cargas últimas y las cargas nominales esperadas para cada una de las probetas, a partir de las cuales se halla la curva promedio para cada una de las graficas carga vs. desplazamiento.

MODELO	CARGA DE FALLA kN	CARGA NSR-98 kN	TIPO DE FALLA
M4-1-0-1	105.46	61.52	SOLDADURA
M4-1-0-2	100.88		SOLDADURA
M4-1-0-3	94.92		SOLDADURA
M4-2-8-1	173.47	73.80	SOLDADURA
M4-2-8-2	199.63		CONCRETO
M4-2-8-3	189.53		CONCRETO
M4-2-12-1	218.75	78.14	CONCRETO
M4-2-12-2	146.78		SOLDADURA
M4-2-12-3	153.54		SOLDADURA
M4-2-14-1	203.10	80.31	CONCRETO
M4-2-14-2	169.02		CONCRETO
M4-2-14-3	169.02		CONCRETO
M4-3-12-1	213.50	91.16	CONCRETO
M4-3-12-2	243.79		CONCRETO
M4-3-12-3	245.35		CONCRETO
M4-3-14-1	241.88	95.50	CONCRETO
M4-3-14-2	212.39		CONCRETO
M4-3-14-3	245.57		CONCRETO
M5-1-0-1	119.52	65.12	SOLDADURA
M5-1-0-2	124.54		SOLDADURA
M5-1-0-3	143.89		SOLDADURA
M5-2-8-1	229.16	73.80	CONCRETO
M5-2-8-2	201.14		CONCRETO
M5-2-8-3	155.68		CONCRETO
M5-2-12-1	240.81	78.14	CONCRETO
M5-2-12-2	221.60		CONCRETO
M5-2-12-3	242.50		CONCRETO



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

M5-2-14-1	213.24	80.31	CONCRETO
M5-2-14-2	252.65		CONCRETO
M5-2-14-3	231.56		CONCRETO
M5-3-12-1	250.69	91.16	CONCRETO
M5-3-12-2	254.07		CONCRETO
M5-3-12-3	239.57		CONCRETO
M5-3-14-1	207.94	95.50	CONCRETO
M5-3-14-2	221.24		CONCRETO
M5-3-14-3	297.48		CONCRETO
M6-1-0-1	194.38	65.12	SOLDADURA
M6-1-0-2	148.52		SOLDADURA
M6-1-0-3	192.86		CONCRETO
M6-2-8-1	260.47	73.80	CONCRETO
M6-2-8-2	302.82		CONCRETO
M6-2-8-3	246.29		CONCRETO
M6-2-12-1	267.10	78.14	CONCRETO
M6-2-12-2	282.36		CONCRETO
M6-2-12-3	285.78		CONCRETO
M6-2-14-1	216.22	80.31	CONCRETO
M6-2-14-2	231.56		CONCRETO
M6-2-14-3	251.09		CONCRETO
M6-3-12-1	317.45	91.16	CONCRETO
M6-3-12-2	351.79		CONCRETO
M6-3-12-3	320.26		CONCRETO
M6-3-14-1	353.79	95.50	CONCRETO
M6-3-14-2	299.66		CONCRETO
M6-3-14-3	349.26		CONCRETO

Tabla 3.1. Carga última nominal y experimental y modos de falla.

De acuerdo con estos resultados se observa que el 80% de los modelos fallaron por rotura del concreto, con apreciable deformación de los conectores, y el 20% restante corresponde a falla por la soldadura en los modelos con un solo tornillo y algunos con dos tornillos con diámetro de 1/2". El perfil metálico no mostró ningún tipo de deformación.

3.2. MODOS DE FALLA

Las probetas se cargaron hasta rotura, presentándose varios modos de falla de acuerdo con cada configuración de conectores (cantidad, espaciamiento, diámetro).



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

- *Falla del concreto:* Hay aplastamiento del concreto en la zona de compresión y fisuración alrededor del conector en la zona sometida a tensión, antes que el tornillo llegue a fluencia o que falle la soldadura. Se genera un plano de falla el cual forma progresivamente un cono a 45° alrededor del conector.

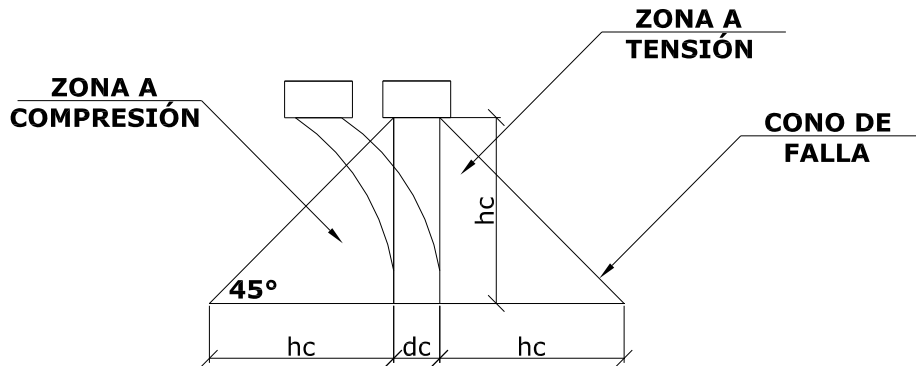


Figura 3.40. Superficie de falla del concreto

Este tipo de falla se evidenció en los modelos que contenían dos o tres conectores, independientemente de la separación. La ruptura de la placa siempre fue en dos partes, iniciando por el eje de ubicación de los conectores y desviándose a partir de los tornillos externos, lo cual fue mas evidente en las probetas con menores espaciamientos entre conectores.



Figura 3.41. Falla del concreto.

- *Falla de la soldadura:* Hay ruptura de la junta entre el conector y el perfil al exceder la resistencia al corte de la soldadura, quedando los conectores



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

embebidos en la placa de concreto, sin presentar fisuras perceptibles a simple vista. Este tipo de falla se presentó en probetas con un solo conector en la placa y en algunos de los modelos con dos conectores de 1/2" de diámetro.



Figura 3.42. Falla de la soldadura

3.3. ANÁLISIS DE CARGA

3.3.1. CARGA ÚLTIMA

En la *tabla 3.2* se encuentra el resumen de los modos de falla de los ensayos.

MODELO	ϕ (pul)	NUMERO DE TORNILLOS	SEPARACIÓN (m)	CARGA FALLA kN	CARGA NSR-98 kN	% Carga falla/Carga NSR	TIPO DE FALLA
M4-1-0	1/2	2	---	100.42	61.52	163%	SOLDADURA
M4-2-8	1/2	4	0.08	187.54	73.80	254%	CONCRETO
M4-2-12	1/2	4	0.12	150.16	78.14	192%	SOLDADURA
M4-2-14	1/2	4	0.14	180.38	80.31	225%	CONCRETO
M4-3-12	1/2	6	0.12	234.22	91.16	257%	CONCRETO
M4-3-14	1/2	6	0.14	243.73	95.50	255%	CONCRETO
M5-1-0	5/8	2	---	129.32	65.12	199%	SOLDADURA
M5-2-8	5/8	4	0.08	195.33	73.80	265%	CONCRETO
M5-2-12	5/8	4	0.12	234.97	78.14	301%	CONCRETO
M5-2-14	5/8	4	0.14	232.48	80.31	289%	CONCRETO
M5-3-12	5/8	6	0.12	248.11	91.16	272%	CONCRETO
M5-3-14	5/8	6	0.14	214.59	95.50	225%	CONCRETO
M6-1-0	3/4	2	---	178.59	65.12	274%	SOLDADURA
M6-2-8	3/4	4	0.08	253.38	73.80	343%	CONCRETO
M6-2-12	3/4	4	0.12	278.42	78.14	356%	CONCRETO
M6-2-14	3/4	4	0.14	232.96	80.31	290%	CONCRETO
M6-3-12	3/4	6	0.12	318.85	91.16	350%	CONCRETO
M6-3-14	3/4	6	0.14	334.24	95.50	350%	CONCRETO

Tabla 3.2. Tabla resumen tipos de falla y carga última.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

De acuerdo con los resultados presentados en esta tabla, el modo de falla predominante para las probetas con dos y tres conectores fue la fractura de una de las placas de concreto con deformación considerable de los conectores, salvo en los modelos M4-2-12, donde la falla se produjo por corte en la soldadura que fijaba los conectores al perfil metálico, al igual que las probetas que sólo tenían un conector.

La carga de falla esperada a partir de las NSR-98 para conectores tipo espigo siempre estuvo muy por debajo de la obtenida en los ensayos, independientemente del modo de falla que se presentara, alcanzando resistencias del 163% (M4-1-0), hasta valores de 350% como en el caso de los modelos M6-2-12.

3.3.2. CARGA LINEAL ELÁSTICA MÁXIMA

Se consideró el comportamiento lineal elástico de las probetas hasta el punto en donde la curva Carga-Desplazamiento comienza a reducir su rigidez generando deformaciones permanentes.

En las *tablas* 3.3 y 3.4, se resumen las cargas obtenidas experimentalmente con las estimadas por las NSR-98 y la comparación con los valores de carga elástica para cada modelo.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

MODELO	CARGA LINEAL kN	CARGA NSR-98 kN	% Carga lineal/Carga NSR
M4-1-0	55.0	61.52	112%
M4-2-8	82.0	73.80	90%
M4-2-12	98.0	78.14	80%
M4-2-14	76.0	80.31	106%
M4-3-12	110.0	91.16	83%
M4-3-14	130.0	95.50	73%
M5-1-0	68.0	65.12	96%
M5-2-8	118.0	73.80	63%
M5-2-12	170.0	78.14	46%
M5-2-14	126.0	80.31	64%
M5-3-12	180.0	91.16	51%
M5-3-14	180.0	95.50	53%
M6-1-0	78.0	65.12	83%
M6-2-8	178.0	73.80	41%
M6-2-12	156.0	78.14	50%
M6-2-14	178.0	80.31	45%
M6-3-12	140.0	91.16	65%
M6-3-14	178.0	95.50	54%

Tabla 3.3 Comparación entre carga estimada NSR-98 y carga máxima de comportamiento lineal.

La carga esperada a partir de la formulación planteada por NSR-98 se acerca mucho mas a la carga máxima elástica que a la carga de falla, lo cual es coherente si se asume el diseño de los conectores en el rango elástico; esto se nota a partir de los porcentajes de la cuarta columna de la *tabla 3.3*, donde para los modelos M4-1-0 y M4-2-14 sobrepasa ligeramente el 100%. Los valores de menor relación se presentaron para M5-2-12, M6-2-8 y M6-2-14 con el 40%.

3.3.3. CARGA DE FALLA Vs. CARGA ELÁSTICA LINEAL

En la *tabla 3.4* se relacionan las cargas de falla y las cargas máximas de comportamiento lineal elástico para cada modelo.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

MODELO	φ	CARGA FALLA	CARGA LINEAL	% Carga lineal/Carga de falla
	(pul)	kN	kN	
M4-1-0	1/2	100.42	55.0	55%
M4-2-8	1/2	187.54	82.0	44%
M4-2-12	1/2	150.16	98.0	65%
M4-2-14	1/2	180.38	76.0	42%
M4-3-12	1/2	234.22	110.0	47%
M4-3-14	1/2	243.73	130.0	53%
M5-1-0	5/8	129.32	68.0	53%
M5-2-8	5/8	195.33	118.0	60%
M5-2-12	5/8	234.97	170.0	72%
M5-2-14	5/8	232.48	126.0	54%
M5-3-12	5/8	248.11	180.0	73%
M5-3-14	5/8	214.59	180.0	84%
M6-1-0	3/4	178.59	78.0	44%
M6-2-8	3/4	253.38	178.0	70%
M6-2-12	3/4	278.42	156.0	56%
M6-2-14	3/4	232.96	178.0	76%
M6-3-12	3/4	318.85	140.0	44%
M6-3-14	3/4	334.24	178.0	53%

Tabla 3.4 Comparación entre carga de falla y la carga máxima de comportamiento lineal.

De acuerdo con estos valores, se aprecia que para probetas con un solo conector el rango de comportamiento lineal es aproximadamente del 50% de la carga de falla. Particularmente para los modelos M4-1-0 y M5-1-0 donde la falla fue gobernada por la soldadura, el comportamiento lineal elástico fue ligeramente mayor, mientras que en la probeta M6-1-0 se redujo debido a la falla frágil del concreto.

El comportamiento lineal elástico de los modelos está directamente relacionado con la cantidad de conectores, su separación y su diámetro. Esto permite concluir que la cuantía de conectores afecta directamente la carga de falla de las probetas y su comportamiento en el rango lineal elástico e inelástico; debido al aporte de las características del material de los mismos y a la nula capacidad inelástica que puede desarrollar el concreto.



4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se estudia la correlación que existe entre el espaciamiento, el diámetro y la cantidad de conectores presentes en las probetas durante su proceso de carga y falla. Este análisis se efectuó por medio de gráficas comparativas carga vs. desplazamiento, carga vs. separación y carga vs. Diámetro, para los valores promedio de tres probetas, en las cuales se mantienen dos variables fijas y se observa el efecto de la tercera.

4.1. CARGA DE FALLA Vs. DESPLAZAMIENTO PARA IGUAL SEPARACIÓN E IGUAL CANTIDAD DE CONECTORES

En las probetas con un solo conector, la falla predominante en los modelos que tenían tornillos de 1/2" y 5/8" de diámetro, fue gobernada por la soldadura. Para el caso de conectores de 3/4" la falla se presentó como fractura de una placa de concreto por el eje de ubicación de los conectores, los cuales se deformaron. En la *figura 4.1* se observa que en los modelos donde la falla se presenta por la soldadura los desplazamientos son mayores en un 25% con respecto a las probetas cuya falla fue gobernada por el concreto, particularmente para la probeta con conectores de 5/8". Este comportamiento se le atribuye a las características inelásticas inherentes al acero.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

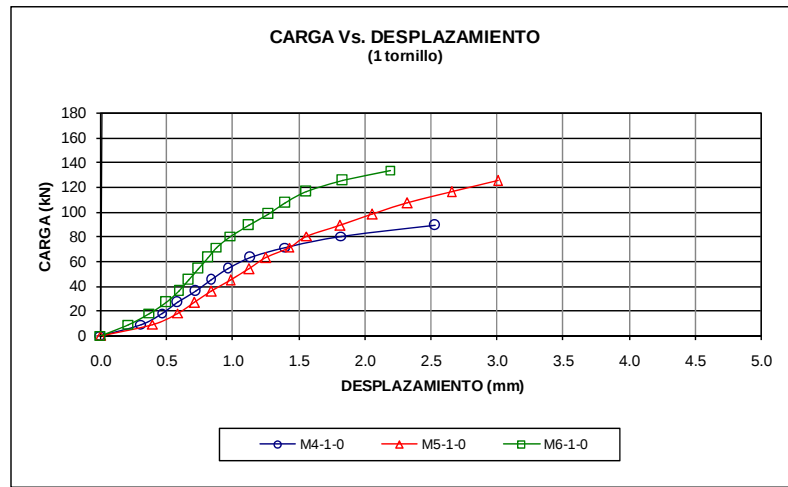


Figura 4.1 Curva Carga - Desplazamiento 1 tornillo

Se aprecia el incremento de la resistencia conforme aumenta el diámetro de los conectores observando diferencias hasta del 78% en la carga de falla como sucede entre la probeta con conectores de 3/4" con respecto a la del conector de 1/2".

En lo referente a las probetas con dos conectores la falla fue gobernada por el concreto y los desplazamientos por la deformación de los tornillos como se puede ver en la *figura 4.2*.

La rigidez en los modelos con tornillos de 1/2" fue bastante menor con respecto a las que tenían conectores de 3/4" de acuerdo con los desplazamientos medidos, registrando valores del 57%, 83% y 60%, para separaciones de 0.08m, 0.12m y 0.14m respectivamente. Las cargas de falla se incrementaron conforme aumentaba el diámetro de los tornillos.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

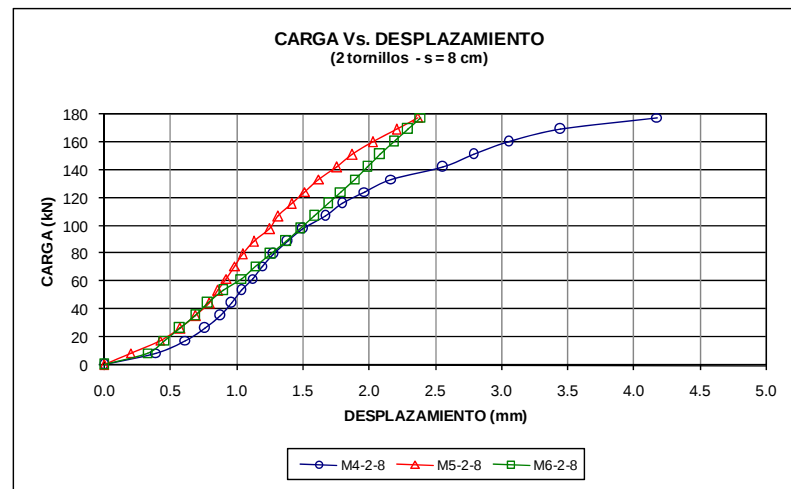


Figura 4.2 Curva Carga - Desplazamiento 2 tornillos separación 0.08m

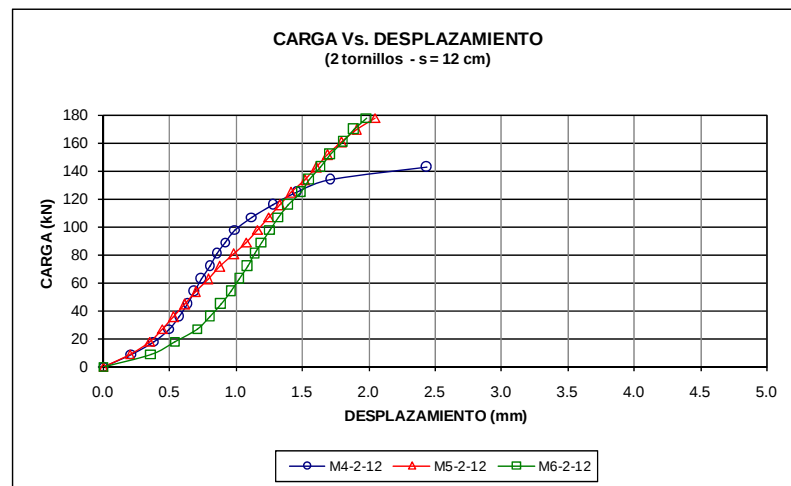


Figura 4.3 Curva Carga - Desplazamiento 2 tornillos separación 0.12m



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

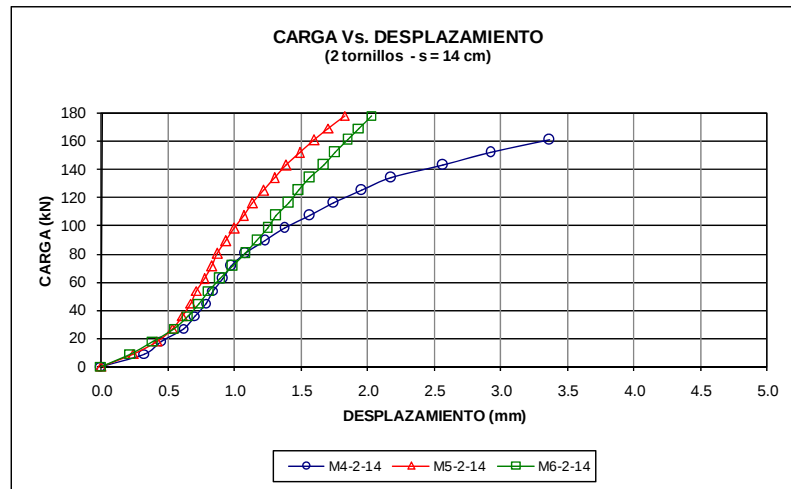


Figura 4.4 Curva Carga - Desplazamiento 2 tornillos separación 0.14m

Los desplazamientos registrados en probetas con tres conectores, separación de 0.12m con conectores de diámetros de 1/2" y 5/8" fueron similares y superiores en un 33% con respecto a la probeta con conectores de 3/4". Las cargas de falla fueron un 28% mayores para las probetas en las que se encontraban soldados los conectores de 3/4".

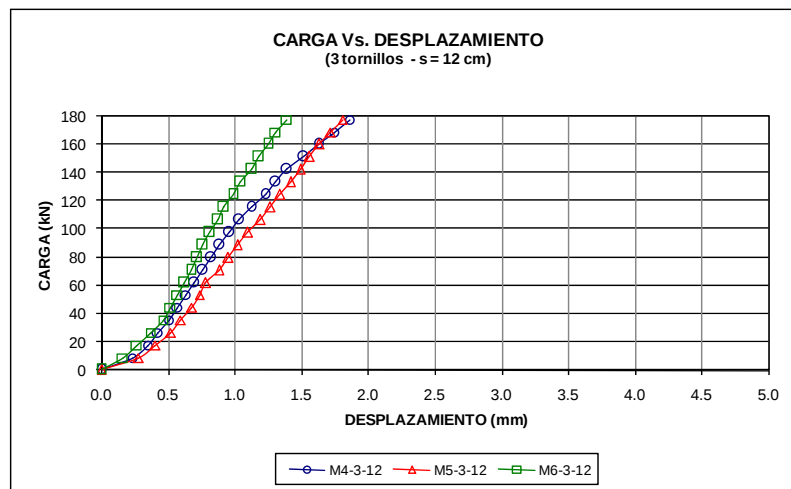


Figura 4.5 Curva Carga - Desplazamiento 3 tornillos separación 0.12m

En el caso de los modelos con espaciamiento de 0.14m entre conectores, la falla fue dada en el concreto independientemente del diámetro. De acuerdo con lo que indica la



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

figura 4.6, existe un aumento en la rigidez de la probeta con conectores de 1/2". La menor carga de falla se presentó en la probeta con conectores de 5/8" de diámetro.

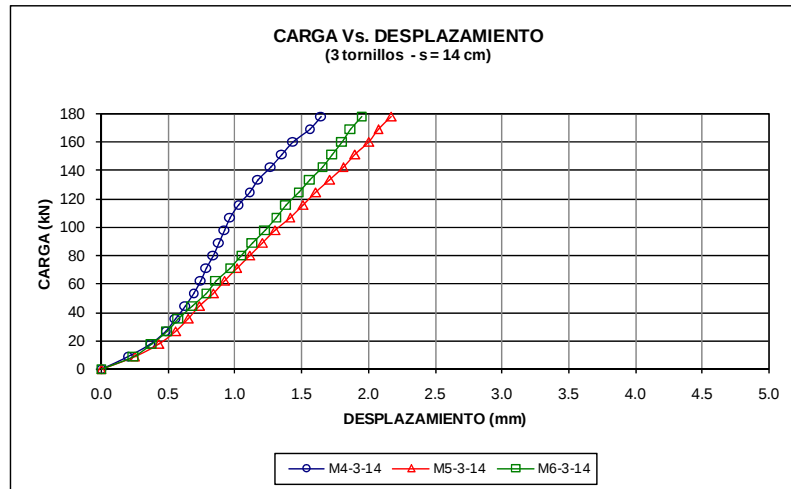


Figura 4.6 Curva Carga - Desplazamiento 3 tornillos separación 0.14m

El trabajo conjunto de los dos materiales se ve reflejado en las imágenes de la figura 4.7.a. y 4.7.b.



Figura 4.7. Trabajo conjunto de los materiales. a) Concreto. b) Tornillos.



4.2. CARGA DE FALLA Vs. DESPLAZAMIENTO PARA IGUAL DIAMETRO E IGUAL CANTIDAD DE CONECTORES

De la figura 4.8 se observa que para la separación de 0.08m los desplazamientos registrados fueron mayores con relación a los espaciamientos de 0.12m y 0.14m, hasta en un 70%. En las probetas con conectores espaciados 0.12m la pendiente de la curva es mayor en lo correspondiente al comportamiento lineal, indicando que su rigidez es mayor con respecto a las demás separaciones en estudio. La menor carga de falla se presentó para las probetas con separación de 0.12m.

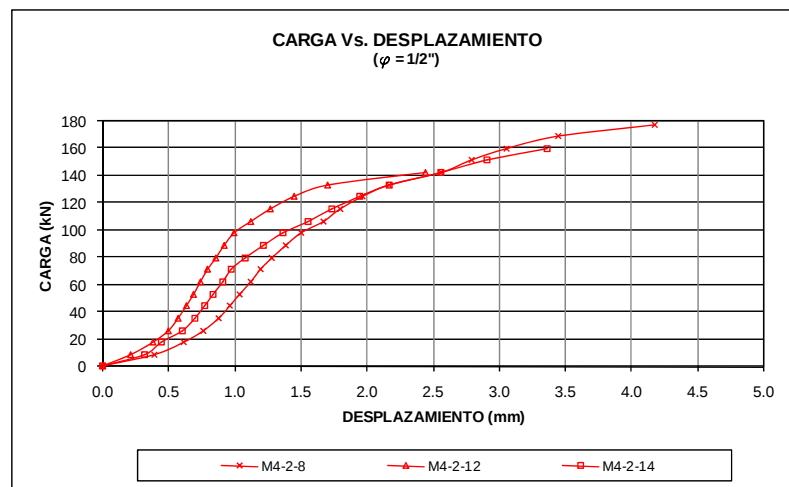


Figura 4.8 Curva Carga - Desplazamiento 2 tornillos $\varphi = 1/2''$

Para los modelos con tres tornillos y diámetro 1/2", los desplazamientos que se registraron fueron similares en su periodo inicial, presentando una diferencia hasta del 12% en los últimos datos.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

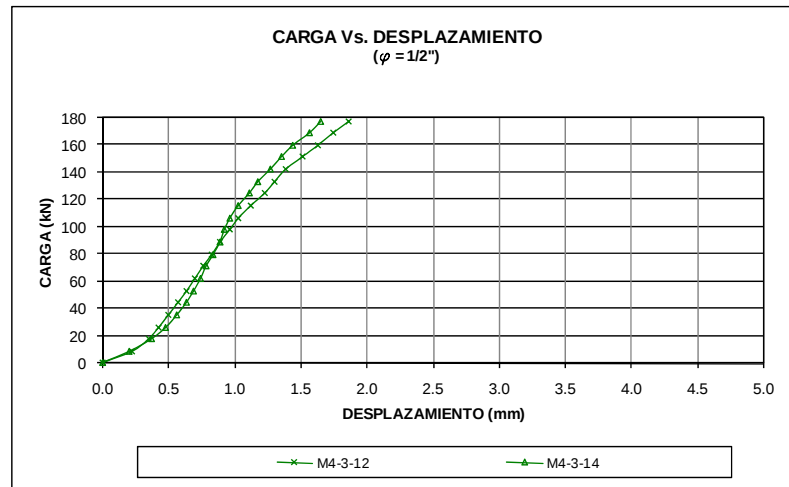


Figura 4.9 Curva Carga - Desplazamiento 3 tornillos $\varphi = 1/2''$

Como se mencionó en el capítulo anterior, el comportamiento lineal de estas probetas fue parecido, alcanzando desplazamientos de 1.05mm y 1.15mm para las separaciones de 0.12m y 0.14m respectivamente.

La tendencia del comportamiento mostrado por las probetas es similar para las tres separaciones en las probetas de dos tornillos con diámetro 5/8", siendo mayores los desplazamientos a medida que disminuye la separación de los conectores. De esta manera, para espaciamientos de 0.08m el incremento en desplazamientos leídos es del 30% con respecto al de 0.14m. La carga máxima fue alcanzada por las probetas con separación de conectores de 0.12m.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

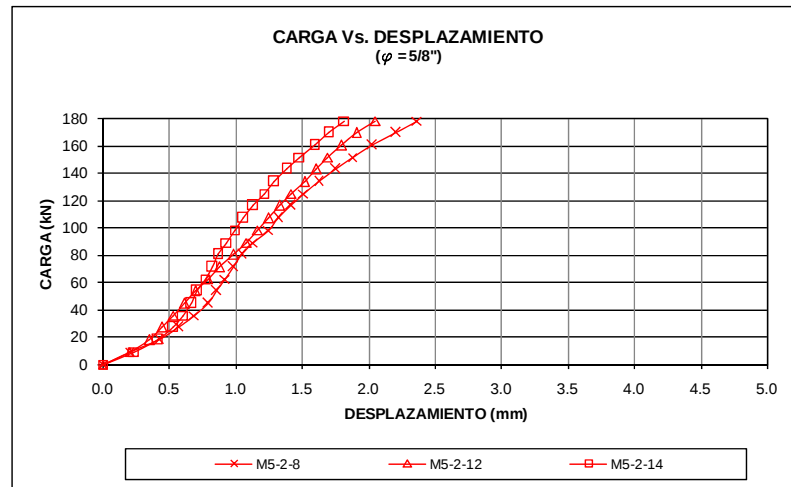


Figura 4.10 Curva Carga - Desplazamiento 2 tornillos $\phi = 5/8''$

De acuerdo con la *figura 4.11*, a medida que la separación aumenta, la rigidez de las probetas se reduce, conduciendo a que los desplazamientos sean mayores. En este caso en particular el desplazamiento para la mayor separación (0.14m) se ve incrementado un 20% con respecto al espaciamiento de 0.12m. Los modelos presentaron comportamiento lineal en todo el periodo de lecturas de datos durante el ensayo.

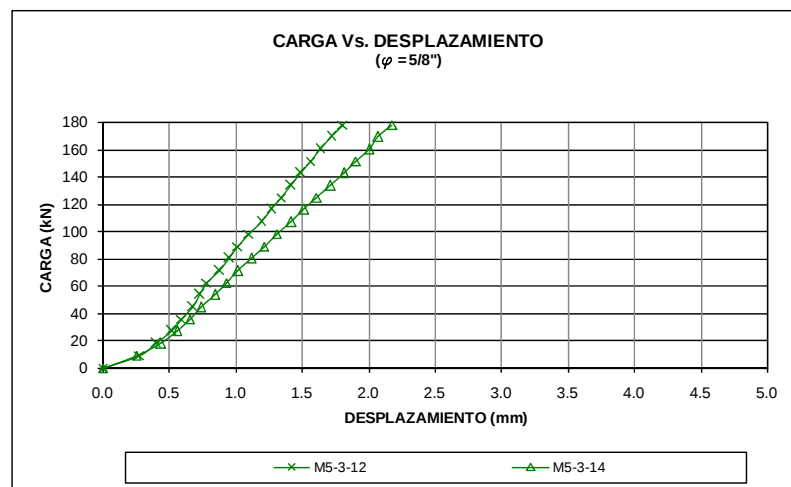


Figura 4.11 Curva Carga - Desplazamiento 3 tornillos $\phi = 5/8''$



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

La rigidez de las probetas con espaciamiento de conectores de 0.08m, dos conectores y diámetro 3/4" evidencia una reducción de rigidez con respecto a los modelos con separaciones de 0.12m y 0.14m, los cuales presentan tendencias muy similares entre si. La carga máxima fue obtenida por las probetas con separación de 0.12m, aunque la variación no es significativa (*figura 4.12*).

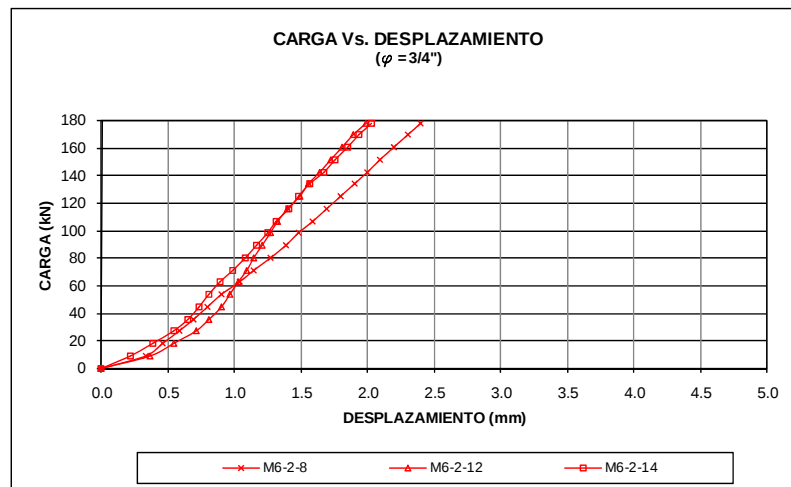


Figura 4.12 Curva Carga - Desplazamiento 2 tornillos $\varphi = 3/4''$

Para el caso de tres conectores y diámetro 3/4", al igual que para conectores de diámetro de 5/8", los desplazamientos desarrollados por la placa de concreto con respecto al perfil metálico son proporcionales a la separación. En la *figura 4.13* se puede apreciar que la diferencia de desplazamientos es superior al 40%.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

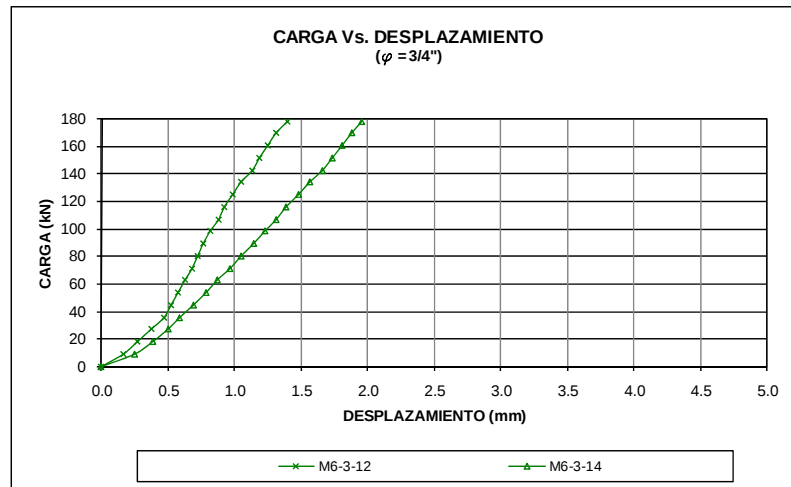


Figura 4.13. Curva Carga - Desplazamiento 3 tornillos $\phi = 3/4"$

4.3. CARGA DE FALLA Vs. DESPLAZAMIENTO PARA IGUAL DIAMETRO E IGUAL SEPARACIÓN

Las probetas de dos y tres conectores de $1/2"$ con separación de 0.12m presentaron comportamiento elástico. Una vez sobrepasado este límite, las últimas siguen incrementando la magnitud de la carga, pero el valor de los desplazamientos leído es menor, mientras que la probeta con dos conectores presenta reducción de rigidez (figura 4.14).

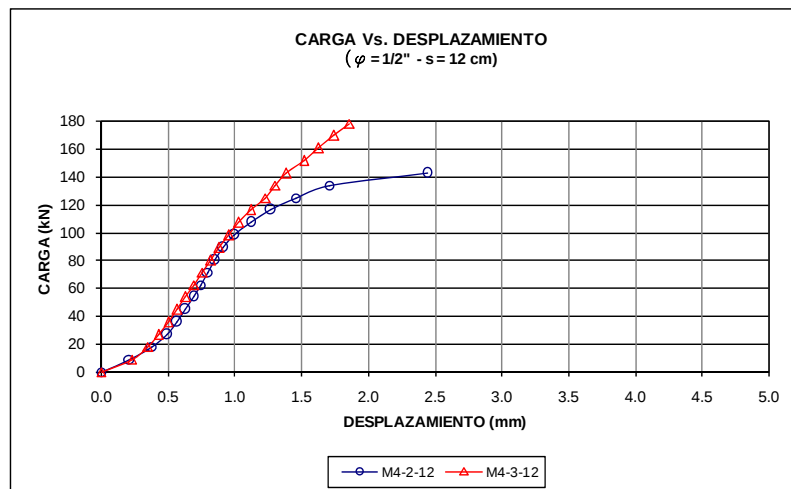


Figura 4.14 Curva Carga - Desplazamiento $\phi = 1/2"$ separación 0.12m



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

Al igual que en las probetas con espaciamiento de 0.12m, en los modelos de 0.14m de separación de conectores la tendencia inicial del comportamiento de las probetas es parecida durante la zona de trabajo elástico (*figura 4.15*). La diferencia entre desplazamientos registrados del modelo de dos conectores con respecto al modelo con tres conectores es superior al 100%.

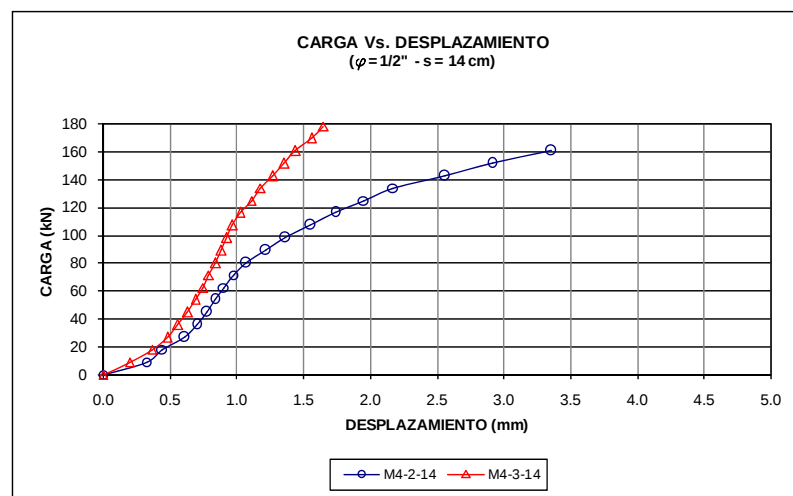


Figura 4.15 Curva Carga - Desplazamiento $\varphi = 1/2''$ separación 0.14m

De acuerdo con lo documentado en el capítulo anterior, en las probetas con conectores de $5/8''$ y que presentaron fractura en la placa de concreto, el comportamiento de los modelos fue lineal en todo el periodo de registro, lo cual se ve reflejado en la *figura 4.16* con la similitud de los datos.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

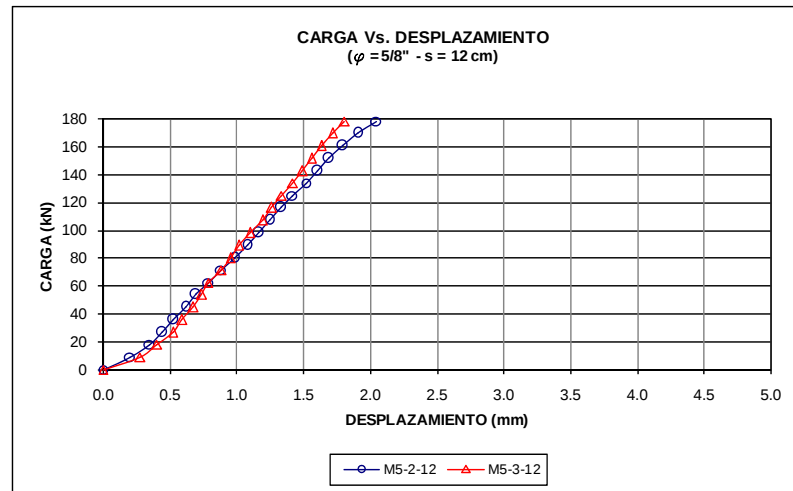


Figura 4.16 Curva Carga - Desplazamiento $\phi = 5/8''$ separación 0.12m

Para la separación de 0.14m con conectores de 5/8", se presentó similitud en el registro inicial de datos, pero conforme se incrementó la carga la diferencia en desplazamientos alcanzó un 20% (figura 4.17).

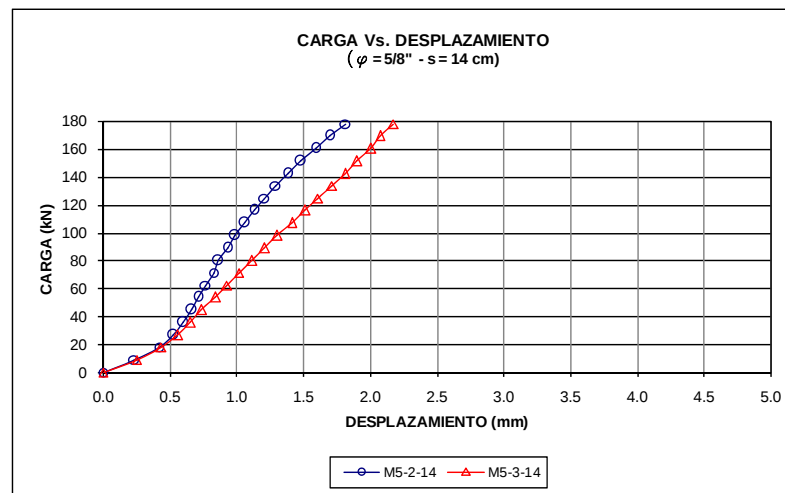


Figura 4.17 Curva Carga - Desplazamiento $\phi = 5/8''$ separación 0.14m

La tendencia de las curvas es muy parecida entre si, existe una diferencia inicial en los desplazamientos la cual se mantiene durante todo el proceso de toma de datos. Además, la información recopilada evidencia el trabajo de las probetas en el rango lineal (figura 4.18).



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

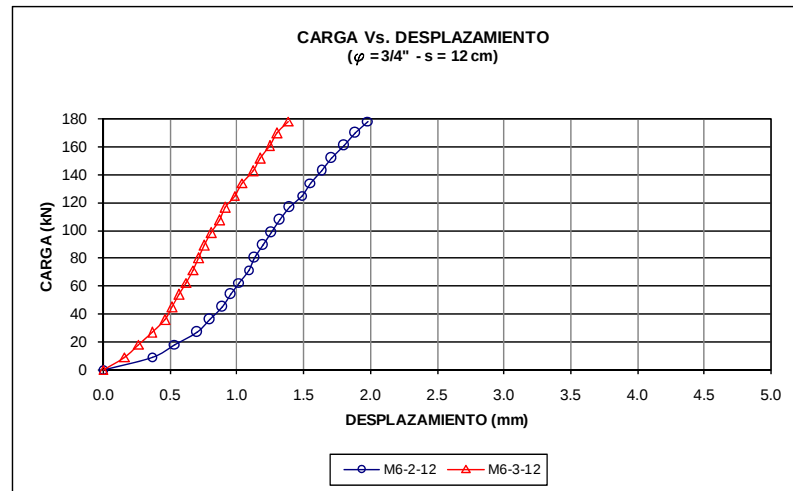


Figura 4.18 Curva Carga - Desplazamiento $\varphi = 3/4"$ separación 0.12m

En la *figura 4.19* se ve claramente el comportamiento lineal de los modelos con dos y tres conectores de $3/4"$, donde no se evidencia de forma apreciable diferencia en desplazamientos ni en carga. Cabe destacar que la falla presentada fue causada por la fractura de la placa de concreto.

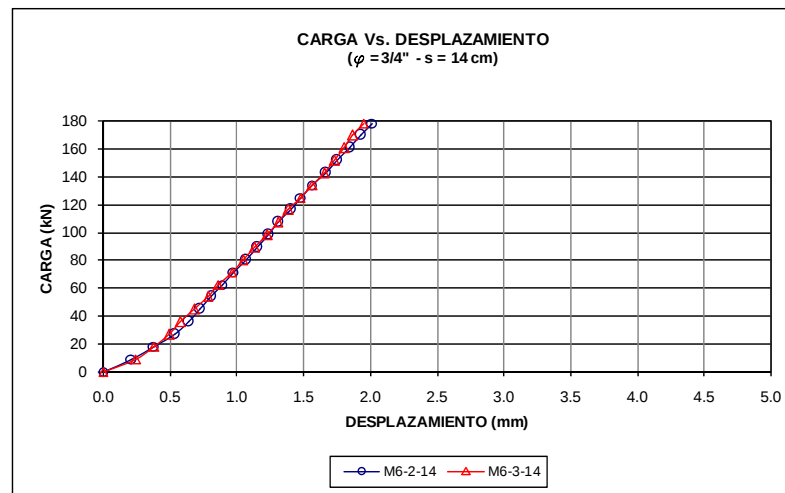


Figura 4.19 Curva Carga - Desplazamiento $\varphi = 3/4"$ separación 0.14m



4.4. CARGA DE FALLA Vs. SEPARACIÓN PARA IGUAL CANTIDAD DE CONECTORES

En las gráficas carga-separación en modelos con dos conectores, se aprecia que para espaciamientos de 0.12m con tornillos de 5/8" y 3/4" resistieron una mayor carga que en separaciones de 0.08m y 0.14m. En probetas con tornillos de 1/2" el efecto presentado fue inverso, la menor carga se presentó para el espaciamiento de 0.12m. Es relevante como resiste mayor carga a medida que el diámetro de los conectores se incrementa.

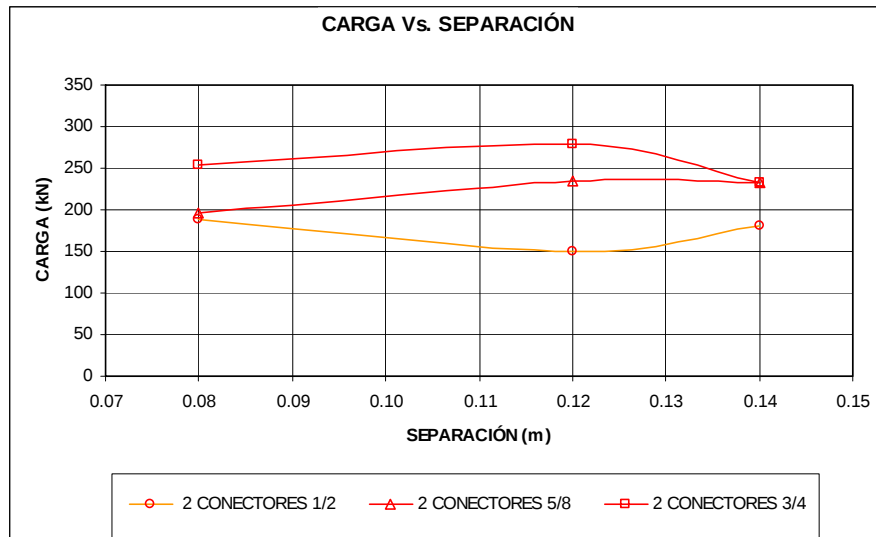


Figura 4.20 Curva Carga – Separación 2 tornillos

Los resultados de modelos con tres conectores obtenidos no permiten determinar la relación del comportamiento con respecto a los diámetros debido a los pocos puntos promedio obtenidos.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

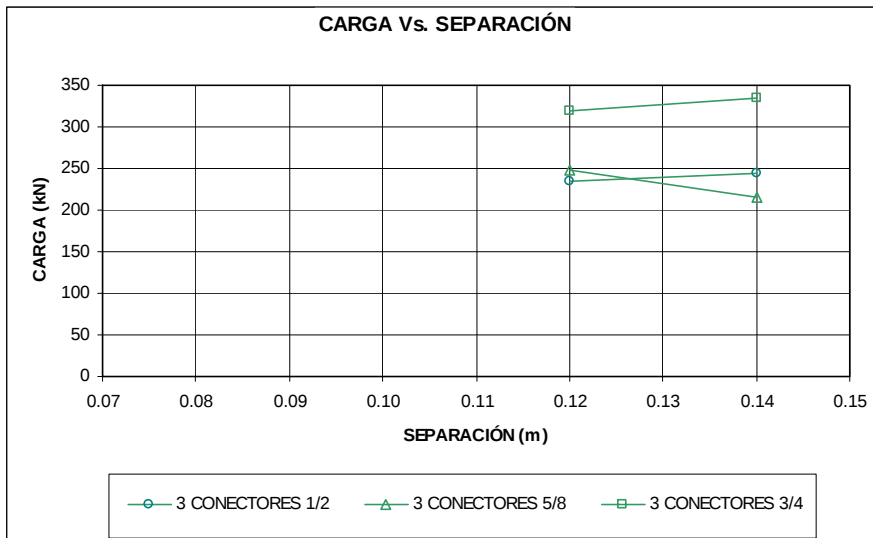


Figura 4.21 Curva Carga – Separación 3 tornillos

4.5. CARGA DE FALLA Vs. SEPARACIÓN PARA IGUAL DIÁMETRO

Se destaca la proporcionalidad existente entre la carga de falla y el diámetro de los conectores, mucho más notoria para probetas con conectores de 1/2" y 3/4". Para los modelos con tornillos de 5/8" no es representativa esta diferencia ya que los valores de carga de falla son similares.

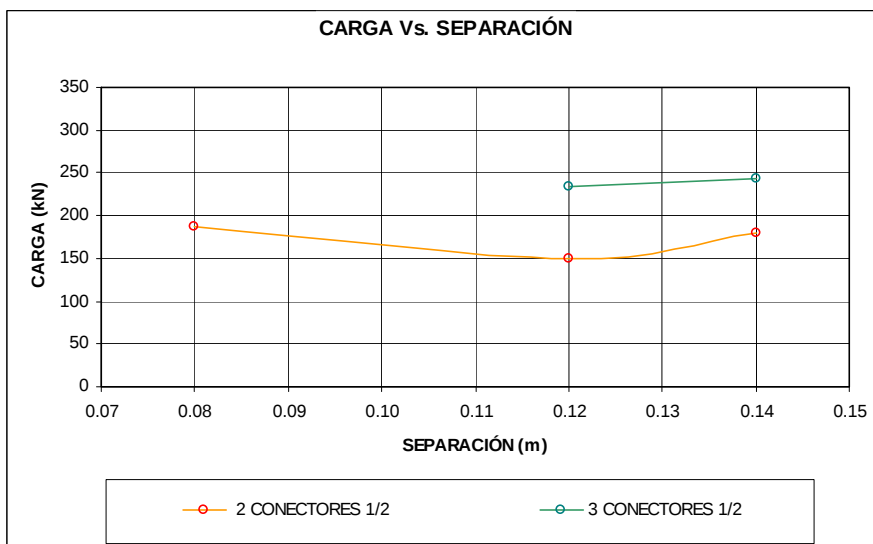


Figura 4.22 Curva Carga - Separación $\varphi = 1/2"$



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

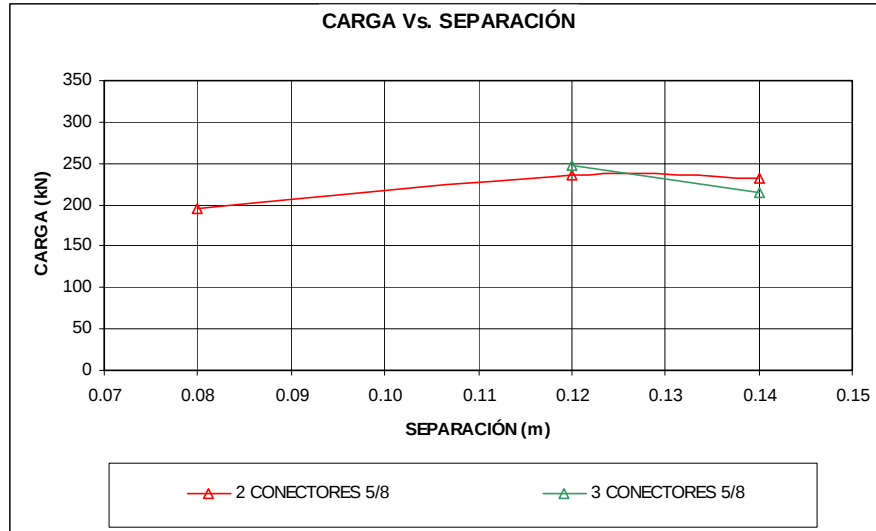


Figura 4.23 Curva Carga - Separación $\phi = 5/8$ "

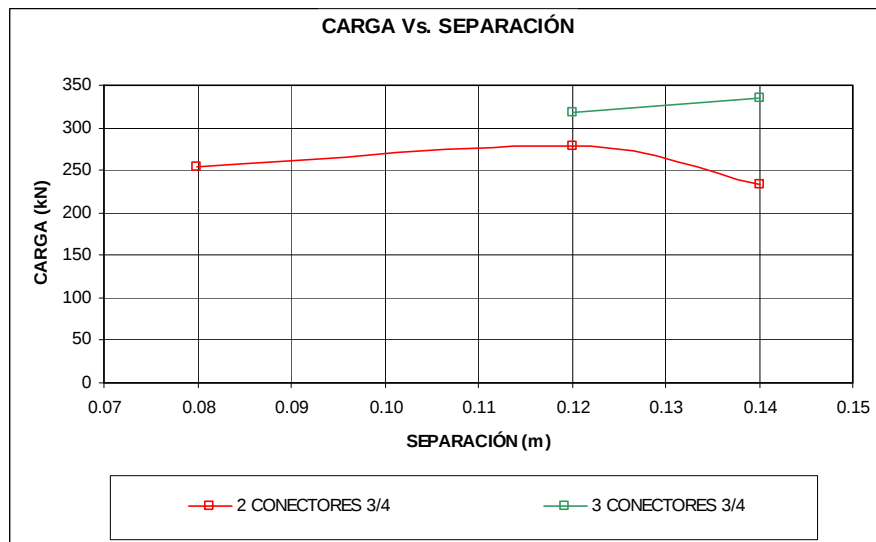


Figura 4.24 Curva Carga - Separación $\phi = 3/4$ "



4.6. CARGA DE FALLA Vs. DIÁMETRO PARA IGUAL CANTIDAD DE CONECTORES

En probetas con espaciamiento de tornillos de 0.14m, la carga máxima se presenta con conectores de 5/8", siendo menor para tornillos de 3/4"; en los demás espaciamientos, 0.08m y 0.12m, la carga de falla se incrementa conforme aumenta el diámetro de los conectores.

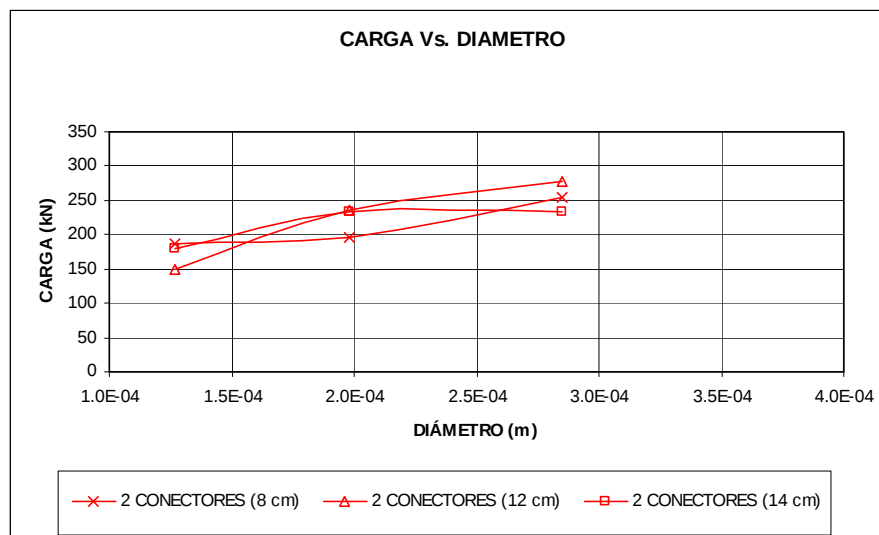


Figura 4.25 Curvas Carga – Diámetro 2 tornillos

A diferencia del caso anterior, para tres conectores la separación de 0.14m presenta la menor carga con conectores de 5/8". De otra parte, en lo que respecta a las probetas con espaciamiento de 0.12m, la carga de falla es proporcional al diámetro de los conectores.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

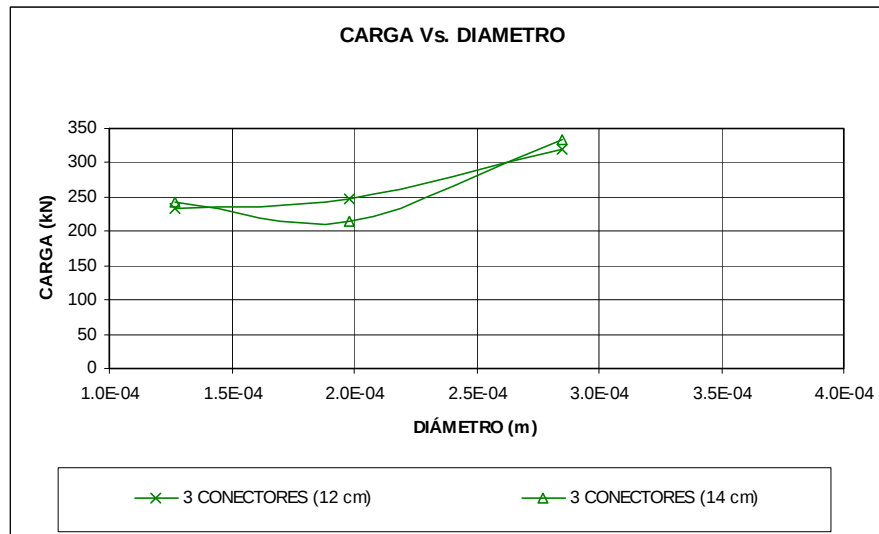


Figura 4.26 Curvas Carga – Diámetro 3 tornillos

4.7. CARGA DE FALLA Vs. DIÁMETRO PARA IGUAL SEPARACIÓN

Para los dos casos se conserva la proporcionalidad entre la carga de falla y el diámetro de los conectores.

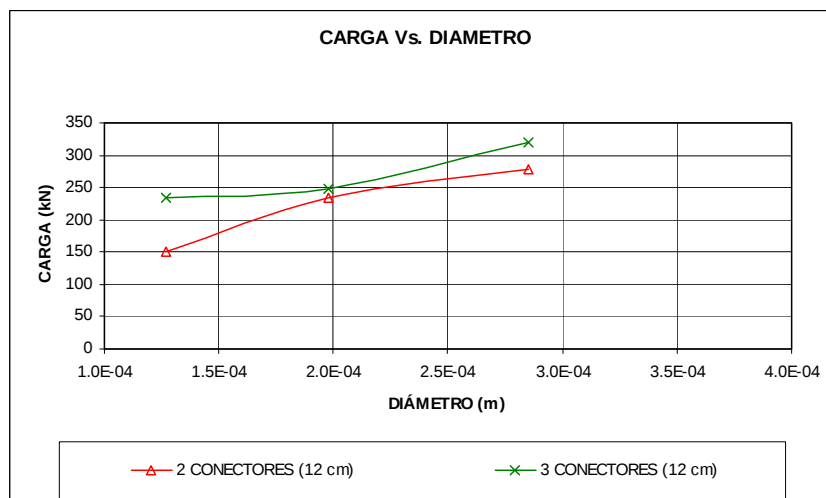


Figura 4.27 Curva Carga - Separación 0.12m



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

En los modelos con tres conectores se aprecia la reducción de la carga de falla para conectores de 5/8". En las probetas con dos tornillos la carga de falla aumenta al ser mayor el diámetro de los conectores.

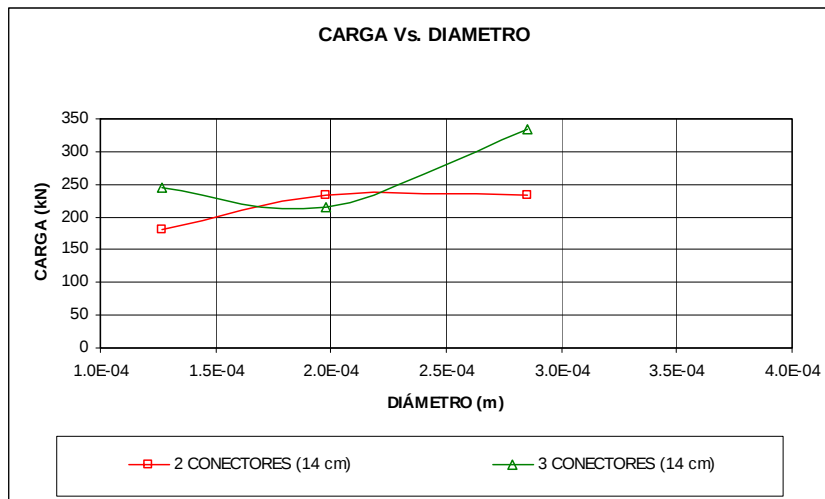


Figura 4.28 Curva Carga - Separación 0.14m

4.8. COMPARACIONES GENERALES

En conclusión, fueron mayores los desplazamientos en modelos con dos conectores en los cuales se emplearon conectores de 1/2" con respecto a los que tenían uno o tres tornillos, a causa del trabajo en el rango inelástico desarrollado por la soldadura sin llegar a la falla, pero mostrando deformaciones permanentes.

En el caso de un conector, la falla fue gobernada por la soldadura presentando menor rigidez con respecto a los demás modelos, como se aprecia en la *figura 4.29*.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

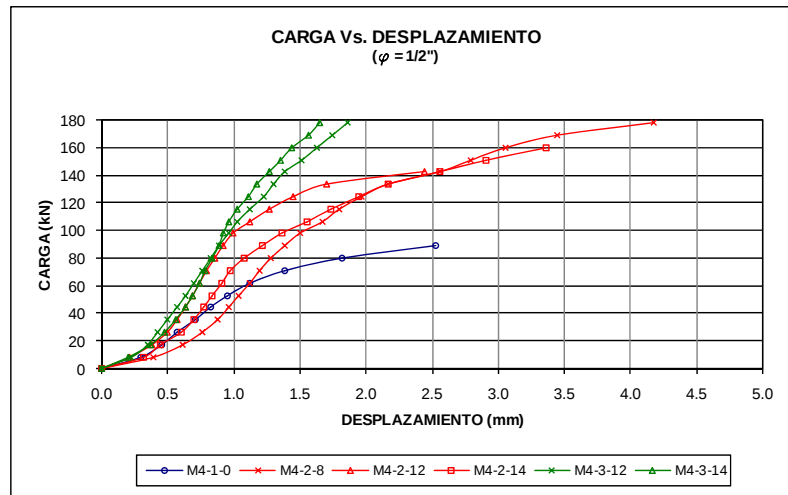


Figura 4.29 Curva Carga - Desplazamiento $\phi = 1/2''$

Para el caso donde existían tres tornillos se evidenció un sistema muy rígido, en el cual los conectores transmitieron la carga al concreto en su totalidad, provocando la falla frágil de la sección por la rotura de la placa.

Las cargas últimas de los modelos de dos y tres conectores de $5/8''$ tuvieron poca variación y su tendencia fue similar.

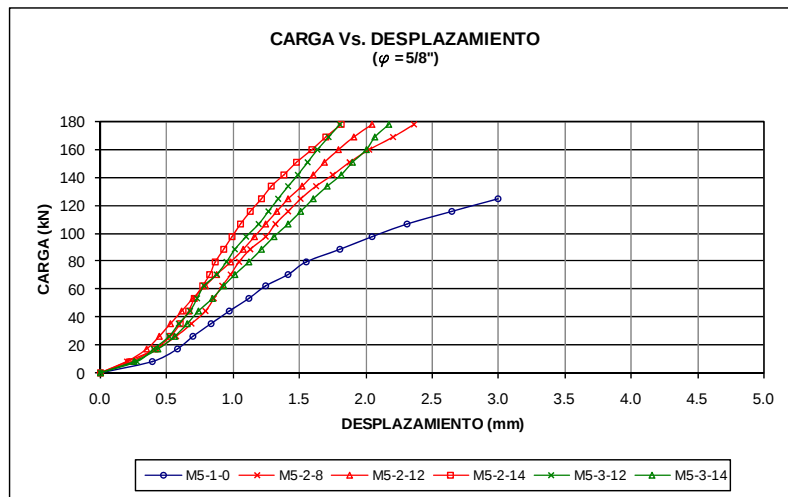


Figura 4.30 Curva Carga - Desplazamiento $\phi = 5/8''$



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

Como se puede ver en las *figuras 4.29, 4.30 y 4.31*, con el incremento del diámetro aumenta la rigidez de los modelos en lo correspondiente a los casos con un solo conector. Este efecto es más evidente para probetas con tornillos de 3/4" mostrando una tendencia similar entre las curvas para las distintas separaciones.

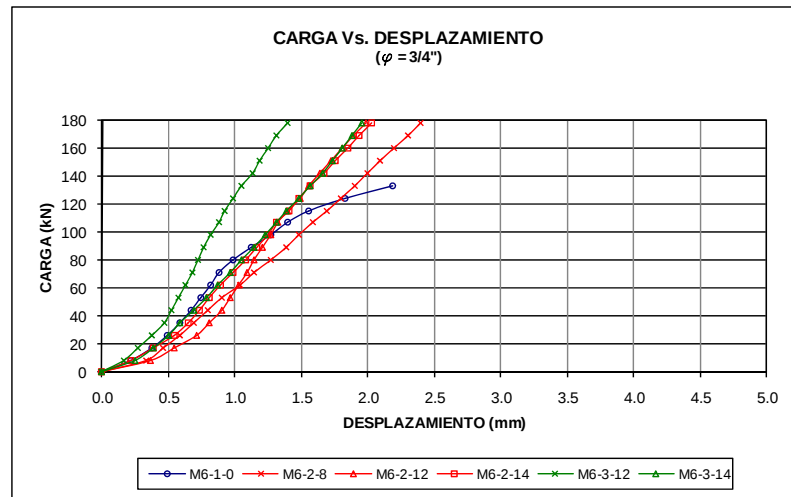


Figura 4.31 Curva Carga - Desplazamiento $\varphi = 3/4"$

En las gráficas de carga separación es evidente como incrementa la carga de falla con el aumento de la cantidad de conectores y el diámetro de los mismos, salvo para el caso de 5/8" donde los valores últimos son bastante parecidos.

Las mayores cargas de falla en modelos de 5/8" y 3/4" se presentaron para la separación de 0.12m, pero en el caso de tornillos de 1/2" este espaciamiento mostró la falla de las probetas con carga más baja.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

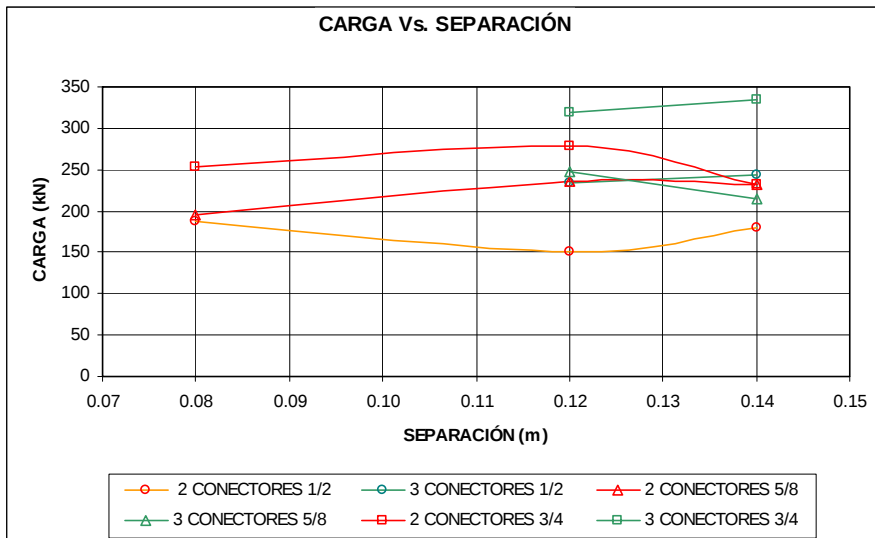


Figura 4.32 Curvas Carga – Separación

Es evidente el incremento proporcional del valor de la carga última con el aumento de la cantidad del conectores, salvo para la separación de 0.14m que empieza a ser poco eficiente.

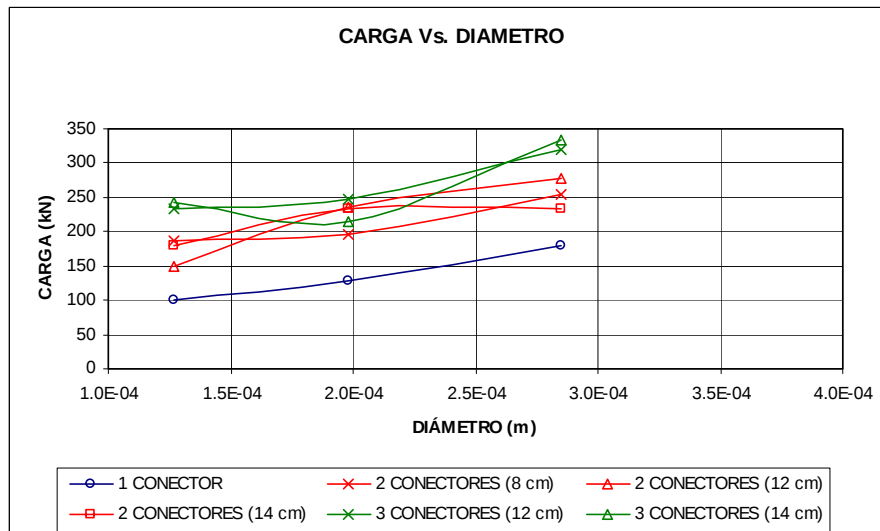


Figura 4.33 Curva Carga - Diámetro



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

Atípicamente, para 2 conectores de 5/8" separados 0.08m y 3 conectores separados 0.14m la carga de falla es menor con respecto a carga para la separación de 0.12m en tornillos de 3/4". Para las demás probetas, la carga de falla se incrementa conforme aumenta el diámetro de los conectores.



5. FORMULACIÓN PARA EL DISEÑO DE SECCIONES COMPUESTAS CON CONECTORES TIPO TORNILLO

A través de este capítulo se desarrolla y presenta la formulación de diseño a la que se llega a partir del análisis realizado con los datos experimentales.

5.1. COMPORTAMIENTO GENERAL DE LOS CONECTORES TIPO TORNILLO

Con el fin de obtener las ecuaciones de diseño de conectores tipo tornillo grado dos para un sistema de sección compuesta con concreto de 21 MPa, se calcula la relación entre cargas de falla a través de:

$$\sqrt{f'_c \cdot E_c \cdot n \cdot \varphi} \quad \sqrt{f'_c \cdot E_c \cdot S}$$

donde:

f'_c : Resistencia a la compresión del concreto [MPa]

E_c : Módulo de elasticidad del concreto [MPa]

n : Número de conectores

φ : Diámetro de los conectores [m]

S : Separación entre conectores [m]

Estas expresiones han sido parámetros de comparación en estudios previos como *Larrañaga (2006)*, y que a su vez tienen la misma presentación de las ecuaciones planteadas en las normas de diseño. Estos valores se encuentran calculados, de acuerdo con los resultados de los materiales, en la *tabla 5.1*.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

MODELO	CARGA FALLA kN	$\sqrt{f'_c \cdot E_c \cdot n \cdot \varphi}$ (KN)	$\sqrt{f'_c \cdot E_c \cdot S}$ (KN)
M4-1-0	100.42	151.542	---
M4-2-8	187.54	214.313	268.944
M4-2-12	150.16	214.313	329.388
M4-2-14	180.38	214.313	355.780
M4-3-12	234.22	262.479	329.388
M4-3-14	243.73	262.479	355.780
M5-1-0	129.32	169.430	---
M5-2-8	195.33	239.610	268.944
M5-2-12	234.97	239.610	329.388
M5-2-14	232.48	239.610	355.780
M5-3-12	248.11	293.461	329.388
M5-3-14	214.59	293.461	355.780
M6-1-0	178.59	185.601	---
M6-2-8	253.38	262.479	268.944
M6-2-12	278.42	262.479	329.388
M6-2-14	232.96	262.479	355.780
M6-3-12	318.85	321.470	329.388
M6-3-14	334.24	321.470	355.780

Tabla 5.1 Datos de comparación para la formulación de diseño.

5.2. RELACIÓN CARGA DE FALLA Vs. DIÁMETRO

En la *tabla 5.2* se encuentran datos de carga última, $\sqrt{f'_c \cdot E_c \cdot n \cdot \varphi}$ y la respectiva relación existente entre estas dos magnitudes, con la cual se busca el factor de proporcionalidad que permita calcular valores de carga de falla a partir del diámetro y la cantidad de conectores.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

MODELO	CARGA FALLA kN	$\sqrt{f'_c \cdot E_c \cdot n \cdot \phi}$ (KN)	RELACIÓN
M4-1-0	100.42	151.542	0.66
M4-2-8	187.54	214.313	0.88
M4-2-12	150.16	214.313	0.70
M4-2-14	180.38	214.313	0.84
M4-3-12	234.22	262.479	0.89
M4-3-14	243.73	262.479	0.93
M5-1-0	129.32	169.430	0.76
M5-2-8	195.33	239.610	0.82
M5-2-12	234.97	239.610	0.98
M5-2-14	232.48	239.610	0.97
M5-3-12	248.11	293.461	0.85
M5-3-14	214.59	293.461	0.73
M6-1-0	178.59	185.601	0.96
M6-2-8	253.38	262.479	0.97
M6-2-12	278.42	262.479	1.06
M6-2-14	232.96	262.479	0.89
M6-3-12	318.85	321.470	0.99
M6-3-14	334.24	321.470	1.04

Tabla 5.2 Datos de comparación para correlacionar el efecto del diámetro de los conectores.

Partiendo de estos datos, se observa que al promediar los valores de relación de cargas con las mismas separaciones entre conectores se obtiene:

SEPARACIÓN	FACTOR
0.08	0.89
0.12	0.91
0.14	0.90

con promedio 0.90, desviación estándar de 0.01 y varianza de 0.0001. De esta manera, la ecuación que permite correlacionar el diámetro de los conectores con la carga de falla es:

$$V_u = 0.9 \cdot \sqrt{f'_c \cdot E_c \cdot n \cdot \phi}^{14}$$

V_u : Carga última del conector [kN]
 f'_c : Resistencia a la compresión del concreto [MPa]
 E_c : Módulo de elasticidad del concreto [MPa]
 n : Número de conectores
 ϕ : Diámetro de los conectores [m]

¹⁴ Ecuación de diseño planteada en la investigación



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

5.3. RELACIÓN CARGA DE FALLA Vs. SEPARACIÓN

De manera análoga al numeral 5.2., en la tabla 5.3 se muestran los datos de carga de falla, $\sqrt{f'_c \cdot E_c \cdot S}$ y su respectiva relación.

MODELO	CARGA FALLA kN	$\sqrt{f'_c \cdot E_c \cdot S}$ (KN)	RELACIÓN
M4-1-0	100.42		
M4-2-8	187.54	268.944	0.70
M4-2-12	150.16	329.388	0.46
M4-2-14	180.38	355.780	0.51
M4-3-12	234.22	329.388	0.71
M4-3-14	243.73	355.780	0.69
M5-1-0	129.32		
M5-2-8	195.33	268.944	0.73
M5-2-12	234.97	329.388	0.71
M5-2-14	232.48	355.780	0.65
M5-3-12	248.11	329.388	0.75
M5-3-14	214.59	355.780	0.60
M6-1-0	178.59		
M6-2-8	253.38	268.944	0.94
M6-2-12	278.42	329.388	0.85
M6-2-14	232.96	355.780	0.65
M6-3-12	318.85	329.388	0.97
M6-3-14	334.24	355.780	0.94

Tabla 5.3 Datos de comparación para correlacionar el efecto de la separación entre conectores.

Al promediar los valores de relación de cargas para probetas con el mismo diámetro se obtiene:

DIÁMETRO	FACTOR
1/2	0.61
5/8	0.69
3/4	0.87



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

Promediando estos valores y redondeando, se llega al valor 0.7, con desviación estándar de 0.13 y varianza de 0.01, permitiendo llegar a la ecuación de correlación entre carga de falla y separación entre conectores:

$$V_u = 0.7 \cdot \sqrt{f'_c \cdot E_c \cdot S}$$

V_u : Carga última del conector [kN]

f'_c : Resistencia a la compresión del concreto [MPa]

E_c : Módulo de elasticidad del concreto [MPa]

S : Separación entre conectores [m]

5.4. METODOLOGÍA DE DISEÑO

Partiendo que el diseño por flexión de la sección compuesta por el perfil de acero y la placa de concreto se realizó previamente de acuerdo con lo estipulado en el numeral F.2.9.3. DE NSR-98, se procede a diseñar los conectores de cortante por el siguiente procedimiento, el cual es ilustrado en la *figura 4.34.*:

1. Selección un diámetro φ de conectores y se conocen los valores nominales de:
 - o Resistencia de los materiales (f'_c , E_c , F_y , F_u)
 - o Geometría de la sección (A_c , A_s)
 - o Solicitación máxima a cortante (V_u),
2. Cálculo la fuerza máxima de corte inducida por flexión en la placa de concreto de acuerdo con el numeral F.2.9.5.2 (a) de NSR98:

$$FC = 0.85 \cdot A_c \cdot f'_c$$

3. Cálculo de la fuerza máxima de compresión resistida por el perfil metálico según el numeral F.2.9.5.2 (b) de NSR98:

$$FA = F_y \cdot A_s$$



**COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO
GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA**

4. Identificación del valor de carga de falla CF como el menor entre los calculados en los pasos 2 y 3.

5. Cálculo de la resistencia de un conector para la falla del concreto:

$$Q_{nc} = 0.90 \cdot \sqrt{f'_c \cdot E_c \cdot \phi}$$

6. Cálculo de la resistencia de un conector para la falla del acero:

$$Q_{na} = 0.50 \cdot F_u \cdot \phi^2$$

7. Identificación del valor de falla Q_n como el menor entre los calculados en los pasos 5 y 6.

8. Cálculo del número de conectores de acuerdo con el numeral *F.2.9.5.5* de NSR98:

$$n = \frac{CF}{Q_n}$$

9. Revisión que la resistencia de la soldadura sea mayor que el cortante de sollicitación

$$R_n > V_u$$

$$R_n = 0.6 \cdot A_{sol} \cdot E70XX \cdot n$$

$$A_{sol} = t \cdot \pi \cdot (\phi + t) \cdot \cos(45)$$

10. Revisión que la fuerza cortante resistida por la sección (V_n) es superior a la fuerza cortante de sollicitación (V_u):

$$V_n > V_u$$

$$V_n = 0.90 \cdot \sqrt{f'_c \cdot E_c \cdot n \cdot \phi}$$

11. Cálculo de la separación de los conectores.

$$S_{cal} = \frac{2.04 \cdot V_u^2}{f'_c \cdot E_c}$$



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

12. Revisión de las separaciones límite de conectores de acuerdo con los requisitos del numeral F.2.9.5.6 de NSR98:

- “Los conectores de cortante requeridos en cada lado del punto de máximo momento flector, positivo o negativo, se distribuirán uniformemente entre aquel punto y los puntos adyacentes de momento cero. Sin embargo, el número de conectores colocados entre cualquier carga concentrada y el punto más cercano de momento cero deberá ser suficiente para desarrollar el máximo momento requerido en el punto de la carga concentrada”.
- “Excepto para conectores instalados en las nervaduras de las láminas de acero plegadas, los conectores de corte tendrán como mínimo 0.025m de recubrimiento lateral de concreto. El diámetro de los conectores no será mayor de 2.5 veces el espesor de la aleta a la cual se sueldan, a menos que estén colocados sobre el alma”.
- “El mínimo espaciamiento centro a centro de los conectores de espigo será igual a 6 diámetros a lo largo del eje longitudinal de la viga compuesta y a 4 diámetros en dirección transversal al eje longitudinal de la viga, excepto que el espaciamiento centro a centro dentro de las nervaduras de la lámina de acero plegada puede reducirse a 4 diámetros en cualquier dirección. El espaciamiento máximo centro a centro de los conectores de cortante no deberá exceder de 8 veces el espesor total de la placa”.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

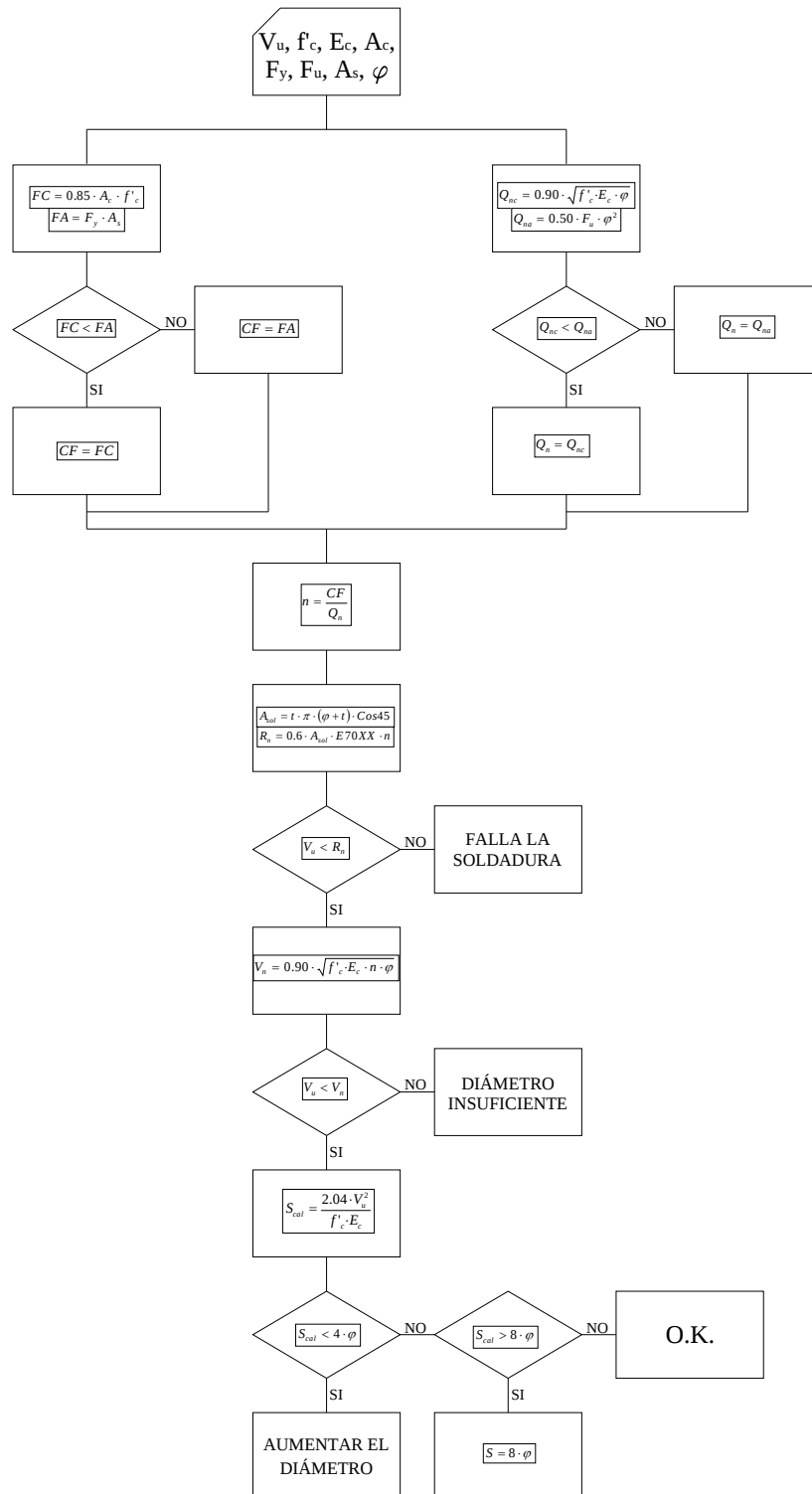


Figura 5.1 Diagrama de flujo de diseño de conectores de cortante tipo tornillo.



6. MODELO MATEMÁTICO

En este capítulo se presentan las consideraciones tenidas en cuenta para caracterizar un modelo computacional, el cual se realizó en el programa *ANSYS V10.0*, que esta fundamentado en el método de los elementos finitos.

El modelo analizado se identifica *M5-2-12* de acuerdo con la nomenclatura presentada en el capítulo 2. Esta probeta se seleccionó debido a que la dispersión de resultados en los ensayos de laboratorio fue mínima y fue apreciable a simple vista el trabajo conjunto de la sección compuesta.

Se realizó un análisis tridimensional con no linealidad de acuerdo con los modelos constitutivos de los materiales, considerando deformaciones infinitesimales. La aplicación de la carga fue representada por un desplazamiento incremental sobre el perfil.

Al inicio del capítulo se definen los elementos empleados en la modelación, los materiales, modelos constitutivos y sus respectivas características mecánicas. Posteriormente se hace la descripción general de la geometría y del tipo de análisis y por último, se presenta la información aportada de la modelación matemática y se comparan dichos resultados con los obtenidos durante la fase experimental.



6.1. MODELOS NUMÉRICOS DE LOS MATERIALES

6.1.1. CONCRETO

El concreto, bajo un estado multiaxial de esfuerzos de compresión, tiene un comportamiento elástico no lineal justo desde el momento en que se produce la primera microfisura, y continua degradando su rigidez hasta llegar a su máxima resistencia. De esta manera, los criterios de falla empleados en su modelación describen una superficie de esfuerzo máximo.

El criterio de falla empleado para esta investigación, fue el desarrollado por William y Warnke en 1975 expresado de la forma:

$$\frac{F}{f'_c} - S \geq 0$$

Donde:

F: Función dependiente del estado de esfuerzos principales ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$).

S: Superficie de falla definida por: $f_t, f'_c, f_{cb}, f_1, f_2$.

f'_c : Resistencia última uniaxial a compresión

f_t : Resistencia última uniaxial a tensión

De acuerdo con este criterio, la superficie de falla se puede definir a partir del parámetro f'_c , y los demás se calculan con las expresiones:

$$f_t = 0.1 \cdot f'_c$$

$$f_{cb} = 1.2 \cdot f'_c$$

$$f_1 = 1.45 \cdot f'_c$$

$$f_2 = 1.725 \cdot f'_c$$

Donde:

f_{cb} : Resistencia última biaxial a compresión

f_1 : Resistencia última biaxial a compresión bajo un estado de esfuerzo hidrostático σ_h

f_2 : Resistencia última uniaxial a compresión bajo un estado de esfuerzo hidrostático σ_h



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

Lo anterior es válido si $|\sigma_h| \leq \sqrt{3} \cdot f'_c$, donde $\sigma_h = \frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)$ siendo $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$

los esfuerzos principales. De esta manera se pueden definir cuatro estados de dominio del concreto:

- $0 \geq \sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ (compresión – compresión – compresión)
- $\sigma_1 \geq 0 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ (tensión – compresión – compresión)
- $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq 0 \geq \sigma_3$ (tensión – tensión – compresión)
- $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3 \geq 0$ (tensión – tensión – tensión)

A continuación se presenta la formulación del criterio de falla para los diferentes estados de esfuerzos triaxiales en el concreto.

o **Estado de compresión - compresión - compresión** ($0 \geq \sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$):

$$F = F_1 = \frac{1}{15} \cdot [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]^{\frac{1}{2}}$$

$$S = S_1 = \frac{2r_2 \cdot (r_2^2 - r_1^2) \cdot \cos \eta + r_2 \cdot (2r_1 - r_2) \cdot [4 \cdot (r_2^2 - r_1^2) \cdot \cos^2 \eta + 5r_1 - 4r_1 r_2]^{\frac{1}{2}}}{4 \cdot (r_2^2 - r_1^2) \cdot \cos^2 \eta + (r_2 - 2r_1)^2}$$

$$\cos \eta = \frac{2\sigma_1 - \sigma_2 - \sigma_3}{\sqrt{2} \cdot [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]^{\frac{1}{2}}}$$

$$r_1 = a_0 + a_1 \xi + a_2 \xi^2 \quad r_2 = b_0 + b_1 \xi + b_2 \xi^2 \quad \xi = \frac{\sigma_h}{f'_c}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{F_1}{f'_c} (\sigma_1 = f_t, \sigma_2 = \sigma_3 = 0) \\ \frac{F_1}{f'_c} (\sigma_1 = 0, \sigma_2 = \sigma_3 = -f_{cb}) \\ \frac{F_1}{f'_c} (\sigma_1 = -\sigma_h^a, \sigma_2 = \sigma_3 = -\sigma_h^a - f_1) \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{ccc} 1 & \xi_t & \xi_t^2 \\ 1 & \xi_{cb} & \xi_{cb}^2 \\ 1 & \xi_1 & \xi_1^2 \end{array} \right\} \cdot \left\{ \begin{array}{c} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{array} \right\}$$



**COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO
GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA**

$$\xi_t = \frac{f_t}{3f'_c} \quad \xi_{cb} = -\frac{2f_{cb}}{3f'_c} \quad \xi_1 = -\frac{\sigma_h^a}{f'_c} - \frac{2f_1}{3f'_c}$$

$$\left\{ \begin{array}{c} \frac{F_1}{f'_c} (\sigma_1 = \sigma_2 = 0, \sigma_3 = -f'_c) \\ \frac{F_1}{f'_c} (\sigma_1 = \sigma_2 = -\sigma_h^a, \sigma_3 = -\sigma_h^a - f_2) \\ \frac{F_1}{f'_c} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{ccc} 1 & -\frac{1}{3} & \frac{1}{9} \\ 1 & \xi_2 & \xi_2^2 \\ 1 & \xi_0 & \xi_0^2 \end{array} \right\} \cdot \left\{ \begin{array}{c} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \end{array} \right\}$$

$$\xi_2 = -\frac{\sigma_h^a}{f'_c} - \frac{f_2}{3f'_c} \quad r_2(\xi_0) = a_0 + a_1\xi_0 + a_2\xi_0^2 = 0$$

o **Estado de tensión – compresión – compresión** ($\sigma_1 \geq 0 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$):

$$F = F_2 = \frac{1}{15} \cdot [(\sigma_2 - \sigma_3)^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2]^{\frac{1}{2}}$$

$$S = S_2 = \left(1 - \frac{\sigma_1}{f_t}\right) \frac{2p_2 \cdot (p_2^2 - p_1^2) \cdot \cos \eta + p_2 \cdot (2p_1 - p_2) \cdot [4 \cdot (p_2^2 - p_1^2) \cdot \cos^2 \eta + 5p_1 - 4p_1p_2]^{\frac{1}{2}}}{4 \cdot (p_2^2 - p_1^2) \cdot \cos^2 \eta + (p_2 - 2p_1)^2}$$

$$\cos \eta = \frac{2\sigma_1 - \sigma_2 - \sigma_3}{\sqrt{2} \cdot [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]^{\frac{1}{2}}}$$

$$p_1 = a_0 + a_1\chi + a_2\chi^2 \quad p_2 = b_0 + b_1\chi + b_2\chi^2 \quad \chi = \frac{1}{3}(\sigma_2 + \sigma_3)$$

o **Estado de tensión – tensión – compresión** ($\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq 0 \geq \sigma_3$):

$$F = F_3 = \sigma_i; \quad i = 1, 2$$

$$S = S_3 = \frac{f_t}{f'_c} \cdot \left(1 + \frac{\sigma_3}{f'_c}\right)$$



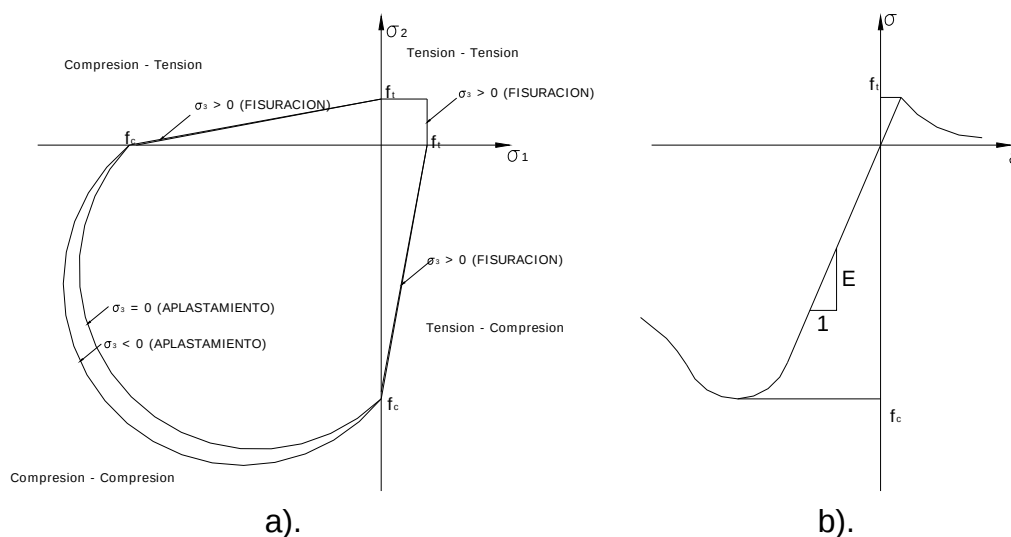
COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

o **Estado de tensión – tensión – tensión** ($\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3 \geq 0$):

$$F = F_4 = \sigma_i; \quad i=1,2,3$$

$$S = S_4 = \frac{f_t}{f'_c}$$

En la *figura 6.1* se muestra la superficie de falla bajo un estado uniaxial y biaxial de esfuerzos.



**Figura 6.1 a). Superficie de falla del concreto bajo estado biaxial de esfuerzos (William & Warnke, 1975).
b). Curva Esfuerzo – Deformación para un estado uniaxial de esfuerzos**

El esfuerzo uniaxial máximo a compresión se tomó de los ensayos de compresión realizados a cilindros testigo y núcleos extraídos, como se indica en el capítulo 2; los demás parámetros se calcularon a partir de relaciones matemáticas. Estos resultados se presentan en la *tabla 6.1*.

PROPIEDAD		DESCRIPCIÓN
f'_c	42.4 MPa	Esfuerzo uniaxial máximo a compresión
f_t	4.2 MPa	Esfuerzo uniaxial máximo a tensión
f_{cb}	50.9 MPa	Esfuerzo biaxial máximo a compresión
σ_h	73.4 MPa	Estado de esfuerzos bajo ambiente hidrostático
f_1	61.5 MPa	Esfuerzo biaxial máximo a compresión y estado hidrostático
f_2	73.1 MPa	Esfuerzo uniaxial máximo a compresión y estado hidrostático

Tabla 6.1 Caracterización de las variables del modelo del concreto



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

El coeficiente de transferencia de cortante (β_t), toma el valor de 1.0 cuando las caras de la grieta son rugosas y están en contacto. En caso contrario se toma como 0.0.

6.1.2. ACERO DE LOS CONECTORES DE CORTANTE

El modelo empleado para el material se caracterizó de acuerdo con los resultados de los ensayos efectuados a los conectores, cuyos valores se encuentran en el capítulo 2. Para este efecto se trabajó con la gráfica esfuerzo-deformación idealizada como una curva bilineal como se ve en la *figura 6.2*.

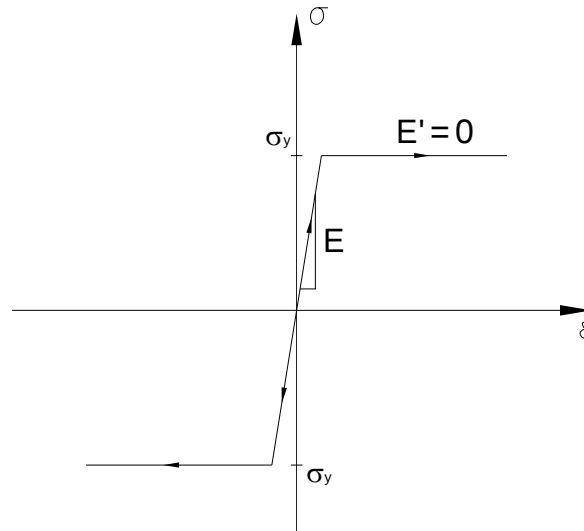


Figura 6.2 Modelo elástico bilineal del acero de los conectores

Esta curva de endurecimiento isotrópico se define a partir de dos pendientes generadas por el módulo de elasticidad del material (E), la relación de Poisson (ν), el esfuerzo de fluencia (σ_y) y la pendiente de la zona de endurecimiento (E'). Estos valores se relacionan en la *tabla 6.2*.

PROPIEDAD		DESCRIPCIÓN
E	200000 MPa	Módulo de elasticidad del acero
σ_y	394.2 MPa	Esfuerzo de fluencia del material
ν	0.20	Relación de poisson
E'	0.00001 MPa	Módulo de elasticidad en la zona de endurecimiento

Tabla 6.2 Caracterización de las variables del modelo de los conectores



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

El valor asignado al módulo de elasticidad en la zona de endurecimiento se considera 0, pero para evitar inconvenientes de convergencia en el modelo numérico se adopta un valor de 1×10^{-5} MPa.

El criterio de falla empleado para el acero, es el criterio de Von Mises, definido por

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 \leq 2\sigma_y^2$$

Donde:

σ_1, σ_2 y σ_3 : Esfuerzos principales.

σ_y : Esfuerzo de fluencia del material.

La figura 6.3 presenta la superficie de fluencia para un estado biaxial de esfuerzos.

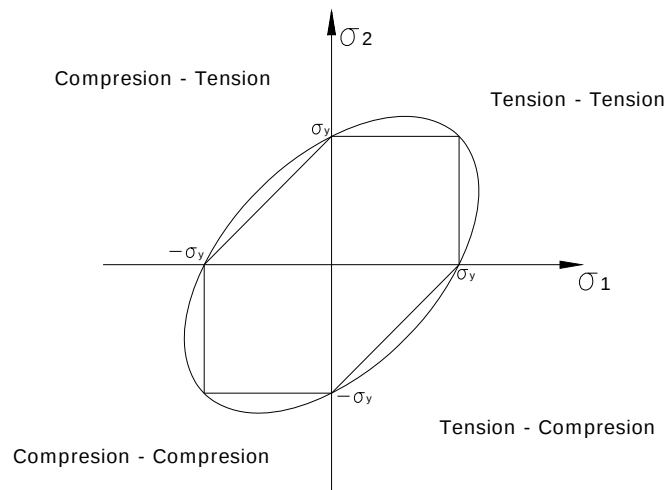


Figura 6.3 Superficie de fluencia del acero bajo un estado biaxial de esfuerzos (Von Mises)

6.1.3. ACERO DEL PERFIL METÁLICO

De igual manera que para los conectores, el modelo del perfil metálico empleó una curva esfuerzo-deformación idealizada bilineal, de acuerdo con los ensayos de laboratorio. Se emplea el criterio de falla de Von Mises



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

La caracterización del material se indica en la *tabla 6.3*

PROPIEDAD		DESCRIPCIÓN
E	200000 MPa	Módulo de elasticidad del acero
σ_y	339.0 MPa	Esfuerzo de fluencia del material
ν	0.20	Relación de poisson
E'	0.00001 MPa	Módulo de elasticidad en la zona de endurecimiento

Tabla 6.3 Caracterización de las variables del modelo del perfil metálico

6.2. CARACTERIZACIÓN DEL MODELO

6.2.1. TIPOS DE ELEMENTOS

6.2.1.1. Concreto

La modelación del concreto se realizó con elementos tridimensionales SOLID65 (3D Reinforced concrete solid), los cuales permiten una mejor aproximación de materiales frágiles con un modelo constitutivo para un estado triaxial de esfuerzos, registrando las fisuras producidas por tensión y el aplastamiento por compresión. El elemento tiene ocho nodos y tres grados de libertad por nodo: translación x, translación y y translación z, como se aprecia en la *figura 6.4*.

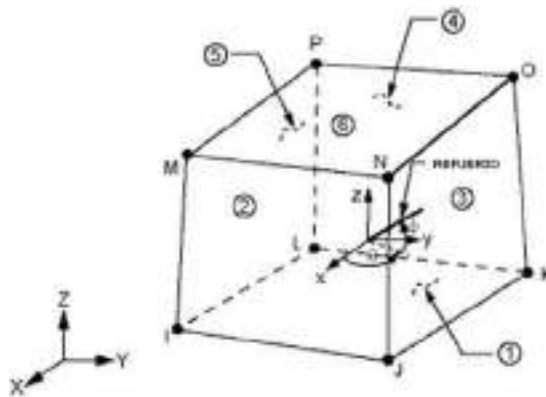


Figura 6.4 Geometría del elemento SOLID65

El aspecto más importante del elemento es la capacidad de trabajar con materiales de comportamiento no lineal, particularmente está diseñado para concreto.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

6.2.1.2. Acero

La modelación del acero, tanto en conectores de cortante como en el perfil metálico, se realizó con elementos tridimensionales SOLID45 (3D structural solid). El elemento tiene ocho nodos y tres grados de libertad por nodo: translación x , translación y y translación z ; y propiedades de material isotrópico en todas las direcciones. Este elemento tiene la ventaja de permitir trabajar materiales con comportamiento no lineal. En la *figura 6.5* se observa la geometría del elemento.

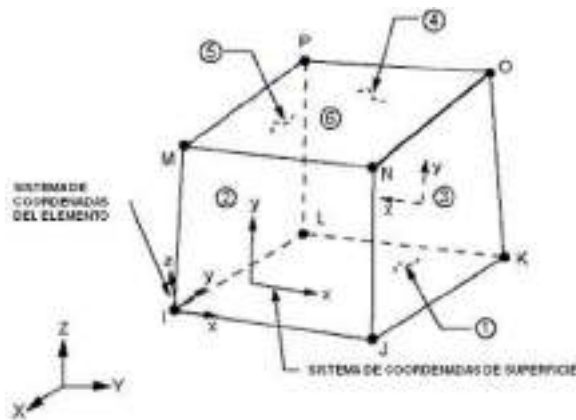


Figura 6.5 Geometría del elemento SOLID45

6.2.2. DISCRETIZACIÓN

Aprovechando la simetría geométrica y de cargas, se modeló la mitad de la probeta con respecto al eje y , con las dimensiones nominales del modelo físico.

En la *figura 6.6* se puede observar la malla de elementos finitos, en donde se aprecia inicialmente el perfil metálico, posteriormente la incorporación de los tornillos y finalmente la placa de concreto junto a los demás elementos.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

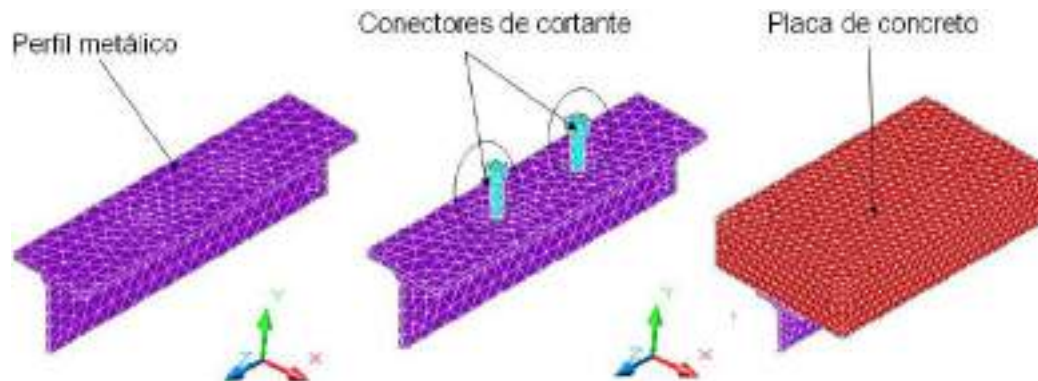


Figura 6.6 Malla de elementos finitos

La malla consta de 44535 elementos tetraédricos de 0.015m de lado, lo cual permite simular todos los detalles geométricos del modelo, con un costo computacional de 6 horas, tiempo razonable para obtener buenos resultados.

La compatibilidad de los nodos, particularmente en las zonas de interacción entre concreto y acero de los conectores, se garantizó mediante la vinculación de las mallas de cada uno de los volúmenes discretizados. El perfil metálico se aisló del volumen de concreto con un pequeño desplazamiento de manera que no existiera ningún tipo de unión.

6.2.3. CONDICIONES DE BORDE

Con el fin de simular adecuadamente las condiciones del ensayo y garantizar la estabilidad del modelo de manera que no existieran problemas de convergencia numérica durante el análisis por computador, se consideraron las siguientes restricciones:

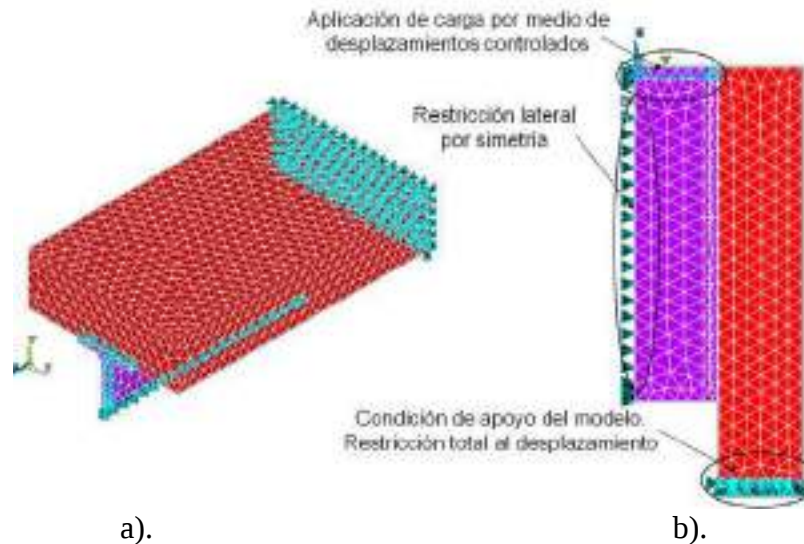
- Apoyos en la cara inferior de la placa de concreto, restringiendo los desplazamientos en x, y y z simulando las condiciones del ensayo experimental.
- Limitación al desplazamiento en dirección y en el alma del perfil, simulando la restricción de la sección simétrica.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

- Desplazamientos controlados en dirección z sobre el perfil, simulando la aplicación de la carga.

En la figura 6.7 se observan las restricciones impuestas al modelo.



**Figura 6.7. Condiciones de borde del modelo de elementos finitos. a) Vista tridimensional del modelo.
b) Detalle de las condiciones de borde.**

La carga aplicada sobre el modelo se representó como un desplazamiento incremental sobre el perfil metálico, siendo consistentes con el procedimiento realizado en las pruebas de laboratorio.

El desplazamiento máximo que se aplicó fue 5mm, que sobrepasa los valores de desplazamiento registrados para el espécimen durante los ensayos experimentales, con el fin de observar comportamiento inelástico de la sección compuesta. Dicho desplazamiento se aplicó de manera lineal en 250 pasos, donde se consideraron hasta 20 iteraciones para llegar a convergencia.



6.3. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA MODELACIÓN

6.3.1. DESPLAZAMIENTOS

En la figura 6.8 se encuentra el diagrama de desplazamientos. La flecha indica la dirección de aplicación de la carga.

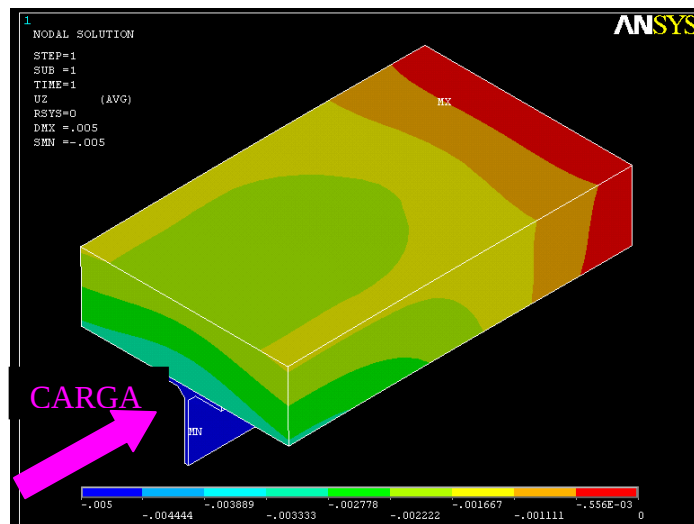
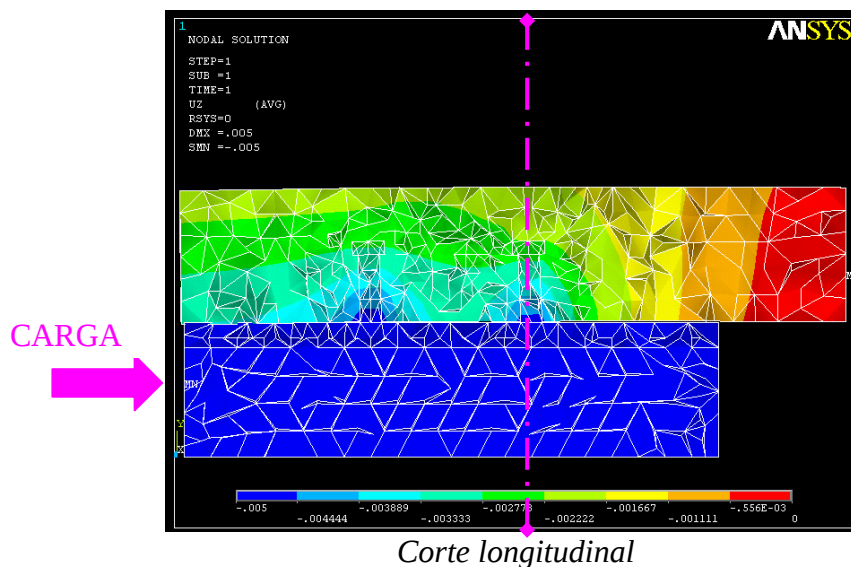


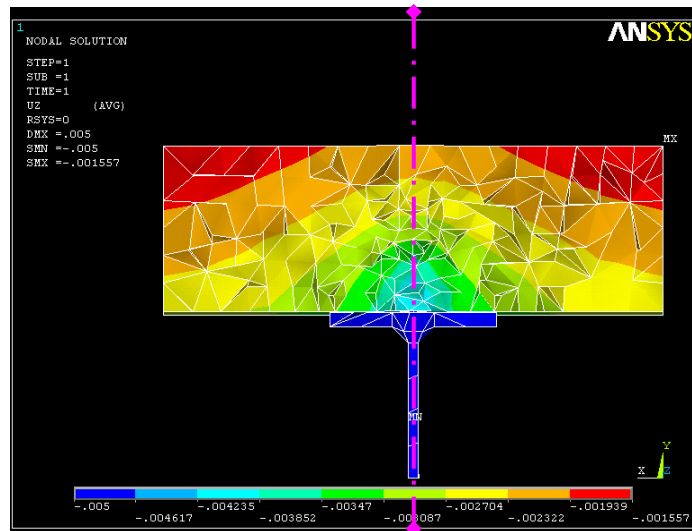
Figura 6.8. Diagrama de desplazamientos en dirección z

En las figuras 6.9 a) y b) se aprecian los cortes longitudinal y transversal de la sección para el mismo diagrama de desplazamientos.





COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA



Corte transversal

Figura 6.9. Diagrama de desplazamientos en dirección z .

Como se puede observar en las *figuras 6.8 y 6.9*, el perfil metálico tuvo un comportamiento de cuerpo rígido, conservando la misma magnitud de desplazamientos tanto en la cara sobre la cual se aplicó la carga como en la ubicada en el extremo opuesto.

La *figuras 6.10 y 6.11* permite ver la diferencia de desplazamientos a lo largo de la placa de y el perfil metálico, respectivamente. Nótese que el desplazamiento de los tornillos en la zona de vínculo con el perfil metálico es el mismo (color azul), lo cual indica la compatibilidad de desplazamientos entre los diferentes elementos y materiales que conforman el modelo. En la zona de la placa de concreto adyacente a los conectores también se presenta el mismo desplazamiento.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

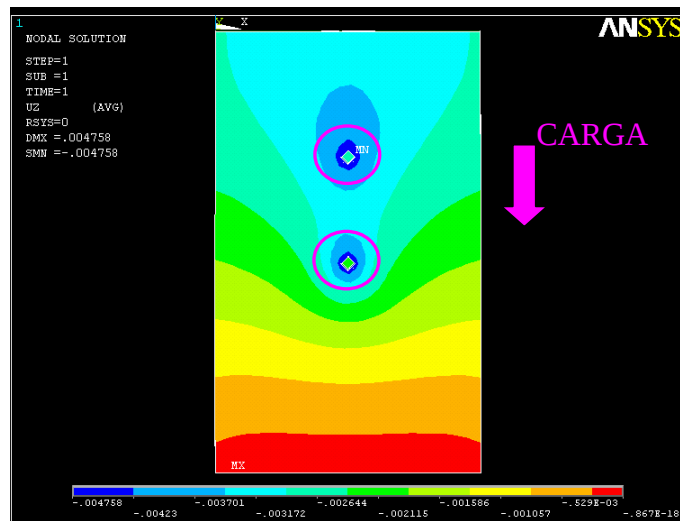


Figura 6.10. Diagrama de desplazamientos en dirección z. Vista de la placa de concreto.

La figura 6.11 muestra la deformación final de los conectores. Es de destacar que el tornillo con mayor desplazamiento final (color rojo), es el más alejado al punto de aplicación de la carga, siendo consistente con los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio al ser el tornillo más esforzado por encontrar mayor volumen de concreto oponiéndose al desplazamiento, obligando a que el conector se deforme antes de que produzca la fractura de la placa.

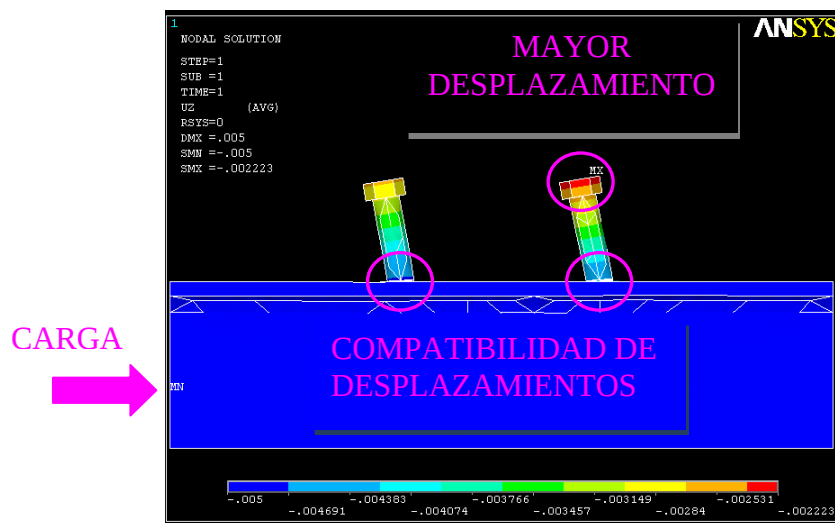


Figura 6.11. Diagrama de desplazamientos en dirección z. Detalle de los conectores.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

En las direcciones x y y los desplazamientos finales son del orden de 0.002m , como se puede apreciar en las *figuras 6.12 y 6.13*. De acuerdo con estas magnitudes de desplazamiento, se consideran poco relevantes con respecto al desplazamiento de 0.005m en z . No obstante, las magnitudes de los desplazamientos en y indican que existe deflexión de la placa de concreto, inducido por la carga aplicada.

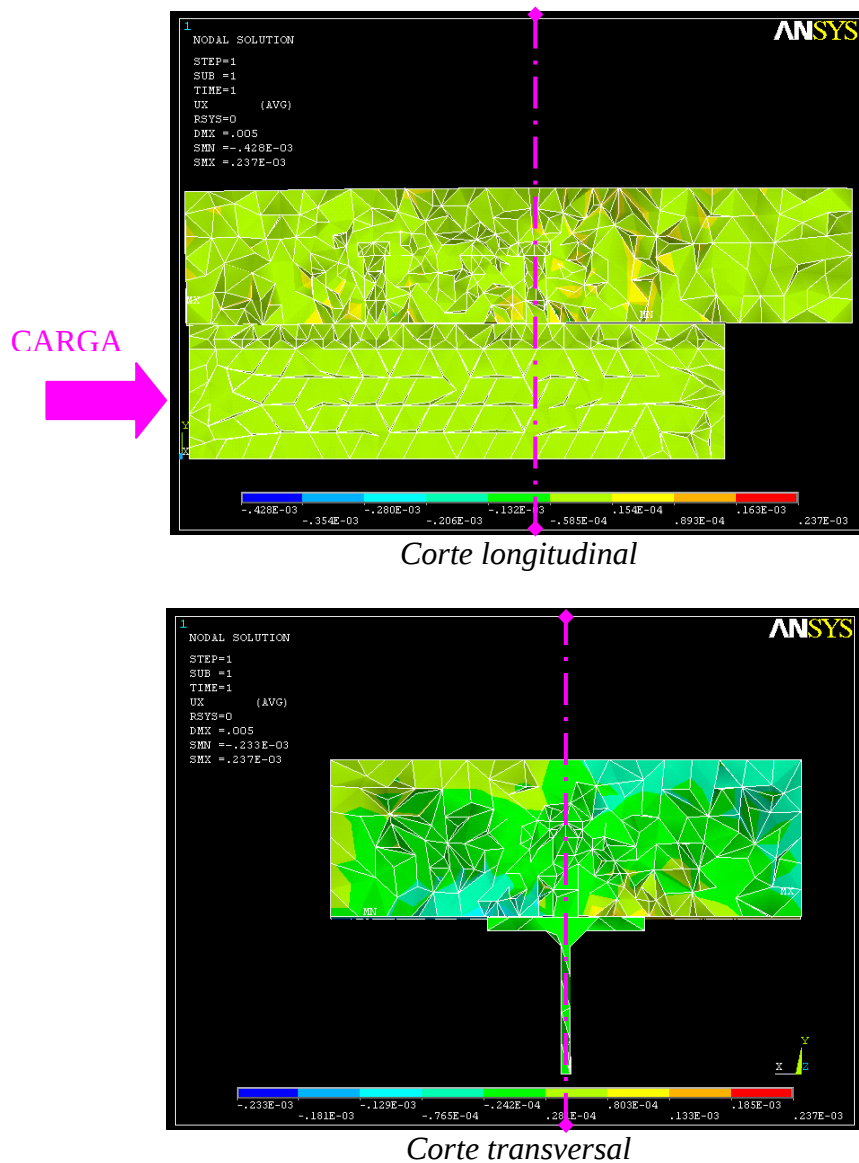


Figura 6.12. Diagrama de desplazamientos en dirección x



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

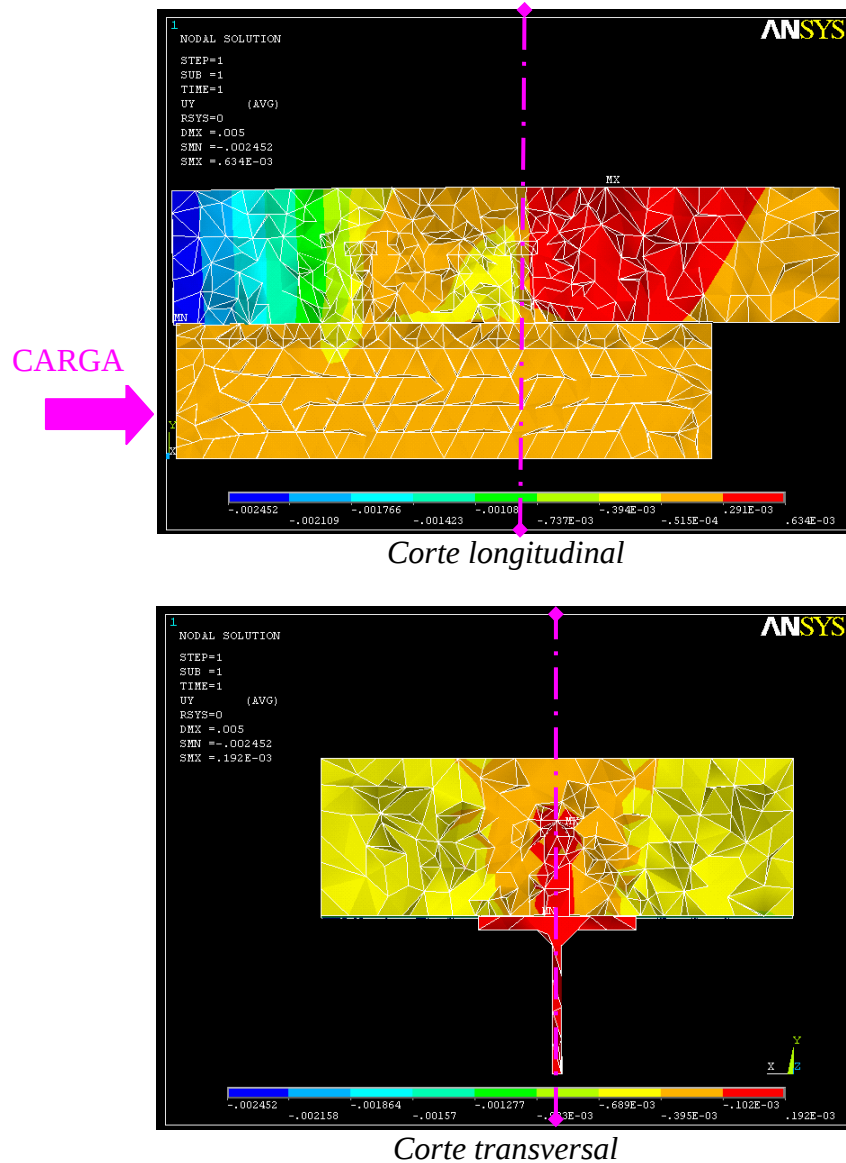


Figura 6.13. Diagrama de desplazamientos en dirección y.

La figura 6.14 permite ver como fue la evolución de las curvas de isodesplazamientos en el concreto; inicia en la zona de los conectores y luego se extiende en todo su volumen. En esta imagen se puede observar como es el posible proceso de degradación del concreto, y la influencia de la interacción entre el perfil metálico, los conectores y el concreto, en el comportamiento de la sección compuesta.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

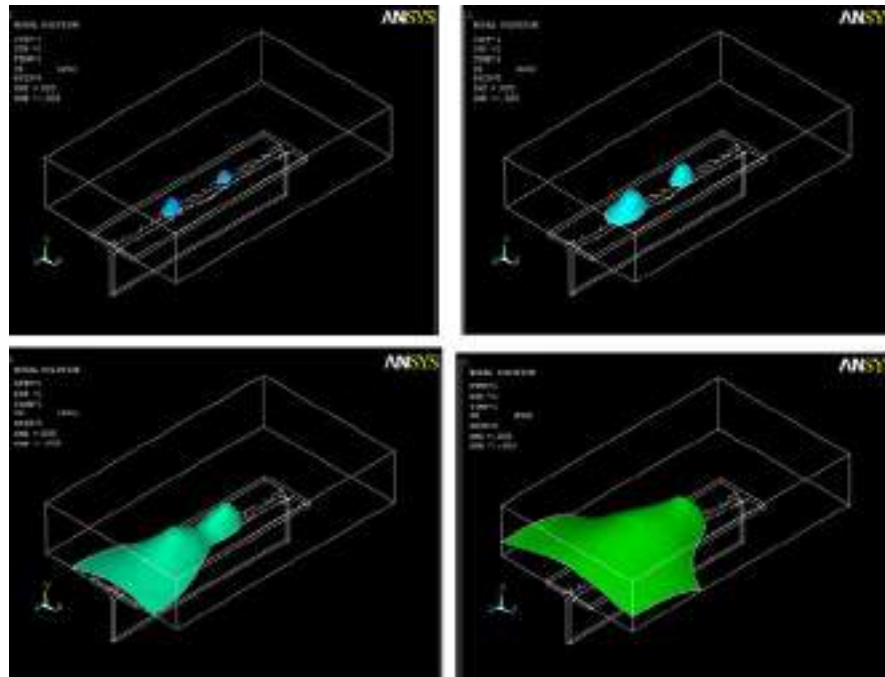


Figura 6.14. Evolución de curvas de isodesplazamientos

6.3.2. ESFUERZOS

En las figuras 6.15 y 6.16 se encuentra el estado de esfuerzos S_z para el perfil metálico con los conectores y el concreto, respectivamente.

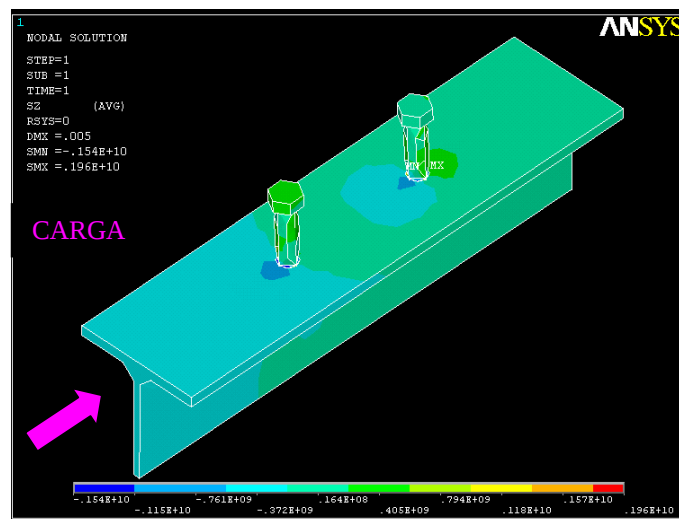


Figura 6.15. Estado de esfuerzos S_z en el perfil metálico y los conectores



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

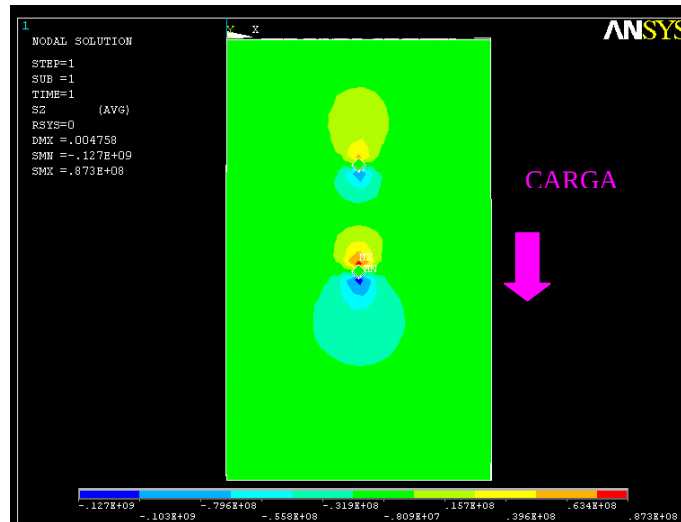


Figura 6.16. Estado de esfuerzos S_z en el concreto

Se demarcan claramente la concentración de esfuerzos en la zona de los conectores: zona de tracción (amarillo) y zona de compresión (azul) tanto en la placa como en el perfil.

Similarmente como sucede con los desplazamientos, las componentes de esfuerzos en los sentidos x y y presentan menor relevancia que en sentido z llegando al 60% y 20% respectivamente con respecto al valor de esfuerzo máximo de 11.5MPa. Las *figuras 6.17 y 6.18* registran dichas componentes de esfuerzos.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

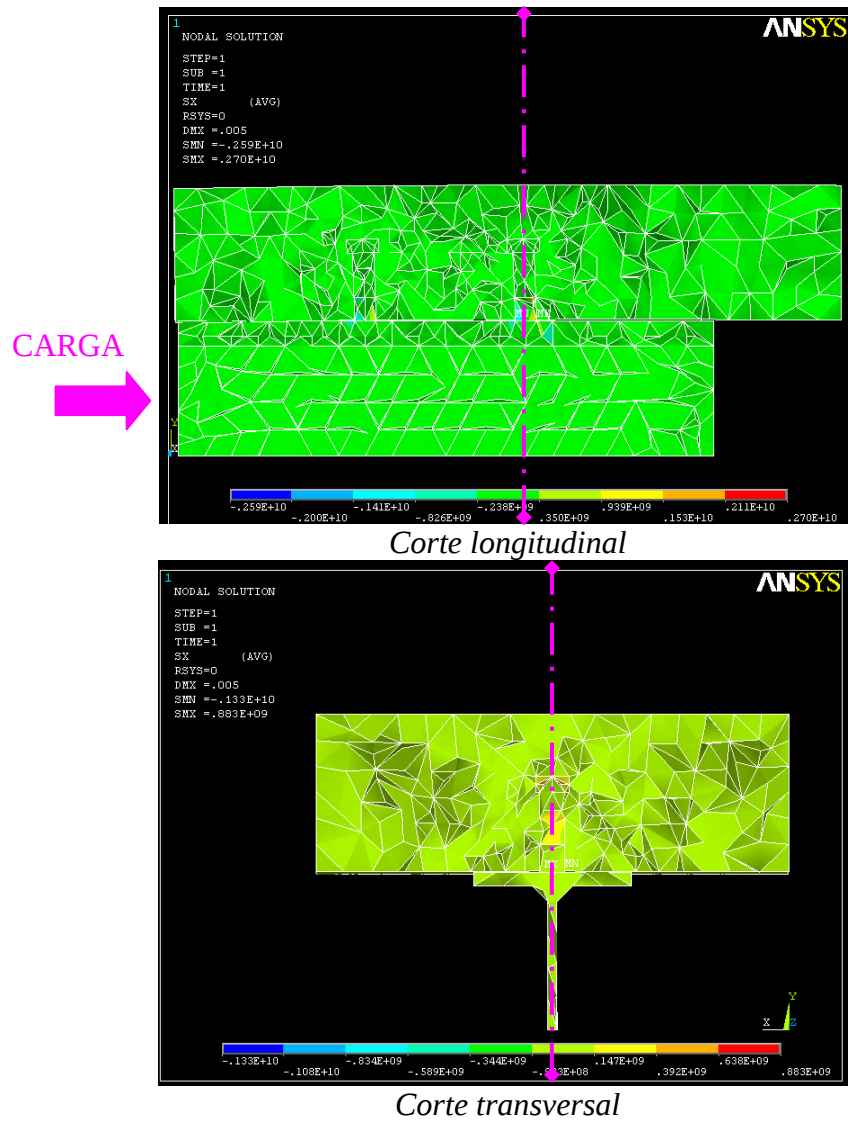


Figura 6.17. Estado de esfuerzos S_x en la sección.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

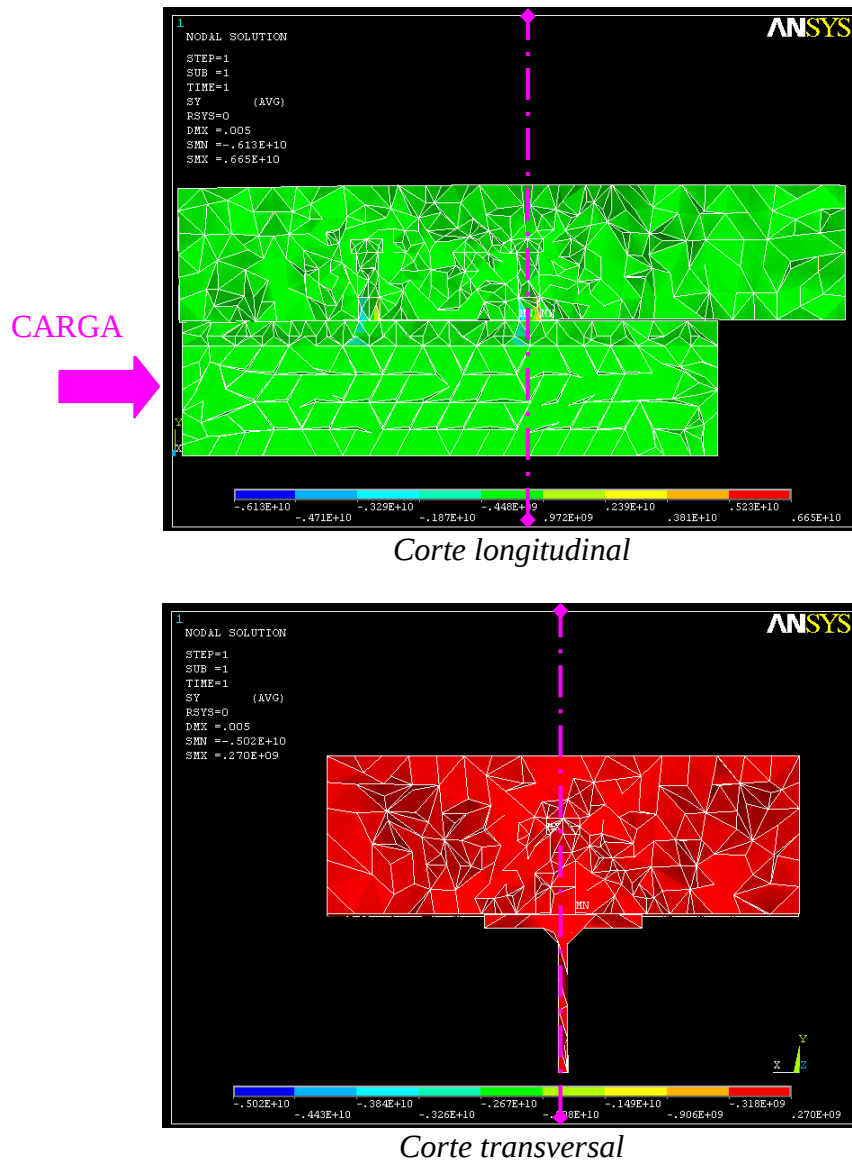
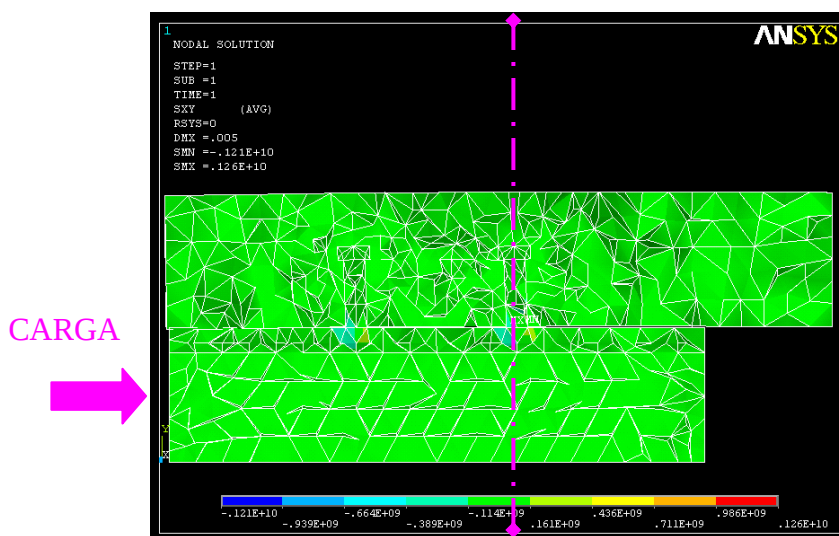


Figura 6.18. Estado de esfuerzos S_y en la sección.

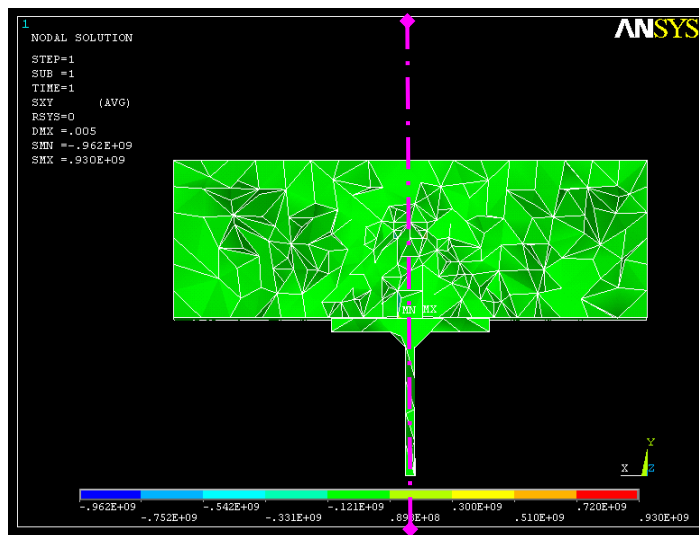
En las figuras 6.19 a 6.21 se muestran los estados de esfuerzos cortantes en sentido xy , yz y zx , respectivamente, en ellas se observa que la zona de interacción entre conectores y perfil corresponde a la más esforzada en los tres casos, llegando hasta valores de 8.5MPa, los cuales sobrepasan el valor de resistencia máxima a corte del concreto: 1.1MPa, esto implica fractura y la correspondiente pérdida de rigidez del sistema.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA



Corte longitudinal



Corte transversal

Figura 6.19. Estado de esfuerzos S_{xy} en la sección.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

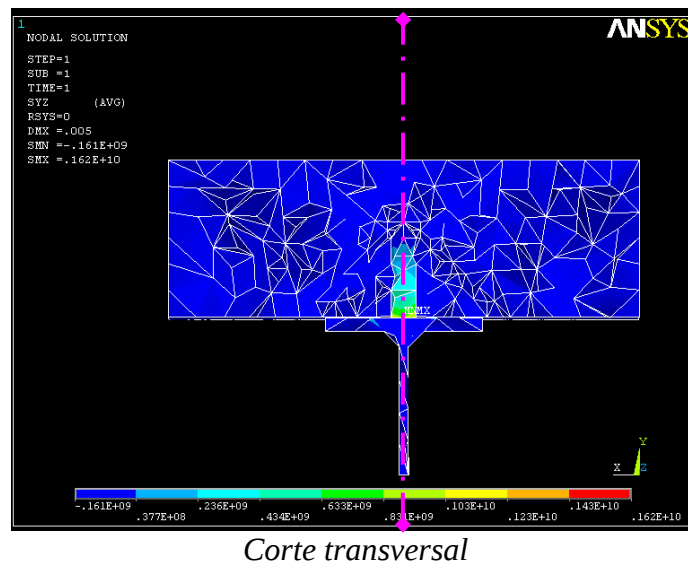
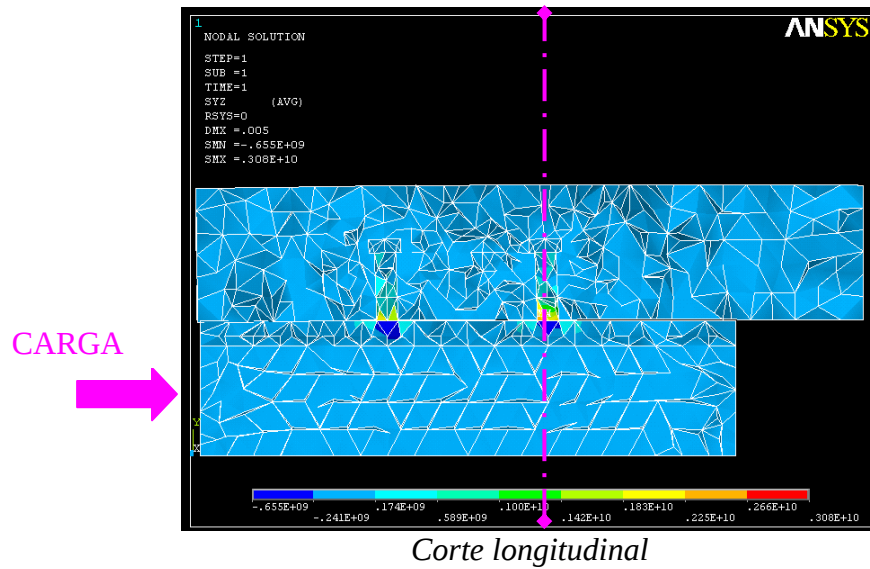


Figura 6.20. Estado de esfuerzos S_{yz} en la sección.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

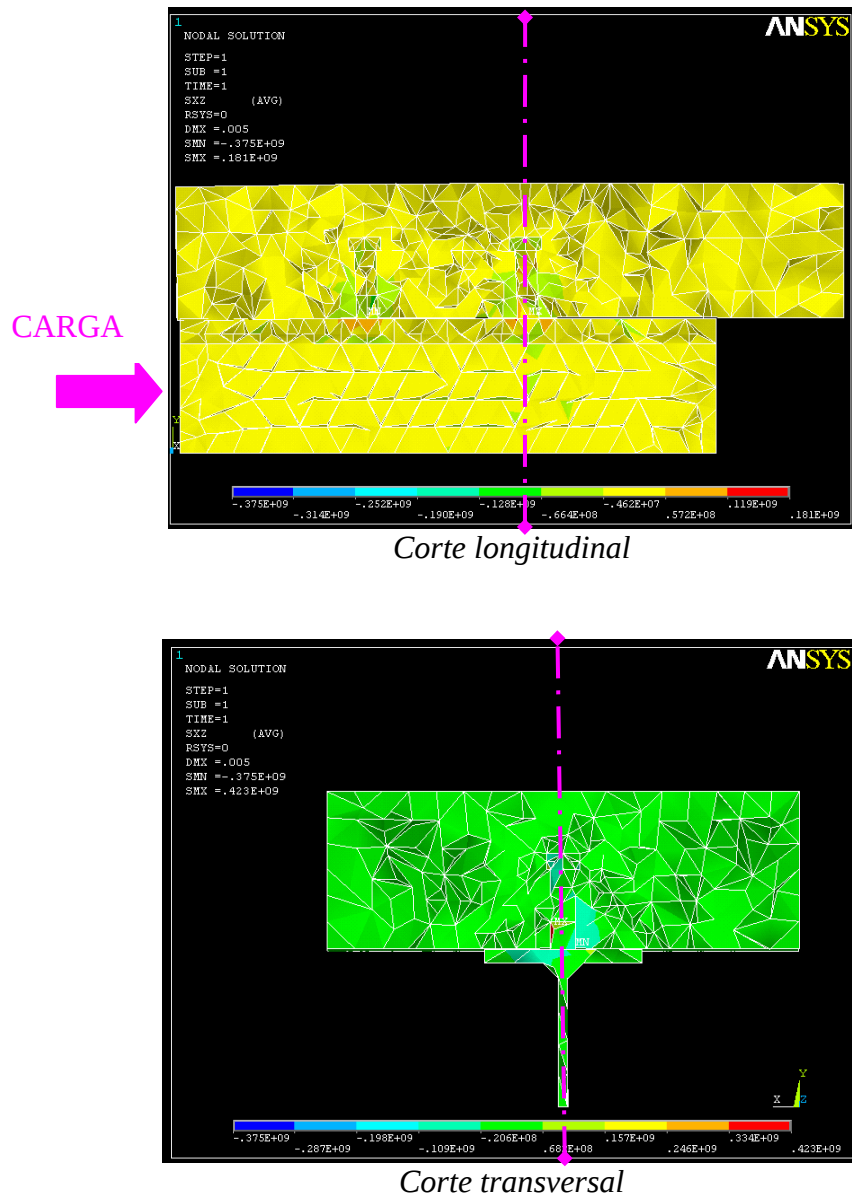


Figura 6.21. Estado de esfuerzos S_{xx} en la sección.

De manera análoga como sucede con los esfuerzos cortantes, los esfuerzos principales presentan una mayor concentración en la zona de contacto de conectores y perfil metálico, que es donde se realiza la transferencia de carga, llegando a tener intensidades de esfuerzos principales hasta de 8.5MPa, los cuales superan el esfuerzo máximo a tensión del concreto de 4.2MPa, causando continua degradación del material, hasta ocasionar la fractura en la placa. Este efecto se aprecia en las figuras 6.22 a 6.24.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

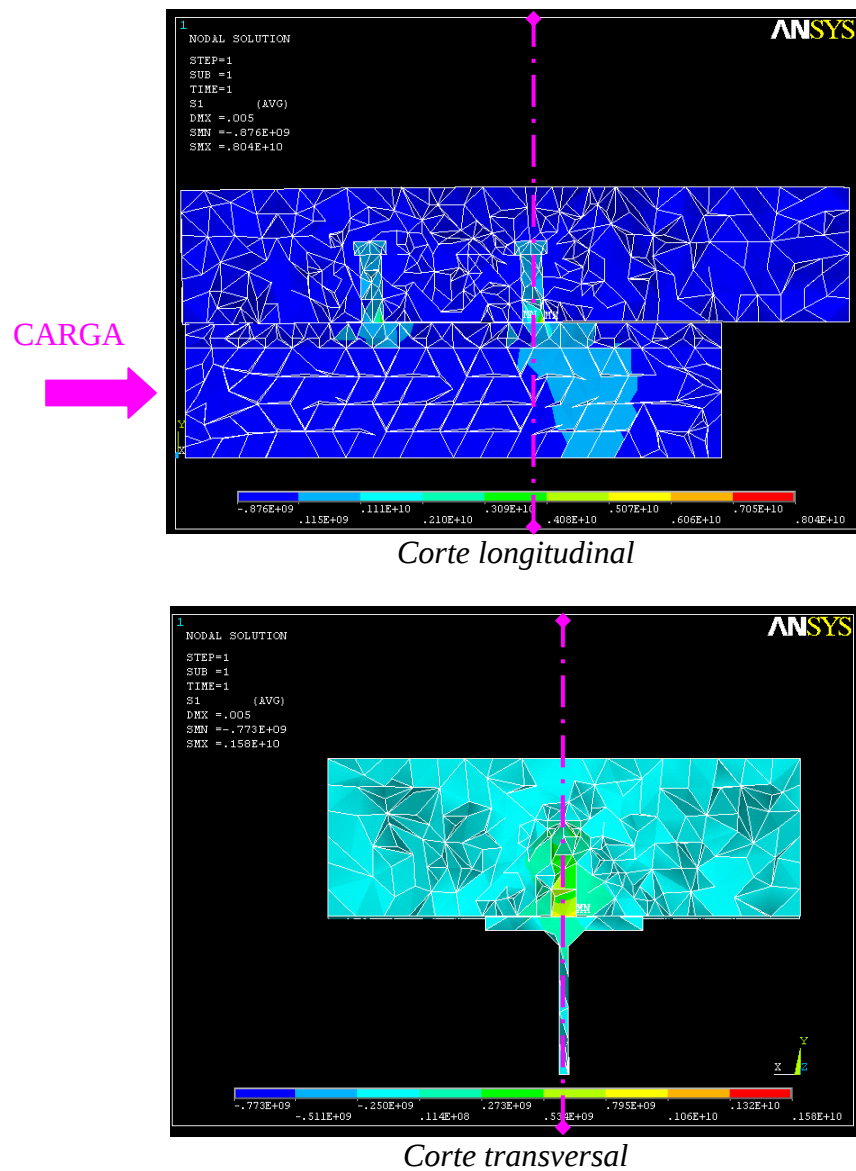


Figura 6.22. Estado de esfuerzos principales S_{11} en la sección.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

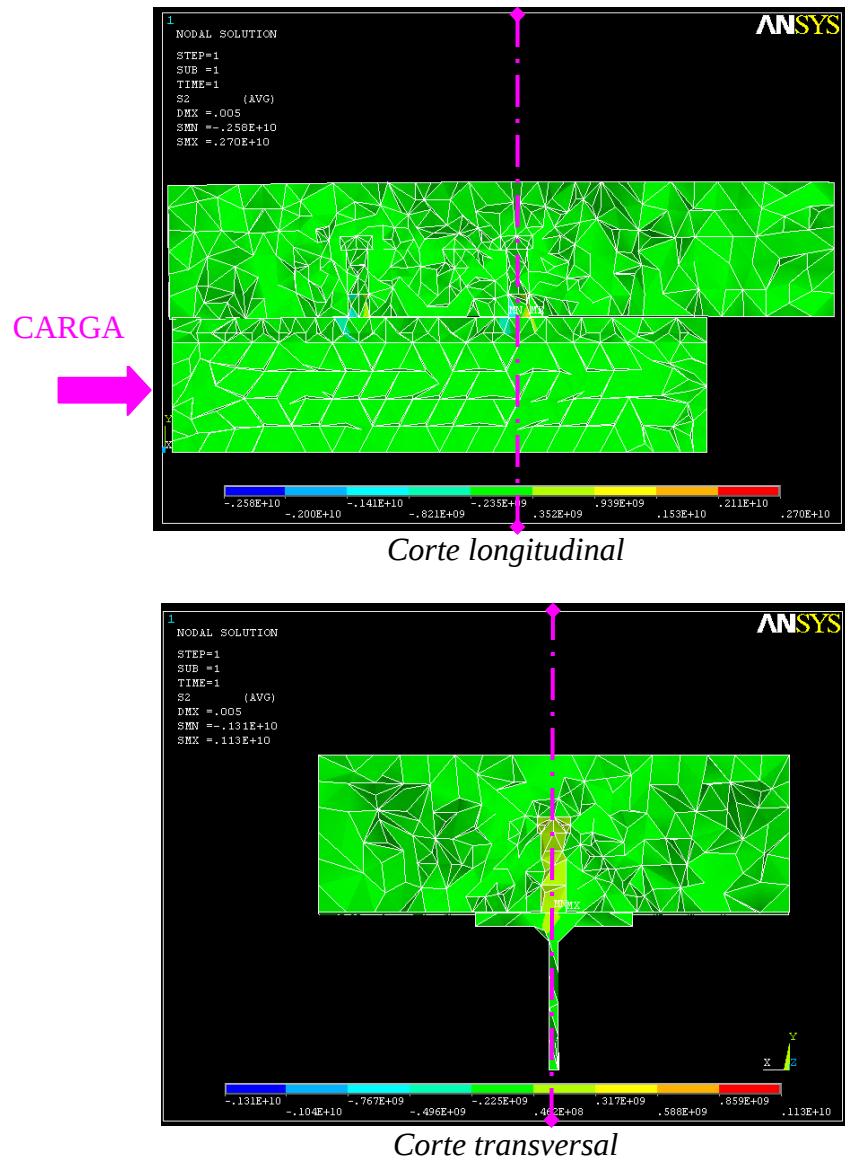


Figura 6.23. Estado de esfuerzos principales S_{22} en la sección.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

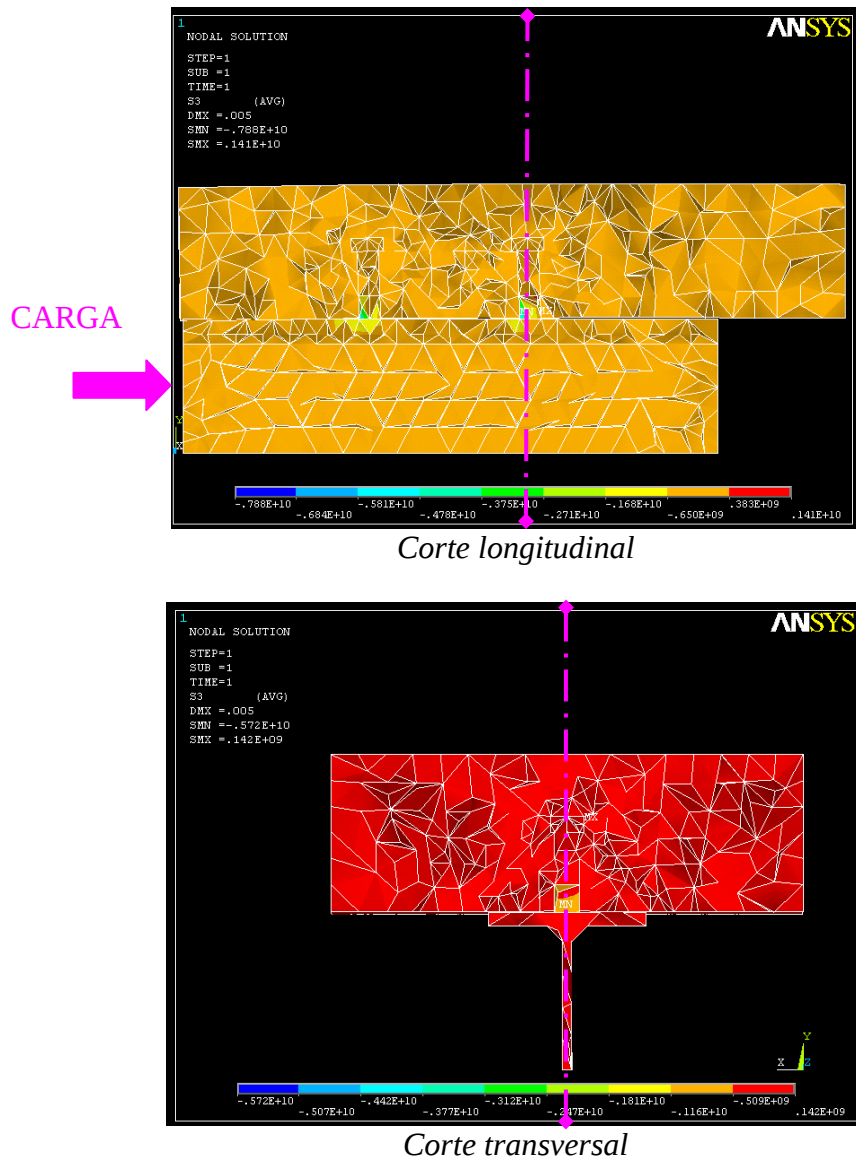


Figura 6.24. Estado de esfuerzos principales S_{33} en la sección..

De acuerdo con las figuras 6.22, 6.23 y 6.24, los esfuerzos principales en la zona de la placa de concreto adyacente a los conectores, corresponden al estado triaxial de compresión – tensión - tensión, para S_{11} , S_{22} y S_{33} respectivamente, de acuerdo con el criterio de falla presentado para el material.



6.4. ANALISIS Y COMPARACION DE RESULTADOS

En la *figura 6.25* se encuentran imágenes de la probeta ensayada en el laboratorio correspondiente a la denominación M5-2-12; donde se observa deformación de los conectores y fractura de la placa de concreto, indicando la posibilidad de trabajo conjunto de la sección compuesta.



Figura 6.25. Comportamiento conjunto del modelo M5-2-12. a) Deformación de los conectores. b) Fractura de la placa de concreto.

Otro factor relevante para la selección de esta probeta fue la uniformidad de los resultados como se observa en la *figura 6.26*.

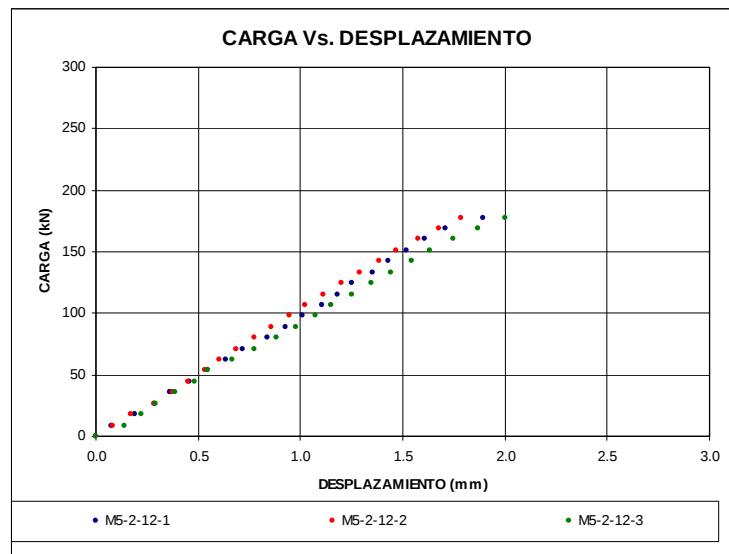


Figura 6.26. Dispersión de datos Carga – Desplazamiento probeta M5-2-12



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

Estos resultados se compararon teniendo en cuenta la corrección por acomodamiento del sistema, donde existió movimiento con el cual se acoplaron todos los elementos antes de que la probeta empezara a resistir la carga, por lo cual se llevaron los valores experimentales a un cero común.

Como se describió en el capítulo 2, los registros de ensayos de laboratorio se tomaron hasta una carga tal que no se afectaran los instrumentos de medición. Inicialmente se realizó un modelo con características elásticas de los materiales, particularmente del concreto. Este resultado se encuentra en la *figura 6.27*.

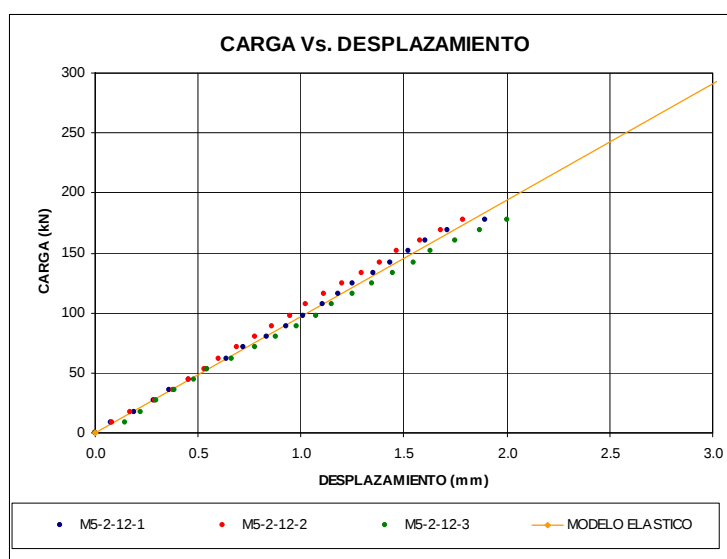


Figura 6.27. Resultados del modelo en elementos finitos con comportamiento elástico

Se puede observar que la pendiente del modelo con comportamiento elástico corresponde a la pendiente que tienen los resultados experimentales, con una mínima discrepancia.

La *tabla 6.4* presenta los datos promedio registrados para este modelo en el laboratorio, los datos obtenidos en la modelación y el porcentaje de error encontrado entre ellos.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

DESPLAZAMIENTO PROMEDIO mm	CARGA kN		% DE ERROR
	Experimental	Modelacion	
0.00	0.00	0.00	---
0.10	8.90	14.37	38%
0.19	17.79	27.96	36%
0.29	26.69	41.36	35%
0.37	35.58	52.02	32%
0.46	44.48	62.71	29%
0.54	53.38	71.39	25%
0.63	62.27	81.73	24%
0.73	71.17	90.99	22%
0.83	80.06	101.23	21%
0.92	88.96	109.63	19%
1.01	97.86	117.69	17%
1.09	106.75	124.48	14%
1.18	115.65	131.52	12%
1.27	124.54	138.26	10%
1.36	133.44	145.86	9%
1.45	142.34	152.76	7%
1.54	151.23	158.68	5%
1.64	160.13	165.83	3%
1.75	169.02	172.96	2%
1.89	177.92	181.12	2%

Tabla 6.4. Comparación de resultados entre modelo experimental y modelo en elementos finitos.

Como se observa, la mayor discrepancia de resultados se encuentra para el periodo inicial, llegando al 38%; y a medida que la carga se incrementa, junto con los desplazamientos, se reduce la variación hasta el 2%, inducido por el modelo constitutivo del concreto que considera endurecimiento en la rama ascendente de la curva esfuerzo deformación. En la *figura 5.28* se representa gráficamente esta información.

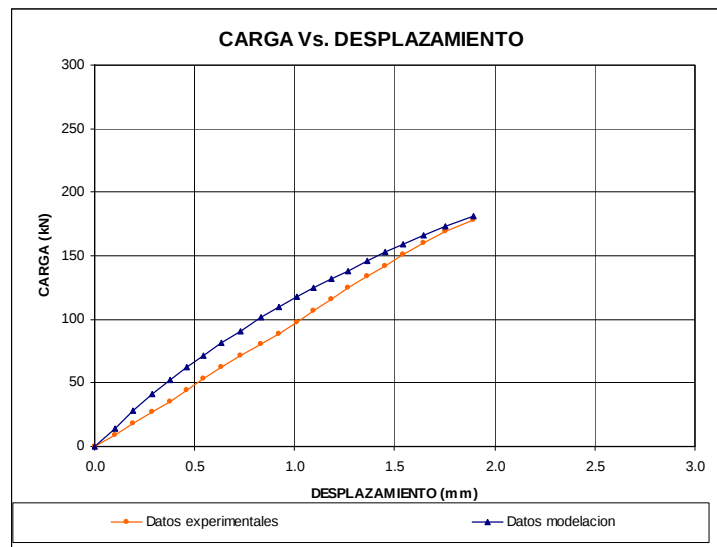


Figura 6.28. Comparación de resultados entre modelo experimental y modelo en elementos finitos



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

El registro completo de los resultados de la modelación en elementos finitos se encuentra como la curva morada en la *figura 6.29*.

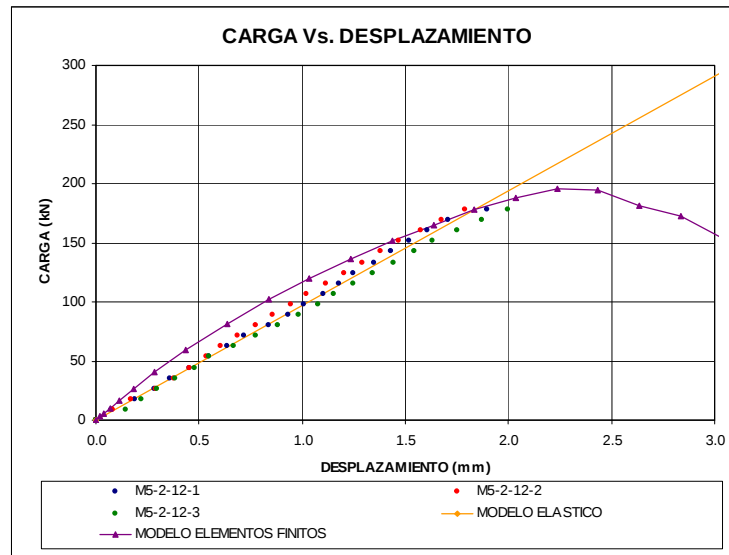


Figura 6.29. Resultados del modelo en elementos finitos con comportamiento elástico

Este modelo representa el concreto como material inelástico de acuerdo con lo descrito en 6.1.1, por lo cual en el comportamiento de la probeta está claramente demarcada la zona de endurecimiento como una parábola, indicando que el comportamiento mecánico del concreto predomina en el comportamiento la sección.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El aporte de los conectores de cortante tipo tornillo a la capacidad estructural de la sección compuesta se refleja en que conforme aumenta su diámetro se reducen su deformación y su desplazamiento. Este efecto está directamente relacionado con el tipo de falla que pueda presentar la sección: diámetros menores conllevan a la falla dúctil generada por rotura de la soldadura, y para diámetros mayores se presenta una falla frágil ocasionada por fractura en el concreto.
- La rigidez de las probetas se ve afectada directamente por la cantidad de conectores que tenga la sección compuesta; de esta manera, a mayor cantidad de tornillos, la deformación en los mismos se va a reducir por traslape de las zonas de adherencia de cada conector induciendo más rápidamente a la fisuración del concreto, provocando así la falla frágil. Una menor cantidad de conectores implica mayor ductilidad de la sección. Por tal motivo, debe existir una cantidad mínima de conectores que permitan trabajo de sección compuesta, y una cantidad máxima de conectores que no conduzca a sobre costos ni fallas frágiles.
- La separación entre conectores interviene de forma directa en la carga de falla de la sección: entre más cercanos se encuentren los tornillos, la carga que se transmite por parte del perfil se va a concentrar en una menor área, induciendo a la fractura del concreto y de esta manera ocasionar la falla frágil. Si por el contrario, la separación entre conectores es grande se producen excesivas deformaciones en los mismos y se genera falla dúctil del sistema, donde se presenta ruptura de la soldadura; este caso tampoco corresponde al de una



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

sección compuesta óptima. Por tal motivo es importante tener en cuenta un límite superior y uno inferior de separación entre conectores.

- La carga de falla esperada a partir del planteamiento de NSR-98 para espigos siempre estuvo por debajo de la obtenida en los ensayos llegando hasta un 30%, independientemente del modo de falla que se presentara; se acerca mucho mas a la carga máxima elástica, lo cual es coherente si se asume el diseño de los conectores tipo tornillo en el rango elástico con el mismo planteamiento presentado para espigos.
- La solicitud de diseño para conectores de cortante tipo tornillo se puede calcular con la expresión:

$$\sqrt{f'_c \cdot E_c \cdot n \cdot \phi}$$

- El comportamiento elástico e inelástico de las probetas, y su carga de falla están directamente relacionados con la separación entre conectores y su diámetro, debido al aporte de las características del acero y a la limitada capacidad inelástica que puede desarrollar el concreto; donde dichas variables son independientes entre si. De esta manera se podría inducir a la falla frágil de la sección teniendo alta cantidad de conectores, o tornillos de gran diámetro, o corta separación entre los mismos, o un a combinación de las anteriores causas.
- La simulación numérica de los ensayos por medio del método de los elementos finitos requiere caracterizar cada modelo constitutivo de los materiales de acuerdo con las pruebas de laboratorio de los mismos, de tal manera que la simulación tenga la menor cantidad posible de variables.
- El modelo de elementos finitos representa el concreto como material inelástico, por lo cual en el comportamiento de la probeta está claramente demarcada la



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

zona de endurecimiento como una parábola, indicando que el comportamiento mecánico del concreto predomina en el comportamiento la sección, presentando la mayor discrepancia de resultados, llegando al 38% y a medida que la carga se incrementa, junto con los desplazamientos, se reduce la variación hasta el 2%.

- Un modelo numérico que considera no linealidad del material y deformaciones infinitesimales, ofrece buena aproximación al comportamiento de la probeta en el ensayo de laboratorio; y podría predecir además comportamientos post-pico hasta la pérdida total de su capacidad, siempre y cuando se encuentre debidamente calibrado con las condiciones experimentales.
- Los tornillos grado dos podrían establecerse como un tipo de conectores de cortante aceptable de acuerdo con las pautas de diseño expuestas en esta investigación. Con el fin de establecer una metodología más general, se recomienda ampliar esta investigación empleando concretos y tornillos de diferentes resistencias y para diferentes separaciones.
- Se recomienda realizar estudios sobre otros tipos de conectores ya que la normatividad actual deja este campo abierto a la investigación y solamente presenta metodologías de diseño para espigos y para canales.
- Es conveniente verificar las ecuaciones planteadas en esta investigación con variables no involucradas en este documento, con el fin de saber que incidencia pueden tener para una metodología general de diseño.



COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

BIBLIOGRAFÍA

- 1) Asociación de Ingeniería Sísmica. "NSR-98" TOMO 3. Bogota-Colombia. 1998. (pp F38-39).
- 2) CARO, J; MUNOZ, D. "COMPORTAMIENTO A FLEXION DEL SISTEMA CONFORMADO POR UN PERFIL MM Y UNA LOSA ALIGERADA COMPUESTA POR CONCRETO, PERFIL OMEGA Y BLOQUE DE ARCILLA".
- 3) CIVJAN, S. "BEHAVIOR OF SHEAR STUDS SUBJECTED TO FULLY REVERSED CYCLIC LOADING". *Journal of Structural Engineering ASCE*. 2003. (pp 1446-1474)
- 4) CHINN, J. "PUSHOUT TESTS ON LIGHTWEIGHT COMPOSITE SLABS." *Engineering Journal, AISC*. 1965 (pp 129-134).
- 5) DAVIES, C. "SMALL-SCALE PUSH-OUT TESTS ON WELDED STUD SHEAR CONNECTORS." *Concrete*. 1967. (pp 311-316).
- 6) JOHNSON, R. and OEHLERS, D. "ANALYSIS AND DESIGN FOR LONGITUDINAL SHEAR IN COMPOSITE T-BEAMS." *Proc. Instn. Civ. Engrs. Part 2*. 1981. (pp 989-1021).
- 7) LAM, D. "BEHAVIOR OF HEADED STUD SHEAR CONNECTORS IN COMPISITE BEAM". *Journal of Structural Engineering ASCE*. 2005. (pp 96-107)
- 8) LARRAÑAGA S. "COMPORTAMIENTO DE LOS CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO DE RESISTENCIA GRADO DOS (2) PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA CON CONCRETO DE 28 MPa".2006.
- 9) McCORMAC, J. "DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO MÉTODO LRFD" México. 1996. (pp 441-471).
- 10) MONTANA, M. "CONECTORES DE CORTANTE EN VARILLA REDONDA PARA DESARROLLAR ACCIÓN COMPUESTA ACERO-CONCRETO".2004.
- 11) NELSON STUDS, WELDING COMPANY. "NELSON EMBEDMENT PROPIETIES OF HEADED STUDS". 1977.



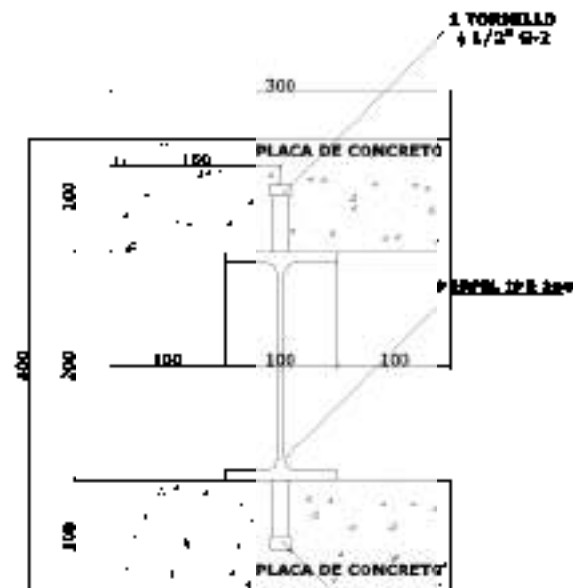
COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO
GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA

- 12) NIE, J. XIAO, Y Y WANG H. "EXPERIMENTAL STUDIES ON BEHAVIOR OF COMPOSITE STEEL HIGH-STRENGTH CONCRETE BEAMS" *ACI Structural Journal*. Marzo-Abril 2004.(pp 245-251).
- 13) OEHLERS, J."COMPOSITE BEAMS WITH LIMITED-SLIP-CAPACITY SHEAR CONNECTORS". *Journal of Structural Engineering*. Junio 1995. (pp 932-938).
- 14) OLLGAARD, J., SLUTTER, R., AND FISHER, J. W. "SHEAR STRENGTH OF STUD CONNECTORS IN LIGHTWEIGHT AND NORMAL-WEIGHT CONCRETE." *Engineering Journal*, AISC. 1971. (pp 55-64).
- 15) PATNAIK, A. "BEHAVIOR OF COMPOSITE CONCRETE BEAMS WITH SMOOTH INTERFACE". *Journal of Structural Engineering*. Abril 2001. (pp 359-365)
- 16) POPOV, E. "INTRODUCCIÓN A LA MECÁNICA DE MATERIALES". México. 1986. (pp 269-276).
- 17) RANDOVIC,S. "STATIC STRENGTH OF THE SHEAR CONNECTORS IN STEEL-CONCRETE COMPOSITE BEAMS –REGULATIONS AND RESEARCH ANALYSIS". *Architecture and Civil Engineering*. Vol 2, N°4, 2002. (pp 251-259).
- 18) SLUTTER, R., AND DRISCOLL, G.. "FLEXURAL STRENGTH OF STEEL-CONCRETE COMPOSITE BEAMS." *J. Struct. Div.* 91. 1965. (pp 71-99).
- 19)TIMOSHENKO, G. "MECÁNICA DE MATERIALES". México. 1986. (pp 242-246).
- 20) VIEST, I. "INVESTIGATION OF STUD SHEAR CONNECTORS FOR COMPOSITE CONCRETE AND STEEL T-BEAMS." *J. of the American Concrete Institute*. 1956. (pp 875-89).
- 21) WILLIAM, K & WARNKE, E. "CONSTITUTIVE MODEL FOR THE TIAXIAL BEHAVIOR OF CONCRETE". *Procedings, International Association for Bridge and Structural Engineering*. 1975. (pp 174)
- 22) [www_mece_ualberta_ca-tutorials-ansys-_archivos](http://www.mece.ualberta.ca/tutorials-ansys-_archivos)



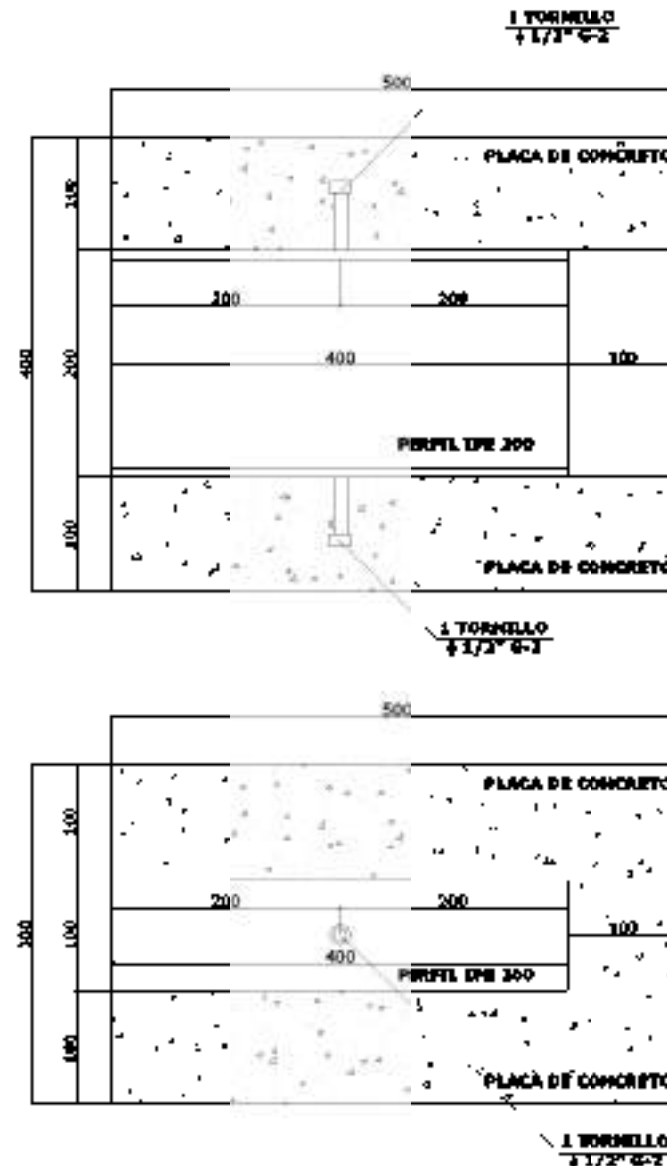
*COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO
GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA*

ANEXO A
PLANOS DE LOS MODELOS EXPERIMENTALES



CANTIDADES POR PROBETA (con 2)	
VOLUMEN DE CONCRETO	0.03 m ³
PERFIL IPE 200	600 mm
TORNILLO 1/2" x 2" G-2	2 unidades

MMH
Las unidades están en milímetros



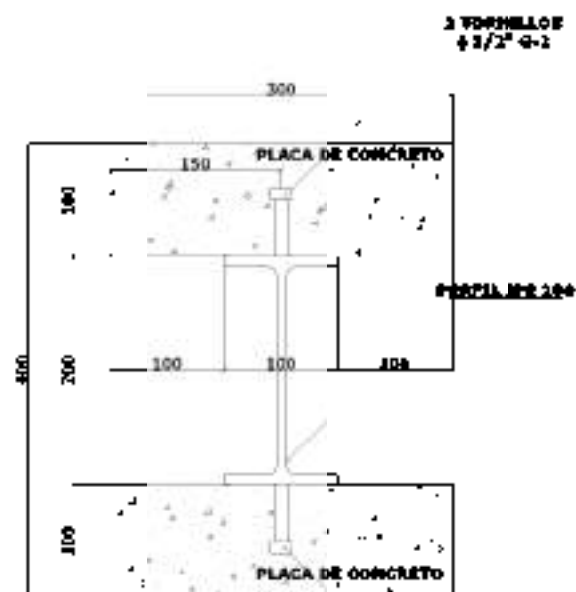
UNIVERSIDAD NACIONAL
DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y
AGRÍCOLA
POSTGRADO EN ESTRUCTURAS

COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE
CORRIENTE TIPO TORNILLO DE RESISTENCIA
GRADO 2 PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN
CONJUNTA CON CONCRETO DE 21 MPa ANTE
SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO

DIRECTOR:
Ing. Maritzabel Molina Herrera
Ing. Dorian Luis Linares Segura
PROYECTANTE:
Ing. Xavier Fernando Hurtado

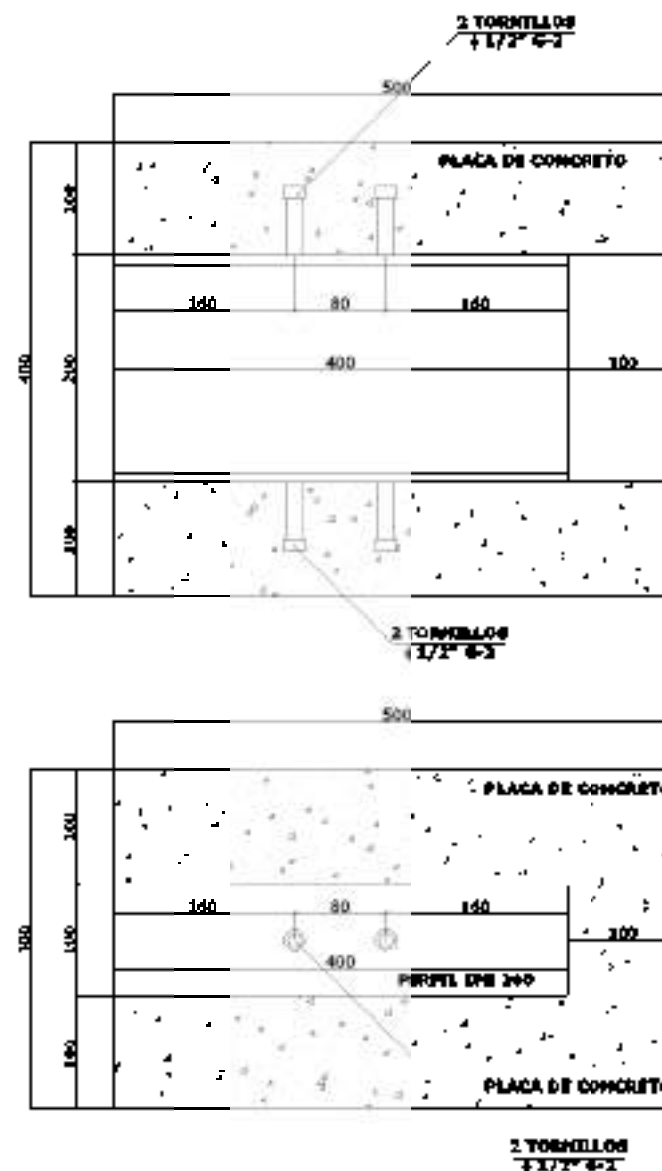
Contiene:
Modelo M4-1-0-1,2,3
Plano:
1 de 19



3 VORNILLOS
3/2" G-2

CANTIDADES POR PROYECTO (cas 3)	
VOLUMEN DE CONCRETO	0.90 m ³
PERFIL DPE 200	4.00 m
VORNILLO # 3/2" L=2" G-2	4 unidades

NOTA:
Las unidades están en milímetros



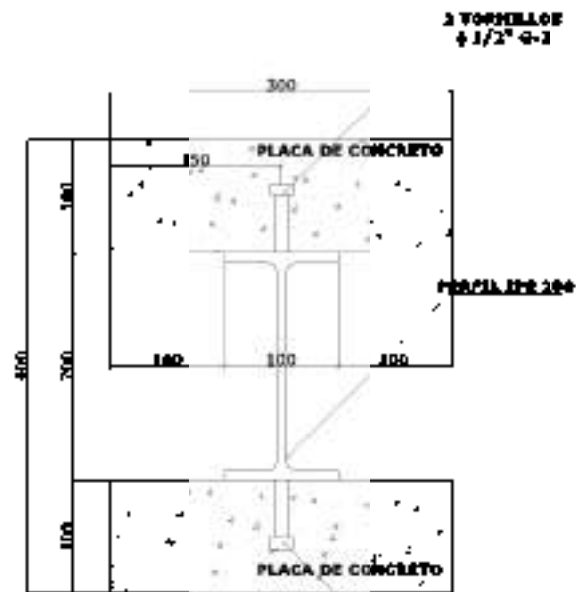
UNIVERSIDAD NACIONAL
DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y
AGRÍCOLA
POSTGRADO EN ESTRUCTURAS

COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE
CORANTE TIPO VORNILLO DE RESISTENCIA
GRADO 2 PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN
CONCRETO CON CONCRETO DE 21 MPa ANTE
SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO

DIRECTOR:
Ing. Maritzabel Molina Herrera
Ing. Dorlen Luis Linares Segura
PROYECTANTE:
Ing. Xawar Fernando Hurtado

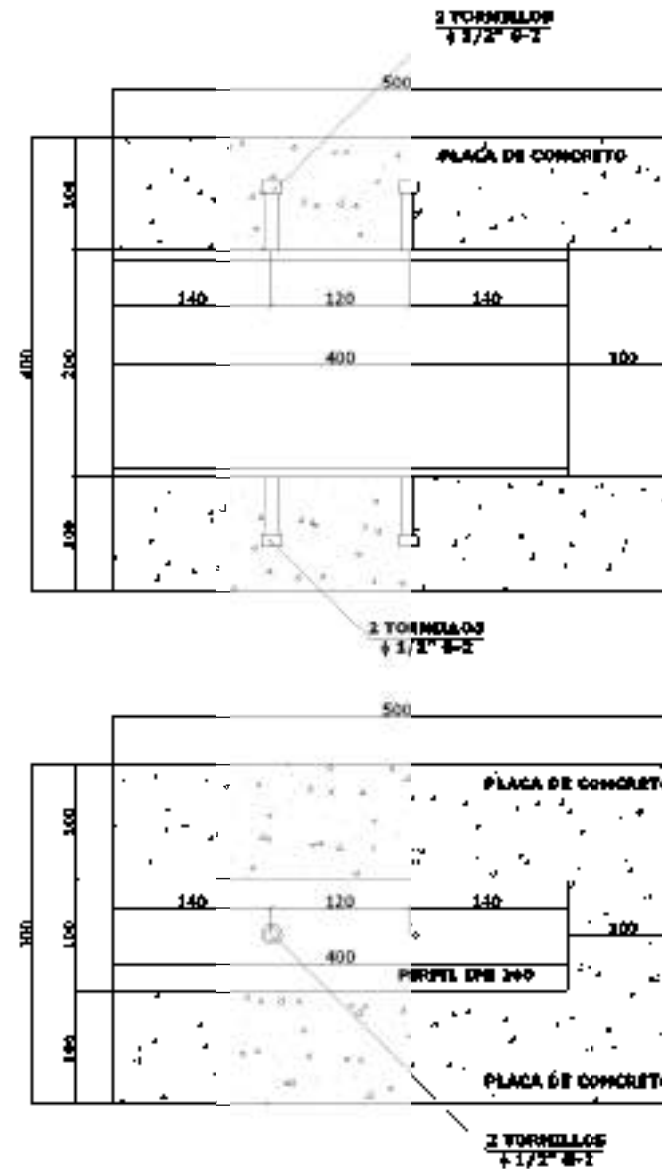
Contiene:
Modelo M4-2-8-1,2,3
Plano:
2 de 19



2 TORNILLOS
1/2" Ø-2

CANTIDADES POR PROBETA (cm 3)	
VOLUMEN DE CONCRETO	600 cm ³
PERFIL DPE 200	400 mm
TORNILLO 1/2" Ø-2 L=2" Ø-2	4 unidades

NOTA:
Las medidas están en milímetros.



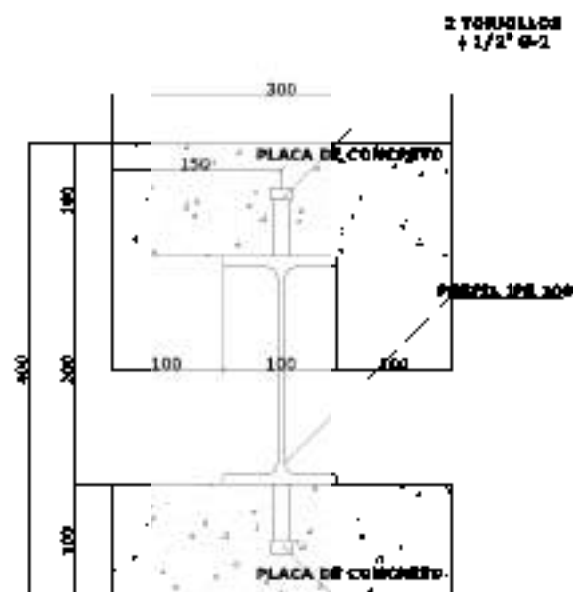
UNIVERSIDAD NACIONAL
DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y
AGRÍCOLA
POSTGRADO EN ESTRUCTURAS

COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE
CORTANTE TIPO TORNILLO DE RESISTENCIA
GRADO 2 PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN
CONJUNTA CON CONCRETO DE 21 MPa ANTE
SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO

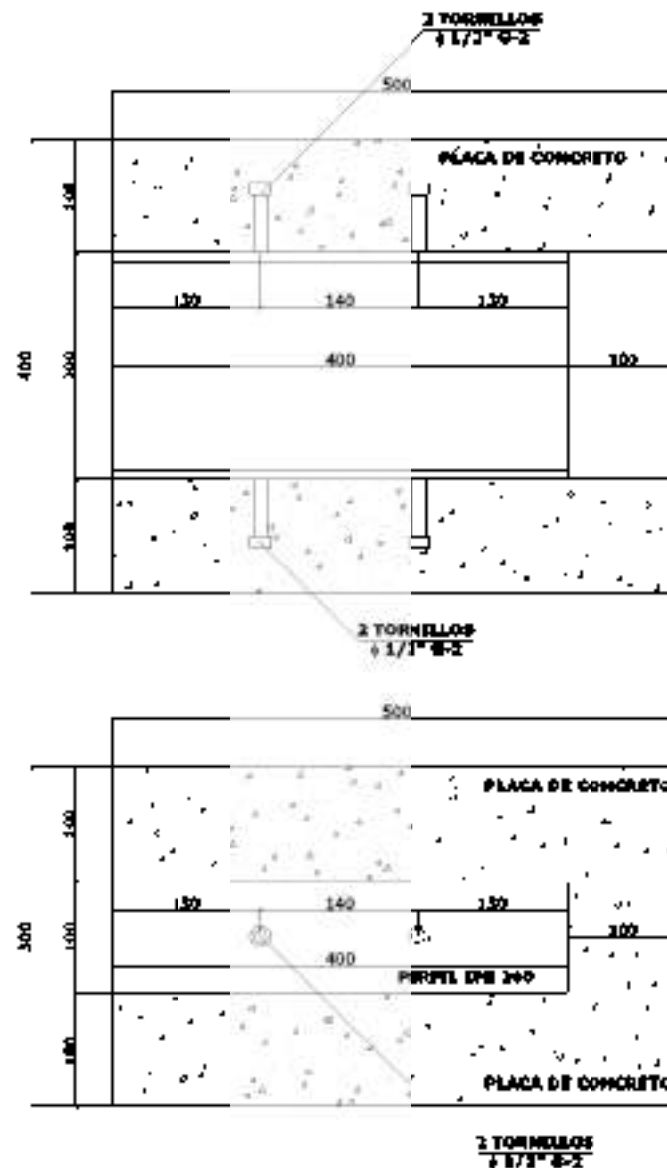
DIRECTOR:
Ing. Maritzabel Molina Herrera
Ing. Dorlen Luis Linares Segura
PROYECTANTE:
Ing. Xawar Fernando Hurtado

Contiene:
Modelo M4-2-12-1,2,3
Plano:
3 de 19



CANTIDADES POR PROYECTO (en m³)	
VOLUMEN DE CONCRETO	0.45 m³
PERFIL IPE 200	0.45 m
TORNILLO + 1/2" Ø-2	2 unidades

NOTA:
Las unidades están en milímetros



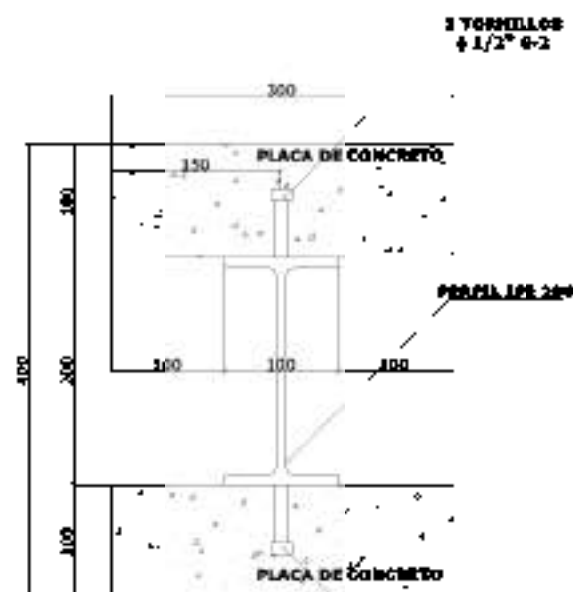
UNIVERSIDAD NACIONAL
DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y
AGRÍCOLA
POSTGRADO EN ESTRUCTURAS

COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE
CORTANTE TIPO TORNILLO DE RESISTENCIA
GRADO 2 PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN
COMUESTA con CONCRETO DE 21 MPa ANTE
SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO

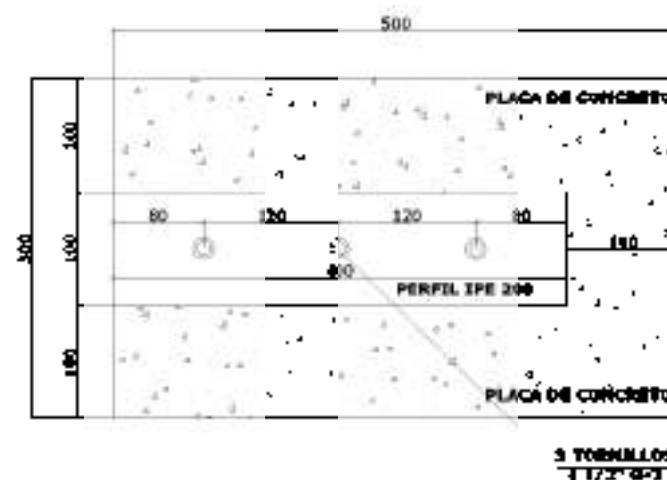
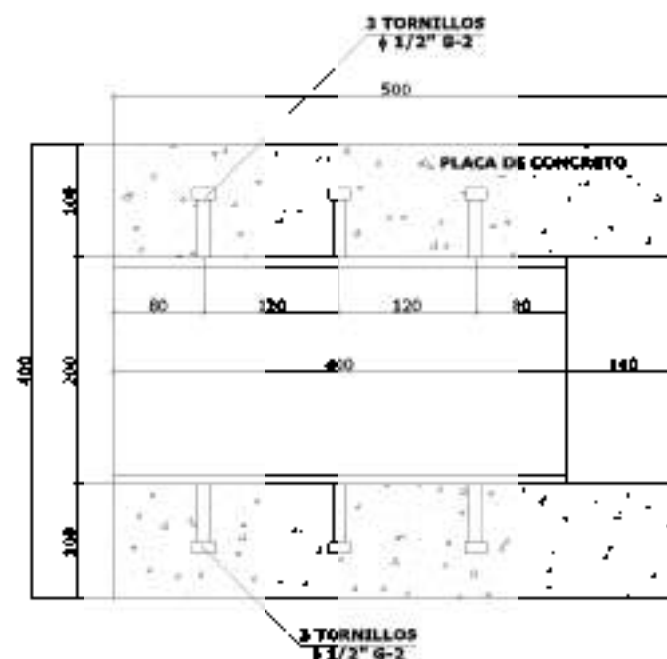
DIRECTOR:
Ing. Maritzabel Molina Herrera
Ing. Dorian Luis Linares Segura
PROYECTANTE:
Ing. Xawar Fernando Hurtado

Contiene:
Modelo N°-2-14-1,2,3
Plano:
4 de 19



CANTIDADES POR PROBETA (con 3)	
VOLUMEN DE CONCRETO	0.40 m ³
PERFIL IPE 200	666 mm
TORNILLO 1/2" L=2" G-2	6 unidades

MM
Las medidas están en milímetros



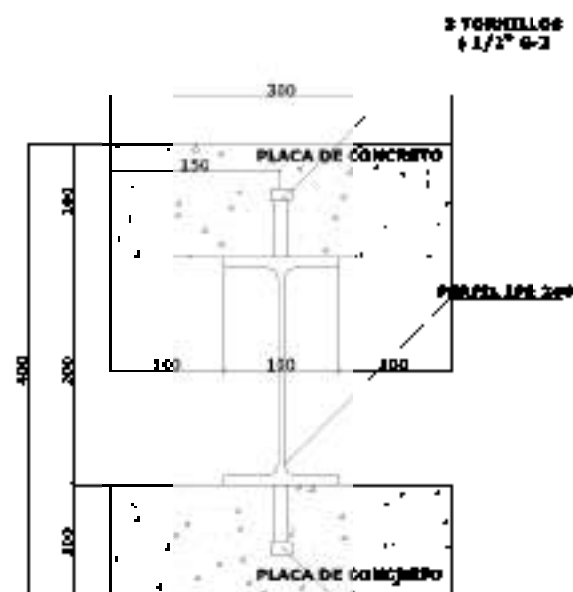
UNIVERSIDAD NACIONAL
DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y
AGRÍCOLA
POSTGRADO EN ESTRUCTURAS

COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE
CORTANTE TIPO TORNILLO DE RESISTENCIA
GRADO 2 PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN
CONJUNTA CON CONCRETO DE 21 MPa ANTE
SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO

DIRECTOR:
Ing. Maritzabel Molina Herrera
Ing. Dorlan Luis Utrero Segura
PROYECTANTE:
Ing. Xavier Fernando Hurtado

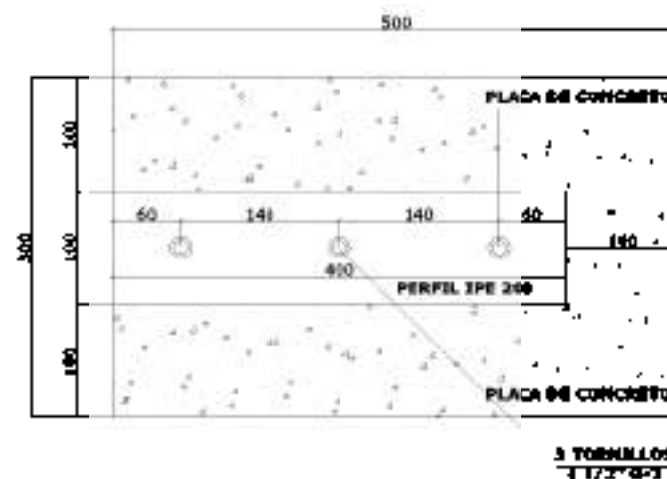
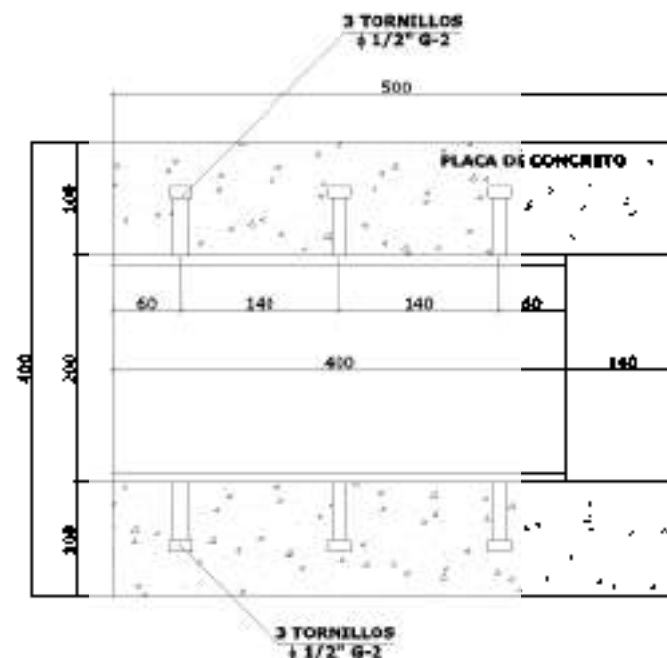
Contiene:
Modelo M4-3-12-1,2,3
Plano:
5 de 19



2 TORNILLOS
1/2" Ø-2

CANTIDADES POR PROBETA (cm ³)	
VOLUMEN DE CONCRETO	0.40 m ³
PERFIL IPE 200	600 mm
TORNILLO 1/2" Ø-2 L=2" Ø-2	6 unidades

TMA
Las medidas están en milímetros



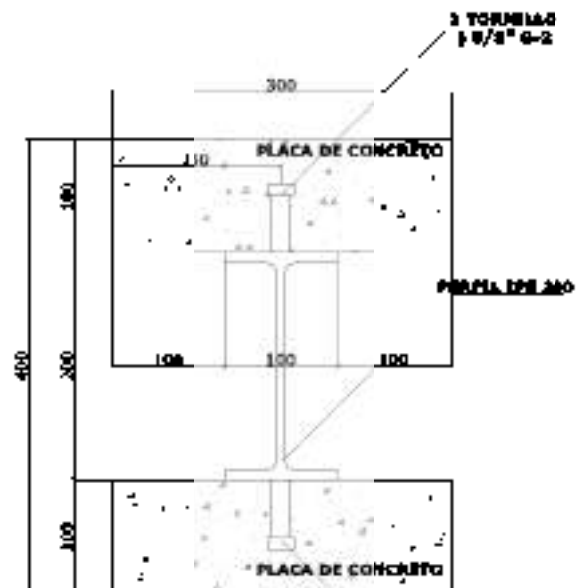
UNIVERSIDAD NACIONAL
DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y
AGRÍCOLA
POSTGRADO EN ESTRUCTURAS

COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE
CORTANTE TIPO TORNILLO DE RESISTENCIA
GRADO 2 PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN
COMPLETA CON CONCRETO DE 21 MPa ANTE
SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO

DIRECTOR:
Ing. Maritzabel Molina Herrera
Ing. Dorian Luis Utrero Segura
PROYECTANTE:
Ing. Xavier Fernando Hurtado

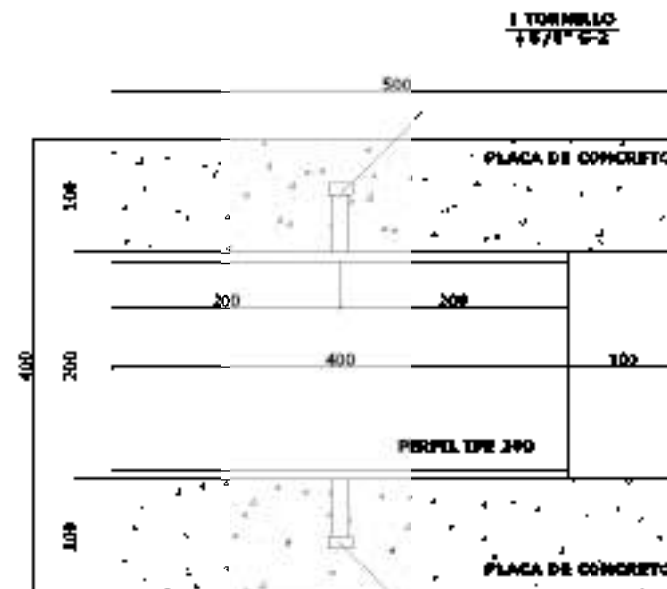
Contiene:
Modelo M4-3-14-1,2,3
Plano:
6 de 19



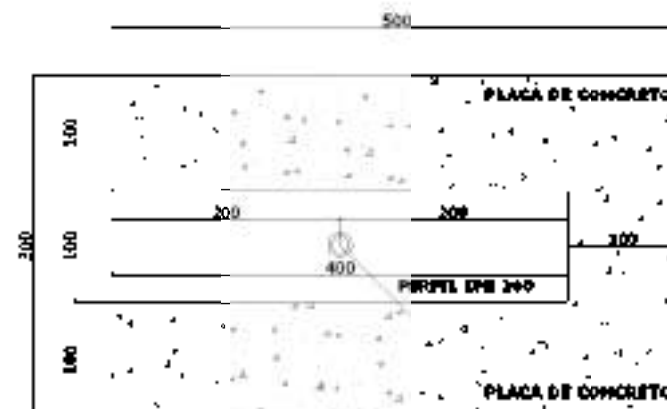
1 TORNILLO
5/8" G-2

CANTIDADES POR PROBETA (seg 2)	
VOLUMEN DE CONCRETO	0.08 m ³
PERFIL IPE 240	400 mm
TORNILLO 5/8" L=2" G-2	2 unidades

NOTA:
Las medidas están en milímetros



1 TORNILLO
5/8" G-2



1 TORNILLO
5/8" G-2

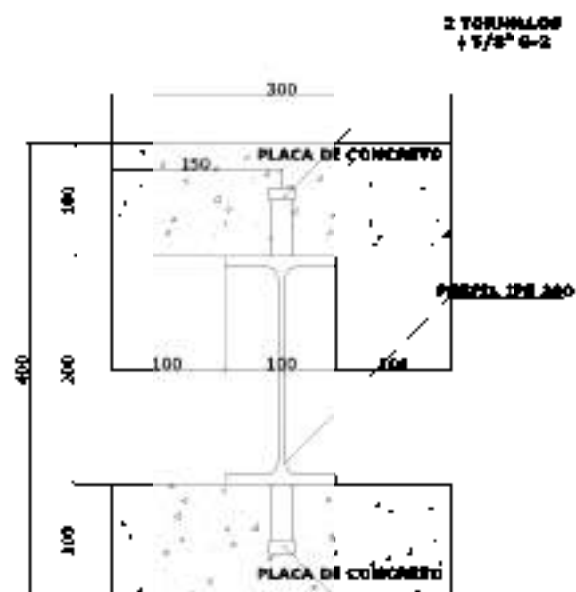
UNIVERSIDAD NACIONAL
DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y
AGRÍCOLA
POSTGRADO EN ESTRUCTURAS

COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE
CORTANTE TIPO TORNILLO DE RESISTENCIA
GRADO 2 PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN
COMpuesta CON CONCRETO DE 21 MPa ANTE
SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO

DIRECTOR:
Ing. Maritzabel Molina Herrera
Ing. Dorlen Luis Linares Segura
PROYECTANTE:
Ing. Xavier Fernando Hurtado

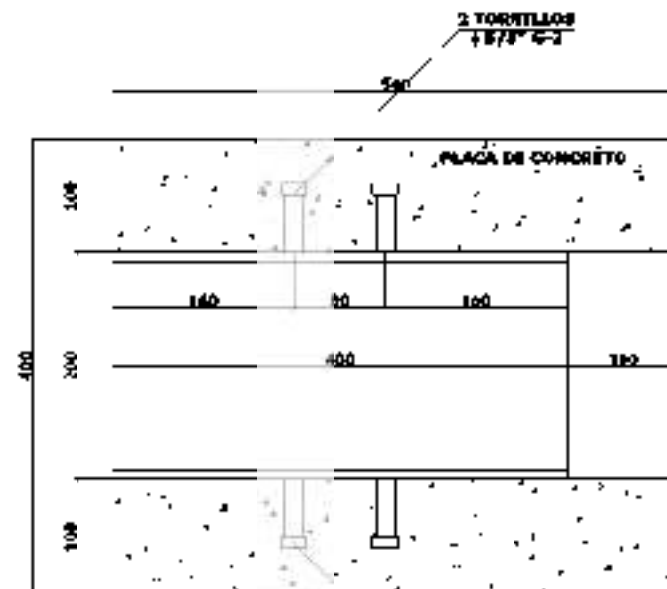
Contiene:
Modelo M5-1-0-1,2,3
Plano:
7 de 19



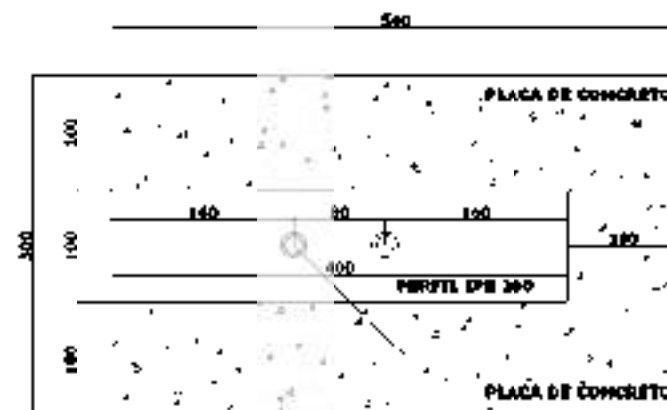
2 TORNILLOS
1/2" 6-2

CANTIDADES POR PROBETA (mm 3)	
VOLUMEN DE CONCRETO	1.43 m ³
PERFIL IPE 200	200 mm
TORNILLO 1/2" 6-2	4 unidades

MM
LAS UNIDADES SON EN MILÍMETROS



2 TORNILLOS
1/2" 6-2



2 TORNILLOS
1/2" 6-2

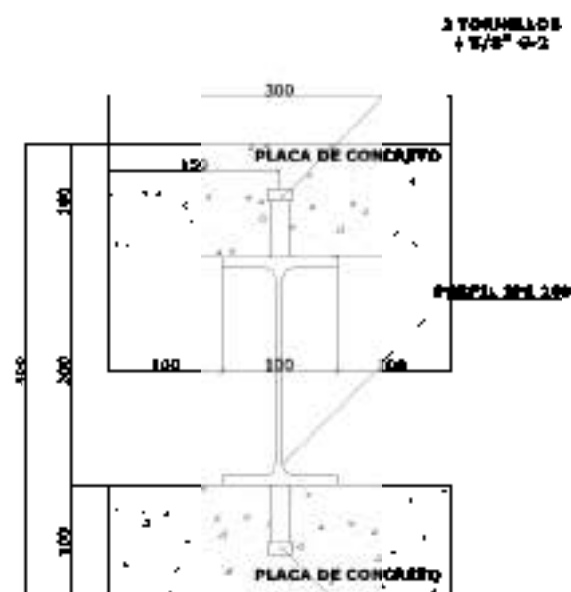
UNIVERSIDAD NACIONAL
DE COLOMBIA

FAACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y
AGRICOLA
POSTGRADO EN ESTRUCTURAS

COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE
CORTANTE TIPO TORNILLO DE RESISTENCIA
GRADO 2 PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN
COMPLETA CON CONCRETO DE 21 MPa ANTE
SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO

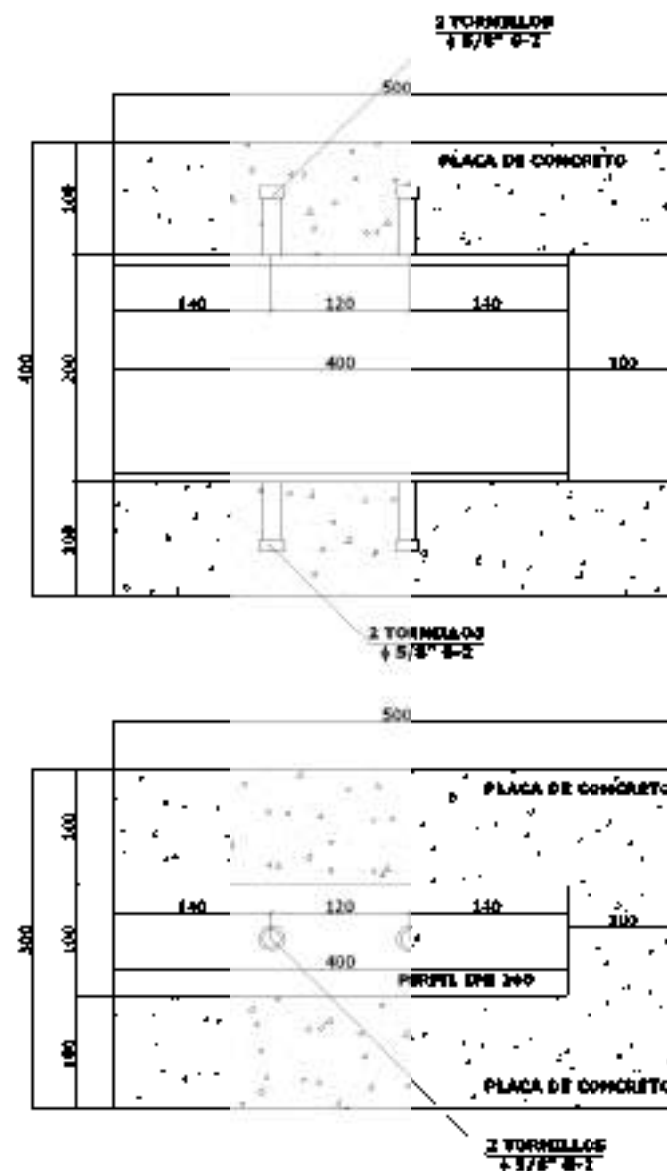
DIRECTOR:
Ing. Maritzabel Molina Herrera
Ing. Dorian Luis Linares Segura
PROYECTANTE:
Ing. Xavier Fernando Hurtado

Contiene:
Modelo M5-2-8-1,2,3
Plano:
8 de 19



CANTIDADES POR PROBETA (seg. ST)	
VOLUMEN DE CONCRETO	0.05 m ³
PERFIL DPE 200	600 mm
TORNILLO 5/8" L=2" Ø-2	4 unidades

P.D.
Las medidas están en milímetros



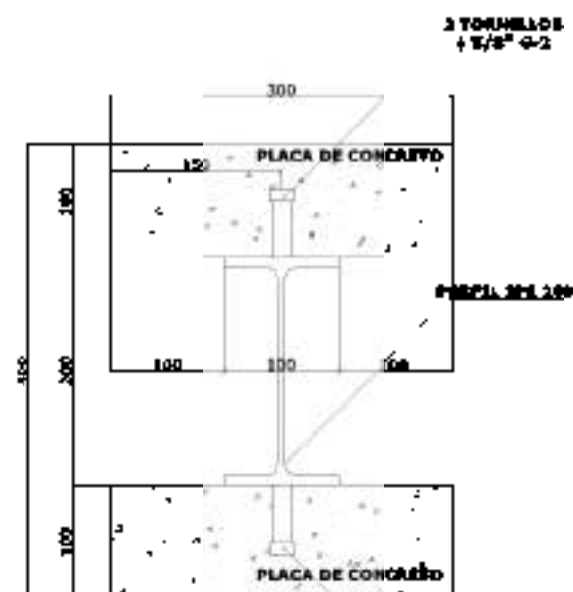
UNIVERSIDAD NACIONAL
DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y
AGRÍCOLA
POSTGRADO EN ESTRUCTURAS

COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE
CORTANTE TIPO TORNILLO DE RESISTENCIA
GRADO 2 PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN
CONJUNTA CON CONCRETO DE 21 MPa ANTE
SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO

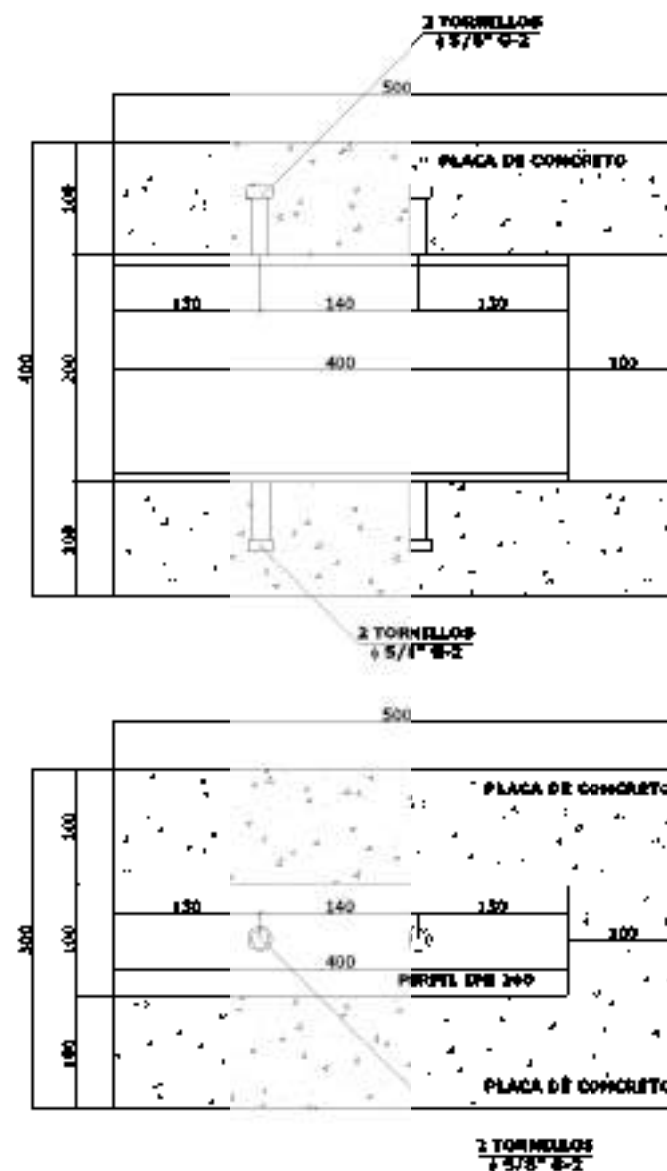
DIRECTOR:
Ing. Maritzabel Molina Herrera
Ing. Dorian Luis Linares Segura
PROYECTANTE:
Ing. Xavier Fernando Hurtado

Contiene:
Modelo MS-2-12-1,2,3
Plano:
9 de 19



CANTIDADES POR PROBETA (seg. 3)	
VOLUMEN DE CONCRETO	0.05 m ³
PERFIL DNE 200	600 mm
TORNELLOS 5/8" L=2' Q-2	4 unidades

NOTA:
Las unidades están en milímetros



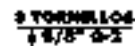
UNIVERSIDAD NACIONAL
DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y
AGRÍCOLA
POSTGRADO EN ESTRUCTURAS

COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE
CORTANTE TIPO TORNILLO DE RESISTENCIA
GRADO 2 PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN
CONJUNTA CON CONCRETO DE 21 MPa ANTE
SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO

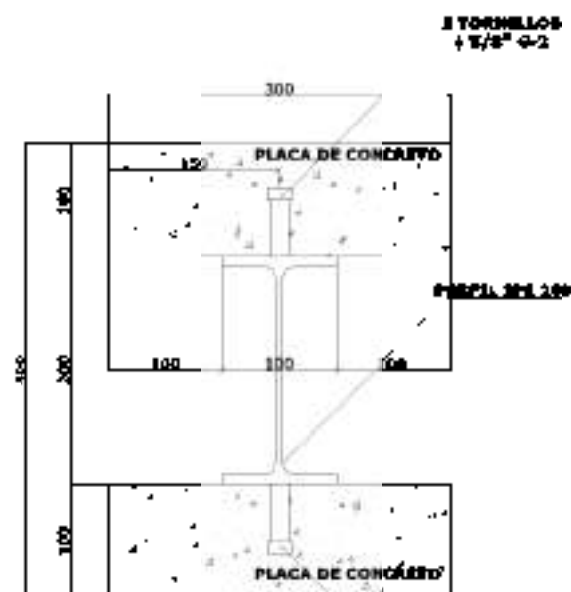
DIRECTOR:
Ing. Maritzabel Molina Herrera
Ing. Dorian Luis Linares Segura
PROYECTANTE:
Ing. Xavier Fernando Hurtado

Contiene:
Modelo MS-2-14-1,2,3
Plano:
10 de 19



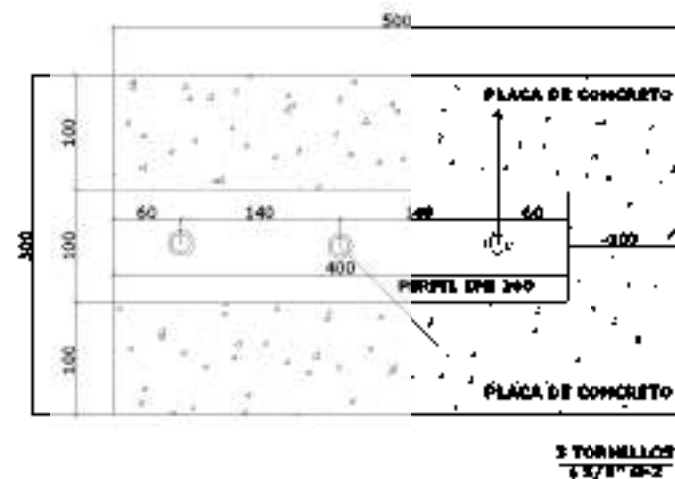
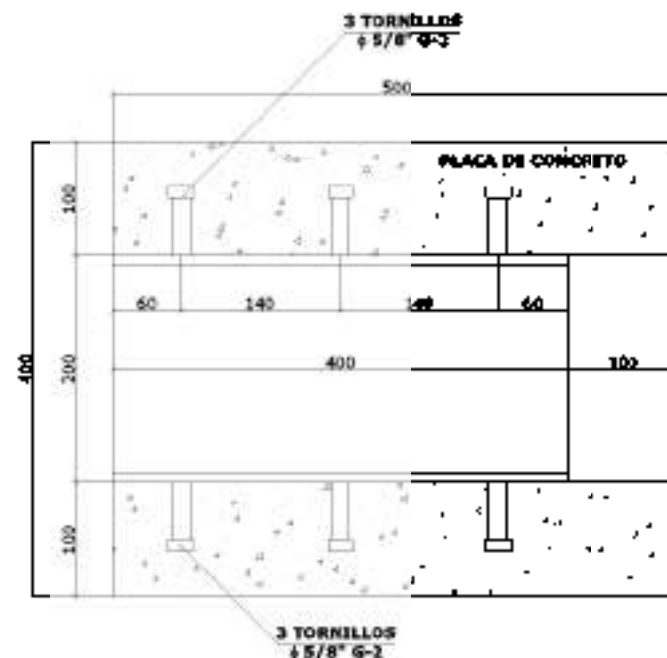
POP
Las unidades están en rojo.





CANTIDADES POR PROBETA (seg 3)	
VOLUMEN DE CONCRETO	0.05 m ³
PERFIL DNE 200	600 mm
TORNILLO # 5/8" L=2" G-2	6 unidades

NOTA:
Las unidades están en milímetros



UNIVERSIDAD NACIONAL
DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y
AGRÍCOLA
POSTGRADO EN ESTRUCTURAS

COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE
CORTANTE TIPO TORNILLO DE RESISTENCIA
GRADO 2 PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN
COMPLETA CON CONCRETO DE 21 MPa ANTE
SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO

DIRECTOR:
Ing. Maritzabel Molina Herrera
Ing. Dorian Luis Linares Segura
PROYECTANTE:
Ing. Xavier Fernando Hurtado

Contiene:
Modelo MS-3-14-1,2,3
Plano:
12 de 19

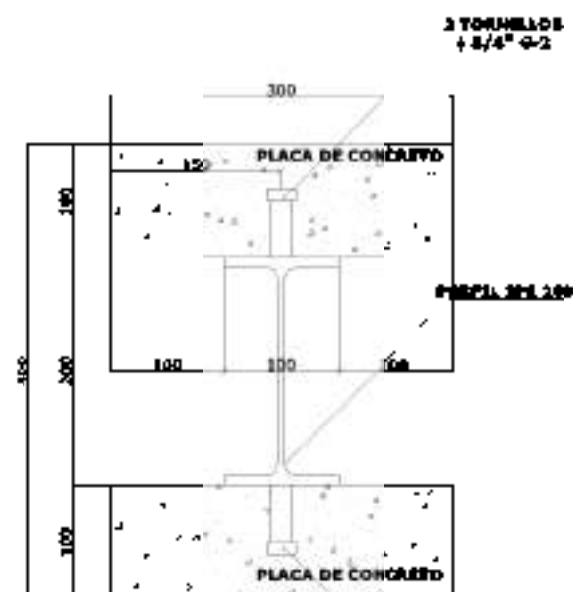


Las unidades están en redondeado



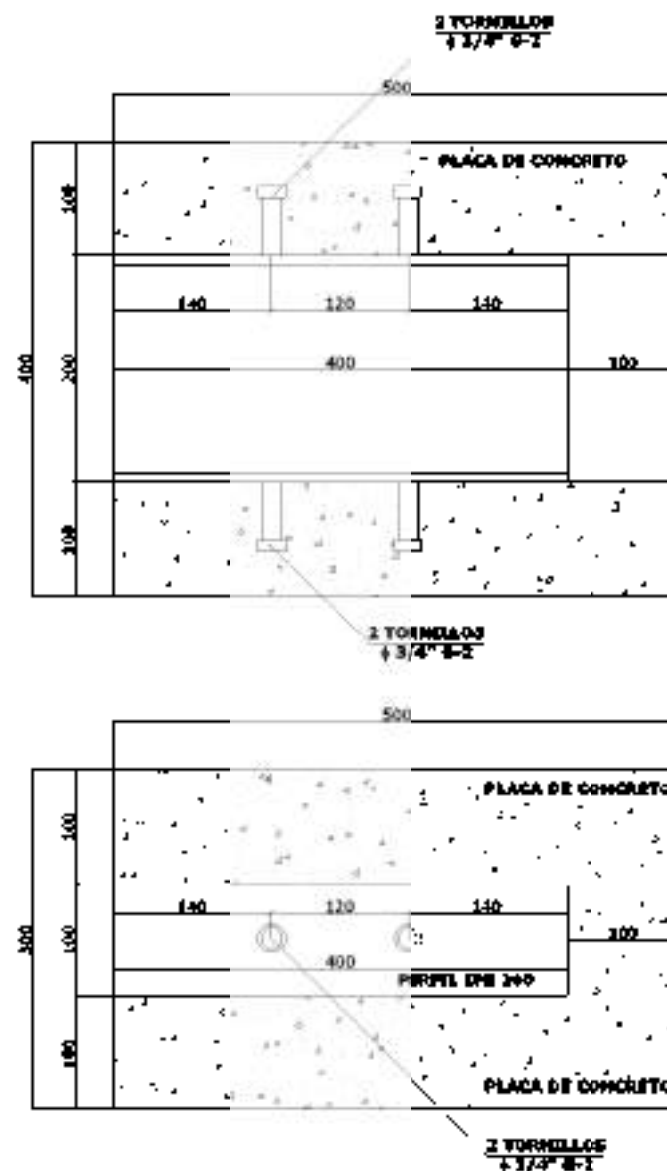
POP
Les vendes en restructura





CANTIDADES POR PROBETA (seg. ST)	
VOLUMEN DE CONCRETO	0.05 m ³
PERFIL DNE 200	600 mm
TORNILLO : 3/4" L=2" Ø-2	4 unidades

P.D.
Las unidades están en milímetros



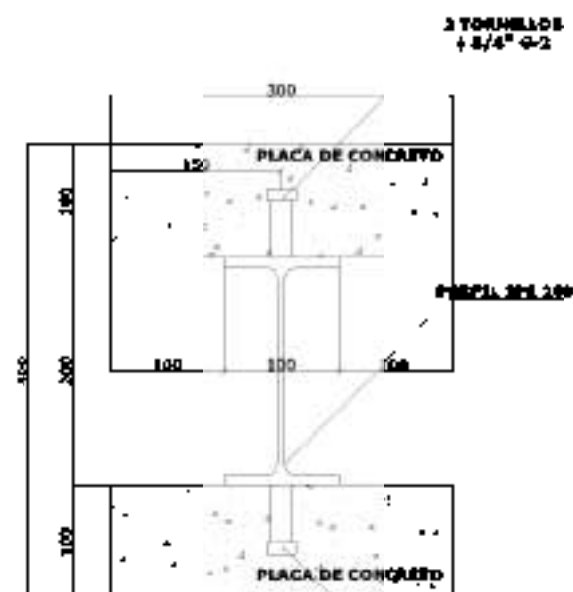
UNIVERSIDAD NACIONAL
DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y
AGRÍCOLA
POSTGRADO EN ESTRUCTURAS

COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE
CORTANTE TIPO TORNILLO DE RESISTENCIA
GRADO 2 PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN
CONJUNTA CON CONCRETO DE 21 MPa ANTE
SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO

DIRECTOR:
Ing. Maritzabel Molina Herrera
Ing. Dorian Luis Linares Segura
PROYECTANTE:
Ing. Xawar Fernando Hurtado

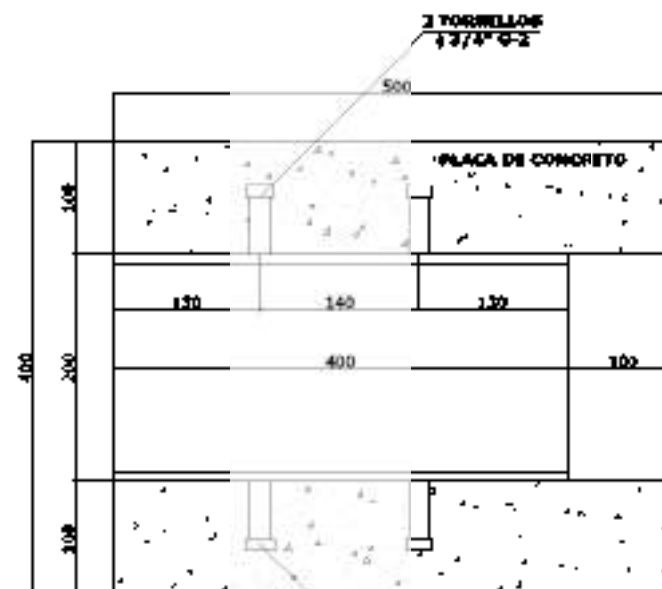
Contiene:
Modelo M6-2-12-1,2,3
Plano:
15 de 19



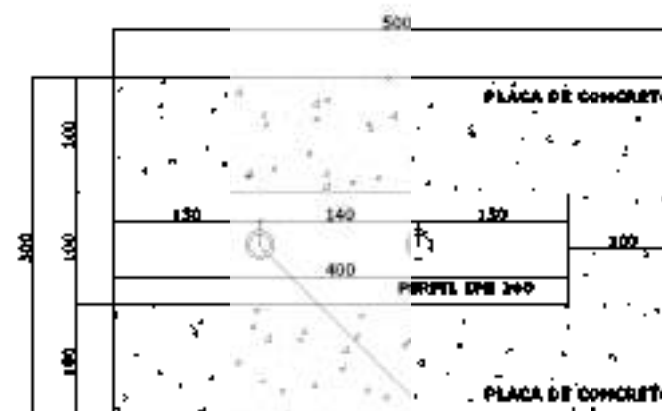
2 TORNILLOS
+ 3/4" Ø-2

CANTIDADES POR PROBETA (seg. 37)	
VOLUMEN DE CONCRETO	0.05 m ³
PERFIL DNE 200	600 mm
TORNILLO 3/4" L=2" Ø-2	4 unidades

NOTA:
Las medidas están en milímetros



2 TORNILLOS
+ 3/4" Ø-2



2 TORNILLOS
+ 3/4" Ø-2

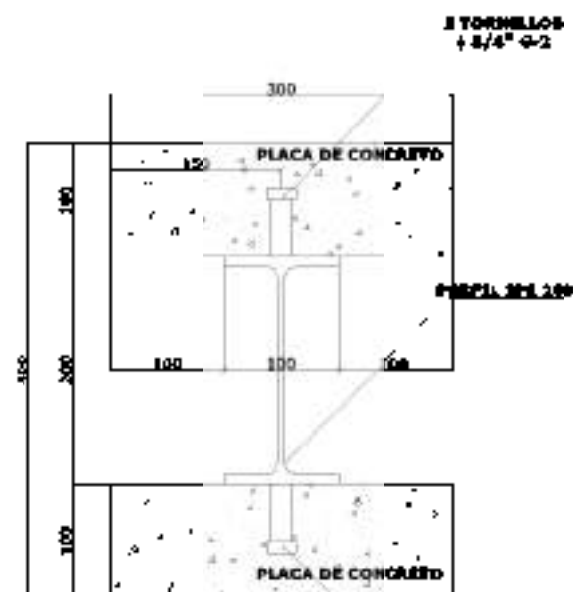
UNIVERSIDAD NACIONAL
DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y
AGRÍCOLA
POSTGRADO EN ESTRUCTURAS

COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE
CORTANTE TIPO TORNILLO DE RESISTENCIA
GRADO 2 PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN
CONJUNTA CON CONCRETO DE 21 MPa ANTE
SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO

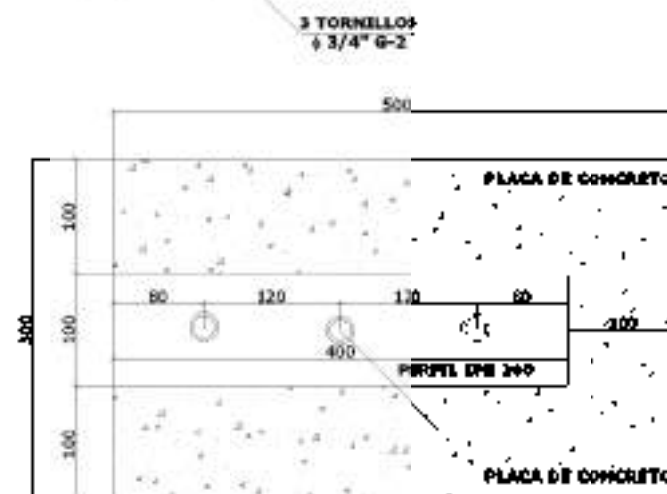
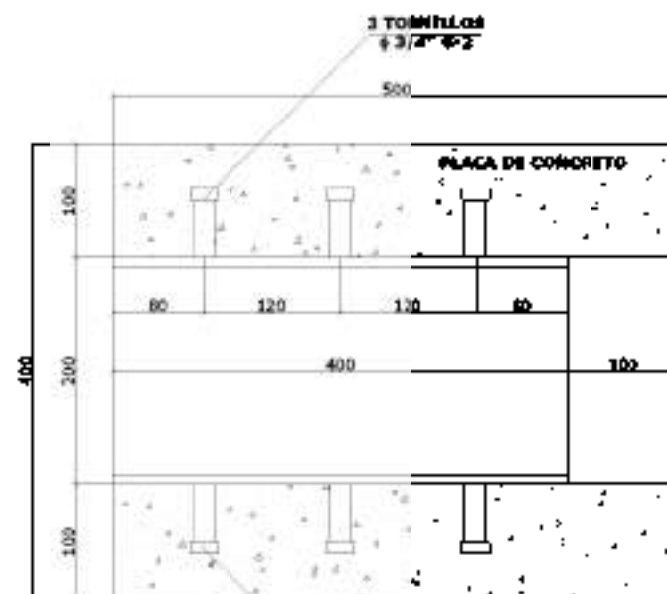
DIRECTOR:
Ing. Maritzabel Molina Herrera
Ing. Dorian Luis Linares Segura
PROYECTANTE:
Ing. Xavier Fernando Hurtado

Contiene:
Modelo M6-2-14-1,2,3
Plano:
16 de 19



CANTIDADES POR PROBETA (mm 3)	
VOLUMEN DE CONCRETO	0.05 m ³
PERFIL DNE 200	600 mm
TORNILLO 3/4" L=2" G-2	6 unidades

NOTA:
Las medidas están en milímetros



3 TORNILLOS
3/4" G-2

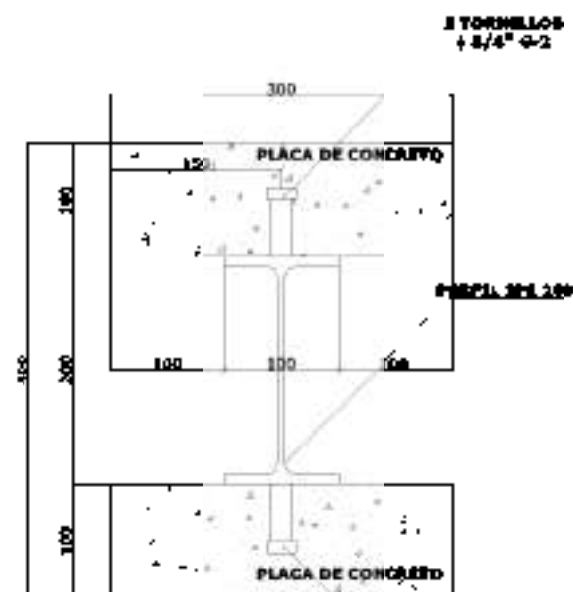
UNIVERSIDAD NACIONAL
DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y
AGRÍCOLA
POSTGRADO EN ESTRUCTURAS

COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE
CORTANTE TIPO TORNILLO DE RESISTENCIA
GRADO 2 PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN
COMPLETA CON CONCRETO DE 21 MPa ANTE
SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO

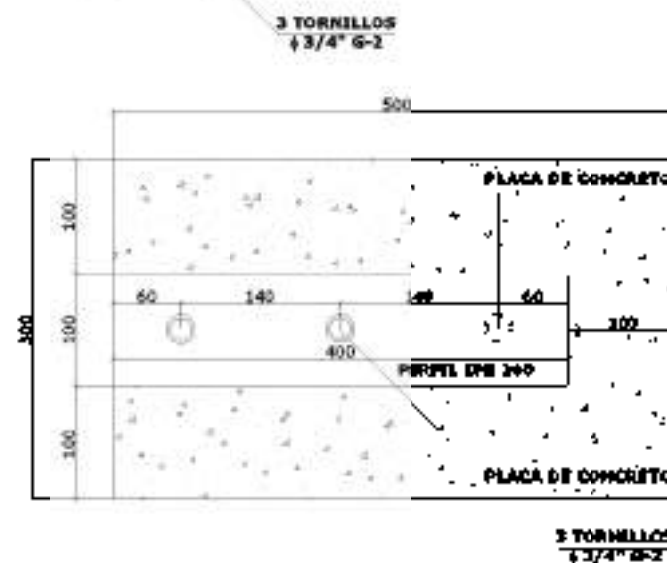
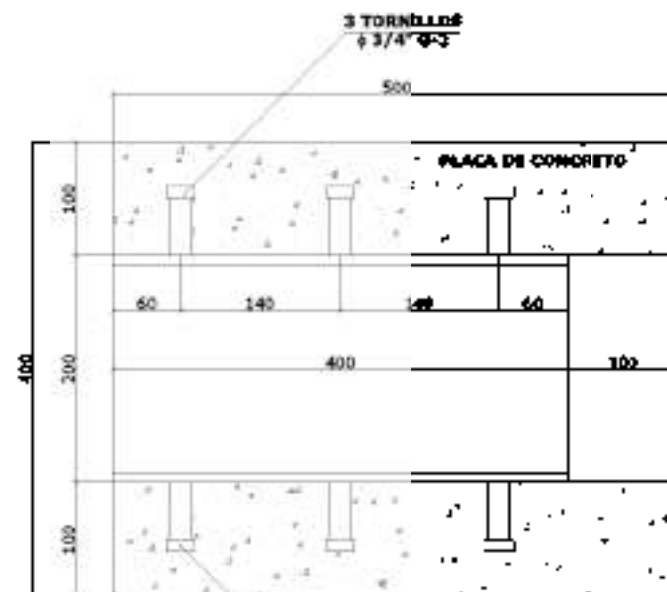
DIRECTOR:
Ing. Maritzabel Molina Herrera
Ing. Dorian Luis Linares Segura
PROYECTANTE:
Ing. Xavier Fernando Hurtado

Contiene:
Modelo M6-3-12-1,2,3
Plano:
17 de 19



CANTIDADES POR PROBETA (seg 3)	
VOLUMEN DE CONCRETO	0.05 m ³
PERFIL DPE 200	600 mm
TORNILLO 3/4" L=2" Ø-2	6 unidades

NOTA:
Las medidas están en milímetros



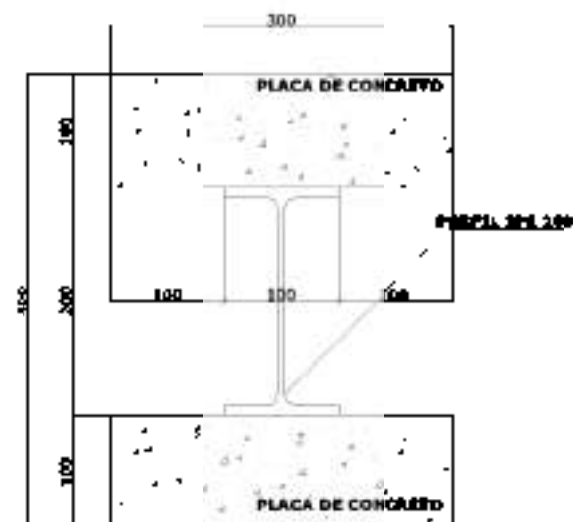
UNIVERSIDAD NACIONAL
DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y
AGRÍCOLA
POSTGRADO EN ESTRUCTURAS

COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE
CORTANTE TIPO TORNILLO DE RESISTENCIA
GRADO 2 PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN
COMPLETA CON CONCRETO DE 21 MPa ANTE
SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO

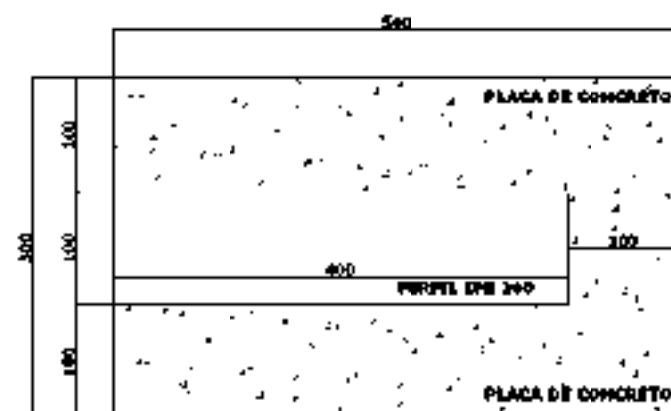
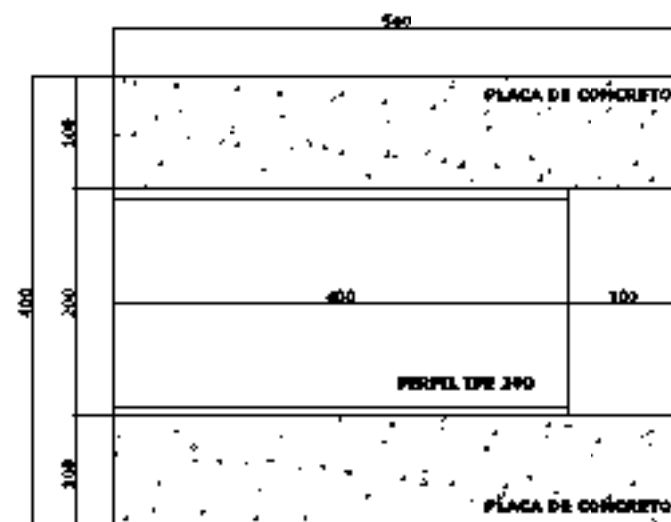
DIRECTOR:
Ing. Maritzabel Molina Herrera
Ing. Dorian Luis Linares Segura
PROYECTANTE:
Ing. Xavier Fernando Hurtado

Contiene:
Modelo M6-3-14-1,2,3
Plano:
18 de 19



CANTIDADES POR PROBETA (mm ³)	
VOLUMEN DE CONCRETO	0.05 m ³
SECC. IPE 200	600 mm

Nota:
Las unidades están en milímetros



UNIVERSIDAD NACIONAL
DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y
AGRÍCOLA
POSTGRADO EN ESTRUCTURAS

COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE
CORTANTE TIPO TORNILLO DE RESISTENCIA
GRADO 2 PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN
CONJUNTA CON CONCRETO DE 21 MPa ANTE
SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO

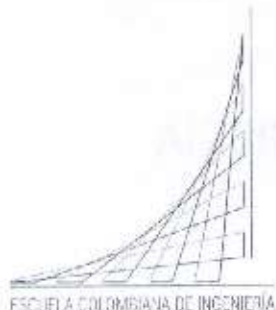
DIRECTOR:
Ing. Maritzabel Molina Herrera
Ing. Dorlen Luis Linares Segura
PROYECTANTE:
Ing. Xavier Fernando Hurtado

Contiene:
Modelo M0-0-0-1,2,3
Plano:
19 de 19



*COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO
GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA*

ANEXO B
ENSAYOS DE LOS CONECTORES



ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA

"JULIO GARAVITO"

Hoja 1 de 1

INFORME DE LABORATORIO No. 883

Elemento: Tornillos unidos con probeta

Ensayo: Tensión simple.

RESULTADOS

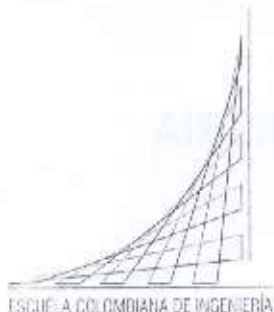
Muestra No.	Diámetro	Carga máxima (kg)	Descripción de Falla
1	5/8	7235	Por soldadura
2	5/8	4185	Por soldadura
3	3/4	7930	Por soldadura
4	3/4	6500	Por soldadura
5	1/2	3915	Por soldadura
6	1/2	3520	Por soldadura

Atentamente,



ING. NANCY TORRES CASTELLANOS

Laboratorio de Ensayo de Materiales y Estructuras



ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA

"JULIO GARAVITO"

Hoja 1 de 1

INFORME DE LABORATORIO No. 884

Elemento: Tornillos unidos con probeta

Ensayo: Cortante

RESULTADOS

Muestra No.	Diámetro	Carga máxima (kg)	Descripción de Falla
1	$\frac{1}{2}$	4940	Por tornillo
2	$\frac{1}{2}$	4805	Por tornillo
3	$\frac{5}{8}$	6900	Por soldadura
4	$\frac{5}{8}$	6805	Por soldadura
5	$\frac{3}{4}$	9520	Por soldadura
6	$\frac{3}{4}$	6670	Por tornillo

4872.5

6812.5

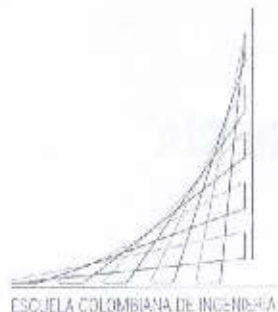
8095

Atentamente,

ING. NANCY TORRES CASTELLANOS

Laboratorio de Ensayo de Materiales y Estructuras





ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA

"JULIO GARAVITO"

Hoja 1 de 1

INFORME DE LABORATORIO No. 886

Elemento: Tornillos

Ensayo: Cortante

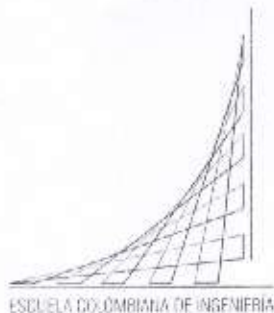
RESULTADOS

Muestra No.	Diámetro	Carga máxima (kg)	Descripción de Falla
1	$\frac{1}{2}$	4820	Por tornillo
2	$\frac{1}{2}$	5105	Por tornillo
3	$\frac{5}{8}$	6400	Por tornillo
4	$\frac{5}{8}$	6520	Por tornillo
5	$\frac{3}{4}$	8390	Por tornillo
6	$\frac{3}{4}$	10290	Por tornillo

Atentamente,



ING. NANCY TORRES CASTELLANOS
Laboratorio de Ensayo de Materiales y Estructuras



ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA

"JULIO GARAVITO"

Hoja 1 de 1

INFORME DE LABORATORIO No. 886A

Elemento: Tornillos

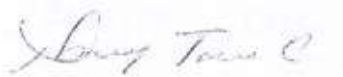
Ensayo: Cortante

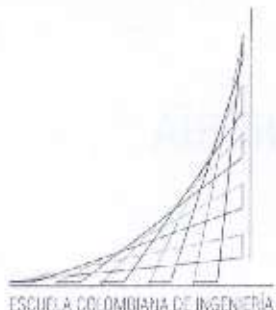
RESULTADOS

Muestra No.	Diámetro	Carga máxima (kg)	Descripción de Falla
1	5/8	6585	Por tornillo
2	5/8	6650	Por tornillo
3	5/8	6635	Por tornillo
4	5/8	6485	Por tornillo

Atentamente,

6545.8 promedio


ING. NANCY TORRES CASTELLANOS
Laboratorio de Ensayo de Materiales y Estructuras



ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA

"JULIO GARAVITO"

Hoja 1 de 1

INFORME DE LABORATORIO No. 887

Elemento: Tornillos

Ensayo: Tensión simple

RESULTADOS

Muestra No.	Diámetro	Carga máxima (kg)	Descripción de Falla
1	$\frac{1}{2}$	7530	Deslizamiento de la rosca
2	$\frac{1}{2}$	7090	Deslizamiento de la rosca
3	$\frac{5}{8}$	7880	Por tornillo
4	$\frac{5}{8}$	7725	Por tornillo
5	$\frac{3}{4}$	13480	Deslizamiento de la rosca
6	$\frac{3}{4}$	9390	Por tornillo

Atentamente,

Nancy Torres



ING. NANCY TORRES CASTELLANOS

Laboratorio de Ensayo de Materiales y Estructuras



*COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO
GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA*

ANEXO C
ENSAYOS DEL PERFIL METALICO

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA

ENSAYO DE TENSION DE PROBETA EN ACERO

Informe No. 888

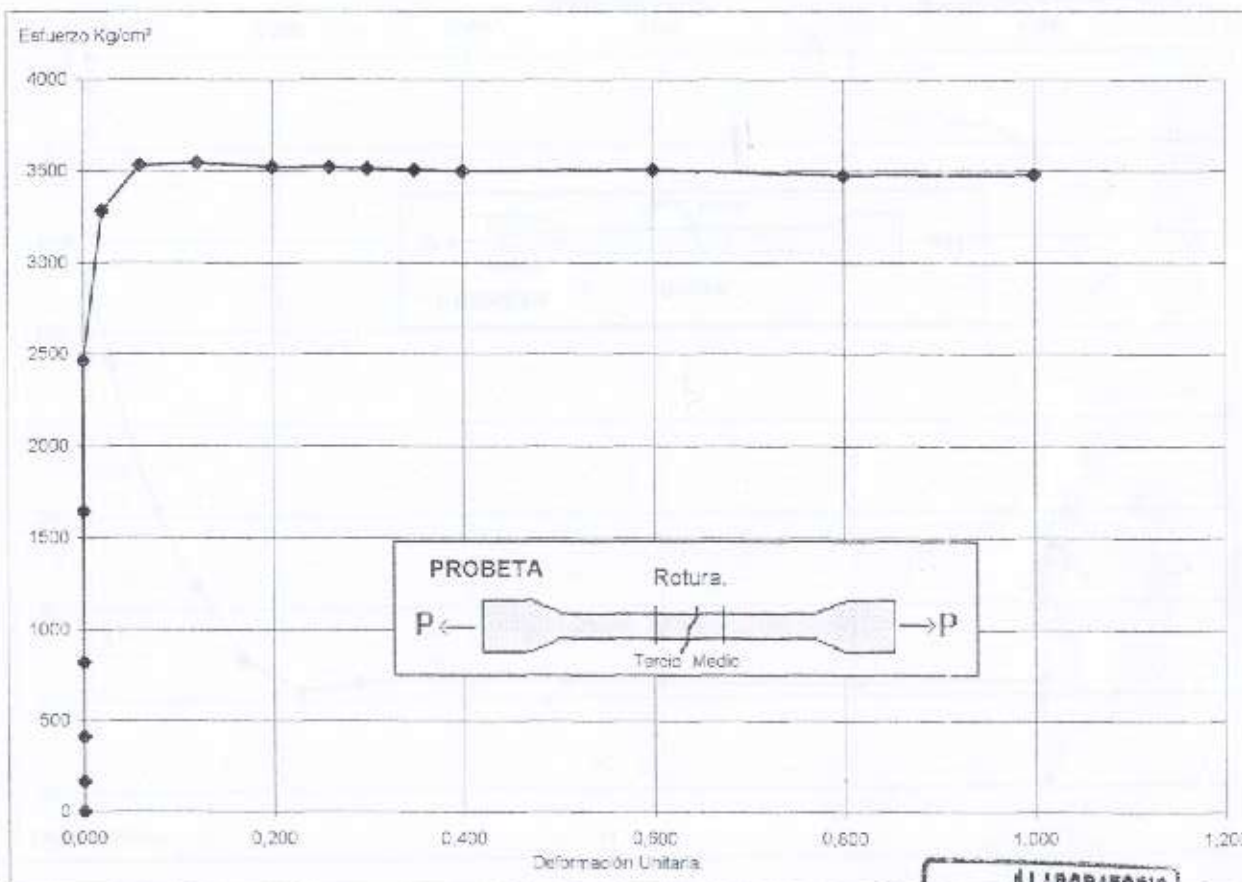
Hoja 1 de 2

Empresa: **ING. ALEJANDRO GARCIA ZAMORA**

Fecha: 30 de octubre de 2006

MUESTRA No. 1

				Ancho (cm):	2.03
				Espesor (cm):	0.60
				Long. Ensayo (cm):	5.0
Carga (kg)	Alargamiento (mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación (%)		
0	0.000	0	0.000		
200	0.000	164	0.000		
500	0.000	411	0.000		
1000	0.000	821	0.000		
2000	0.000	1642	0.000		
3000	0.000	2463	0.000		
4000	0.010	3284	0.020		
4300	0.030	3530	0.060		
4320	0.060	3547	0.120		
4285	0.100	3526	0.200		
4290	0.130	3522	0.260		
4280	0.150	3514	0.300		
4272	0.175	3507	0.350		
4265	0.200	3502	0.400		
4270	0.300	3506	0.600		
4235	0.400	3477	0.800		
4240	0.50	3461	1.000		



Alargamiento	
en 10 cm	26%

Reducción de área	
	60 %

Esfuerzos	(kg/cm ²)	MPa
Fluencia	3507	344
Máximo	5066	496



Nancy Torres Castellanos
Ing. Nancy Torres Castellanos
 Laboratorio de Materiales y Estructuras

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA

ENSAYO DE TENSION DE PROBETA EN ACERO

Informe No. 888

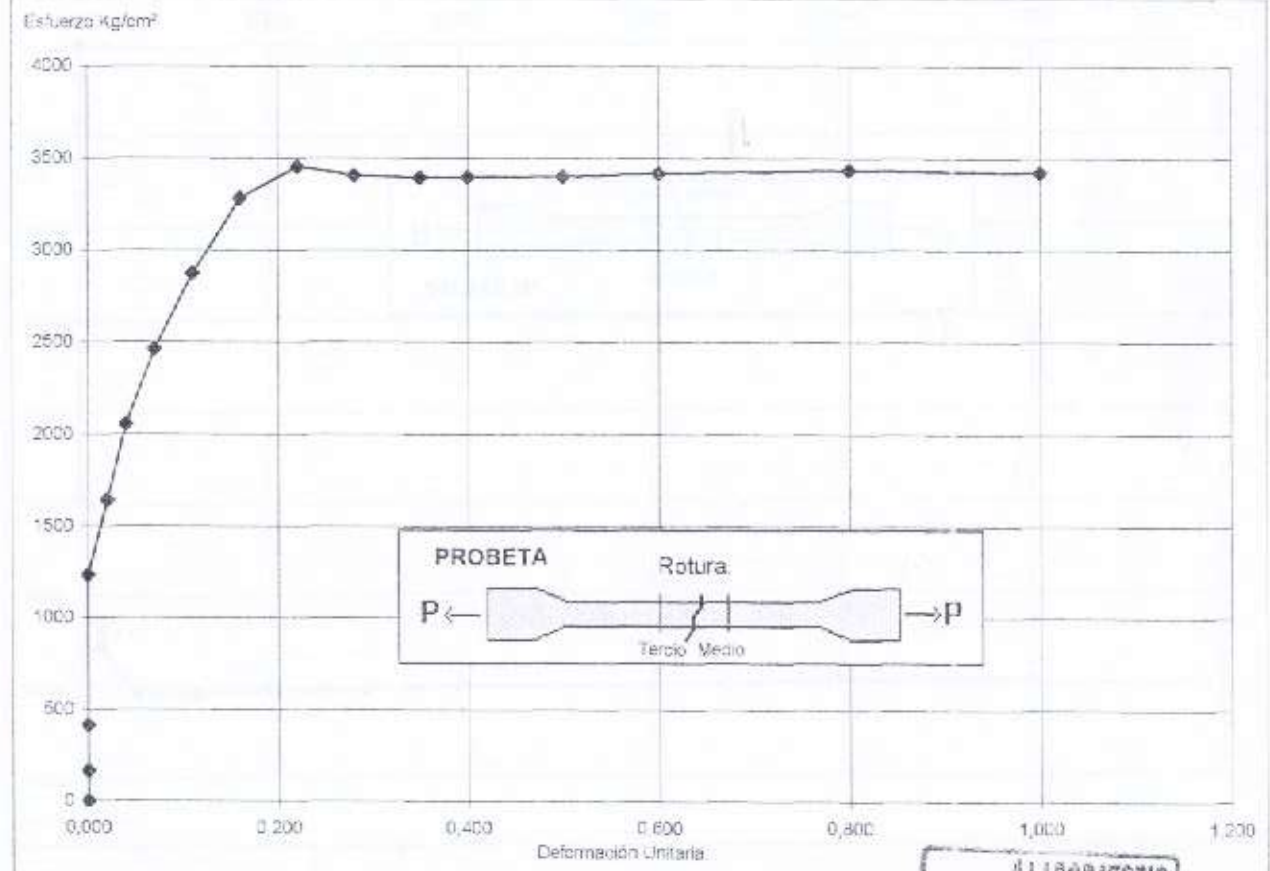
Hoja 2 de 2

Empresa: **ING. ALEJANDRO GARCIA ZAMORA**

Fecha: 30 de octubre de 2006

MUESTRA No. 2

	Ancho (cm):	2,03	
	Espesor (cm):	0,62	
	Long. Ensayo (cm):	5 0	
Carga (kg)	Alargamiento (mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación (%)
0	0,000	0	0,000
200	0,000	164	0,000
500	0,000	411	0,000
1500	0,000	1232	0,000
2000	0,010	1642	0,020
2500	0,020	2053	0,040
3000	0,035	2463	0,070
3500	0,055	2874	0,110
4000	0,080	3284	0,160
4210	0,110	3456	0,220
4150	0,140	3407	0,290
4135	0,175	3395	0,350
4140	0,200	3399	0,400
4145	0,250	3403	0,500
4165	0,300	3420	0,600
4157	0,400	3438	0,800
4170	0,50	3424	1,000



Alargamiento	
en 10 cm	30%

Reducción de área	
60 %	

Esfuerzos (kg/cm ²)	MPa
Fluencia	3395
Maximo	4963

σ_{prom} : 338,5 MPa
491 MPa



Ing. Nancy Torres Castellanos
Laboratorio de Materiales y Estructuras



*COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO
GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA*

ANEXO D
ENSAYOS DEL CONCRETO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA
 COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA
 DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO

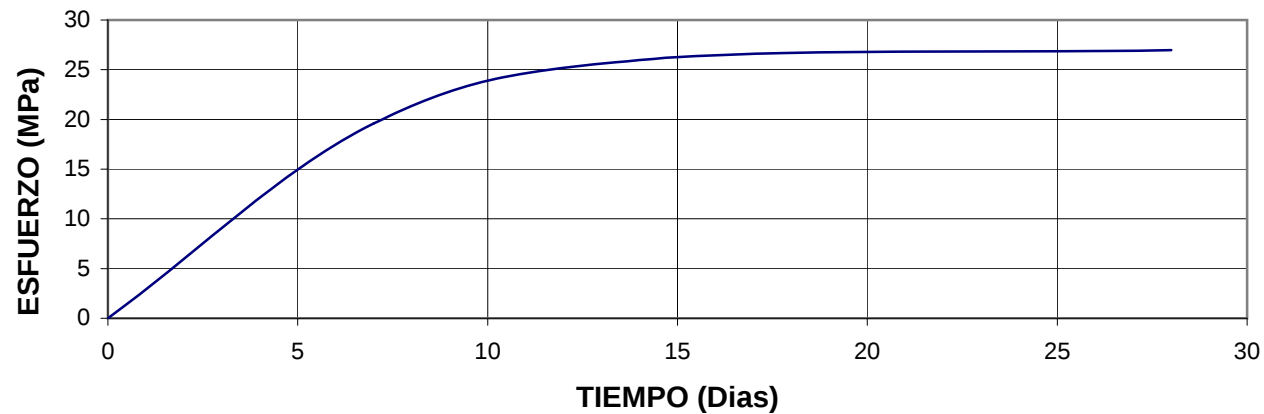


ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.

DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA
 CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA

TIEMPO dias	f'c NOMINAL MPa	ALTURA m	ÁREA m ²	CARGA kN	ESFUERZO σ MPa	PROMEDIO MPa
7	21	0.150	1.77E-02	353.4	20.0	19.6
7	21	0.150	1.77E-02	339.8	19.2	
14	21	0.150	1.77E-02	445.3	25.2	26.0
14	21	0.150	1.77E-02	472.9	26.8	
28	21	0.150	1.77E-02	467.6	26.5	27.0
28	21	0.150	1.77E-02	485.5	27.5	

GRÁFICA ESFUERZO Vs. TIEMPO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA
 COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA
 DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO



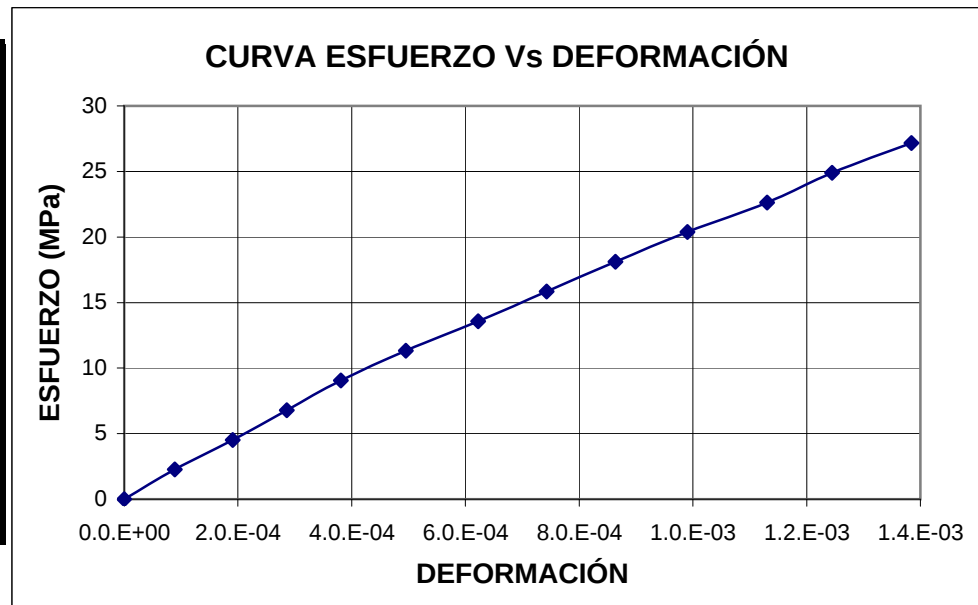
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.

DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA
 CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA

ENSAYO DE MÓDULO DE ELASTICIDAD EN CILINDROS DE CONCRETO

Carga (kN)	δ (.0001")	σ (MPa)	
0	26	0.00	0.0.E+00
10	33	2.26	8.9.E-05
20	41	4.53	1.9.E-04
30	48.5	6.79	2.9.E-04
40	56	9.05	3.8.E-04
50	65	11.32	5.0.E-04
60	75	13.58	6.2.E-04
70	84.5	15.84	7.4.E-04
80	94	18.11	8.6.E-04
90	104	20.37	9.9.E-04
100	115	22.64	1.1.E-03
110	124.0	24.90	1.2.E-03
120	135	27.16	1.4.E-03

E_c (MPa)	20781
f'_c (MPa)	43.60



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA
 COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA
 DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO



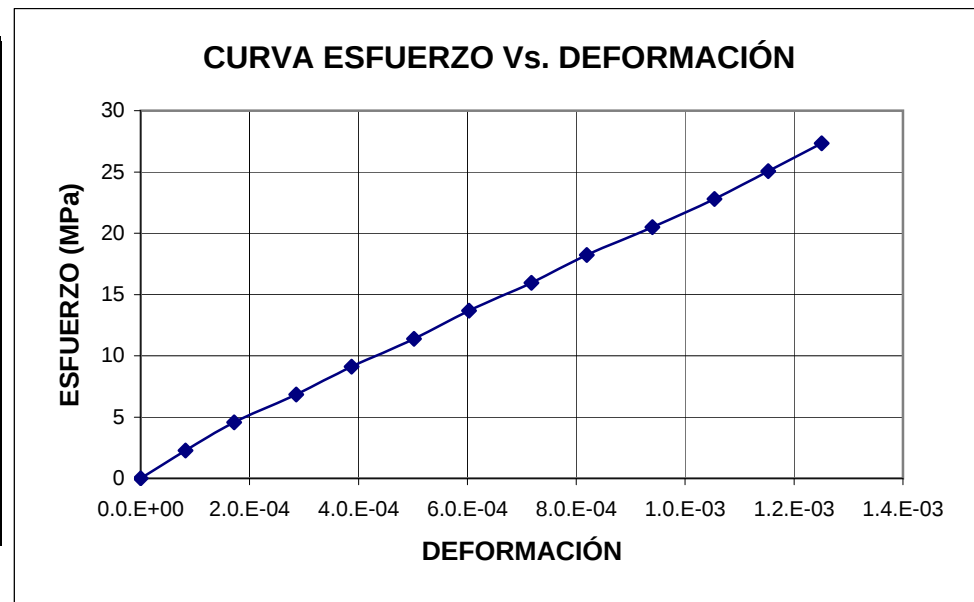
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.

DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA
 CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA

ENSAYO DE MÓDULO DE ELASTICIDAD EN CILINDROS DE CONCRETO

CARGA kN	DEFORMACIÓN 0.0001"	ESFUERZO σ MPa	$\epsilon \times 10^{-6}$
0	70.5	0.00	0.0.E+00
10	77	2.28	8.3.E-05
20	84	4.56	1.7.E-04
30	93	6.84	2.9.E-04
40	101	9.11	3.9.E-04
50	110	11.39	5.0.E-04
60	118	13.67	6.0.E-04
70	127	15.95	7.2.E-04
80	135	18.23	8.2.E-04
90	144.5	20.51	9.4.E-04
100	153.5	22.79	1.1.E-03
110	161.3	25.07	1.2.E-03
120	169	27.34	1.3.E-03

E_c (MPa)	21868
f'_c (MPa)	42.59





*COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO
GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA*

ANEXO E
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA
CODIRECTOR: ING.DORIAN LUIS LINERO SEGRERA

[illegible]

Detalle del tornillo

Falla completamente relacionada con la soldadura del conector al perfil.
La placa de concreto se no sufrió ningún daño de consideración.
El tornillo quedó embebido en la placa de concreto como se observa en la imagen.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO		
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.		DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA

MODELO: M4-1-0-2

CARGA lb	DEFORMIMETRO 1 0.01 mm	DEFORMIMETRO 2 0.01 mm
0	0	0
2000	29	29
4000	41	44
6000	55	50
8000	64	74
10000	76	88
12000	88	100
14000	98	109
16000	110	128
18000	146	169
20000	198	218

CARGA DE FALLA	22680 lb
----------------	----------



Montaje del modelo



Falla de la probeta



Falla de la soldadura



Detalle del tornillo

Observaciones:

Falla completamente relacionada con la soldadura del conector al perfil.

La placa de concreto se no sufrió ningún daño de consideración.

El tornillo quedó embebido en la placa de concreto como se observa en la imagen.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO		
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.		DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA

MODELO: M4-1-0-3

CARGA lb	DEFORMIMETRO 1 0.01 mm	DEFORMIMETRO 2 0.01 mm
0	0	0
2000	45	31
4000	64	48
6000	78	61
8000	91	75
10000	102	89
12000	122	104
14000	155	135
16000	189	171
18000	248	224
20000	350	327

CARGA DE FALLA	21340 lb
----------------	----------



Montaje del modelo



Falla de la probeta



Falla de la soldadura



Detalle del tornillo

Observaciones:

Falla completamente relacionada con la soldadura del conector al perfil.

La placa de concreto se no sufrió ningún daño de consideración.

El tornillo quedó embebido en la placa de concreto como se observa en la imagen.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO	
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.	DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA

MODELO: M4-2-8-1

CARGA lb	DEFORMIMETRO 1 0.01 mm	DEFORMIMETRO 2 0.01 mm
0	0	0
2000	51	55
4000	69	76
6000	83	92
8000	97	106
10000	106	111
12000	116	122
14000	123	133
16000	132	142
18000	140	150
20000	150	162
22000	165	174
24000	178	196
26000	194	200
28000	210	205
30000	228	232
32000	252	252
34000	275	275
36000	300	295
38000	339	325

CARGA DE FALLA	39000 lb
----------------	----------



Montaje del modelo



Falla de la probeta



Falla de la soldadura



Detalle de los tornillos

Observaciones:

Falla completamente relacionada con la soldadura del conector al perfil.

La placa de concreto se no sufrió ningún daño de consideración.

El tornillo quedó embebido en la placa de concreto como se observa en la imagen.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO	
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.	DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA

MODELO: M4-2-8-2

CARGA lb	DEFORMIMETRO 1 0.01 mm	DEFORMIMETRO 2 0.01 mm
0	0	0
2000	33	34
4000	55	52
6000	70	65
8000	82	75
10000	90	82
12000	96	88
14000	102	95
16000	107	98
18000	115	105
20000	121	112
22000	126	116
24000	138	128
26000	149	139
28000	170	159
30000	188	176

CARGA DE FALLA	44880 lb
----------------	----------



Montaje del modelo



Falla de la probeta



Estado final de los tornillos



Falla del concreto



Observaciones:

Falla del concreto e interacción con los tornillos.

La placa de concreto se fracturó en dos partes por el eje de colocación de los tornillos.

Los tornillos sufrieron un leve doblez, más notorio en el ubicado en la parte superior de la probeta.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO		
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.		DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA

MODELO: M4-2-8-3

CARGA lb	DEFORMIMETRO 1 0.01 mm	DEFORMIMETRO 2 0.01 mm
0	0	0
2000	28	37
4000	54	66
6000	69	80
8000	79	90
10000	91	100
12000	95	105
14000	106	115
16000	114	124
18000	128	135
20000	142	149
22000	160	164
24000	182	182
26000	199	198
28000	222	219
30000	243	237
32000	265	258
34000	291	276
36000	320	307
38000	368	349
40000	429	408

CARGA DE FALLA	42610 lb
----------------	----------



Montaje del modelo



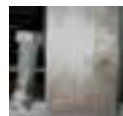
Falla de la probeta



Estado final de los tornillos



Falla del concreto



Observaciones:

Falla del concreto e interacción con los tornillos.

La placa de concreto se fracturó en dos partes por el eje de colocación de los tornillos.

Los tornillos sufrieron un leve doblez, más notorio en el ubicado en la parte inferior de la probeta.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO		
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.		DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA

MODELO: M4-2-12-1

CARGA lb	DEFORMIMETRO 1 0.01 mm	DEFORMIMETRO 2 0.01 mm
0	0	0
2000	15	14
4000	26	25
6000	36	34
8000	42	38
10000	47	43
12000	53	49
14000	57	52
16000	63	57
18000	68	62
20000	72	65
22000	82	74
24000	96	88
26000	107	99
28000	125	116
30000	139	130

CARGA DE FALLA	49180 lb
----------------	----------



Montaje del modelo



Falla de la probeta



Estado final de los tornillos



Falla del concreto



Observaciones:

Falla del concreto e interacción con los tornillos.

La placa de concreto se fracturó en dos partes por el eje de colocación de los tornillos.

Los tornillos sufrieron un leve doblez, más notorio en el ubicado en la parte inferior de la probeta.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA <i>COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO</i>		
<i>ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.</i>		
		<i>DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA</i> <i>CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA</i>

MODELO: M4-2-12-2

CARGA lb	DEFORMIMETRO 1 0.01 mm	DEFORMIMETRO 2 0.01 mm
0	0	0
2000	51	42
4000	74	60
6000	95	80
8000	105	99
10000	136	121
12000	159	144
14000	184	170
16000	206	193
18000	228	214
20000	250	235
22000	274	258
24000	294	275
26000	320	305
28000	350	335
30000	388	374
32000	432	436

CARGA DE FALLA	33000 lb
----------------	----------



Montaje del modelo



Falla de la probeta



Falla de la soldadura



Detalle del tornillo

Observaciones:

Falla completamente relacionada con la soldadura del conector al perfil.

La placa de concreto se no sufrió ningún daño de consideración.

Los tornillos quedaron embebidos en la placa de concreto como se observa en la imagen.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA <i>COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO</i>		
<i>ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.</i>		
		<i>DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA</i> <i>CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA</i>

MODELO: M4-2-12-3

CARGA lb	DEFORMIMETRO 1 0.01 mm	DEFORMIMETRO 2 0.01 mm
0	0	0
2000	41	18
4000	59	44
6000	72	58
8000	82	67
10000	90	74
12000	95	81
14000	102	87
16000	108	93
18000	113	100
20000	123	108
22000	130	114
24000	142	124
26000	163	142
28000	182	160
30000	226	189
32000	269	220

CARGA DE FALLA	34520 lb
----------------	----------



Montaje del modelo



Falla de la probeta



Falla de la soldadura



Detalle del tornillo

Observaciones:

Falla completamente relacionada con la soldadura del conector al perfil.

La placa de concreto se no sufrió ningún daño de consideración.

Los tornillos quedaron embebidos en la placa de concreto como se observa en la imagen.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO		
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.		DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA

MODELO: M4-2-14-1

CARGA lb	DEFORMIMETRO 1 0.01 mm	DEFORMIMETRO 2 0.01 mm
0	0	0
2000	26	12
4000	31	32
6000	52	63
8000	60	74
10000	72	80
12000	75	85
14000	80	89
16000	85	94
18000	94	104
20000	103	112
22000	119	127
24000	135	142
26000	151	159
28000	165	180
30000	187	204

CARGA DE FALLA	45660 lb
----------------	----------



Montaje del modelo



Falla de la probeta



Estado final de los tornillos



Falla del concreto



Observaciones:

Falla del concreto e interacción con los tornillos.

La placa de concreto se fracturó en dos partes por el eje de colocación de los tornillos.

Los tornillos sufrieron un gran doblez llegando incluso a la separación parcial de la soldadura..

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO		
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.		DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA

MODELO: M4-2-14-2

CARGA lb	DEFORMIMETRO 1 0.01 mm	DEFORMIMETRO 2 0.01 mm
0	0	0
2000	51	32
4000	62	44
6000	73	55
8000	84	65
10000	93	72
12000	100	78
14000	110	87
16000	119	96
18000	132	108
20000	155	127
22000	171	138
24000	195	164
26000	217	184
28000	244	205
30000	270	229
32000	304	258
34000	343	294
36000	385	332

CARGA DE FALLA	38000 lb
----------------	----------



Montaje del modelo



Falla de la probeta



Estado final de los tornillos



Falla del concreto



Observaciones:

Falla del concreto e interacción con los tornillos.

La placa de concreto se fracturó en dos partes por el eje de colocación de los tornillos.

Los tornillos sufrieron un leve doblez, más notorio en el ubicado en la parte inferior de la probeta.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA <i>COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO</i>		
<i>ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.</i>		
		<i>DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA</i> <i>CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA</i>

MODELO: M4-2-14-3

CARGA lb	DEFORMIMETRO 1 0.01 mm	DEFORMIMETRO 2 0.01 mm
0	0	0
2000	38	36
4000	52	49
6000	65	59
8000	73	67
10000	79	72
12000	86	80
14000	94	86
16000	100	91
18000	109	100
20000	122	114
22000	139	128
24000	156	145
26000	173	161
28000	195	184
30000	215	201
32000	240	225
34000	271	259
36000	320	308

CARGA DE FALLA	38000 lb
----------------	----------



Montaje del modelo



Falla de la probeta



Estado final de los tornillos



Falla del concreto



Observaciones:

Falla del concreto e interacción con los tornillos.

La placa de concreto se fracturó en dos partes por el eje de colocación de los tornillos.

Los tornillos sufrieron un leve doblez.

DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA
CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA

[illegible]

CARGA DE FALLA	48000 lb
----------------	----------



Montaje del modelo



Falla de la probeta



Falla del concreto



Daño de los tornillos

Falla del concreto e interacción con los tornillos.

Los tornillos se doblaron ligeramente.

Fue el primer modelo en ser ensayado, y se uso un montaje diferente al realizado con el resto de probetas.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO		
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.		DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA

MODELO: M4-3-12-2

CARGA lb	DEFORMIMETRO 1 0.01 mm	DEFORMIMETRO 2 0.01 mm
0	0	0
2000	20	11
4000	29	19
6000	35	25
8000	39	29
10000	45	34
12000	48	37
14000	52	41
16000	56	46
18000	61	51
20000	65	56
22000	70	60
24000	74	64
26000	82	72
28000	93	84
30000	102	88
32000	112	94
34000	125	110
36000	138	122
38000	150	130
40000	166	141

CARGA DE FALLA	54810 lb
----------------	----------



Montaje del modelo



Falla de la probeta



Estado final de los tornillos



Falla del concreto



Observaciones:

Falla del concreto e interacción con los tornillos.

La placa de concreto se fracturó en dos partes por el eje de colocación de los tornillos.

Los tornillos sufrieron un leve doblez, más notorio en el ubicado en la parte inferior de la probeta.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA <i>COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO</i>		
<i>ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.</i>		
		<i>DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA</i> <i>CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA</i>

MODELO: M4-3-12-3

CARGA lb	DEFORMIMETRO 1 0.01 mm	DEFORMIMETRO 2 0.01 mm
0	0	0
2000	29	33
4000	44	48
6000	54	58
8000	65	69
10000	74	76
12000	84	86
14000	92	95
16000	100	103
18000	108	111
20000	112	123
22000	124	131
24000	134	142
26000	143	153
28000	152	163
30000	161	172
32000	168	183
34000	178	195
36000	186	206
38000	198	220
40000	208	230

CARGA DE FALLA	55160 lb
----------------	----------



Montaje del modelo



Falla de la probeta



Estado final de los tornillos



Falla del concreto



Observaciones:

Falla del concreto e interacción con los tornillos.

La placa de concreto se fracturó en dos partes por el eje de colocación de los tornillos.

Los tornillos sufrieron un leve doblez.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO		
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.		DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA

MODELO: M4-3-14-1

CARGA lb	DEFORMIMETRO 1 0.01 mm	DEFORMIMETRO 2 0.01 mm
0	0	0
2000	20	18
4000	34	34
6000	44	45
8000	52	52
10000	58	57
12000	64	62
14000	70	66
16000	74	69
18000	80	72
20000	86	76
22000	92	80
24000	94	83
26000	100	87
28000	111	94
30000	119	100
32000	129	105
34000	139	112
36000	150	118
38000	162	128
40000	171	132

CARGA DE FALLA	54380 lb
----------------	----------



Montaje del modelo



Falla de la probeta



Estado final de los tornillos



Falla del concreto



Observaciones:

Falla del concreto e interacción con los tornillos.

La placa de concreto se fracturó en dos partes por el eje de colocación de los tornillos.

Los tornillos sufrieron un leve doblez, más notorio en el ubicado en la parte inferior de la probeta.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO		
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.		DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA

MODELO: M4-3-14-2

CARGA lb	DEFORMIMETRO 1 0.01 mm	DEFORMIMETRO 2 0.01 mm
0	0	0
2000	45	38
4000	71	67
6000	88	85
8000	104	98
10000	195	109
12000	122	120
14000	136	128
16000	148	141
18000	158	151
20000	167	162
22000	177	174
24000	188	185
26000	200	199
28000	210	210
30000	224	226
32000	237	242
34000	250	252
36000	264	272
38000	278	288
40000	290	304

CARGA DE FALLA	47750 lb
----------------	----------



Montaje del modelo



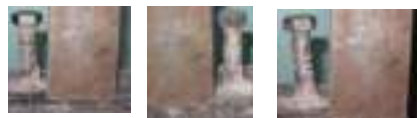
Falla de la probeta



Daño de los tornillos



Falla del concreto



Observaciones:

Falla del concreto e interacción con los tornillos.

La placa de concreto se fracturó en dos partes por el eje de colocación de los tornillos.

Los tornillos sufrieron un leve doblez, más notorio en los ubicados en la parte inferior de la probeta.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO		
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.		DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA

MODELO: M4-3-14-3

CARGA lb	DEFORMIMETRO 1 0.01 mm	DEFORMIMETRO 2 0.01 mm
0	0	0
2000	25	18
4000	44	36
6000	56	48
8000	65	57
10000	74	65
12000	80	72
14000	86	78
16000	92	82
18000	98	88
20000	102	92
22000	105	95
24000	112	100
26000	117	108
28000	125	115
30000	132	122
32000	143	133
34000	152	142
36000	160	150
38000	173	163
40000	184	174

CARGA DE FALLA	55210 lb
----------------	----------



Montaje del modelo



Falla de la probeta



Estado final de los tornillos



Falla del concreto



Observaciones:

Falla del concreto e interacción con los tornillos.

La placa de concreto se fracturó en dos partes por el eje de colocación de los tornillos.

Los tornillos sufrieron un leve doblez, más notorio en el ubicado en la parte inferior de la probeta.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA <i>COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO</i>		
<i>ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.</i>		
		<i>DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA</i>

MODELO: M5-1-0-1

CARGA lb	DEFORMIMETRO 1 0.01 mm	DEFORMIMETRO 2 0.01 mm
0	0	0
2000	14	16
4000	29	30
6000	39	39
8000	53	50
10000	67	64
12000	92	84
14000	112	102
16000	135	124
18000	152	140
20000	184	168
22000	212	196
24000	250	228
26000	288	272

CARGA DE FALLA	26870 lb
----------------	----------



Montaje del modelo



Falla de la soldadura



Detalle del tornillo

Observaciones:

Falla completamente relacionada con la soldadura del conector al perfil.

La placa de concreto se no sufrió ningún daño de consideración.

El tornillo quedó embebido en la placa de concreto como se observa en la imagen.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA <i>COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO</i>		
<i>ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.</i>		
		<i>DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA</i> <i>CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA</i>

MODELO: M5-1-0-2

CARGA lb	DEFORMIMETRO 1 0.01 mm	DEFORMIMETRO 2 0.01 mm
0	0	0
2000	46	35
4000	63	51
6000	78	60
8000	90	76
10000	100	80
12000	110	85
14000	120	90
16000	129	105
18000	145	112
20000	166	136
22000	190	160
24000	208	195
26000	260	222
28000	320	280

CARGA DE FALLA	28000 lb
----------------	----------



Montaje del modelo



Falla de la probeta



Falla de la soldadura



Detalle del tornillo

Observaciones:

Falla completamente relacionada con la soldadura del conector al perfil.

La placa de concreto se no sufrió ningún daño de consideración.

El tornillo quedó embebido en la placa de concreto como se observa en la imagen.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO		
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.		DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA

MODELO: M5-1-0-3

CARGA lb	DEFORMIMETRO 1 0.01 mm	DEFORMIMETRO 2 0.01 mm
0	0	0
2000	62	62
4000	93	83
6000	110	98
8000	120	113
10000	146	128
12000	158	142
14000	172	153
16000	185	174
18000	200	182
20000	225	207
22000	249	224
24000	271	237
26000	294	253

CARGA DE FALLA	32350 lb
----------------	----------



Montaje del modelo



Falla de la probeta



Falla de la soldadura



Detalle del tornillo

Observaciones:

Falla completamente relacionada con la soldadura del conector al perfil.

La placa de concreto se no sufrió ningún daño de consideración.

El tornillo quedó embebido en la placa de concreto como se observa en la imagen.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO		
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.		DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA

MODELO: M5-2-8-1

CARGA lb	DEFORMIMETRO 1 0.01 mm	DEFORMIMETRO 2 0.01 mm
0	0	0
2000	18	16
4000	31	29
6000	45	42
8000	55	52
10000	62	60
12000	69	67
14000	74	73
16000	79	79
18000	85	87
20000	91	94
22000	101	105
24000	109	113
26000	119	125
28000	129	134
30000	138	146
32000	148	156
34000	157	164
36000	174	179
38000	188	191
40000	203	206

CARGA DE FALLA	51520 lb
----------------	----------



Montaje del modelo



Falla de la probeta



Estado final de los tornillos



Falla del concreto



Observaciones:

Falla del concreto e interacción con los tornillos.

La placa de concreto se fracturó en dos partes por el eje de colocación de los tornillos.

Los tornillos sufrieron un leve doblez, más notorio en el ubicado en la parte inferior de la probeta.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO		
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.		DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA

MODELO: M5-2-8-2

CARGA lb	DEFORMIMETRO 1 0.01 mm	DEFORMIMETRO 2 0.01 mm
0	0	0
2000	22	25
4000	50	60
6000	64	80
8000	80	90
10000	92	105
12000	98	111
14000	108	115
16000	117	120
18000	122	125
20000	130	138
22000	139	156
24000	145	161
26000	154	170
28000	164	180
30000	175	191
32000	188	212
34000	201	230
36000	209	250
38000	230	275
40000	245	295

CARGA DE FALLA	45220 lb
----------------	----------



Montaje del modelo



Falla de la probeta



Estado final de los tornillos



Falla del concreto



Observaciones:

Falla del concreto e interacción con los tornillos.

La placa de concreto se fracturó en dos partes por el eje de colocación de los tornillos.

Los tornillos sufrieron un leve doblez.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO	
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.	DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA

MODELO: M5-2-8-3

CARGA lb	DEFORMIMETRO 1 0.01 mm	DEFORMIMETRO 2 0.01 mm
0	0	0
2000	21	45
4000	35	59
6000	45	67
8000	54	77
10000	62	88
12000	69	95
14000	77	105
16000	88	119
18000	96	132
20000	110	150
22000	120	162
24000	137	182
26000	149	197
28000	165	215
30000	180	243
32000	196	251
34000	212	272

CARGA DE FALLA	35000 lb
----------------	----------



Montaje del modelo



Falla de la probeta



Estado final de los tornillos



Falla del concreto



Observaciones:

Falla del concreto e interacción con los tornillos.

La placa de concreto se fracturó en dos partes por el eje de colocación de los tornillos.

Los tornillos sufrieron un leve doblez.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA <i>COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO</i>		
<i>ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.</i>		
		<i>DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA</i>

MODELO: M5-2-12-1

CARGA lb	DEFORMIMETRO 1 0.01 mm	DEFORMIMETRO 2 0.01 mm
0	0	0
2000	19	16
4000	30	28
6000	40	37
8000	49	43
10000	59	52
12000	68	61
14000	76	71
16000	85	79
18000	95	92
20000	104	102
22000	111	111
24000	119	122
26000	125	131
28000	131	139
30000	138	152
32000	144	162
34000	150	174
36000	156	185
38000	170	192
40000	188	211

CARGA DE FALLA	54140 lb
----------------	----------



Montaje del modelo



Falla del concreto



Daño de los tornillos



Observaciones:

Falla del concreto e interacción con los tornillos.

La placa de concreto se fracturó en dos partes por el eje de colocación de los tornillos.

Los tornillos sufrieron un leve doblez, más notorio en el ubicado en la parte inferior de la probeta.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA <i>COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO</i>		
<i>ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.</i>		
		<i>DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA</i> <i>CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA</i>

MODELO: M5-2-12-2

CARGA lb	DEFORMIMETRO 1 0.01 mm	DEFORMIMETRO 2 0.01 mm
0	0	0
2000	26	8
4000	40	34
6000	51	46
8000	60	55
10000	68	62
12000	76	70
14000	84	76
16000	93	84
18000	102	93
20000	111	100
22000	121	108
24000	131	113
26000	141	121
28000	151	129
30000	161	137
32000	171	145
34000	182	151
36000	195	160
38000	208	167
40000	223	174

CARGA DE FALLA	49820 lb
----------------	----------



Montaje del modelo



Falla de la probeta



Daño de los tornillos



Falla del concreto



Observaciones:

Falla del concreto e interacción con los tornillos.

La placa de concreto se fracturó en dos partes por el eje de colocación de los tornillos.

Los tornillos sufrieron un leve doblez, más notorio en el ubicado en la parte inferior de la probeta.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA <i>COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO</i>		
<i>ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.</i>		
		<i>DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA</i> <i>CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA</i>

MODELO: M5-2-12-3

CARGA lb	DEFORMIMETRO 1 0.01 mm	DEFORMIMETRO 2 0.01 mm
0	0	0
2000	28	25
4000	44	35
6000	52	42
8000	62	50
10000	72	59
12000	79	65
14000	92	76
16000	104	86
18000	115	96
20000	126	105
22000	135	115
24000	144	121
26000	155	130
28000	165	139
30000	178	146
32000	186	158
34000	195	166
36000	208	177
38000	221	188
40000	235	200

CARGA DE FALLA	54520 lb
----------------	----------



Montaje del modelo



Falla de la probeta



Daño de los tornillos



Falla del concreto

Observaciones:

Falla del concreto e interacción con los tornillos.

La placa de concreto se fracturó en dos partes por el eje de colocación de los tornillos.

Los tornillos sufrieron un leve doblez, más notorio en el ubicado en la parte inferior de la probeta.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO		
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.		DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA

MODELO: M5-2-14-1

CARGA lb	DEFORMIMETRO 1 0.01 mm	DEFORMIMETRO 2 0.01 mm
0	0	0
2000	18	16
4000	44	35
6000	58	46
8000	65	55
10000	70	60
12000	74	65
14000	81	72
16000	86	78
18000	91	82
20000	98	89
22000	105	97
24000	113	105
26000	122	112
28000	130	122
30000	138	131
32000	150	140
34000	160	151
36000	170	160
38000	182	172
40000	198	188

CARGA DE FALLA	47940 lb
----------------	----------



Montaje del modelo



Falla de la probeta



Daño de los tornillos



Falla del concreto



Observaciones:

Falla del concreto e interacción con los tornillos.

La placa de concreto se fracturó en dos partes por el eje de colocación de los tornillos.

Los tornillos sufrieron un leve doblez, más notorio en el ubicado en la parte inferior de la probeta.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO		
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.		DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA

MODELO: M5-2-14-2

CARGA lb	DEFORMIMETRO 1 0.01 mm	DEFORMIMETRO 2 0.01 mm
0	0	0
2000	30	41
4000	46	54
6000	56	64
8000	63	71
10000	70	77
12000	75	82
14000	79	88
16000	86	94
18000	91	100
20000	96	108
22000	101	115
24000	108	122
26000	114	129
28000	122	136
30000	130	144
32000	139	153
34000	148	161
36000	158	171
38000	166	178
40000	177	188

CARGA DE FALLA	56800 lb
----------------	----------



Montaje del modelo



Falla de la probeta



Estado final de los tornillos



Falla del concreto

Observaciones:

Falla del concreto e interacción con los tornillos.

La placa de concreto se fracturó en dos partes por el eje de colocación de los tornillos. La falla se presentó en la placa completa.

Los tornillos sufrieron un leve doblez, más notorio en el ubicado en la parte inferior de la probeta.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA <i>COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO</i>		
<i>ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.</i>		
		<i>DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA</i> <i>CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA</i>

MODELO: M5-2-14-3

CARGA lb	DEFORMIMETRO 1 0.01 mm	DEFORMIMETRO 2 0.01 mm
0	0	0
2000	19	19
4000	37	36
6000	48	48
8000	55	55
10000	62	62
12000	66	66
14000	72	71
16000	77	77
18000	79	78
20000	85	84
22000	90	89
24000	96	94
26000	103	101
28000	110	109
30000	117	117
32000	124	125
34000	135	136
36000	146	152
38000	158	164
40000	167	176

CARGA DE FALLA	52060 lb
----------------	----------



Montaje del modelo



Falla de la probeta



Estado final de los tornillos



Falla del concreto



Observaciones:

Falla del concreto e interacción con los tornillos.

La placa de concreto se fracturó en dos partes por el eje de colocación de los tornillos.

Los tornillos sufrieron un leve doblez, más notorio en el ubicado en la parte inferior de la probeta.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO		
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.		DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA

MODELO: M5-3-12-1

CARGA lb	DEFORMIMETRO 1 0.01 mm	DEFORMIMETRO 2 0.01 mm
0	0	0
2000	31	25
4000	50	38
6000	65	48
8000	72	55
10000	80	60
12000	86	65
14000	92	69
16000	100	88
18000	108	86
20000	116	90
22000	125	98
24000	132	104
26000	139	111
28000	147	117
30000	154	125
32000	161	131
34000	168	136
36000	176	144
38000	185	152
40000	194	160

CARGA DE FALLA	56360 lb
----------------	----------



Montaje del modelo



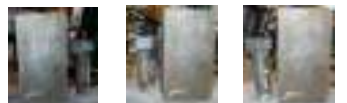
Falla de la probeta



Estado final de los tornillos



Falla del concreto



Observaciones:

Falla del concreto e interacción con los tornillos.

La placa de concreto se fracturó en dos partes por el eje de colocación de los tornillos.

Los tornillos sufrieron un leve doblez, más notorio en el ubicado en la parte inferior de la probeta.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO		
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.		DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA

MODELO: M5-3-12-2

CARGA lb	DEFORMIMETRO 1 0.01 mm	DEFORMIMETRO 2 0.01 mm
0	0	0
2000	18	8
4000	25	15
6000	32	20
8000	38	28
10000	44	32
12000	50	38
14000	55	42
16000	65	49
18000	74	55
20000	85	62
22000	97	71
24000	109	80
26000	122	88
28000	135	98
30000	148	108
32000	169	120
34000	178	130
36000	192	139
38000	204	149
40000	215	151

CARGA DE FALLA	57120 lb
----------------	----------



Montaje del modelo



Falla de la probeta



Estado final de los tornillos



Falla del concreto



Observaciones:

Falla del concreto e interacción con los tornillos.

La placa de concreto se fracturó en dos partes por el eje de colocación de los tornillos.

Los tornillos sufrieron un leve doblez, más notorio en el ubicado en la parte inferior de la probeta.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO		
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.		DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA

MODELO: M5-3-12-3

CARGA lb	DEFORMIMETRO 1 0.01 mm	DEFORMIMETRO 2 0.01 mm
0	0	0
2000	24	32
4000	33	42
6000	43	54
8000	50	61
10000	63	69
12000	69	75
14000	70	84
16000	78	90
18000	87	99
20000	95	107
22000	103	115
24000	115	127
26000	122	135
28000	130	142
30000	138	151
32000	146	159
34000	154	167
36000	161	174
38000	169	182
40000	178	191

CARGA DE FALLA	53860 lb
----------------	----------



Montaje del modelo



Falla de la probeta



Estado final de los tornillos



Falla del concreto

Observaciones:

Falla del concreto e interacción con los tornillos.

La placa de concreto se fracturó en tres partes por el eje de colocación de los tornillos.

Los tornillos sufrieron un leve doblez, más notorio en el ubicado en la parte inferior de la probeta, el cual falló por la soldadura como muestra la imagen.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO		
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.		DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA

MODELO: M5-3-14-1

CARGA lb	DEFORMIMETRO 1 0.01 mm	DEFORMIMETRO 2 0.01 mm
0	0	0
2000	21	13
4000	46	35
6000	55	43
8000	65	56
10000	72	66
12000	81	77
14000	90	88
16000	99	98
18000	109	109
20000	117	119
22000	125	130
24000	134	140
26000	142	150
28000	150	160
30000	160	172
32000	169	184
34000	178	194
36000	188	205
38000	198	209
40000	209	221

CARGA DE FALLA	46750 lb
----------------	----------



Montaje del modelo



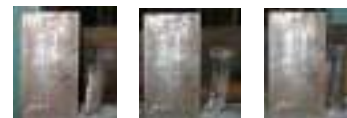
Falla de la probeta



Estado final de los tornillos



Falla del concreto



Observaciones:

Falla del concreto e interacción con los tornillos.

La placa de concreto se fracturó en dos partes por el eje de colocación de los tornillos.

Los tornillos sufrieron un leve doblez, más notorio en el ubicado en la parte inferior de la probeta.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA <i>COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO</i>		
<i>ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.</i>		
		<i>DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA</i> <i>CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA</i>

MODELO: M5-3-14-2

CARGA lb	DEFORMIMETRO 1 0.01 mm	DEFORMIMETRO 2 0.01 mm
0	0	0
2000	22	20
4000	41	43
6000	52	47
8000	64	58
10000	72	69
12000	80	71
14000	87	78
16000	94	84
18000	99	90
20000	105	96
22000	109	100
24000	114	106
26000	119	110
28000	126	116
30000	133	124
32000	140	130
34000	150	139
36000	156	146
38000	165	156
40000	173	166

CARGA DE FALLA	49740 lb
----------------	----------



Montaje del modelo



Falla del concreto



Daño de los tornillos



Observaciones:

Falla del concreto e interacción con los tornillos.

Las dos placas de concreto se fracturaron en dos partes por los respectivos ejes de colocación de los tornillos.

Los tornillos sufrieron un considerable doblez, más notorio en el ubicado en la parte inferior de la probeta.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO		
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.		DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA

MODELO: M5-3-14-3

CARGA lb	DEFORMIMETRO 1 0.01 mm	DEFORMIMETRO 2 0.01 mm
0	0	0
2000	30	38
4000	44	51
6000	60	66
8000	67	75
10000	75	83
12000	85	95
14000	92	102
16000	100	111
18000	109	121
20000	118	132
22000	127	142
24000	138	155
26000	148	167
28000	157	176
30000	167	187
32000	176	197
34000	185	206
36000	196	214
38000	201	223
40000	210	232

CARGA DE FALLA	66880 lb
----------------	----------



Falla de la probeta



Falla placa de concreto superior



Estado final de los tornillos



Falla placa de concreto inferior

Observaciones:

Falla del concreto e interacción con los tornillos.

La dos placas de concreto se fracturaron a la vez en dos partes por el eje de colocación de los tornillos.

Los tornillos sufrieron un leve doblez, más notorio en el ubicado en la parte inferior de la probeta.

Es bastante claro que la solicitud de carga es repartida sobre las dos caras del perfil.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA <i>COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO</i>		
<i>ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.</i>		
		<i>DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA</i> <i>CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA</i>

MODELO: M6-1-0-1

CARGA lb	DEFORMIMETRO 1 0.01 mm	DEFORMIMETRO 2 0.01 mm
0	0	0
2000	16	25
4000	31	40
6000	44	54
8000	52	63
10000	59	71
12000	67	80
14000	75	88
16000	81	91
18000	99	103
20000	115	122
22000	130	137

CARGA DE FALLA	43700 lb
----------------	----------



Falla de la probeta



Detalles de nala construcción



Falla de la soldadura



Detalle del tornillo

Observaciones:

Falla completamente relacionada con la soldadura del conector al perfil.

La placa de concreto se no sufrió ningún daño de consideración.

El tornillo quedó embebido en la placa de concreto como se observa en la imagen.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA <i>COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO</i>		
<i>ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.</i>		
		<i>DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA</i> <i>CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA</i>

MODELO: M6-1-0-2

CARGA lb	DEFORMIMETRO 1 0.01 mm	DEFORMIMETRO 2 0.01 mm
0	0	0
2000	22	14
4000	40	29
6000	54	40
8000	65	51
10000	74	58
12000	81	64
14000	89	72
16000	97	80
18000	105	87
20000	115	96
22000	130	110
24000	150	125
26000	170	141
28000	198	168
30000	234	203

CARGA DE FALLA	33390 lb
----------------	----------



Montaje del modelo



Falla de la probeta



Falla de la soldadura



Detalle del tornillo

Observaciones:

Falla completamente relacionada con la soldadura del conector al perfil.

La placa de concreto se no sufrió ningún daño de consideración.

El tornillo quedó embebido en la placa de concreto como se observa en la imagen.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO		
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.		DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA

MODELO: M6-1-0-3

CARGA lb	DEFORMIMETRO 1 0.01 mm	DEFORMIMETRO 2 0.01 mm
0	0	0
2000	20	30
4000	35	47
6000	47	57
8000	55	65
10000	65	73
12000	72	79
14000	79	85
16000	86	91
18000	98	99
20000	110	115
22000	128	125
24000	141	141

CARGA DE FALLA	43359 lb
----------------	----------



Montaje del modelo



Falla de la probeta



Estado final del tornillo



Detalle del tornillo

Observaciones:

Falla del concreto e interacción con el tornillo.

La placa de concreto falló pero no se partió completamente durante la aplicación de la carga.

El tornillo sufrió un leve doblez.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO		
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.		DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA

MODELO: M6-2-8-1

CARGA lb	DEFORMIMETRO 1 0.01 mm	DEFORMIMETRO 2 0.01 mm
0	0	0
2000	26	22
4000	45	38
6000	58	50
8000	70	60
10000	82	69
12000	93	80
14000	109	93
16000	120	102
18000	134	114
20000	144	124
22000	155	134
24000	166	145
26000	177	153
28000	186	162
30000	196	170
32000	205	180
34000	215	189
36000	225	198
38000	235	207
40000	245	213

CARGA DE FALLA	58560 lb
----------------	----------



Montaje del modelo



Falla de la probeta



Daño de los tornillos



Falla del concreto



Observaciones:

Falla del concreto e interacción con los tornillos.

La placa de concreto se fracturó en dos partes por el eje de colocación de los tornillos.

Los tornillos sufrieron un leve doblez, más notorio en el ubicado en la parte inferior de la probeta.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO	
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.	DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA

MODELO: M6-2-8-2

CARGA lb	DEFORMIMETRO 1 0.01 mm	DEFORMIMETRO 2 0.01 mm
0	0	0
2000	34	34
4000	44	44
6000	56	55
8000	63	60
10000	68	66
12000	75	72
14000	82	81
16000	87	86
18000	96	94
20000	102	101
22000	110	106
24000	119	115
26000	127	122
28000	133	127
30000	143	134
32000	149	140
34000	155	147
36000	166	154
38000	174	163
40000	183	171

CARGA DE FALLA	68080 lb
----------------	----------



Montaje del modelo



Falla de la probeta



Estado final de los tornillos



Falla del concreto



Observaciones:

Falla del concreto e interacción con los tornillos.

La placa de concreto se fracturó en dos partes por el eje de colocación de los tornillos.

Los tornillos sufrieron un leve doblez, más notorio en el ubicado en la parte inferior de la probeta.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA <i>COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO</i>		
<i>ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.</i>		
		<i>DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA</i>

MODELO: M6-2-8-3

CARGA lb	DEFORMIMETRO 1 0.01 mm	DEFORMIMETRO 2 0.01 mm
0	0	0
2000	40	44
4000	48	54
6000	58	66
8000	68	77
10000	77	89
12000	87	100
14000	100	114
16000	112	123
18000	123	136
20000	134	150
22000	144	160
24000	154	170
26000	164	183
28000	175	195
30000	186	206
32000	195	216
34000	208	225
36000	215	238
38000	224	255
40000	236	265

CARGA DE FALLA	55370 lb
----------------	----------



Montaje del modelo



Falla del concreto



Daño de los tornillos



Observaciones:

Falla del concreto e interacción con los tornillos.

La placa de concreto se fracturó en dos partes por el eje de colocación de los tornillos.

Los tornillos sufrieron un leve doblez, más notorio en el ubicado en la parte inferior de la probeta.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO		
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.		DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA

MODELO: M6-2-12-1

CARGA lb	DEFORMIMETRO 1 0.01 mm	DEFORMIMETRO 2 0.01 mm
0	0	0
2000	50	32
4000	65	48
6000	75	59
8000	82	69
10000	89	76
12000	95	85
14000	102	94
16000	108	100
18000	114	107
20000	119	115
22000	125	120
24000	130	127
26000	138	138
28000	145	145
30000	153	153
32000	162	164
34000	168	172
36000	178	185
38000	186	193
40000	195	202

CARGA DE FALLA	60050 lb
----------------	----------



Montaje del modelo



Falla de la probeta



Daño de los tornillos



Falla del concreto



Observaciones:

Falla del concreto e interacción con los tornillos.

La placa de concreto se fracturó por el eje de colocación de los tornillos.

Los tornillos se doblaron considerablemente como se aprecia en las imágenes.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO		
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.		DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA

MODELO: M6-2-12-2

CARGA lb	DEFORMIMETRO 1 0.01 mm	DEFORMIMETRO 2 0.01 mm
0	0	0
2000	28	32
4000	59	62
6000	91	89
8000	105	100
10000	118	112
12000	126	120
14000	134	126
16000	145	134
18000	148	138
20000	155	148
22000	165	156
24000	172	164
26000	182	174
28000	192	186
30000	201	191
32000	210	200
34000	220	210
36000	228	219
38000	238	229
40000	248	239

CARGA DE FALLA	63480 lb
----------------	----------



Montaje del modelo



Falla de la probeta



Falla de la soldadura



Falla del concreto



Observaciones:

Falla conjunta del concreto y de la soldadura en el primer tornillo (cercano al punto de aplicación de la carga).
La placa de concreto se fracturó por el eje de colocación de los tornillos.
Los tornillos se doblaron considerablemente como se aprecia en las imágenes.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA <i>COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO</i>		
<i>ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.</i>		
		<i>DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA</i>

MODELO: M6-2-12-3

CARGA lb	DEFORMIMETRO 1 0.01 mm	DEFORMIMETRO 2 0.01 mm
0	0	0
2000	53	26
4000	49	41
6000	59	52
8000	67	60
10000	74	68
12000	78	72
14000	82	76
16000	88	80
18000	92	85
20000	96	88
22000	100	92
24000	105	97
26000	108	100
28000	118	108
30000	123	112
32000	128	118
34000	135	125
36000	142	132
38000	152	138
40000	160	148

CARGA DE FALLA	64250 lb
----------------	----------



Montaje del modelo



Falla de la probeta



Daño de los tornillos



Falla del concreto



Observaciones:

Falla del concreto e interacción con los tornillos.

La placa de concreto se fracturó en dos partes por el eje de colocación de los tornillos.

Los tornillos sufrieron un leve doblez, más notorio en el ubicado en la parte inferior de la probeta.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA <i>COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO</i>		
<i>ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.</i>		
		<i>DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA</i> <i>CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA</i>

MODELO: M6-2-14-1

CARGA lb	DEFORMIMETRO 1 0.01 mm	DEFORMIMETRO 2 0.01 mm
0	0	0
2000	15	18
4000	32	28
6000	43	39
8000	51	48
10000	60	56
12000	67	64
14000	76	72
16000	86	80
18000	97	90
20000	106	100
22000	117	111
24000	127	122
26000	137	130
28000	146	140
30000	156	148
32000	167	159
34000	176	169
36000	186	178
38000	195	189
40000	205	198

CARGA DE FALLA	48610 lb
----------------	----------



Montaje del modelo



Falla del concreto



Daño de los tornillos



Observaciones:

Falla completamente relacionada con el concreto, donde la placa de concreto se fracturó en dos partes por el eje de colocación de los tornillos. Los tornillos no sufrieron ninguna doblez de consideración.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA <i>COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO</i>		
<i>ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.</i>		
		<i>DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA</i> <i>CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA</i>

MODELO: M6-2-14-2

CARGA lb	DEFORMIMETRO 1 0.01 mm	DEFORMIMETRO 2 0.01 mm
0	0	0
2000	28	9
4000	52	28
6000	69	64
8000	85	78
10000	98	88
12000	109	98
14000	120	110
16000	131	125
18000	143	135
20000	153	145
22000	164	152
24000	172	155
26000	180	169
28000	185	178
30000	196	188
32000	205	197
34000	213	203
36000	220	211
38000	230	220
40000	237	225

CARGA DE FALLA	52060 lb
----------------	----------



Montaje del modelo



Falla de la probeta



Estado final de los tornillos



Falla del concreto



Observaciones:

Falla del concreto e interacción con los tornillos.

La placa de concreto se fracturó en dos partes por el eje de colocación de los tornillos.

Los tornillos sufrieron un leve doblez, más notorio en el ubicado en la parte inferior de la probeta.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA <i>COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO</i>		
<i>ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.</i>		
		<i>DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA</i> <i>CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA</i>

MODELO: M6-2-14-3

CARGA lb	DEFORMIMETRO 1 0.01 mm	DEFORMIMETRO 2 0.01 mm
0	0	0
2000	36	24
4000	52	38
6000	62	46
8000	72	54
10000	79	58
12000	85	62
14000	89	68
16000	95	74
18000	101	80
20000	106	85
22000	112	90
24000	118	95
26000	128	101
28000	135	105
30000	142	109
32000	152	123
34000	160	132
36000	170	142
38000	178	150
40000	188	160

CARGA DE FALLA	56450 lb
----------------	----------



Montaje del modelo



Falla del concreto



Daño de los tornillos



Observaciones:

Falla del concreto e interacción con los tornillos.

La placa de concreto se fracturó en dos partes por el eje de colocación de los tornillos.

Los tornillos sufrieron un leve doblez.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO		
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.		DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA

MODELO: M6-3-12-1

CARGA lb	DEFORMIMETRO 1 0.01 mm	DEFORMIMETRO 2 0.01 mm
0	0	0
2000	25	12
4000	39	26
6000	50	33
8000	60	41
10000	66	48
12000	72	52
14000	79	58
16000	84	62
18000	89	67
20000	95	72
22000	100	78
24000	109	86
26000	115	91
28000	125	99
30000	134	105
32000	140	119
34000	149	121
36000	157	129
38000	165	135
40000	178	142

CARGA DE FALLA	71370 lb
----------------	----------



Montaje del modelo



Falla de la probeta



Estado final de los tornillos



Falla del concreto



Observaciones:

Falla del concreto e interacción con los tornillos.

La placa de concreto se fracturó en dos partes por el eje de colocación de los tornillos.

Los tornillos sufrieron un leve doblez, más notorio en el ubicado en la parte inferior de la probeta.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA <i>COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO</i>		
<i>ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.</i>		
		<i>DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA</i> <i>CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA</i>

MODELO: M6-3-12-2

CARGA lb	DEFORMIMETRO 1 0.01 mm	DEFORMIMETRO 2 0.01 mm
0	0	0
2000	31	61
4000	62	84
6000	79	99
8000	92	108
10000	103	118
12000	112	122
14000	120	130
16000	125	138
18000	133	144
20000	139	150
22000	148	158
24000	155	166
26000	166	174
28000	175	180
30000	183	188
32000	192	195
34000	200	202
36000	208	208
38000	215	213
40000	224	221

CARGA DE FALLA	79090 lb
----------------	----------



Montaje del modelo



Falla de la probeta



Daño de los tornillos



Observaciones:

Falla del concreto e interacción con los tornillos.

La placa de concreto se fracturó en dos partes por el eje de colocación de los tornillos.

Los tornillos sufrieron un leve doblez, más notorio en los ubicados en la parte inferior de la probeta.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO		
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.		DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA

MODELO: M6-3-12-3

CARGA lb	DEFORMIMETRO 1 0.01 mm	DEFORMIMETRO 2 0.01 mm
0	0	0
2000	20	8
4000	30	14
6000	42	23
8000	52	33
10000	58	36
12000	64	41
14000	69	45
16000	74	50
18000	78	54
20000	82	57
22000	86	62
24000	91	65
26000	94	68
28000	98	73
30000	101	78
32000	109	84
34000	115	88
36000	120	94
38000	126	97
40000	133	104

CARGA DE FALLA	72000 lb
----------------	----------



Montaje del modelo



Falla del concreto



Daño de los tornillos



Estado final de los tornillos



Observaciones:

Falla del concreto e interacción con los tornillos.

La placa de concreto se fracturó en dos partes por el eje de colocación de los tornillos.

Los tornillos sufrieron un leve doblez, más notorio en el ubicado en la parte inferior de la probeta.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO		
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.		DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA

MODELO: M6-3-14-1

CARGA lb	DEFORMIMETRO 1 0.01 mm	DEFORMIMETRO 2 0.01 mm
0	0	0
2000	39	32
4000	49	41
6000	59	51
8000	69	58
10000	77	64
12000	86	70
14000	95	76
16000	102	83
18000	111	89
20000	120	94
22000	127	97
24000	136	99
26000	144	105
28000	155	111
30000	162	123
32000	171	129
34000	179	135
36000	187	139
38000	194	145
40000	204	153

CARGA DE FALLA	79540 lb
----------------	----------



Montaje del modelo



Falla de la probeta



Estado final de los tornillos



Falla del concreto



Observaciones:

Falla del concreto e interacción con los tornillos.

La placa de concreto se fracturó en dos partes por el eje de colocación de los tornillos.

Los tornillos sufrieron un leve doblez, más notorio en el ubicado en la parte inferior de la probeta.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO		
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.		DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA

MODELO: M6-3-14-2

CARGA lb	DEFORMIMETRO 1 0.01 mm	DEFORMIMETRO 2 0.01 mm
0	0	0
2000	26	12
4000	40	24
6000	52	37
8000	62	47
10000	74	57
12000	90	69
14000	98	81
16000	111	90
18000	120	100
20000	131	111
22000	141	121
24000	152	130
26000	161	138
28000	170	146
30000	179	154
32000	189	162
34000	196	169
36000	204	179
38000	210	184
40000	220	188

CARGA DE FALLA	67370 lb
----------------	----------



Montaje del modelo



Falla de la probeta



Estado final de los tornillos



Falla del concreto



Observaciones:

Falla del concreto e interacción con los tornillos.

La placa de concreto se fracturó en dos partes por el eje de colocación de los tornillos.

Los tornillos sufrieron un leve doblez.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA <i>COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO</i>		
<i>ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.</i>		
		<i>DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA</i> <i>CODIRECTOR: ING.DORIAN LUIS LINERO SEGRERA</i>

MODELO: M6-3-14-3

CARGA lb	DEFORMIMETRO 1 0.01 mm	DEFORMIMETRO 2 0.01 mm
0	0	0
2000	14	25
4000	30	47
6000	43	57
8000	50	66
10000	60	79
12000	69	89
14000	77	95
16000	87	107
18000	98	112
20000	104	125
22000	115	137
24000	124	146
26000	132	153
28000	141	164
30000	149	174
32000	159	184
34000	168	193
36000	177	200
38000	184	208
40000	190	215

CARGA DE FALLA	78520 lb
----------------	----------



Montaje del modelo



Falla de la probeta



Falla del concreto



Daño de los tornillos



Observaciones:

Falla del concreto e interacción con los tornillos.

La placa de concreto se fracturó en dos partes por el eje de colocación de los tornillos.

Los tornillos se doblaron considerablemente, en mayor cantidad los ubicados en la parte inferior de la probeta.



*COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO
GRADO DOS PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA*

ANEXO F
ANALISIS DE LOS RESULTADOS

FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA
COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA
UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO

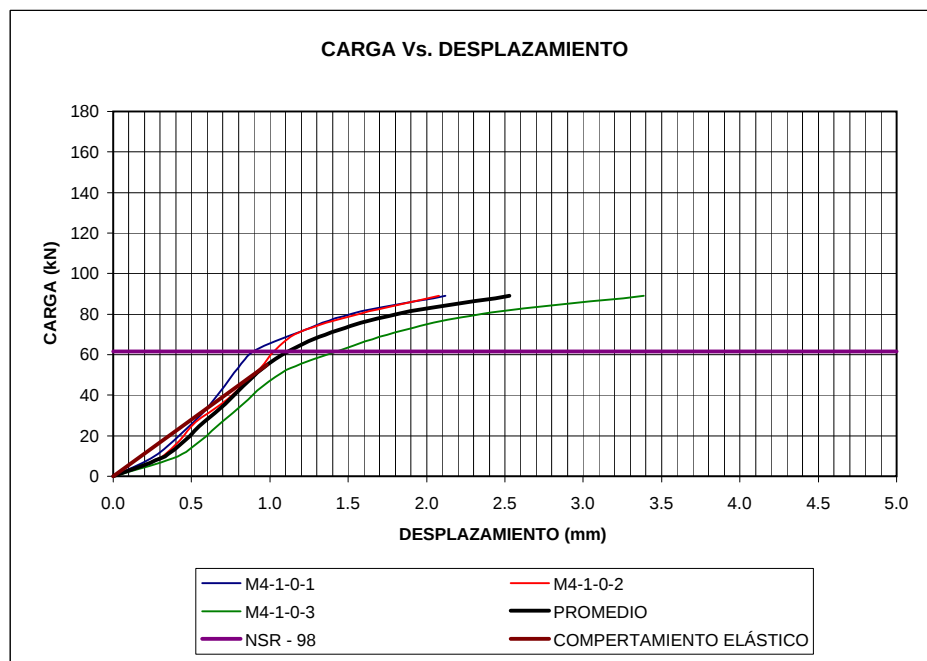
DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA



M4-1-0-1

[illegible]

CARGA DE FALLA	105.46 kN
----------------	-----------



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO	
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A. DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING.DORIAN LUIS LINERO SEGRERA	

CODIRECTOR: ING.DORIAN LUIS LINERO SEGRERA



M4-1-0-3

[illegible]

CARGA DE FALLA	94.92 kN
----------------	----------

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA

COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO

ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.

DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA

CODIRECTOR: ING.DORIAN LUIS LINERO SEGRERA



M4-2-8-1

CARGA kN	DESPLAZAMIENTO 1 mm	DESPLAZAMIENTO 2 mm	DESPLAZAMIENTO PROMEDIO mm
0.00	0.00	0.00	0.00
8.90	0.51	0.55	0.53
17.79	0.69	0.76	0.73
26.69	0.83	0.92	0.88
35.58	0.97	1.06	1.02
44.48	1.06	1.11	1.09
53.38	1.16	1.22	1.19
62.27	1.23	1.33	1.28
71.17	1.32	1.42	1.37
80.06	1.40	1.50	1.45
88.96	1.50	1.62	1.56
97.86	1.65	1.74	1.70
106.75	1.78	1.96	1.87
115.65	1.94	2.00	1.97
124.54	2.10	2.05	2.08
133.44	2.28	2.32	2.30
142.34	2.52	2.52	2.52
151.23	2.75	2.75	2.75
160.13	3.00	2.95	2.98
169.02	3.39	3.25	3.32

CARGA DE FALLA	173.47 kN
----------------	-----------

CARGA Vs. DESPLAZAMIENTO

M4-2-8-1

M4-2-8-2

M4-2-8-3

NSR - 98

M4-2-8-2

PROMEDIO

COMPORTAMIENTO ELÁSTICO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A. DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA 

M4-2-8-2

CARGA kN	DESPLAZAMIENTO 1 mm	DESPLAZAMIENTO 2 mm	DESPLAZAMIENTO PROMEDIO mm
0.00	0.00	0.00	0.00
8.90	0.33	0.34	0.34
17.79	0.55	0.52	0.54
26.69	0.70	0.65	0.68
35.58	0.82	0.75	0.79
44.48	0.90	0.82	0.86
53.38	0.96	0.88	0.92
62.27	1.02	0.95	0.99
71.17	1.07	0.98	1.03
80.06	1.15	1.05	1.10
88.96	1.21	1.12	1.17
97.86	1.26	1.16	1.21
106.75	1.38	1.28	1.33
115.65	1.49	1.39	1.44
124.54	1.70	1.59	1.65
133.44	1.88	1.76	1.82

CARGA DE FALLA	199.63 kN
----------------	-----------

NSR - 98	
DIAMETRO (pul)	1/2
N. DE TORNILLOS	4
SEPARACION (m)	0.08
A_{sc} (mm ²)	127
f'_c (Mpa)	42.4
E_c (Mpa)	21324
CARGA NRS98 (kN)	73.8

0	73.8
5	73.8

COMPORTAMIENTO LINEAL	
0	0
1.31	82

PORCENTAJE DE CARGA DE FALLA
43.72%

PORCENTAJE DE DESPLAZAMIENTO MÁXIMO REGISTRADO
31.30%

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO	
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A. DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING.DORIAN LUIS LINERO SEGRERA	

M4-2-8-3

CARGA kN	DESPLAZAMIENTO 1 mm	DESPLAZAMIENTO 2 mm	DESPLAZAMIENTO PROMEDIO mm
0.00	0.00	0.00	0.00
8.90	0.28	0.37	0.33
17.79	0.54	0.66	0.60
26.69	0.69	0.80	0.75
35.58	0.79	0.90	0.85
44.48	0.91	1.00	0.96
53.38	0.95	1.05	1.00
62.27	1.06	1.15	1.11
71.17	1.14	1.24	1.19
80.06	1.28	1.35	1.32
88.96	1.42	1.49	1.46
97.86	1.60	1.64	1.62
106.75	1.82	1.82	1.82
115.65	1.99	1.98	1.99
124.54	2.22	2.19	2.21
133.44	2.43	2.37	2.40
142.34	2.65	2.58	2.62
151.23	2.91	2.76	2.84
160.13	3.20	3.07	3.14
169.02	3.68	3.49	3.59
177.92	4.29	4.08	4.19

CARGA DE FALLA	189.53 kN
----------------	-----------

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA

COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA

UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO

ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.

DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA

CODIRECTOR: ING.DORIAN LUIS LINERO SEGRERA



M4-2-12-1

CARGA kN	DESPLAZAMIENTO 1 mm	DESPLAZAMIENTO 2 mm	DESPLAZAMIENTO PROMEDIO mm
0.00	0.00	0.00	0.00
8.90	0.15	0.14	0.15
17.79	0.26	0.25	0.26
26.69	0.36	0.34	0.35
35.58	0.42	0.38	0.40
44.48	0.47	0.43	0.45
53.38	0.53	0.49	0.51
62.27	0.57	0.52	0.55
71.17	0.63	0.57	0.60
80.06	0.68	0.62	0.65
88.96	0.72	0.65	0.69
97.86	0.82	0.74	0.78
106.75	0.96	0.88	0.92
115.65	1.07	0.99	1.03
124.54	1.25	1.16	1.21
133.44	1.39	1.30	1.35

CARGA DE FALLA	218.75 kN
----------------	-----------

CARGA Vs. DESPLAZAMIENTO

M4-2-12-1

M4-2-12-3

NSR - 98

M4-2-12-2

PROMEDIO

COMPORTAMIENTO ELÁSTICO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A. DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING.DORIAN LUIS LINERO SEGRERA 

M4-2-12-2

CARGA kN	DESPLAZAMIENTO 1 mm	DESPLAZAMIENTO 2 mm	DESPLAZAMIENTO PROMEDIO mm
0.00	0.00	0.00	0.00
8.90	0.51	0.42	0.47
17.79	0.74	0.60	0.67
26.69	0.95	0.80	0.88
35.58	1.05	0.99	1.02
44.48	1.36	1.21	1.29
53.38	1.59	1.44	1.52
62.27	1.84	1.70	1.77
71.17	2.06	1.93	2.00
80.06	2.28	2.14	2.21
88.96	2.50	2.35	2.43
97.86	2.74	2.58	2.66
106.75	2.94	2.75	2.85
115.65	3.20	3.05	3.13
124.54	3.50	3.35	3.43
133.44	3.88	3.74	3.81
142.34	4.32	4.36	4.34

CARGA DE FALLA	146.78 kN
----------------	-----------

NSR - 98	
DIAMETRO (pul)	1/2
N. DE TORNILLOS	4
SEPARACION (m)	0.12
$A_{sc} (mm^2)$	127
$f'_c (Mpa)$	42.4
$E_c (Mpa)$	21324
CARGA NRS98 (kN)	78.1

0	78.1
5	78.1

COMPORTAMIENTO LINEAL	
0	0
1	98

PORCENTAJE DE CARGA DE FALLA
65.26%

PORCENTAJE DE DESPLAZAMIENTO MÁXIMO REGISTRADO
40.90%

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A. DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING.DORIAN LUIS LINERO SEGRERA 

M4-2-12-3

CARGA kN	DESPLAZAMIENTO 1 mm	DESPLAZAMIENTO 2 mm	DESPLAZAMIENTO PROMEDIO mm
0.00	0.00	0.00	0.00
8.90	0.41	0.18	0.30
17.79	0.59	0.44	0.52
26.69	0.72	0.58	0.65
35.58	0.82	0.67	0.75
44.48	0.90	0.74	0.82
53.38	0.95	0.81	0.88
62.27	1.02	0.87	0.95
71.17	1.08	0.93	1.01
80.06	1.13	1.00	1.07
88.96	1.23	1.08	1.16
97.86	1.30	1.14	1.22
106.75	1.42	1.24	1.33
115.65	1.63	1.42	1.53
124.54	1.82	1.60	1.71
133.44	2.26	1.89	2.08
142.34	2.69	2.20	2.45

CARGA DE FALLA	153.54 kN
----------------	-----------

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA
COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA
UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO

ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.
DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA
CODIRECTOR: ING.DORIAN LUIS LINERO SEGRERA



M4-2-14-1

CARGA kN	DESPLAZAMIENTO 1 mm	DESPLAZAMIENTO 2 mm	DESPLAZAMIENTO PROMEDIO mm
0.00	0.00	0.00	0.00
8.90	0.26	0.12	0.19
17.79	0.31	0.32	0.32
26.69	0.52	0.63	0.58
35.58	0.60	0.74	0.67
44.48	0.72	0.80	0.76
53.38	0.75	0.85	0.80
62.27	0.80	0.89	0.85
71.17	0.85	0.94	0.90
80.06	0.94	1.04	0.99
88.96	1.03	1.12	1.08
97.86	1.19	1.27	1.23
106.75	1.35	1.42	1.39
115.65	1.51	1.59	1.55
124.54	1.65	1.80	1.73
133.44	1.87	2.04	1.96

CARGA DE FALLA	203.10 kN
----------------	-----------

CARGA Vs. DESPLAZAMIENTO

M4-2-14-1
M4-2-14-3
NSR - 98

M4-2-14-2
PROMEDIO
COMPORTAMIENTO ELÁSTICO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO	
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A. DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA	

M4-2-14-2

CARGA kN	DESPLAZAMIENTO 1 mm	DESPLAZAMIENTO 2 mm	DESPLAZAMIENTO PROMEDIO mm
0.00	0.00	0.00	0.00
8.90	0.51	0.32	0.42
17.79	0.62	0.44	0.53
26.69	0.73	0.55	0.64
35.58	0.84	0.65	0.75
44.48	0.93	0.72	0.83
53.38	1.00	0.78	0.89
62.27	1.10	0.87	0.99
71.17	1.19	0.96	1.08
80.06	1.32	1.08	1.20
88.96	1.55	1.27	1.41
97.86	1.71	1.38	1.55
106.75	1.95	1.64	1.80
115.65	2.17	1.84	2.01
124.54	2.44	2.05	2.25
133.44	2.70	2.29	2.50
142.34	3.04	2.58	2.81
151.23	3.43	2.94	3.19
160.13	3.85	3.32	3.59

CARGA DE FALLA	169.02 kN
----------------	-----------

NSR - 98	
DIAMETRO (pul)	1/2
N. DE TORNILLOS	4
SEPARACION (m)	0.14
$A_{sc} (mm^2)$	127
$f'_c (Mpa)$	42.4
$E_c (Mpa)$	21324
CARGA NRS98 (kN)	80.3

0	80.3
5	80.3

COMPORTAMIENTO LINEAL	
0	0
1.03	76

PORCENTAJE DE CARGA DE FALLA
42.13%

PORCENTAJE DE DESPLAZAMIENTO MÁXIMO REGISTRADO
30.63%

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A. DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING.DORIAN LUIS LINERO SEGRERA 

M4-2-14-3

CARGA kN	DESPLAZAMIENTO 1 mm	DESPLAZAMIENTO 2 mm	DESPLAZAMIENTO PROMEDIO mm
0.00	0.00	0.00	0.00
8.90	0.38	0.36	0.37
17.79	0.52	0.49	0.51
26.69	0.65	0.59	0.62
35.58	0.73	0.67	0.70
44.48	0.79	0.72	0.76
53.38	0.86	0.80	0.83
62.27	0.94	0.86	0.90
71.17	1.00	0.91	0.96
80.06	1.09	1.00	1.05
88.96	1.22	1.14	1.18
97.86	1.39	1.28	1.34
106.75	1.56	1.45	1.51
115.65	1.73	1.61	1.67
124.54	1.95	1.84	1.90
133.44	2.15	2.01	2.08
142.34	2.40	2.25	2.33
151.23	2.71	2.59	2.65
160.13	3.20	3.08	3.14

CARGA DE FALLA	169.02 kN
----------------	-----------

FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA
COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA
UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO

DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA

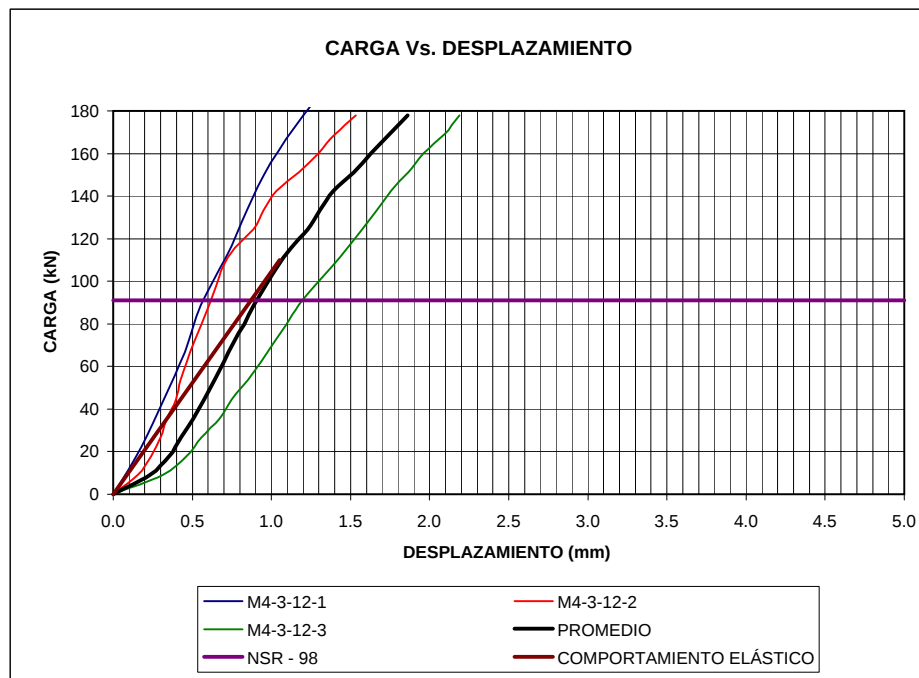


M4-3-12-1

[illegible]

CARGA DE
FALLA

213.50 kN



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A. DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING.DORIAN LUIS LINERO SEGRERA 

M4-3-12-2

CARGA kN	DESPLAZAMIENTO 1 mm	DESPLAZAMIENTO 2 mm	DESPLAZAMIENTO PROMEDIO mm
0.00	0.00	0.00	0.00
8.90	0.20	0.11	0.16
17.79	0.29	0.19	0.24
26.69	0.35	0.25	0.30
35.58	0.39	0.29	0.34
44.48	0.45	0.34	0.40
53.38	0.48	0.37	0.43
62.27	0.52	0.41	0.47
71.17	0.56	0.46	0.51
80.06	0.61	0.51	0.56
88.96	0.65	0.56	0.61
97.86	0.70	0.60	0.65
106.75	0.74	0.64	0.69
115.65	0.82	0.72	0.77
124.54	0.93	0.84	0.89
133.44	1.02	0.88	0.95
142.34	1.12	0.94	1.03
151.23	1.25	1.10	1.18
160.13	1.38	1.22	1.30
169.02	1.50	1.30	1.40
177.92	1.66	1.41	1.54

CARGA DE FALLA	243.79 kN
----------------	-----------

NSR - 98	
DIAMETRO (pul)	1/2
N. DE TORNILLOS	6
SEPARACION (m)	0.12
$A_{sc} (mm^2)$	127
$f'_c (Mpa)$	42.4
$E_c (Mpa)$	21324
CARGA NRS98 (kN)	91.2

0	91.2
5	91.2

COMPORTAMIENTO LINEAL	
0	0
1.05	110

PORCENTAJE DE CARGA DE FALLA
46.97%

PORCENTAJE DE DESPLAZAMIENTO MÁXIMO REGISTRADO
56.38%

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO	
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A. DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING.DORIAN LUIS LINERO SEGRERA	

M4-3-12-3

CARGA kN	DESPLAZAMIENTO 1 mm	DESPLAZAMIENTO 2 mm	DESPLAZAMIENTO PROMEDIO mm
0.00	0.00	0.00	0.00
8.90	0.29	0.33	0.31
17.79	0.44	0.48	0.46
26.69	0.54	0.58	0.56
35.58	0.65	0.69	0.67
44.48	0.74	0.76	0.75
53.38	0.84	0.86	0.85
62.27	0.92	0.95	0.94
71.17	1.00	1.03	1.02
80.06	1.08	1.11	1.10
88.96	1.12	1.23	1.18
97.86	1.24	1.31	1.28
106.75	1.34	1.42	1.38
115.65	1.43	1.53	1.48
124.54	1.52	1.63	1.58
133.44	1.61	1.72	1.67
142.34	1.68	1.83	1.76
151.23	1.78	1.95	1.87
160.13	1.86	2.06	1.96
169.02	1.98	2.20	2.09
177.92	2.08	2.30	2.19

CARGA DE FALLA	245.35 kN
----------------	-----------

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA
COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA
UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO

ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.

DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA

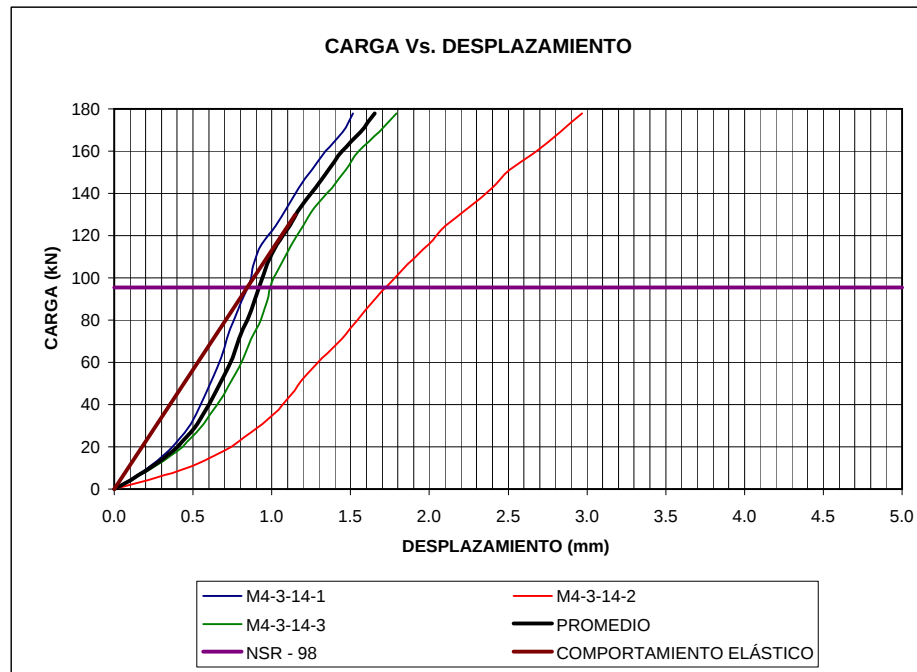
CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA



M4-3-14-1

CARGA kN	DESPLAZAMIENTO 1 mm	DESPLAZAMIENTO 2 mm	DESPLAZAMIENTO PROMEDIO mm
0.00	0.00	0.00	0.00
8.90	0.20	0.18	0.19
17.79	0.34	0.34	0.34
26.69	0.44	0.45	0.45
35.58	0.52	0.52	0.52
44.48	0.58	0.57	0.58
53.38	0.64	0.62	0.63
62.27	0.70	0.66	0.68
71.17	0.74	0.69	0.72
80.06	0.80	0.72	0.76
88.96	0.86	0.76	0.81
97.86	0.92	0.80	0.86
106.75	0.94	0.83	0.89
115.65	1.00	0.87	0.94
124.54	1.11	0.94	1.03
133.44	1.19	1.00	1.10
142.34	1.29	1.05	1.17
151.23	1.39	1.12	1.26
160.13	1.50	1.18	1.34
169.02	1.62	1.28	1.45
177.92	1.71	1.32	1.52

CARGA DE FALLA	241.88 kN
----------------	-----------



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A. DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA 

M4-3-14-2

CARGA kN	DESPLAZAMIENTO 1 mm	DESPLAZAMIENTO 2 mm	DESPLAZAMIENTO PROMEDIO mm
0.00	0.00	0.00	0.00
8.90	0.45	0.38	0.42
17.79	0.71	0.67	0.69
26.69	0.88	0.85	0.87
35.58	1.04	0.98	1.01
44.48	1.15	1.09	1.12
53.38	1.22	1.20	1.21
62.27	1.36	1.28	1.32
71.17	1.48	1.41	1.45
80.06	1.58	1.51	1.55
88.96	1.67	1.62	1.65
97.86	1.77	1.74	1.76
106.75	1.88	1.85	1.87
115.65	2.00	1.99	2.00
124.54	2.10	2.10	2.10
133.44	2.24	2.26	2.25
142.34	2.37	2.42	2.40
151.23	2.50	2.52	2.51
160.13	2.64	2.72	2.68
169.02	2.78	2.88	2.83
177.92	2.90	3.04	2.97

CARGA DE FALLA	212.39 kN
----------------	-----------

NSR - 98	
DIAMETRO (pul)	1/2
N. DE TORNILLOS	6
SEPARACION (m)	0.14
$A_{sc} (mm^2)$	127
$f'_c (Mpa)$	42.4
$E_c (Mpa)$	21324
CARGA NRS98 (kN)	95.5

0	95.5
5	95.5

COMPORTAMIENTO LINEAL	
0	0
1.15	130

PORCENTAJE DE CARGA DE FALLA
53.34%

PORCENTAJE DE DESPLAZAMIENTO MÁXIMO REGISTRADO
69.59%

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A. DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING.DORIAN LUIS LINERO SEGRERA 

M4-3-14-3

CARGA kN	DESPLAZAMIENTO 1 mm	DESPLAZAMIENTO 2 mm	DESPLAZAMIENTO PROMEDIO mm
0.00	0.00	0.00	0.00
8.90	0.25	0.18	0.22
17.79	0.44	0.36	0.40
26.69	0.56	0.48	0.52
35.58	0.65	0.57	0.61
44.48	0.74	0.65	0.70
53.38	0.80	0.72	0.76
62.27	0.86	0.78	0.82
71.17	0.92	0.82	0.87
80.06	0.98	0.88	0.93
88.96	1.02	0.92	0.97
97.86	1.05	0.95	1.00
106.75	1.12	1.00	1.06
115.65	1.17	1.08	1.13
124.54	1.25	1.15	1.20
133.44	1.32	1.22	1.27
142.34	1.43	1.33	1.38
151.23	1.52	1.42	1.47
160.13	1.60	1.50	1.55
169.02	1.73	1.63	1.68
177.92	1.84	1.74	1.79

CARGA DE FALLA	245.57 kN
----------------	-----------

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA

COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA

UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO

ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.

DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA

CODIRECTOR: ING.DORIAN LUIS LINERO SEGRERA



M5-1-0-1

CARGA kN	DESPLAZAMIENTO 1 mm	DESPLAZAMIENTO 2 mm	DESPLAZAMIENTO PROMEDIO mm
0.00	0.00	0.00	0.00
8.90	0.14	0.16	0.15
17.79	0.29	0.30	0.30
26.69	0.39	0.39	0.39
35.58	0.53	0.50	0.52
44.48	0.67	0.64	0.66
53.38	0.92	0.84	0.88
62.27	1.12	1.02	1.07
71.17	1.35	1.24	1.30
80.06	1.52	1.40	1.46
88.96	1.84	1.68	1.76
97.86	2.12	1.96	2.04
106.75	2.50	2.28	2.39
115.65	2.88	2.72	2.80

CARGA DE FALLA	119.52 kN
----------------	-----------

CARGA Vs. DESPLAZAMIENTO

M5-1-0-1

M5-1-0-2

M5-1-0-3

PROMEDIO

NSR - 98

COMPORTAMIENTO ELÁSTICO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A. DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA 

M5-1-0-2

CARGA kN	DESPLAZAMIENTO 1 mm	DESPLAZAMIENTO 2 mm	DESPLAZAMIENTO PROMEDIO mm
0.00	0.00	0.00	0.00
8.90	0.46	0.35	0.41
17.79	0.63	0.51	0.57
26.69	0.78	0.60	0.69
35.58	0.90	0.76	0.83
44.48	1.00	0.80	0.90
53.38	1.10	0.85	0.98
62.27	1.20	0.90	1.05
71.17	1.29	1.05	1.17
80.06	1.45	1.12	1.29
88.96	1.66	1.36	1.51
97.86	1.90	1.60	1.75
106.75	2.08	1.95	2.02
115.65	2.60	2.22	2.41
124.54	3.20	2.80	3.00

CARGA DE FALLA	124.54 kN
----------------	-----------

NSR - 98	
DIAMETRO (pul)	5/8
N. DE TORNILLOS	2
SEPARACION (m)	---
$A_{sc} (mm^2)$	198
$f'_c (Mpa)$	42.4
$E_c (Mpa)$	21324
CARGA NRS98 (kN)	65.1

0	65.1
5	65.1

COMPORTAMIENTO LINEAL	
0	0
1.35	68

PORCENTAJE DE CARGA DE FALLA
52.58%

PORCENTAJE DE DESPLAZAMIENTO MÁXIMO REGISTRADO
45.00%

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA
COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA
UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO

ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.
DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA
CODIRECTOR: ING.DORIAN LUIS LINERO SEGRERA



M5-1-0-3

CARGA kN	DESPLAZAMIENTO 1 mm	DESPLAZAMIENTO 2 mm	DESPLAZAMIENTO PROMEDIO mm
0.00	0.00	0.00	0.00
8.90	0.62	0.62	0.62
17.79	0.93	0.83	0.88
26.69	1.10	0.98	1.04
35.58	1.20	1.13	1.17
44.48	1.46	1.28	1.37
53.38	1.58	1.42	1.50
62.27	1.72	1.53	1.63
71.17	1.85	1.74	1.80
80.06	2.00	1.82	1.91
88.96	2.25	2.07	2.16
97.86	2.49	2.24	2.37
106.75	2.71	2.37	2.54
115.65	2.94	2.53	2.74

CARGA DE FALLA	143.89 kN
----------------	-----------

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA

COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO

ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.

DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA

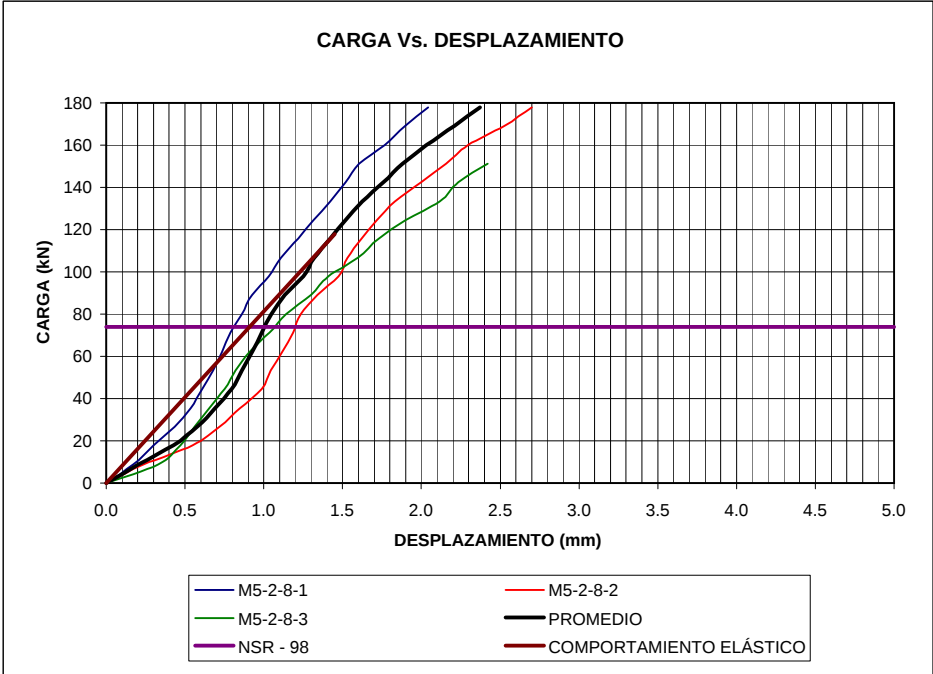
CODIRECTOR: ING.DORIAN LUIS LINERO SEGRERA



M5-2-8-1

CARGA kN	DESPLAZAMIENTO 1 mm	DESPLAZAMIENTO 2 mm	DESPLAZAMIENTO PROMEDIO mm
0.00	0.00	0.00	0.00
8.90	0.18	0.16	0.17
17.79	0.31	0.29	0.30
26.69	0.45	0.42	0.44
35.58	0.55	0.52	0.54
44.48	0.62	0.60	0.61
53.38	0.69	0.67	0.68
62.27	0.74	0.73	0.74
71.17	0.79	0.79	0.79
80.06	0.85	0.87	0.86
88.96	0.91	0.94	0.93
97.86	1.01	1.05	1.03
106.75	1.09	1.13	1.11
115.65	1.19	1.25	1.22
124.54	1.29	1.34	1.32
133.44	1.38	1.46	1.42
142.34	1.48	1.56	1.52
151.23	1.57	1.64	1.61
160.13	1.74	1.79	1.77
169.02	1.88	1.91	1.90
177.92	2.03	2.06	2.05

CARGA DE FALLA	229.16 kN
----------------	-----------



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO	
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A. DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING.DORIAN LUIS LINERO SEGRERA	

M5-2-8-2

CARGA kN	DESPLAZAMIENTO 1 mm	DESPLAZAMIENTO 2 mm	DESPLAZAMIENTO PROMEDIO mm
0.00	0.00	0.00	0.00
8.90	0.22	0.25	0.24
17.79	0.50	0.60	0.55
26.69	0.64	0.80	0.72
35.58	0.80	0.90	0.85
44.48	0.92	1.05	0.99
53.38	0.98	1.11	1.05
62.27	1.08	1.15	1.12
71.17	1.17	1.20	1.19
80.06	1.22	1.25	1.24
88.96	1.30	1.38	1.34
97.86	1.39	1.56	1.48
106.75	1.45	1.61	1.53
115.65	1.54	1.70	1.62
124.54	1.64	1.80	1.72
133.44	1.75	1.91	1.83
142.34	1.88	2.12	2.00
151.23	2.01	2.30	2.16
160.13	2.09	2.50	2.30
169.02	2.30	2.75	2.53
177.92	2.45	2.95	2.70

CARGA DE FALLA	201.14 kN
----------------	-----------

NSR - 98	
DIAMETRO (pul)	5/8
N. DE TORNILLOS	4
SEPARACION (m)	0.08
$A_{sc} (mm^2)$	198
$f'_c (Mpa)$	42.4
$E_c (Mpa)$	21324
CARGA NRS98 (kN)	73.8

0	73.8
5	73.8

COMPORTAMIENTO LINEAL	
0	0
1.45	118

PORCENTAJE DE CARGA DE FALLA
60.41%

PORCENTAJE DE DESPLAZAMIENTO MÁXIMO REGISTRADO
61.12%

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A. DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA 

M5-2-8-3

CARGA kN	DESPLAZAMIENTO 1 mm	DESPLAZAMIENTO 2 mm	DESPLAZAMIENTO PROMEDIO mm
0.00	0.00	0.00	0.00
8.90	0.21	0.45	0.33
17.79	0.35	0.59	0.47
26.69	0.45	0.67	0.56
35.58	0.54	0.77	0.66
44.48	0.62	0.88	0.75
53.38	0.69	0.95	0.82
62.27	0.77	1.05	0.91
71.17	0.88	1.19	1.04
80.06	0.96	1.32	1.14
88.96	1.10	1.50	1.30
97.86	1.20	1.62	1.41
106.75	1.37	1.82	1.60
115.65	1.49	1.97	1.73
124.54	1.65	2.15	1.90
133.44	1.80	2.43	2.12
142.34	1.96	2.51	2.24
151.23	2.12	2.72	2.42

CARGA DE FALLA	155.68 kN
----------------	-----------

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA
COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA
UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO

ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.

DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA

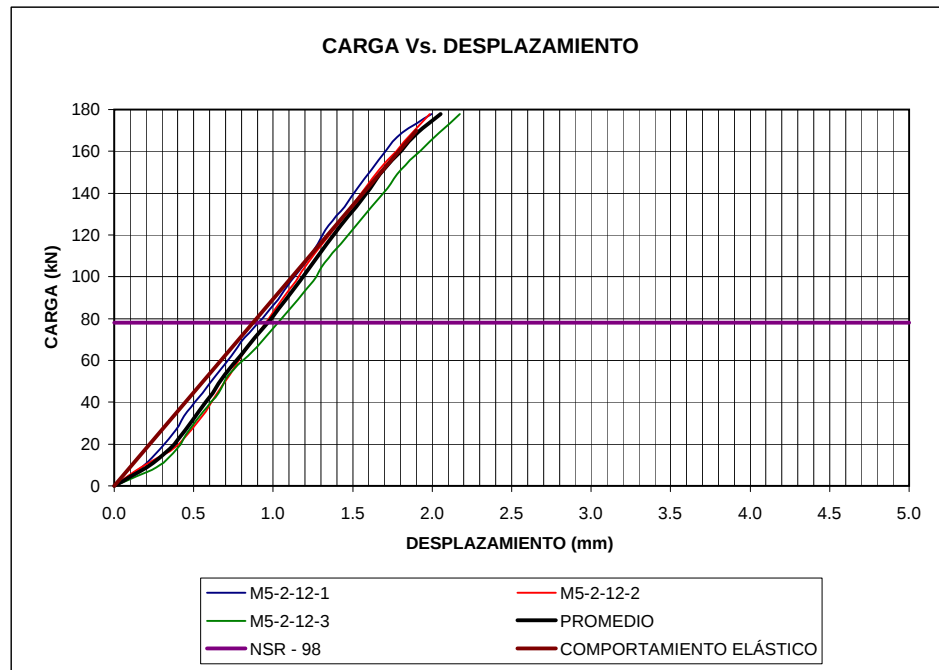
CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA



M5-2-12-1

CARGA kN	DESPLAZAMIENTO 1 mm	DESPLAZAMIENTO 2 mm	DESPLAZAMIENTO PROMEDIO mm
0.00	0.00	0.00	0.00
8.90	0.19	0.16	0.18
17.79	0.30	0.28	0.29
26.69	0.40	0.37	0.39
35.58	0.49	0.43	0.46
44.48	0.59	0.52	0.56
53.38	0.68	0.61	0.65
62.27	0.76	0.71	0.74
71.17	0.85	0.79	0.82
80.06	0.95	0.92	0.94
88.96	1.04	1.02	1.03
97.86	1.11	1.11	1.11
106.75	1.19	1.22	1.21
115.65	1.25	1.31	1.28
124.54	1.31	1.39	1.35
133.44	1.38	1.52	1.45
142.34	1.44	1.62	1.53
151.23	1.50	1.74	1.62
160.13	1.56	1.85	1.71
169.02	1.70	1.92	1.81
177.92	1.88	2.11	2.00

CARGA DE FALLA	240.81 kN
----------------	-----------



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO	
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A. DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA	

M5-2-12-2

CARGA kN	DESPLAZAMIENTO 1 mm	DESPLAZAMIENTO 2 mm	DESPLAZAMIENTO PROMEDIO mm
0.00	0.00	0.00	0.00
8.90	0.26	0.08	0.17
17.79	0.40	0.34	0.37
26.69	0.51	0.46	0.49
35.58	0.60	0.55	0.58
44.48	0.68	0.62	0.65
53.38	0.76	0.70	0.73
62.27	0.84	0.76	0.80
71.17	0.93	0.84	0.89
80.06	1.02	0.93	0.98
88.96	1.11	1.00	1.06
97.86	1.21	1.08	1.15
106.75	1.31	1.13	1.22
115.65	1.41	1.21	1.31
124.54	1.51	1.29	1.40
133.44	1.61	1.37	1.49
142.34	1.71	1.45	1.58
151.23	1.82	1.51	1.67
160.13	1.95	1.60	1.78
169.02	2.08	1.67	1.88
177.92	2.23	1.74	1.99

CARGA DE FALLA	221.60 kN
----------------	-----------

NSR - 98	
DIAMETRO (pul)	5/8
N. DE TORNILLOS	4
SEPARACION (m)	0.12
$A_{sc} (mm^2)$	198
$f'_c (Mpa)$	42.4
$E_c (Mpa)$	21324
CARGA NRS98 (kN)	78.1

0	78.1
5	78.1

COMPORTAMIENTO LINEAL	
0	0
1.9	170

PORCENTAJE DE CARGA DE FALLA
72.35%

PORCENTAJE DE DESPLAZAMIENTO MÁXIMO REGISTRADO
92.61%

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A. DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING.DORIAN LUIS LINERO SEGRERA 

M5-2-12-3

CARGA kN	DESPLAZAMIENTO 1 mm	DESPLAZAMIENTO 2 mm	DESPLAZAMIENTO PROMEDIO mm
0.00	0.00	0.00	0.00
8.90	0.28	0.25	0.27
17.79	0.44	0.35	0.40
26.69	0.52	0.42	0.47
35.58	0.62	0.50	0.56
44.48	0.72	0.59	0.66
53.38	0.79	0.65	0.72
62.27	0.92	0.76	0.84
71.17	1.04	0.86	0.95
80.06	1.15	0.96	1.06
88.96	1.26	1.05	1.16
97.86	1.35	1.15	1.25
106.75	1.44	1.21	1.33
115.65	1.55	1.30	1.43
124.54	1.65	1.39	1.52
133.44	1.78	1.46	1.62
142.34	1.86	1.58	1.72
151.23	1.95	1.66	1.81
160.13	2.08	1.77	1.93
169.02	2.21	1.88	2.05
177.92	2.35	2.00	2.18

CARGA DE FALLA	242.50 kN
----------------	-----------

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA
COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA
UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO

ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.

DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA

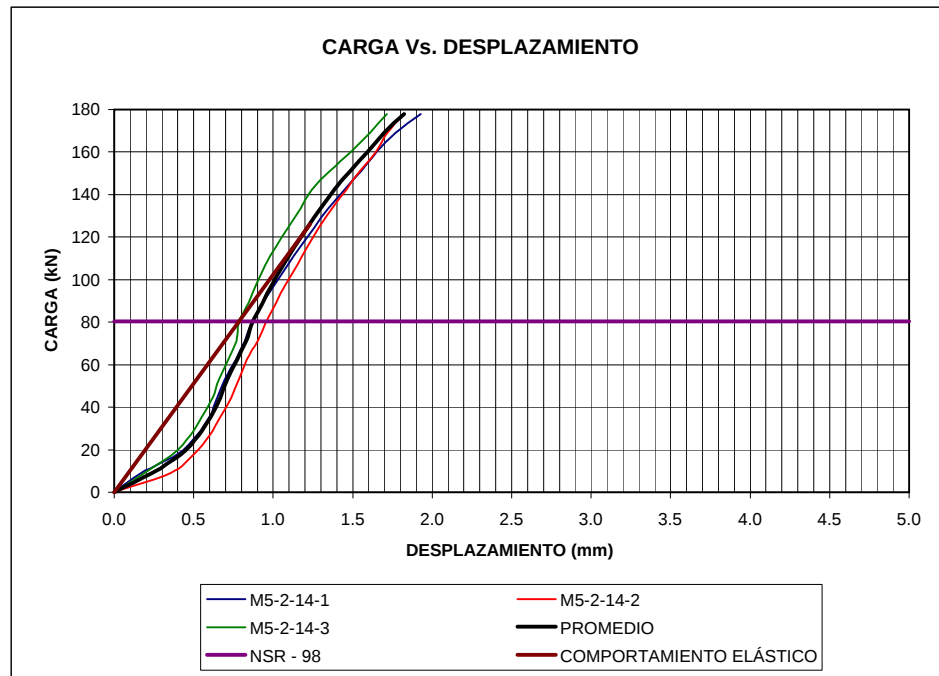
CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA



M5-2-14-1

CARGA kN	DESPLAZAMIENTO 1 mm	DESPLAZAMIENTO 2 mm	DESPLAZAMIENTO PROMEDIO mm
0.00	0.00	0.00	0.00
8.90	0.18	0.16	0.17
17.79	0.44	0.35	0.40
26.69	0.58	0.46	0.52
35.58	0.65	0.55	0.60
44.48	0.70	0.60	0.65
53.38	0.74	0.65	0.70
62.27	0.81	0.72	0.77
71.17	0.86	0.78	0.82
80.06	0.91	0.82	0.87
88.96	0.98	0.89	0.94
97.86	1.05	0.97	1.01
106.75	1.13	1.05	1.09
115.65	1.22	1.12	1.17
124.54	1.30	1.22	1.26
133.44	1.38	1.31	1.35
142.34	1.50	1.40	1.45
151.23	1.60	1.51	1.56
160.13	1.70	1.60	1.65
169.02	1.82	1.72	1.77
177.92	1.98	1.88	1.93

CARGA DE FALLA	213.24 kN
----------------	-----------



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO	
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A. DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA	

M5-2-14-2

CARGA kN	DESPLAZAMIENTO 1 mm	DESPLAZAMIENTO 2 mm	DESPLAZAMIENTO PROMEDIO mm
0.00	0.00	0.00	0.00
8.90	0.30	0.41	0.36
17.79	0.46	0.54	0.50
26.69	0.56	0.64	0.60
35.58	0.63	0.71	0.67
44.48	0.70	0.77	0.74
53.38	0.75	0.82	0.79
62.27	0.79	0.88	0.84
71.17	0.86	0.94	0.90
80.06	0.91	1.00	0.96
88.96	0.96	1.08	1.02
97.86	1.01	1.15	1.08
106.75	1.08	1.22	1.15
115.65	1.14	1.29	1.22
124.54	1.22	1.36	1.29
133.44	1.30	1.44	1.37
142.34	1.39	1.53	1.46
151.23	1.48	1.61	1.55
160.13	1.58	1.71	1.65
169.02	1.66	1.78	1.72
177.92	1.77	1.88	1.83

CARGA DE FALLA	252.65 kN
----------------	-----------

NSR - 98	
DIAMETRO (pul)	5/8
N. DE TORNILLOS	4
SEPARACION (m)	0.14
$A_{sc} (mm^2)$	198
$f'_c (Mpa)$	42.4
$E_c (Mpa)$	21324
CARGA NRS98 (kN)	80.3

0	80.3
5	80.3

COMPORTAMIENTO LINEAL	
0	0
1.23	126

PORCENTAJE DE CARGA DE FALLA
54.20%

PORCENTAJE DE DESPLAZAMIENTO MÁXIMO REGISTRADO
67.46%

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A. DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING.DORIAN LUIS LINERO SEGRERA 

M5-2-14-3

CARGA kN	DESPLAZAMIENTO 1 mm	DESPLAZAMIENTO 2 mm	DESPLAZAMIENTO PROMEDIO mm
0.00	0.00	0.00	0.00
8.90	0.19	0.19	0.19
17.79	0.37	0.36	0.37
26.69	0.48	0.48	0.48
35.58	0.55	0.55	0.55
44.48	0.62	0.62	0.62
53.38	0.66	0.66	0.66
62.27	0.72	0.71	0.72
71.17	0.77	0.77	0.77
80.06	0.79	0.78	0.79
88.96	0.85	0.84	0.85
97.86	0.90	0.89	0.90
106.75	0.96	0.94	0.95
115.65	1.03	1.01	1.02
124.54	1.10	1.09	1.10
133.44	1.17	1.17	1.17
142.34	1.24	1.25	1.25
151.23	1.35	1.36	1.36
160.13	1.46	1.52	1.49
169.02	1.58	1.64	1.61
177.92	1.67	1.76	1.72

CARGA DE FALLA	231.56 kN
----------------	-----------

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA
COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA
UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO

ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.

DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA

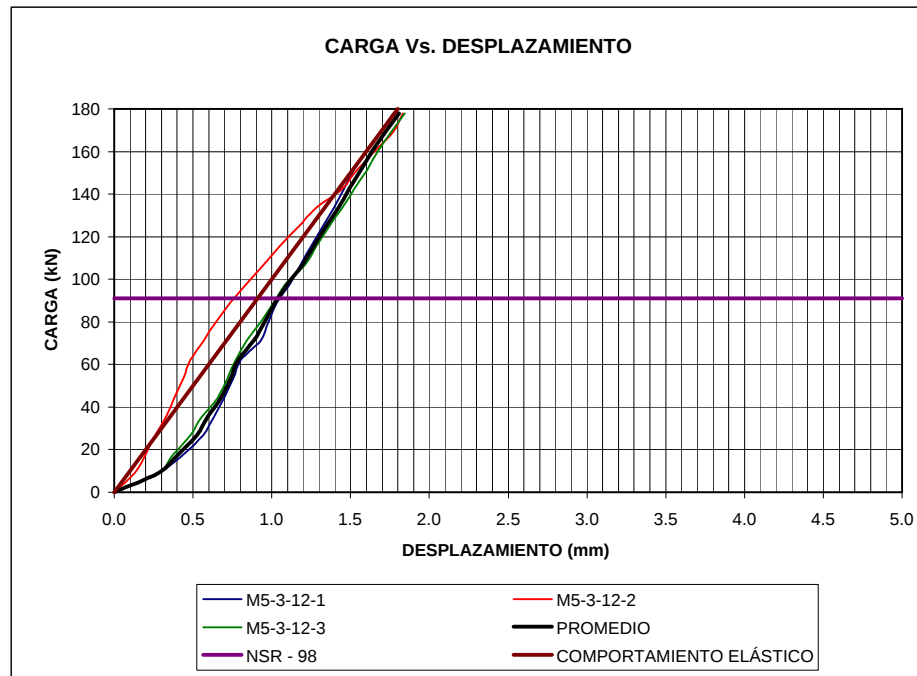
CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA



M5-3-12-1

CARGA kN	DESPLAZAMIENTO 1 mm	DESPLAZAMIENTO 2 mm	DESPLAZAMIENTO PROMEDIO mm
0.00	0.00	0.00	0.00
8.90	0.31	0.25	0.28
17.79	0.50	0.38	0.44
26.69	0.65	0.48	0.57
35.58	0.72	0.55	0.64
44.48	0.80	0.60	0.70
53.38	0.86	0.65	0.76
62.27	0.92	0.69	0.81
71.17	1.00	0.86	0.93
80.06	1.08	0.88	0.98
88.96	1.16	0.90	1.03
97.86	1.25	0.98	1.12
106.75	1.32	1.04	1.18
115.65	1.39	1.11	1.25
124.54	1.47	1.17	1.32
133.44	1.54	1.25	1.40
142.34	1.61	1.31	1.46
151.23	1.68	1.36	1.52
160.13	1.76	1.44	1.60
169.02	1.85	1.52	1.69
177.92	1.94	1.60	1.77

CARGA DE FALLA	250.69 kN
----------------	-----------



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A. DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA 

M5-3-12-2

CARGA kN	DESPLAZAMIENTO 1 mm	DESPLAZAMIENTO 2 mm	DESPLAZAMIENTO PROMEDIO mm
0.00	0.00	0.00	0.00
8.90	0.18	0.08	0.13
17.79	0.25	0.15	0.20
26.69	0.32	0.20	0.26
35.58	0.38	0.28	0.33
44.48	0.44	0.32	0.38
53.38	0.50	0.38	0.44
62.27	0.55	0.42	0.49
71.17	0.65	0.49	0.57
80.06	0.74	0.55	0.65
88.96	0.85	0.62	0.74
97.86	0.97	0.71	0.84
106.75	1.09	0.80	0.95
115.65	1.22	0.88	1.05
124.54	1.35	0.98	1.17
133.44	1.48	1.08	1.28
142.34	1.69	1.20	1.45
151.23	1.78	1.30	1.54
160.13	1.92	1.39	1.66
169.02	2.04	1.49	1.77
177.92	2.15	1.51	1.83

CARGA DE FALLA	254.07 kN
----------------	-----------

NSR - 98	
DIAMETRO (pul)	5/8
N. DE TORNILLOS	6
SEPARACION (m)	0.12
$A_{sc} (mm^2)$	198
$f'_c (Mpa)$	42.4
$E_c (Mpa)$	21324
CARGA NRS98 (kN)	91.2

0	91.2
5	91.2

COMPORTAMIENTO LINEAL	
0	0
1.8	180

PORCENTAJE DE CARGA DE FALLA
72.55%

PORCENTAJE DE DESPLAZAMIENTO MÁXIMO REGISTRADO
99.59%

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A. DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA 

M5-3-12-3

CARGA kN	DESPLAZAMIENTO 1 mm	DESPLAZAMIENTO 2 mm	DESPLAZAMIENTO PROMEDIO mm
0.00	0.00	0.00	0.00
8.90	0.24	0.32	0.28
17.79	0.33	0.42	0.38
26.69	0.43	0.54	0.49
35.58	0.50	0.61	0.56
44.48	0.63	0.69	0.66
53.38	0.69	0.75	0.72
62.27	0.70	0.84	0.77
71.17	0.78	0.90	0.84
80.06	0.87	0.99	0.93
88.96	0.95	1.07	1.01
97.86	1.03	1.15	1.09
106.75	1.15	1.27	1.21
115.65	1.22	1.35	1.29
124.54	1.30	1.42	1.36
133.44	1.38	1.51	1.45
142.34	1.46	1.59	1.53
151.23	1.54	1.67	1.61
160.13	1.61	1.74	1.68
169.02	1.69	1.82	1.76
177.92	1.78	1.91	1.85

CARGA DE FALLA	239.57 kN
----------------	-----------

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA
COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA
UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO

ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.

DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA

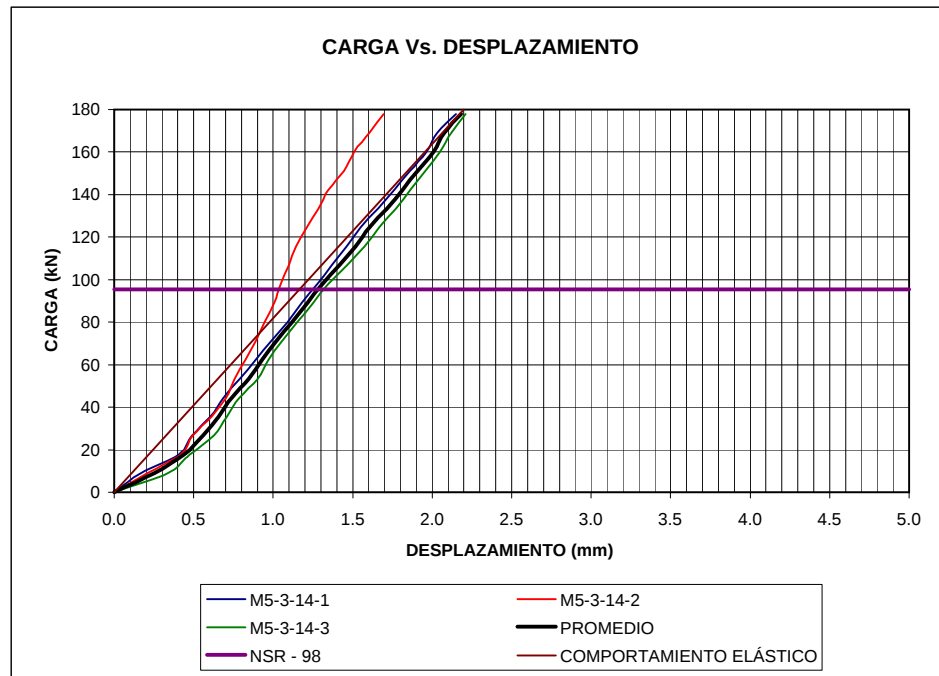
CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA



M5-3-14-1

CARGA kN	DESPLAZAMIENTO 1 mm	DESPLAZAMIENTO 2 mm	DESPLAZAMIENTO PROMEDIO mm
0.00	0.00	0.00	0.00
8.90	0.21	0.13	0.17
17.79	0.46	0.35	0.41
26.69	0.55	0.43	0.49
35.58	0.65	0.56	0.61
44.48	0.72	0.66	0.69
53.38	0.81	0.77	0.79
62.27	0.90	0.88	0.89
71.17	0.99	0.98	0.99
80.06	1.09	1.09	1.09
88.96	1.17	1.19	1.18
97.86	1.25	1.30	1.28
106.75	1.34	1.40	1.37
115.65	1.42	1.50	1.46
124.54	1.50	1.60	1.55
133.44	1.60	1.72	1.66
142.34	1.69	1.84	1.77
151.23	1.78	1.94	1.86
160.13	1.88	2.05	1.97
169.02	1.98	2.09	2.04
177.92	2.09	2.21	2.15

CARGA DE FALLA	207.94 kN
----------------	-----------



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO	
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A. DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA	

M5-3-14-2

CARGA kN	DESPLAZAMIENTO 1 mm	DESPLAZAMIENTO 2 mm	DESPLAZAMIENTO PROMEDIO mm
0.00	0.00	0.00	0.00
8.90	0.22	0.20	0.21
17.79	0.41	0.43	0.42
26.69	0.52	0.47	0.50
35.58	0.64	0.58	0.61
44.48	0.72	0.69	0.71
53.38	0.80	0.71	0.76
62.27	0.87	0.78	0.83
71.17	0.94	0.84	0.89
80.06	0.99	0.90	0.95
88.96	1.05	0.96	1.01
97.86	1.09	1.00	1.05
106.75	1.14	1.06	1.10
115.65	1.19	1.10	1.15
124.54	1.26	1.16	1.21
133.44	1.33	1.24	1.29
142.34	1.40	1.30	1.35
151.23	1.50	1.39	1.45
160.13	1.56	1.46	1.51
169.02	1.65	1.56	1.61
177.92	1.73	1.66	1.70

CARGA DE FALLA	221.24 kN
----------------	-----------

NSR - 98	
DIAMETRO (pul)	5/8
N. DE TORNILLOS	6
SEPARACION (m)	0.14
$A_{sc} (mm^2)$	198
$f'_c (Mpa)$	42.4
$E_c (Mpa)$	21324
CARGA NRS98 (kN)	95.5

0	95.5
5	95.5

COMPORTAMIENTO LINEAL	
0	0
2.2	180

PORCENTAJE DE CARGA DE FALLA
83.88%

PORCENTAJE DE DESPLAZAMIENTO MÁXIMO REGISTRADO
100.92%

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO	
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A. DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING.DORIAN LUIS LINERO SEGRERA	

M5-3-14-3

CARGA kN	DESPLAZAMIENTO 1 mm	DESPLAZAMIENTO 2 mm	DESPLAZAMIENTO PROMEDIO mm
0.00	0.00	0.00	0.00
8.90	0.30	0.38	0.34
17.79	0.44	0.51	0.48
26.69	0.60	0.66	0.63
35.58	0.67	0.75	0.71
44.48	0.75	0.83	0.79
53.38	0.85	0.95	0.90
62.27	0.92	1.02	0.97
71.17	1.00	1.11	1.06
80.06	1.09	1.21	1.15
88.96	1.18	1.32	1.25
97.86	1.27	1.42	1.35
106.75	1.38	1.55	1.47
115.65	1.48	1.67	1.58
124.54	1.57	1.76	1.67
133.44	1.67	1.87	1.77
142.34	1.76	1.97	1.87
151.23	1.85	2.06	1.96
160.13	1.96	2.14	2.05
169.02	2.01	2.23	2.12
177.92	2.10	2.32	2.21

CARGA DE FALLA	297.48 kN
----------------	-----------

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA

COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA

UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO

ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.

DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA

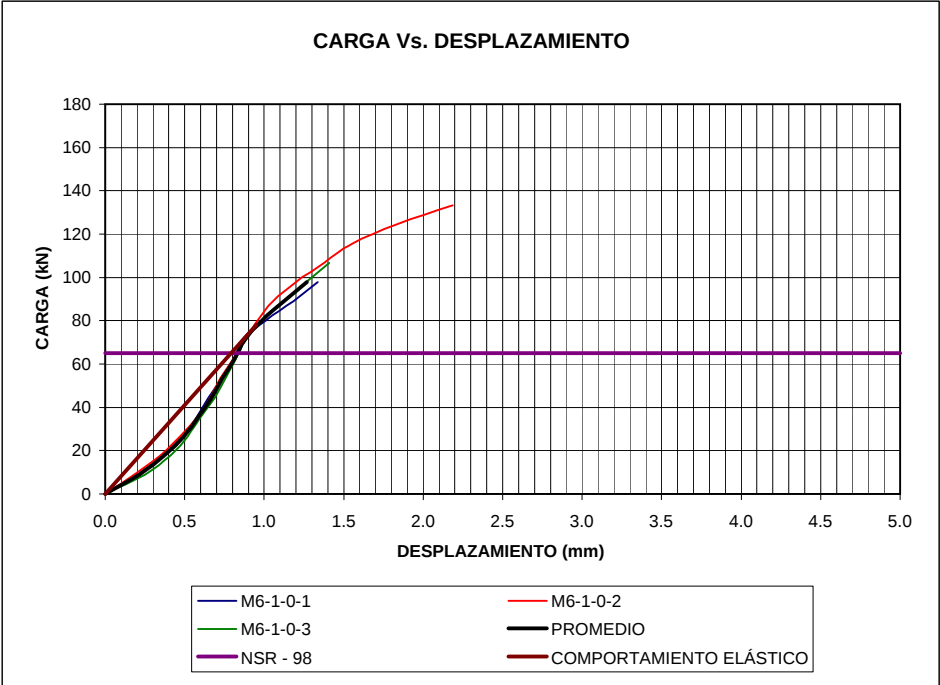
CODIRECTOR: ING.DORIAN LUIS LINERO SEGRERA



M6-1-0-1

CARGA kN	DESPLAZAMIENTO 1 mm	DESPLAZAMIENTO 2 mm	DESPLAZAMIENTO PROMEDIO mm
0.00	0.00	0.00	0.00
8.90	0.16	0.25	0.21
17.79	0.31	0.40	0.36
26.69	0.44	0.54	0.49
35.58	0.52	0.63	0.58
44.48	0.59	0.71	0.65
53.38	0.67	0.80	0.74
62.27	0.75	0.88	0.82
71.17	0.81	0.91	0.86
80.06	0.99	1.03	1.01
88.96	1.15	1.22	1.19
97.86	1.30	1.37	1.34

CARGA DE FALLA	194.38 kN
----------------	-----------



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A. DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA 

M6-1-0-2

CARGA kN	DESPLAZAMIENTO 1 mm	DESPLAZAMIENTO 2 mm	DESPLAZAMIENTO PROMEDIO mm
0.00	0.00	0.00	0.00
8.90	0.22	0.14	0.18
17.79	0.40	0.29	0.35
26.69	0.54	0.40	0.47
35.58	0.65	0.51	0.58
44.48	0.74	0.58	0.66
53.38	0.81	0.64	0.73
62.27	0.89	0.72	0.81
71.17	0.97	0.80	0.89
80.06	1.05	0.87	0.96
88.96	1.15	0.96	1.06
97.86	1.30	1.10	1.20
106.75	1.50	1.25	1.38
115.65	1.70	1.41	1.56
124.54	1.98	1.68	1.83
133.44	2.34	2.03	2.19

CARGA DE FALLA	148.52 kN
----------------	-----------

NSR - 98	
DIAMETRO (pul)	3/4
N. DE TORNILLOS	2
SEPARACION (m)	---
$A_{sc} (mm^2)$	285
$f'_c (Mpa)$	42.4
$E_c (Mpa)$	21324
CARGA NRS98 (kN)	65.1

0	65.1
5	65.1

COMPORTAMIENTO LINEAL	
0	0
0.95	78

PORCENTAJE DE CARGA DE FALLA
43.68%

PORCENTAJE DE DESPLAZAMIENTO MÁXIMO REGISTRADO
43.48%

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA
COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA
UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO

ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.
DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA
CODIRECTOR: ING.DORIAN LUIS LINERO SEGRERA



M6-1-0-3

CARGA kN	DESPLAZAMIENTO 1 mm	DESPLAZAMIENTO 2 mm	DESPLAZAMIENTO PROMEDIO mm
0.00	0.00	0.00	0.00
8.90	0.20	0.30	0.25
17.79	0.35	0.47	0.41
26.69	0.47	0.57	0.52
35.58	0.55	0.65	0.60
44.48	0.65	0.73	0.69
53.38	0.72	0.79	0.76
62.27	0.79	0.85	0.82
71.17	0.86	0.91	0.89
80.06	0.98	0.99	0.99
88.96	1.10	1.15	1.13
97.86	1.28	1.25	1.27
106.75	1.41	1.41	1.41

CARGA DE FALLA	192.86 kN
----------------	-----------

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA
COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA
UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO

ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.

DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA

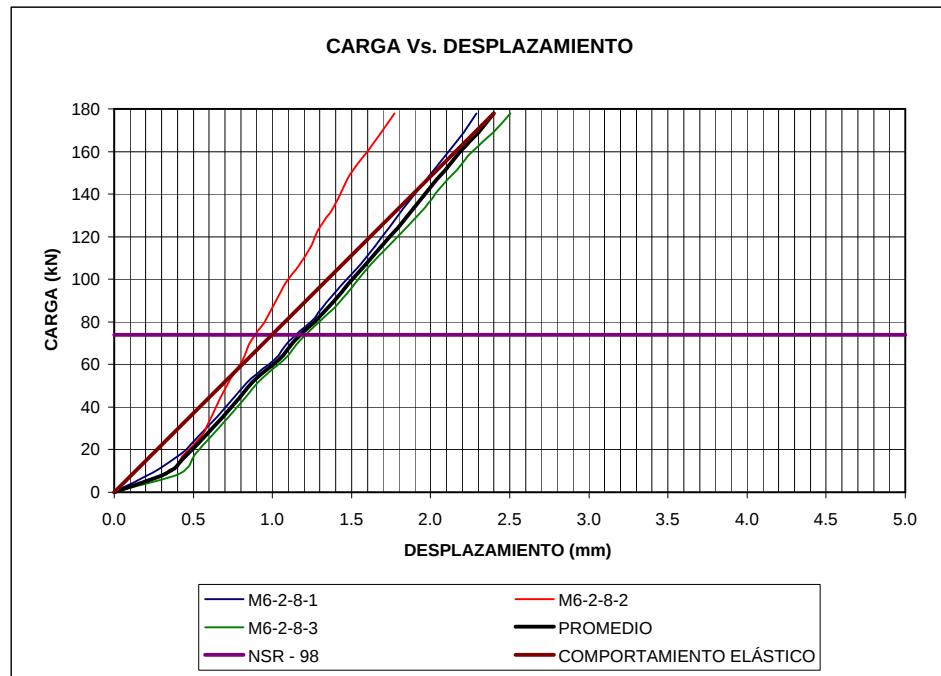
CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA



M6-2-8-1

CARGA kN	DESPLAZAMIENTO 1 mm	DESPLAZAMIENTO 2 mm	DESPLAZAMIENTO PROMEDIO mm
0.00	0.00	0.00	0.00
8.90	0.26	0.22	0.24
17.79	0.45	0.38	0.42
26.69	0.58	0.50	0.54
35.58	0.70	0.60	0.65
44.48	0.82	0.69	0.76
53.38	0.93	0.80	0.87
62.27	1.09	0.93	1.01
71.17	1.20	1.02	1.11
80.06	1.34	1.14	1.24
88.96	1.44	1.24	1.34
97.86	1.55	1.34	1.45
106.75	1.66	1.45	1.56
115.65	1.77	1.53	1.65
124.54	1.86	1.62	1.74
133.44	1.96	1.70	1.83
142.34	2.05	1.80	1.93
151.23	2.15	1.89	2.02
160.13	2.25	1.98	2.12
169.02	2.35	2.07	2.21
177.92	2.45	2.13	2.29

CARGA DE FALLA	260.47 kN
----------------	-----------



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO	
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A. DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA	

M6-2-8-2

CARGA kN	DESPLAZAMIENTO 1 mm	DESPLAZAMIENTO 2 mm	DESPLAZAMIENTO PROMEDIO mm
0.00	0.00	0.00	0.00
8.90	0.34	0.34	0.34
17.79	0.44	0.44	0.44
26.69	0.56	0.55	0.56
35.58	0.63	0.60	0.62
44.48	0.68	0.66	0.67
53.38	0.75	0.72	0.74
62.27	0.82	0.81	0.82
71.17	0.87	0.86	0.87
80.06	0.96	0.94	0.95
88.96	1.02	1.01	1.02
97.86	1.10	1.06	1.08
106.75	1.19	1.15	1.17
115.65	1.27	1.22	1.25
124.54	1.33	1.27	1.30
133.44	1.43	1.34	1.39
142.34	1.49	1.40	1.45
151.23	1.55	1.47	1.51
160.13	1.66	1.54	1.60
169.02	1.74	1.63	1.69
177.92	1.83	1.71	1.77

CARGA DE FALLA	302.82 kN
----------------	-----------

NSR - 98	
DIAMETRO (pul)	3/4
N. DE TORNILLOS	4
SEPARACION (m)	0.08
$A_{sc} (mm^2)$	285
$f'_c (Mpa)$	42.4
$E_c (Mpa)$	21324
CARGA NRS98 (kN)	73.8

0	73.8
5	73.8

COMPORTAMIENTO LINEAL	
0	0
2.4	178

PORCENTAJE DE CARGA DE FALLA
70.25%

PORCENTAJE DE DESPLAZAMIENTO MÁXIMO REGISTRADO
100.10%

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A. DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING.DORIAN LUIS LINERO SEGRERA 

M6-2-8-3

CARGA kN	DESPLAZAMIENTO 1 mm	DESPLAZAMIENTO 2 mm	DESPLAZAMIENTO PROMEDIO mm
0.00	0.00	0.00	0.00
8.90	0.40	0.44	0.42
17.79	0.48	0.54	0.51
26.69	0.58	0.66	0.62
35.58	0.68	0.77	0.73
44.48	0.77	0.89	0.83
53.38	0.87	1.00	0.94
62.27	1.00	1.14	1.07
71.17	1.12	1.23	1.18
80.06	1.23	1.36	1.30
88.96	1.34	1.50	1.42
97.86	1.44	1.60	1.52
106.75	1.54	1.70	1.62
115.65	1.64	1.83	1.74
124.54	1.75	1.95	1.85
133.44	1.86	2.06	1.96
142.34	1.95	2.16	2.06
151.23	2.08	2.25	2.17
160.13	2.15	2.38	2.27
169.02	2.24	2.55	2.40
177.92	2.36	2.65	2.51

CARGA DE FALLA	246.29 kN
----------------	-----------

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA
COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA
UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO

ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.

DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA

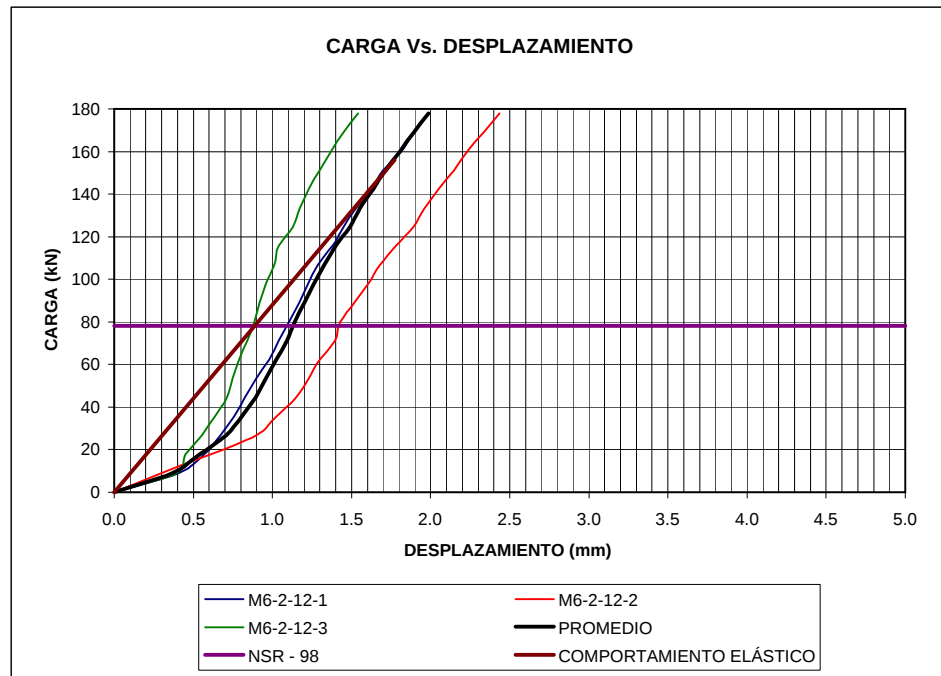
CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA



M6-2-12-1

CARGA kN	DESPLAZAMIENTO 1 mm	DESPLAZAMIENTO 2 mm	DESPLAZAMIENTO PROMEDIO mm
0.00	0.00	0.00	0.00
8.90	0.50	0.32	0.41
17.79	0.65	0.48	0.57
26.69	0.75	0.59	0.67
35.58	0.82	0.69	0.76
44.48	0.89	0.76	0.83
53.38	0.95	0.85	0.90
62.27	1.02	0.94	0.98
71.17	1.08	1.00	1.04
80.06	1.14	1.07	1.11
88.96	1.19	1.15	1.17
97.86	1.25	1.20	1.23
106.75	1.30	1.27	1.29
115.65	1.38	1.38	1.38
124.54	1.45	1.45	1.45
133.44	1.53	1.53	1.53
142.34	1.62	1.64	1.63
151.23	1.68	1.72	1.70
160.13	1.78	1.85	1.82
169.02	1.86	1.93	1.90
177.92	1.95	2.02	1.99

CARGA DE FALLA	267.10 kN
----------------	-----------



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO	
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A. DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA	

M6-2-12-2

CARGA kN	DESPLAZAMIENTO 1 mm	DESPLAZAMIENTO 2 mm	DESPLAZAMIENTO PROMEDIO mm
0.00	0.00	0.00	0.00
8.90	0.28	0.32	0.30
17.79	0.59	0.62	0.61
26.69	0.91	0.89	0.90
35.58	1.05	1.00	1.03
44.48	1.18	1.12	1.15
53.38	1.26	1.20	1.23
62.27	1.34	1.26	1.30
71.17	1.45	1.34	1.40
80.06	1.48	1.38	1.43
88.96	1.55	1.48	1.52
97.86	1.65	1.56	1.61
106.75	1.72	1.64	1.68
115.65	1.82	1.74	1.78
124.54	1.92	1.86	1.89
133.44	2.01	1.91	1.96
142.34	2.10	2.00	2.05
151.23	2.20	2.10	2.15
160.13	2.28	2.19	2.24
169.02	2.38	2.29	2.34
177.92	2.48	2.39	2.44

CARGA DE FALLA	282.36 kN
----------------	-----------

NSR - 98	
DIAMETRO (pul)	3/4
N. DE TORNILLOS	4
SEPARACION (m)	0.12
$A_{sc} (mm^2)$	285
$f'_c (Mpa)$	42.4
$E_c (Mpa)$	21324
CARGA NRS98 (kN)	78.1

0	78.1
5	78.1

COMPORTAMIENTO LINEAL	
0	0
1.77	156

PORCENTAJE DE CARGA DE FALLA
56.03%

PORCENTAJE DE DESPLAZAMIENTO MÁXIMO REGISTRADO
89.09%

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO	
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A. DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING.DORIAN LUIS LINERO SEGRERA	

M6-2-12-3

CARGA kN	DESPLAZAMIENTO 1 mm	DESPLAZAMIENTO 2 mm	DESPLAZAMIENTO PROMEDIO mm
0.00	0.00	0.00	0.00
8.90	0.53	0.26	0.40
17.79	0.49	0.41	0.45
26.69	0.59	0.52	0.56
35.58	0.67	0.60	0.64
44.48	0.74	0.68	0.71
53.38	0.78	0.72	0.75
62.27	0.82	0.76	0.79
71.17	0.88	0.80	0.84
80.06	0.92	0.85	0.89
88.96	0.96	0.88	0.92
97.86	1.00	0.92	0.96
106.75	1.05	0.97	1.01
115.65	1.08	1.00	1.04
124.54	1.18	1.08	1.13
133.44	1.23	1.12	1.18
142.34	1.28	1.18	1.23
151.23	1.35	1.25	1.30
160.13	1.42	1.32	1.37
169.02	1.52	1.38	1.45
177.92	1.60	1.48	1.54

CARGA DE FALLA	285.78 kN
----------------	-----------

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA
COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA
UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO

ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.

DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA

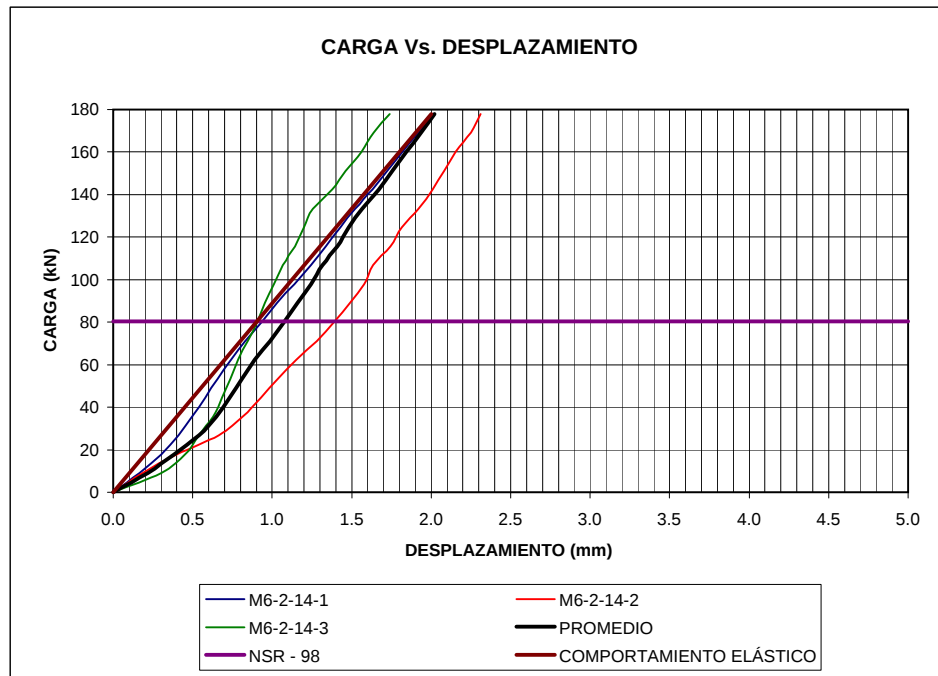
CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA



M6-2-14-1

CARGA kN	DESPLAZAMIENTO 1 mm	DESPLAZAMIENTO 2 mm	DESPLAZAMIENTO PROMEDIO mm
0.00	0.00	0.00	0.00
8.90	0.15	0.18	0.17
17.79	0.32	0.28	0.30
26.69	0.43	0.39	0.41
35.58	0.51	0.48	0.50
44.48	0.60	0.56	0.58
53.38	0.67	0.64	0.66
62.27	0.76	0.72	0.74
71.17	0.86	0.80	0.83
80.06	0.97	0.90	0.94
88.96	1.06	1.00	1.03
97.86	1.17	1.11	1.14
106.75	1.27	1.22	1.25
115.65	1.37	1.30	1.34
124.54	1.46	1.40	1.43
133.44	1.56	1.48	1.52
142.34	1.67	1.59	1.63
151.23	1.76	1.69	1.73
160.13	1.86	1.78	1.82
169.02	1.95	1.89	1.92
177.92	2.05	1.98	2.02

CARGA DE FALLA	216.22 kN
----------------	-----------



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO	
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A. DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA	

M6-2-14-2

CARGA kN	DESPLAZAMIENTO 1 mm	DESPLAZAMIENTO 2 mm	DESPLAZAMIENTO PROMEDIO mm
0.00	0.00	0.00	0.00
8.90	0.28	0.09	0.19
17.79	0.52	0.28	0.40
26.69	0.69	0.64	0.67
35.58	0.85	0.78	0.82
44.48	0.98	0.88	0.93
53.38	1.09	0.98	1.04
62.27	1.20	1.10	1.15
71.17	1.31	1.25	1.28
80.06	1.43	1.35	1.39
88.96	1.53	1.45	1.49
97.86	1.64	1.52	1.58
106.75	1.72	1.55	1.64
115.65	1.80	1.69	1.75
124.54	1.85	1.78	1.82
133.44	1.96	1.88	1.92
142.34	2.05	1.97	2.01
151.23	2.13	2.03	2.08
160.13	2.20	2.11	2.16
169.02	2.30	2.20	2.25
177.92	2.37	2.25	2.31

CARGA DE FALLA	231.56 kN
----------------	-----------

NSR - 98	
DIAMETRO (pul)	3/4
N. DE TORNILLOS	4
SEPARACION (m)	0.14
$A_{sc} (mm^2)$	285
$f'_c (Mpa)$	42.4
$E_c (Mpa)$	21324
CARGA NRS98 (kN)	80.3

0	80.3
5	80.3

COMPORTAMIENTO LINEAL	
0	0
2	178

PORCENTAJE DE CARGA DE FALLA
76.41%

PORCENTAJE DE DESPLAZAMIENTO MÁXIMO REGISTRADO
98.93%

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A. DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING.DORIAN LUIS LINERO SEGRERA 

M6-2-14-3

CARGA kN	DESPLAZAMIENTO 1 mm	DESPLAZAMIENTO 2 mm	DESPLAZAMIENTO PROMEDIO mm
0.00	0.00	0.00	0.00
8.90	0.36	0.24	0.30
17.79	0.52	0.38	0.45
26.69	0.62	0.46	0.54
35.58	0.72	0.54	0.63
44.48	0.79	0.58	0.69
53.38	0.85	0.62	0.74
62.27	0.89	0.68	0.79
71.17	0.95	0.74	0.85
80.06	1.01	0.80	0.91
88.96	1.06	0.85	0.96
97.86	1.12	0.90	1.01
106.75	1.18	0.95	1.07
115.65	1.28	1.01	1.15
124.54	1.35	1.05	1.20
133.44	1.42	1.09	1.26
142.34	1.52	1.23	1.38
151.23	1.60	1.32	1.46
160.13	1.70	1.42	1.56
169.02	1.78	1.50	1.64
177.92	1.88	1.60	1.74

CARGA DE FALLA	251.09 kN
----------------	-----------

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA
COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA
UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO

ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.
DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA
CODIRECTOR: ING.DORIAN LUIS LINERO SEGRERA



M6-3-12-1

CARGA kN	DESPLAZAMIENTO 1 mm	DESPLAZAMIENTO 2 mm	DESPLAZAMIENTO PROMEDIO mm
0.00	0.00	0.00	0.00
8.90	0.25	0.12	0.19
17.79	0.39	0.26	0.33
26.69	0.50	0.33	0.42
35.58	0.60	0.41	0.51
44.48	0.66	0.48	0.57
53.38	0.72	0.52	0.62
62.27	0.79	0.58	0.69
71.17	0.84	0.62	0.73
80.06	0.89	0.67	0.78
88.96	0.95	0.72	0.84
97.86	1.00	0.78	0.89
106.75	1.09	0.86	0.98
115.65	1.15	0.91	1.03
124.54	1.25	0.99	1.12
133.44	1.34	1.05	1.20
142.34	1.40	1.19	1.30
151.23	1.49	1.21	1.35
160.13	1.57	1.29	1.43
169.02	1.65	1.35	1.50
177.92	1.78	1.42	1.60

CARGA DE FALLA	317.45 kN
----------------	-----------

CARGA Vs. DESPLAZAMIENTO

M6-3-12-1
M6-3-12-3
NSR - 98

M6-3-12-2
PROMEDIO
COMPORTAMIENTO ELÁSTICO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A. DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA 

M6-3-12-2

CARGA kN	DESPLAZAMIENTO 1 mm	DESPLAZAMIENTO 2 mm	DESPLAZAMIENTO PROMEDIO mm
0.00	0.00	0.00	0.00
8.90	0.31	0.61	0.46
17.79	0.62	0.84	0.73
26.69	0.79	0.99	0.89
35.58	0.92	1.08	1.00
44.48	1.03	1.18	1.11
53.38	1.12	1.22	1.17
62.27	1.20	1.30	1.25
71.17	1.25	1.38	1.32
80.06	1.33	1.44	1.39
88.96	1.39	1.50	1.45
97.86	1.48	1.58	1.53
106.75	1.55	1.66	1.61
115.65	1.66	1.74	1.70
124.54	1.75	1.80	1.78
133.44	1.83	1.88	1.86
142.34	1.92	1.95	1.94
151.23	2.00	2.02	2.01
160.13	2.08	2.08	2.08
169.02	2.15	2.13	2.14
177.92	2.24	2.21	2.23

CARGA DE FALLA	351.79 kN
----------------	-----------

NSR - 98	
DIAMETRO (pul)	3/4
N. DE TORNILLOS	6
SEPARACION (m)	0.12
$A_{sc} (mm^2)$	285
$f'_c (Mpa)$	42.4
$E_c (Mpa)$	21324
CARGA NRS98 (kN)	91.2

0	91.2
5	91.2

COMPORTAMIENTO LINEAL	
0	0
1.1	140

PORCENTAJE DE CARGA DE FALLA
43.91%

PORCENTAJE DE DESPLAZAMIENTO MÁXIMO REGISTRADO
78.99%

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A. DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING.DORIAN LUIS LINERO SEGRERA 

M6-3-12-3

CARGA kN	DESPLAZAMIENTO 1 mm	DESPLAZAMIENTO 2 mm	DESPLAZAMIENTO PROMEDIO mm
0.00	0.00	0.00	0.00
8.90	0.20	0.08	0.14
17.79	0.30	0.14	0.22
26.69	0.42	0.23	0.33
35.58	0.52	0.33	0.43
44.48	0.58	0.36	0.47
53.38	0.64	0.41	0.53
62.27	0.69	0.45	0.57
71.17	0.74	0.50	0.62
80.06	0.78	0.54	0.66
88.96	0.82	0.57	0.70
97.86	0.86	0.62	0.74
106.75	0.91	0.65	0.78
115.65	0.94	0.68	0.81
124.54	0.98	0.73	0.86
133.44	1.01	0.78	0.90
142.34	1.09	0.84	0.97
151.23	1.15	0.88	1.02
160.13	1.20	0.94	1.07
169.02	1.26	0.97	1.12
177.92	1.33	1.04	1.19

CARGA DE FALLA	320.26 kN
----------------	-----------

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA
COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA
UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO

ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A.

DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA

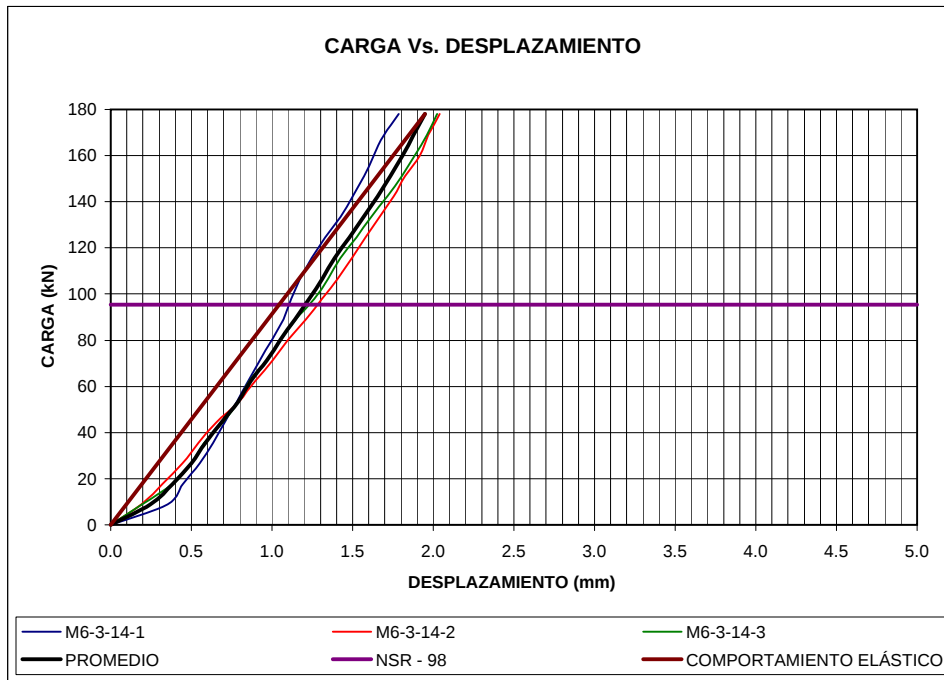
CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA



M6-3-14-1

CARGA kN	DESPLAZAMIENTO 1 mm	DESPLAZAMIENTO 2 mm	DESPLAZAMIENTO PROMEDIO mm
0.00	0.00	0.00	0.00
8.90	0.39	0.32	0.36
17.79	0.49	0.41	0.45
26.69	0.59	0.51	0.55
35.58	0.69	0.58	0.64
44.48	0.77	0.64	0.71
53.38	0.86	0.70	0.78
62.27	0.95	0.76	0.86
71.17	1.02	0.83	0.93
80.06	1.11	0.89	1.00
88.96	1.20	0.94	1.07
97.86	1.27	0.97	1.12
106.75	1.36	0.99	1.18
115.65	1.44	1.05	1.25
124.54	1.55	1.11	1.33
133.44	1.62	1.23	1.43
142.34	1.71	1.29	1.50
151.23	1.79	1.35	1.57
160.13	1.87	1.39	1.63
169.02	1.94	1.45	1.70
177.92	2.04	1.53	1.79

CARGA DE FALLA	353.79 kN
----------------	-----------



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A. DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA 

M6-3-14-2

CARGA kN	DESPLAZAMIENTO 1 mm	DESPLAZAMIENTO 2 mm	DESPLAZAMIENTO PROMEDIO mm
0.00	0.00	0.00	0.00
8.90	0.26	0.12	0.19
17.79	0.40	0.24	0.32
26.69	0.52	0.37	0.45
35.58	0.62	0.47	0.55
44.48	0.74	0.57	0.66
53.38	0.90	0.69	0.80
62.27	0.98	0.81	0.90
71.17	1.11	0.90	1.01
80.06	1.20	1.00	1.10
88.96	1.31	1.11	1.21
97.86	1.41	1.21	1.31
106.75	1.52	1.30	1.41
115.65	1.61	1.38	1.50
124.54	1.70	1.46	1.58
133.44	1.79	1.54	1.67
142.34	1.89	1.62	1.76
151.23	1.96	1.69	1.83
160.13	2.04	1.79	1.92
169.02	2.10	1.84	1.97
177.92	2.20	1.88	2.04

CARGA DE FALLA	299.66 kN
----------------	-----------

NSR - 98	
DIAMETRO (pul)	3/4
N. DE TORNILLOS	6
SEPARACION (m)	0.14
$A_{sc} (mm^2)$	285
$f'_c (Mpa)$	42.4
$E_c (Mpa)$	21324
CARGA NRS98 (kN)	95.5

0	95.5
5	95.5

COMPORTAMIENTO LINEAL	
0	0
1.95	178

PORCENTAJE DE CARGA DE FALLA
53.26%

PORCENTAJE DE DESPLAZAMIENTO MÁXIMO REC 100.00%

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA - DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO
ING. XAVIER FERNANDO HURTADO A. DIRECTOR: ING. MARITZABEL MOLINA HERRERA CODIRECTOR: ING. DORIAN LUIS LINERO SEGRERA 

M6-3-14-3

CARGA kN	DESPLAZAMIENTO 1 mm	DESPLAZAMIENTO 2 mm	DESPLAZAMIENTO PROMEDIO mm
0.00	0.00	0.00	0.00
8.90	0.14	0.25	0.20
17.79	0.30	0.47	0.39
26.69	0.43	0.57	0.50
35.58	0.50	0.66	0.58
44.48	0.60	0.79	0.70
53.38	0.69	0.89	0.79
62.27	0.77	0.95	0.86
71.17	0.87	1.07	0.97
80.06	0.98	1.12	1.05
88.96	1.04	1.25	1.15
97.86	1.15	1.37	1.26
106.75	1.24	1.46	1.35
115.65	1.32	1.53	1.43
124.54	1.41	1.64	1.53
133.44	1.49	1.74	1.62
142.34	1.59	1.84	1.72
151.23	1.68	1.93	1.81
160.13	1.77	2.00	1.89
169.02	1.84	2.08	1.96
177.92	1.90	2.15	2.03

CARGA DE FALLA	349.26 kN
----------------	-----------