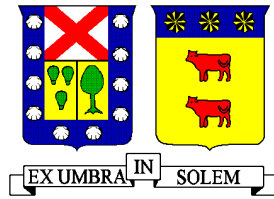


UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES
VALPARAISO – CHILE



EFFECTOS DE LAS AMARRAS Y SOLDADURA DE LOS ESTRIBOS EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE LOS ELEMENTOS DE HORMIGON ARMADO.

Memoria de titulación presentada por
FELIPE IGNACIO BASUALDO DONOSO

Como requisito parcial para optar al título de
Constructor Civil

Profesor guía
René Tobar Ramos

Abril de 2019

RESUMEN

El presente estudio explora el comportamiento de amarras y soldadura de estribos inclinados en 45° y estribos rectos en 90° en elementos de hormigón armado sometidos a solicitación sísmica. El caso de mayor interés se da en vigas que tienen como armadura transversal estribos inclinados, aquí la componente horizontal de la fuerza inclinada de los estribos tiende a desplazarlos a lo largo de las barras longitudinales, especialmente cuando el recubrimiento está muy dañado o ya no existe, afectando la resistencia al corte. Para investigar el problema se construyeron y ensayaron nueve vigas en voladizo de hormigón armado con diversas configuraciones de armadura transversal amarradas y soldadas, representando uniones exteriores viga-columna de marcos dúctiles, todas fueron ensayadas bajo solicitación sísmica en el Laboratorio de Ingeniería Sismorresistente de la UTFSM.

Las dimensiones de las vigas fueron 50 [cm] x 13,5 [cm] x 7,5 [cm] ancladas en un segmento de columna de 50 [cm] x 31 [cm] x 11,1 [cm], y pueden considerarse a 1/3 de la escala real. Se construyeron vigas con estribos rectos, y vigas con estribos inclinados. Algunas de ellas con estribos convencionales con gancho sísmico, otras sin gancho sísmico y con los extremos soldados configurando un cerco continuo, otras con los estribos amarrados a las barras longitudinales de la forma convencional y otras con los estribos soldados a éstas. En todas estas probetas la armadura longitudinal fue con barras de acero soldable CAPSOL A630 – 420S de 8 [mm], mientras que la armadura transversal fue con acero AT56 – 50H, excepto en las últimas probetas construidas en que la armadura transversal fue de acero inoxidable de diámetro 3 [mm].

Eliminar el gancho sísmico y fabricar los estribos en forma de cerco soldados facilitó la confección de la armadura en su conjunto, aparte de mejorar el confinamiento del hormigón en las etapas finales de los ensayos, retardando significativamente el colapso.

Los mejores resultados se obtuvieron con armadura transversal en 45° , con estribos soldados en forma de cercos, amarrados a la armadura longitudinal y no soldados a esta última. La mayoría de las vigas con estribos soldados a la armadura longitudinal cortó alguna de sus barras principales de refuerzo en los ciclos de 25 [mm], causando una falla catastrófica del conjunto antes de llegar a la etapa final del programa de carga. Al parecer, la explicación es que, como las soldaduras fueron realizadas en condiciones normales de obra y sin ninguna preparación especial, las propiedades resistentes del acero A630 – 420S quedaron afectadas considerablemente.

ABSTRACT

This study compares the behavior of tie wire assembled reinforcement versus soldered reinforcement of 45 deg. stirrups and 90 deg. stirrups reinforced concrete elements subjected to seismic solicitation. Inclined stirrups in beams are the most interesting case because the horizontal component of the force, taken by the inclined stirrups, may displace them along the horizontal main bars, specially when concrete cover is lost. Consequently, shear resistance of the element may be affected.

In this work, nine reinforced concrete cantilever beams with different configurations of transverse reinforcement, some of them tied to the main reinforcement as it is usually done, and soldered to the main reinforcement the others, were constructed and tested under seismic solicitation at the Earthquake Design Lab. of the UTFSM. The cantilever beams were joined to column segments configuring exterior beam-column joints of seismic reinforced concrete frames.

Dimensions of beams were 50 [cm] x 13,5 [cm] x 7,5 [cm] and dimensions of column segments were 50 [cm] x 31 [cm] x 11,1 [cm]. Actually, they can be considered 1/3 scale models of the real structure. All main reinforcement were made with weldable CAPSOL A630-420S steel bars, and most transverse reinforcement were made using AT56-50H (ACMA mesh) steel bars.

Excellent results were obtained using 45 deg. Inclined stirrups wire-tied and not soldered to main longitudinal reinforcement. Displacement of stirrups were not important. Most beams with stirrups soldered to main reinforcement cut their longitudinal bars before the end of the test program, suffering catastrophic failure. The reason for that seems to be that CAPSOL steel bars require special preparation before being soldered, difficult to get in common construction practice.

INDICE

CAPITULO I	1
Introducción	1
 CAPITULO II	 3
Características de las probetas.....	3
2.1. Zona de estudio	3
2.2. Detalles de los especímenes.....	4
2.2.1. Estribos utilizados en la investigación	5
2.2.2. Amarras y soldadura	6
2.2.3. Probetas G.F.1 y G.F.2.....	8
2.2.5. Probetas E.B.1 y E.B.2.....	10
2.2.6. Probeta C.B.1.....	11
2.2.7. Probetas M.D.1 – N.B.1.....	12
2.3. Materiales	13
2.3.1. Hormigón	13
2.3.2. Acero	14
 CAPITULO III	 19
Estudios previos y construcción de los especímenes de ensayo	19
3.1. Estudios de estribos inclinados	19
3.2. Construcción de especímenes	20
3.3. Confección del refuerzo de la columna	21
3.4. Confección del refuerzo de la viga.....	21
3.5. Hormigonado.....	22
 CAPITULO IV	 23
Montaje e Instrumentación.....	23

CAPITULO V	25
Resultados	25
5.1. Espécimen G.F.1.....	26
5.2. Espécimen G.F.2.....	30
5.3. Espécimen P.1	34
6.4. Espécimen P.2	38
5.5. Espécimen E.B.1.....	42
6.6. Espécimen E.B.2.....	46
5.7. Espécimen C.B.1.....	50
6.8. Espécimen M.D.1	54
5.9. Espécimen N.B.1.....	58
5.10. Comentarios de los Resultados.....	62
5.10.1. Cambio de estribos con gancho sísmico a cerco cerrado con soldadura	62
5.10.2. Deslizamiento	63
5.10.3. Amarras y soldaduras	64
 CAPITULO VI.....	 65
Conclusiones	65
 BIBLIOGRAFIA.....	 66

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Deterioro de voladizo con estribos inclinados ensayado a 30 [mm].....	1
Figura 2. Viga con estribos amarrados (izquierda) y viga con estribos soldados (derecha).	2
Figura 4. Especímenes sometidos a ensayo.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 3. Figura 4. Representación de la zona que corresponde a los especímenes confeccionados.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 5. Armaduras de los especímenes de la investigación.....	4
Figura 6. Estribos de la investigación.....	5
Figura 7. Tipos de amarras con alambre. GERDAU AZA (2005).....	6
Figura 8. Amarra utilizada en la unión estribo-barra longitudinal.	6
Figura 9. Estribos de acero inoxidable soldados con cerco continuo	7
Figura 10. Pistola XDL-220.....	7
Figura 11. Detalle de las armaduras de las probetas G.F.1 y G.F.2.....	8
Figura 12. Algunas características de las probetas G.F.1 y G.F.2.....	8
Figura 13. Detalle de las armaduras de las probetas P1 y P2.....	9
Figura 14. Algunas características de las probetas P1 y P2.....	9
Figura 15. Detalle de las armaduras de las probetas E.B.1 y E.B.2	10
Figura 16. Algunas características de las probetas E.B.1 y E.B.2	10
Figura 17. Detalle de la armadura de la probeta C.B.1.....	11
Figura 18. Algunas características de la probeta C.B.1.....	11
Figura 19. Detalles de las armaduras de las probetas M.D.1 y N.B.1	12
Figura 20. Algunas características de las probetas M.D.1 y N.B.1	12
Figura 21. Curva del ensayo a tracción de una barra de acero empleado en columnas. ...	14
Figura 22. Curva del ensayo a tracción de una barra de acero empleado en vigas.....	15
Figura 23. Curvas del ensayo a tracción de una barra de acero empleado en columnas y vigas G.F.1 – G.F.2 – P.1 – P.2.	16
Figura 24. Curva del ensayo a tracción de una barra de acero empleada en la armadura transversal de las vigas E.B.1 – E.B.2 – C.B.1 – M.D.1 – N.B.1.	17
Figura 25. Moldaje de los especímenes.	18
Figura 26. Ensayo de viga con estribos convencionales. Vergara (2014).	19
Figura 27. Armadura de columna utilizada en memorias anteriores (izquierda) y armadura de columna utilizada en esta memoria (derecha).	20
Figura 28. Machina utilizada para la confección de estribos Pino (2016) (izquierda) y machina utilizada para la confección de estribos en la presente memoria (derecha)	20
Figura 29. Armadura de la columna.	21
Figura 30. Armado y soldadura de las enfierraduras	21
Figura 31. Proceso de hormigonado. Mezcle en betonera (izquierda) y platachado de hormigón (derecha).	22
Figura 32. Montaje de un espécimen en el sistema de apoyo.....	23
Figura 33. Esquema del montaje del ensayo e instrumentación	24
Figura 34. Curva fuerza y desplazamiento en función del tiempo. Ciclos de amplitud 20 [mm]	25

Figura 35. Armadura G.F.1.	26
Figura 36. Curvas de fuerza-desplazamiento para probeta G.F.1	26
Figura 37. G.F.1. Cuarto ciclo, amplitud 25 [mm]. (Máximo desplazamiento positivo).....	27
Figura 38. G.F.1. Cuarto ciclo, amplitud 25 [mm]. (Máximo desplazamiento negativo)	27
Figura 39. G.F.1. Primeras grietas durante ciclos de 5 [mm] y 10 [mm]	28
Figura 40. G.F.1. Estado de la probeta cerca del término del ensayo en el segundo ciclo de 25 [mm].	28
Figura 41. Curva fuerza-desplazamiento viga G.F.1. Amplitud 25 [mm]	29
Figura 42. Armadura G.F.2.	30
Figura 43. Curvas de fuerza-desplazamiento para probeta G.F.2	30
Figura 44. G.F.2. Quinto ciclo, amplitud 25 [mm]. (Máximo desplazamiento positivo)	31
Figura 45. G.F.2. Quinto ciclo, amplitud 25 [mm]. (Máximo desplazamiento negativo)	31
Figura 46. G.F.2. Primeras grietas en los ciclos de 10 [mm] y posterior desprendimiento de hormigón.	32
Figura 47. G.F.2. Estado del espécimen cerca del término del ensayo.	32
Figura 48. Curva fuerza-deslizamiento viga G.F.2. Amplitud 25 [mm].	33
Figura 49. Armadura P.1.	34
Figura 50. Curvas de fuerza-desplazamiento para probeta P.1.	34
Figura 51. P.1. Quinto ciclo. Amplitud 25 [mm]. (Máximo desplazamiento positivo)	35
Figura 52. P.1. Quinto ciclo. Amplitud 25 [mm]. (Máximo desplazamiento negativo).....	35
Figura 53. P.1. Estado del espécimen al finalizar los ciclos de 20 [mm].	36
Figura 54. P.1. Estado final de la probeta al término del quinto ciclo de 30 [mm].	36
Figura 55. Curva fuerza-deformación viga P.1. Amplitud 25 [mm].	37
Figura 56. Armadura P.2.	38
Figura 57. Curvas de fuerza-desplazamiento para probeta P.2.	38
Figura 58. P.2. Quinto ciclo. Amplitud 25 [mm]. (Máximo desplazamiento positivo).	39
Figura 59. P.2. Quinto ciclo. Amplitud 25 [mm]. (Máximo desplazamiento negativo).....	39
Figura 60. P.2. Estado del espécimen al finalizar ciclos de 30 [mm].	40
Figura 61. Curva fuerza-desplazamiento viga P.2. Amplitud 25 [mm].	41
Figura 62. Armadura E.B.1.	42
Figura 63. Curvas de fuerza-desplazamiento para probeta E.B.1.	42
Figura 64. E.B.1. Cuarto ciclo. Amplitud 25 [mm]. (Máximo desplazamiento positivo)	43
Figura 65. E.B.1. Cuarto ciclo. Amplitud 25 [mm]. (Máximo desplazamiento negativo).....	43
Figura 66. E.B.1. Estado de la probeta al finalizar los ciclos de 20 [mm].....	44
Figura 67. E.B.1. Estado de la probeta al finalizar el ensayo.....	44
Figura 68. Curva fuerza-deformación viga E.B.1. Amplitud 25 [mm].	45
Figura 69. Armadura E.B.2.	46
Figura 70. Curvas de fuerza-desplazamiento para probeta E.B.2.	46
Figura 71. E.B.2. Quinto ciclo. Amplitud 25 [mm]. (Máximo desplazamiento positivo).....	47
Figura 72. E.B.2. Quinto ciclo. Amplitud 25 [mm]. (Máximo desplazamiento negativo).	47
Figura 73. E.B.2. Estado de la probeta al finalizar los ciclos de 10 [mm].....	48
Figura 74. E.B.2. Estado del espécimen al termino de los ciclos de 25 [mm]	48
Figura 75. Curva fuerza-desplazamiento viga E.B.2. Amplitud 25 [mm].	49
Figura 76. Armadura C.B.1.	50
Figura 77. Curvas de fuerza-desplazamiento probeta C.B.1.	50

Figura 78. C.B.1. Quinto ciclo. Amplitud 25 [mm]. (Máximo desplazamiento positivo).	51
Figura 79. C.B.1. Quinto ciclo. Amplitud 25 [mm]. (Máximo desplazamiento negativo).	51
Figura 80. C.B.1. Estado final de la probeta al finalizar los ciclos de 25 [mm]	52
Figura 81. Curva fuerza-deslizamiento viga C.B.1. Amplitud 25 [mm].	53
Figura 82. Armadura M.D.1.	54
Figura 83. Curvas de fuerza-desplazamiento para probeta M.D.1.....	54
Figura 84. M.D.1. Quinto ciclo. Amplitud 25 [mm]. (Máximo desplazamiento positivo).	55
Figura 85. M.D.1. Quinto ciclo. Amplitud 25 [mm]. Máximo desplazamiento negativo).	55
Figura 86. M.D.1. Estado de la probeta al finalizar los cinco ciclos de 30 [mm].	56
Figura 87. Curva fuerza-desplazamiento viga M.D.1. Amplitud 25[mm]	57
Figura 89. Curvas de fuerza-desplazamiento probeta N.B.1.	58
Figura 88. Armadura N.B.1.	58
Figura 90. N.B.1. Quinto ciclo. Amplitud 25 [mm]. (Máximo desplazamiento positivo).	59
Figura 91. N.B.1. Quinto ciclo. Amplitud 25 [mm]. (Máximo desplazamiento negativo).	59
Figura 92. N.B.1 Estado de la probeta al finalizar los ciclos de 25 [mm].....	60
Figura 93. Curva fuerza-desplazamiento viga N.B.1. Amplitud 25 [mm].	61
Figura 94. Estribo con gancho sísmico (izquierda). Estribo cerrado traslapado y soldado (derecha).	62
Figura 95. Estribo cortado lejos del punto de soldadura.....	62
Figura 96. Agrietamiento en zona exterior de la columna a causa del deslizamiento de las barras de refuerzo longitudinal.	63
Figura 97. Gráfico 25 [mm] y deterioro probeta E.B.1 (izquierda) y gráfico 25 [mm] y deterioro probeta C.B.1 (derecha).	64

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Dosificación considerada para el hormigonado de una probeta.....	13
Tabla 2. Resistencia a la compresión medida	13
Tabla 3. Especificaciones de armadura longitudinal de columnas.	14
Tabla 4. Especificaciones de armadura longitudinal de vigas.....	15
Tabla 5. Especificaciones de acero de refuerzo al corte de vigas y columnas.	16
Tabla 6, Especificaciones de acero de refuerzo al corte de vigas.	17
Tabla 7. Programa de carga.....	24
Tabla 8. Resumen de las características principales de las probetas ensayadas.	25

CAPITULO I

Introducción

En elementos de hormigón armado, la armadura transversal inclinada ha demostrado un comportamiento óptimo desde el punto de vista de su desempeño frente a sollicitación sísmica, en particular donde el esfuerzo de corte es importante. Sin embargo, la componente horizontal de la fuerza inclinada tiende a desplazar los estribos a lo largo de las barras longitudinales, especialmente cuando el recubrimiento está muy dañado o ya no existe, como lo han revelado varios ensayos realizados en el Laboratorio de Ingeniería Sismorresistente del Departamento de Obras Civiles de la UTFSM. Estos desplazamientos de los estribos pueden afectar considerablemente la resistencia al corte de los elementos estructurales.

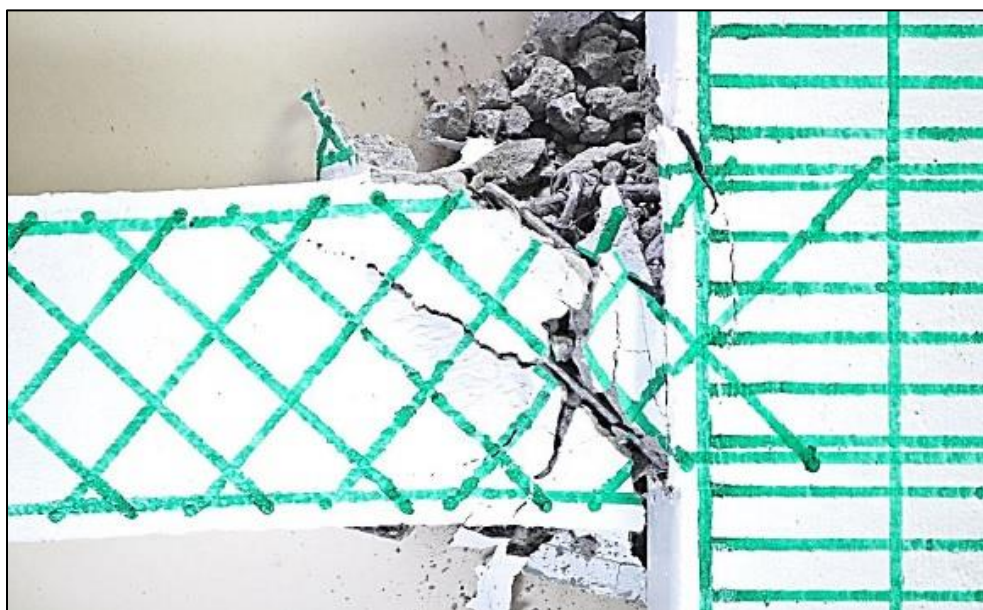


Figura 1. Deterioro de voladizo con estribos inclinados ensayado a 30 [mm].

Para obtener datos que permitan investigar y dar solución al problema, se construyó un conjunto de vigas en voladizo con armadura transversal inclinada, representando uniones exteriores viga-columna de marcos dúctiles o, mejor dicho, la parte de la viga próxima al nudo más un segmento de la columna.

Se hicieron estribos de la forma tradicional con gancho sísmico y estribos en forma de un cerco cerrado con soldadura para analizar las fallas que pueden tener cada uno de ellos. En algunas probetas los estribos fueron amarrados a la armadura principal y en otras fueron soldados.

Cuando los estribos fueron amarrados a las barras de refuerzo longitudinal se quiso observar si estos se corren al realizar una amarra firme (figura 2 izquierda), como las que aparecen recomendadas en el manual de armadura de GERDAU AZA. Y cuando los estribos fueron soldados a las barras de refuerzo de acero CAPSOL (figura 2 derecha), la idea fue analizar si la soldadura evita el corrimiento sin afectar otras condiciones del acero.

En las últimas probetas construidas los estribos fueron de acero inoxidable diámetro 3 [mm], como se desea hacer de ahora en adelante, en vez de acero estriado AT56 – 50H de 4,2 [mm], utilizado en la mayoría de los estudios hasta ahora. Otro de los objetivos fue verificar que no existieran diferencias significativas entre el comportamiento de las probetas armadas con esos dos tipos de acero.

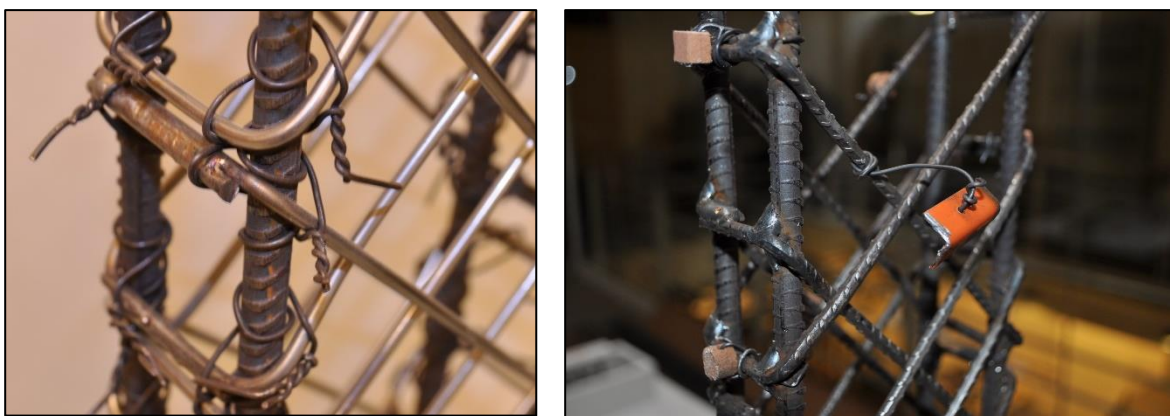


Figura 2. Viga con estribos amarrados (izquierda) y viga con estribos soldados (derecha).

A continuación, se indica el temario por capítulos de esta memoria:

El capítulo dos siguiente describe las características de las probetas, detallando cada una de ellas en lo que refiere a su confección, estribos, soldadura, amarras y materiales utilizados.

El capítulo tres muestra algunos estudios previos y detalla el proceso de construcción de los especímenes.

El capítulo cuatro describe el montaje e instrumentación de los ensayos.

El capítulo cinco exhibe los resultados, fotografías y curvas de histéresis, correspondientes a las etapas más relevantes del estudio, además de comentar lo ocurrido en el desempeño y fallas ocurridas.

Finalmente, en el capítulo seis se entregan las conclusiones del trabajo, dejando algunas interrogantes para trabajos posteriores.

CAPITULO II

Características de las probetas.

2.1. Zona de estudio

Los especímenes confeccionados son similares a los de memoristas anteriores, representando la zona de unión exterior viga-columna de un marco de hormigón armado en un piso intermedio, cuyas deformaciones sometidas a fuerzas laterales equivalentes a la sollicitación sísmica se observan en el modelo de la figura 3.

La figura 4 muestra uno de los especímenes listo para ser ensayado.

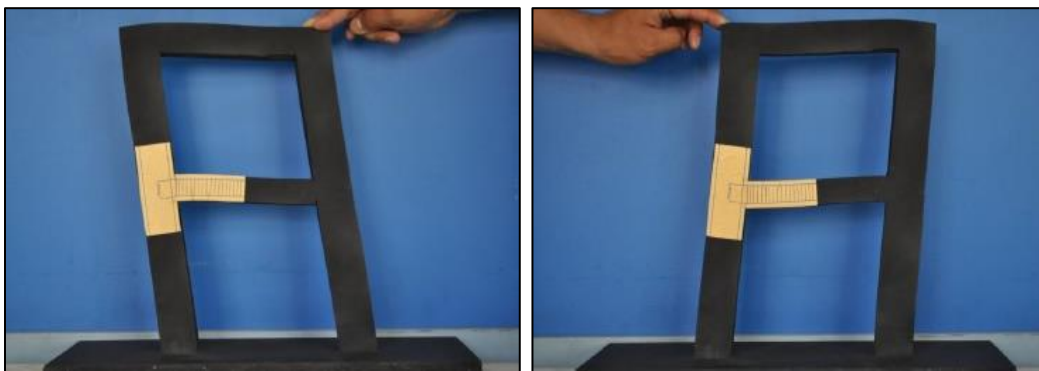


Figura 4. Representación de la zona que corresponde a los especímenes confeccionados

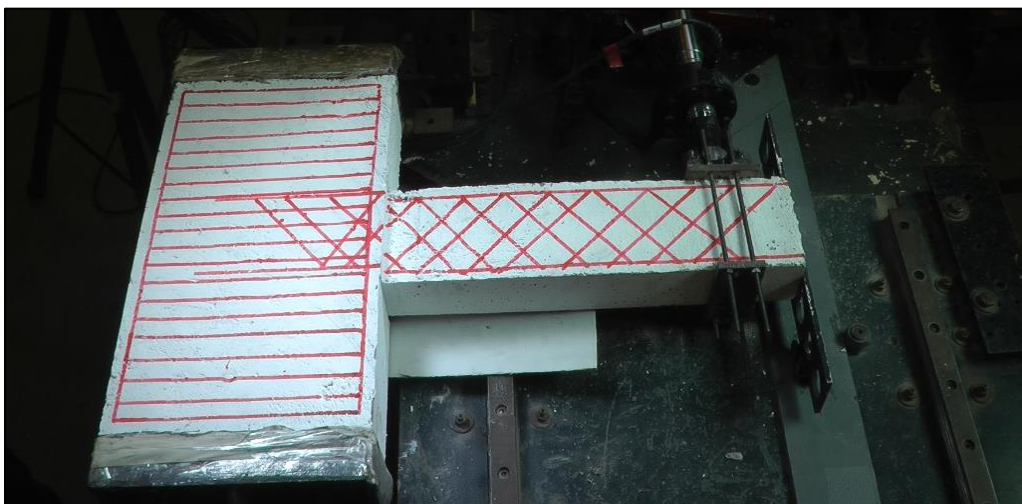


Figura 3. Especímenes sometidos a ensayo

2.2. Detalles de los especímenes

Se construyeron nueve probetas. Las dimensiones de las vigas fueron 50 [cm] x 13,5 [cm] x 7,5 [cm] y los segmentos de columna fueron de 50 [cm] x 31 [cm] x 11,1 [cm]. Las probetas pueden considerarse a 1/3 de la escala real.

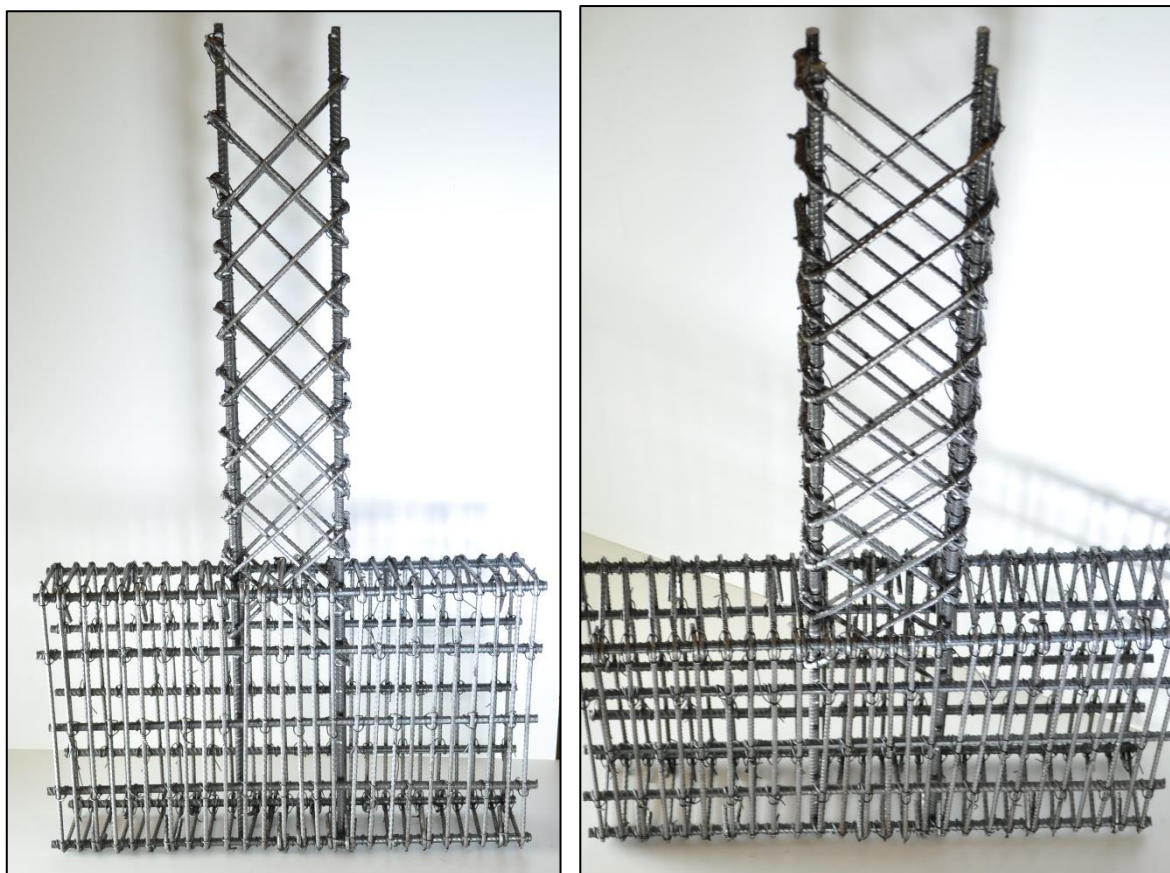


Figura 5. Armaduras de los especímenes de la investigación

La figura 5 muestra las armaduras terminadas de dos de los especímenes de esta investigación. Se utilizó acero soldable CAPSOL A630-240S de 8 mm de diámetro para las barras de refuerzo longitudinal. La armadura transversal fue con estribos de 4,2 mm de diámetro de acero AT56 – 50H, del cual se fabrican las mallas ACMA, de uso común en el país, y que también es soldable. Sin embargo, por la dificultad de conseguir este acero y para facilitar la construcción de los especímenes de prueba, los últimos fueron con acero inoxidable de 3 [mm].

La norma NCh204 no permite para estos casos usar los aceros empleados aquí para la fabricación de los estribos. Sin embargo, se supuso que esta libertad en la elección del material no traería mayores consecuencias debido al pequeño tamaño de los especímenes y porque era improbable que los estribos fluyeran. De esta manera sólo importaba la fuerza que éstos resistieran antes de la fluencia.

2.2.1. Estribos utilizados en la investigación

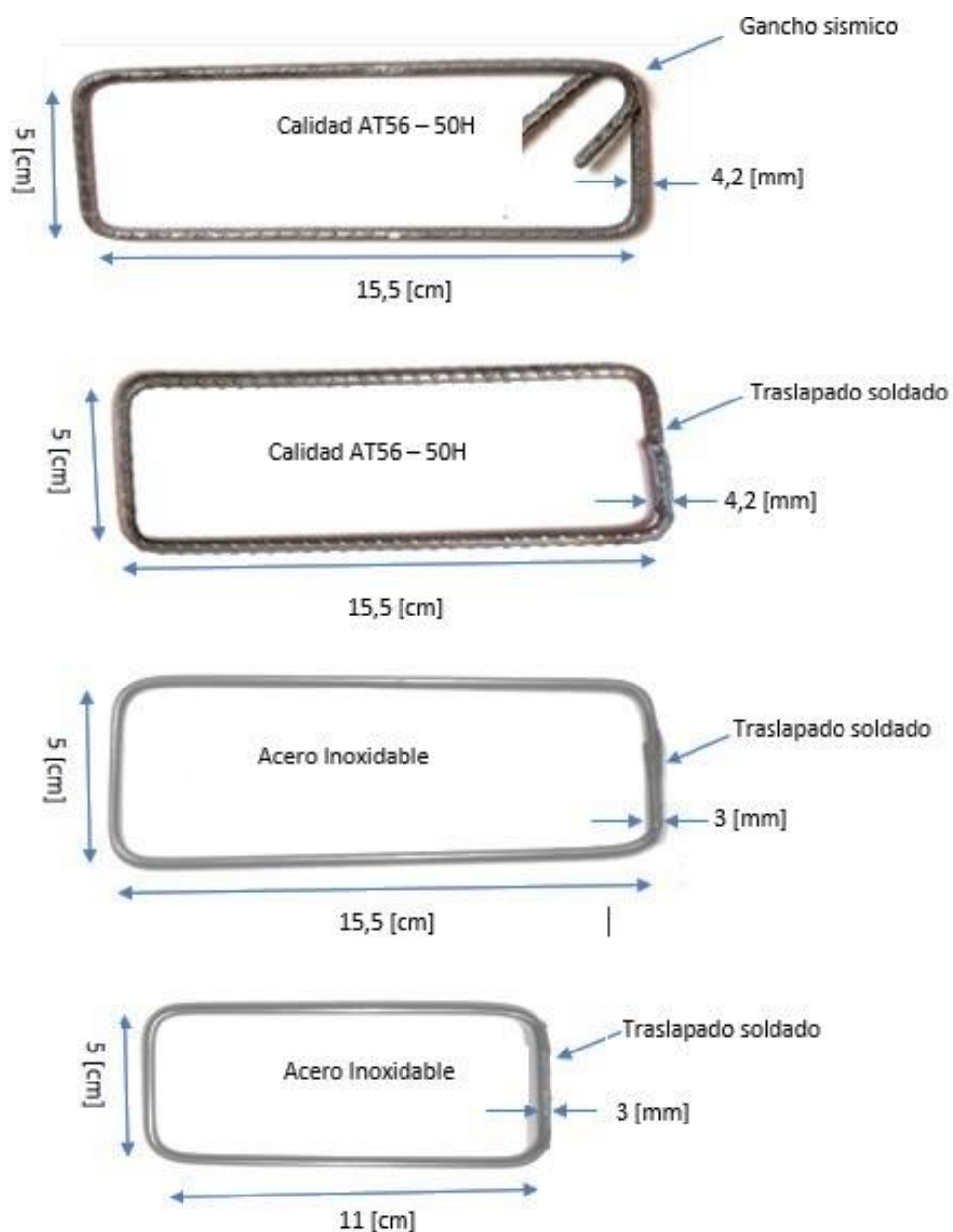


Figura 6. Estribos de la investigación.

La figura 6 muestra los distintos tipos de estribos utilizados. En los primeros especímenes éstos fueron fabricados en la forma tradicional, es decir doblados con una grifa en una machina y terminando con un gancho sísmico. Después, en vez del gancho sísmico, se traslaparon los extremos y se soldaron.

2.2.2. Amarras y soldadura

2.2.2.1. Amarras utilizadas para unir los estribos a las barras longitudinales

En lo que respecta a los tipos de amarras, el manual de armaduras de GERDAU AZA presenta seis tipos distintos de amarras básicas con alambre, los cuales se muestran en la figura 7.

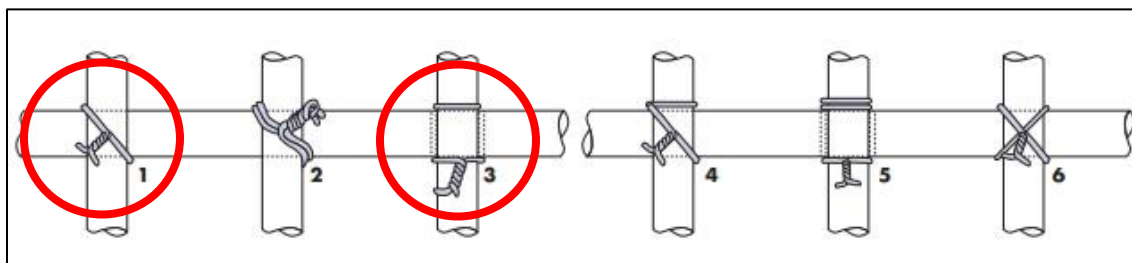


Figura 7. Tipos de amarras con alambre. GERDAU AZA (2005)

Las amarras en los especímenes, se hicieron con una combinación de los tipos de amarra número uno y número tres. Comenzando con la amarra número tres envolviendo el acero longitudinal con una vuelta completa, para luego seguir con la amarra número uno, donde se pasa el alambre en forma diagonal sobre las dos barras, dejando las puntas hacia arriba, para posteriormente, retorcerlas con el alicate, hasta que queden apretadas. Esta amarra se muestra en la figura 8.

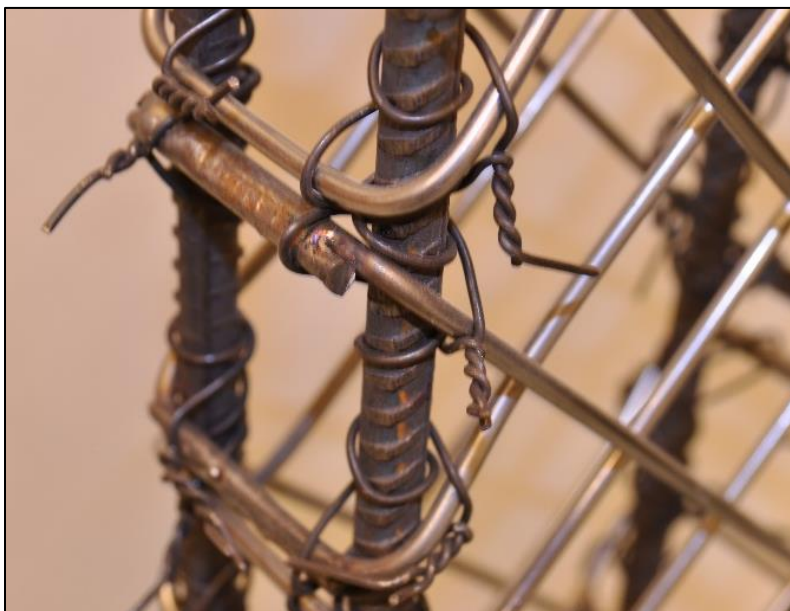


Figura 8. Amarra utilizada en la unión estribo-barra longitudinal.

2.2.2.2. Soldadura para la confección de estribos y unión de estribos – acero longitudinal

Para la confección de estribos con acero AT56 – 50H y unión de estos con las barras de refuerzo longitudinal se utilizó soldadura tipo alambre MIG 70s 0,8 [mm], mientras que para la confección de estribos de acero inoxidable de 3 [mm] se utilizaron electrodos 316L (AWS E316L-16).



Figura 9. Estribos de acero inoxidable soldados con cerco continuo

2.2.2.3. Pistola XDL-220

El profesor guía facilitó una pistola XDL-220 especial para realizar amarras de armaduras. de elementos de hormigón armado, la cual se muestra en la Fig.10. Sin embargo, se comprobó que las amarras realizadas con la máquina resultaron menos firmes que las efectuadas manualmente de forma cuidadosa, por lo tanto, no se usó.



Figura 10. Pistola XDL-220.

En las Figs. 11 al 20 se describen en detalle las armaduras de los especímenes construidos.

2.2.3. Probetas G.F.1 y G.F.2

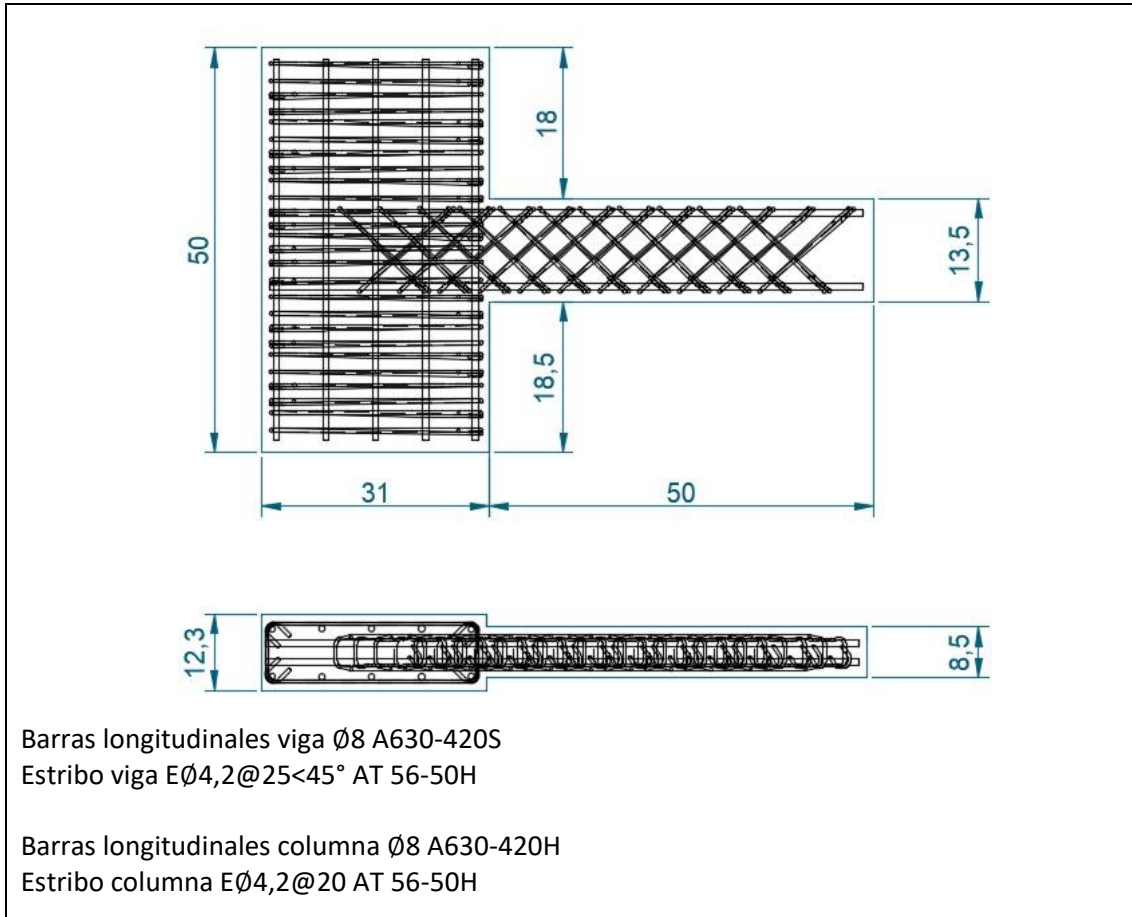


Figura 11. Detalle de las armaduras de las probetas G.F.1 y G.F.2



Figura 12. Algunas características de las probetas G.F.1 y G.F.2.

2.2.4. Probetas P1 y P2

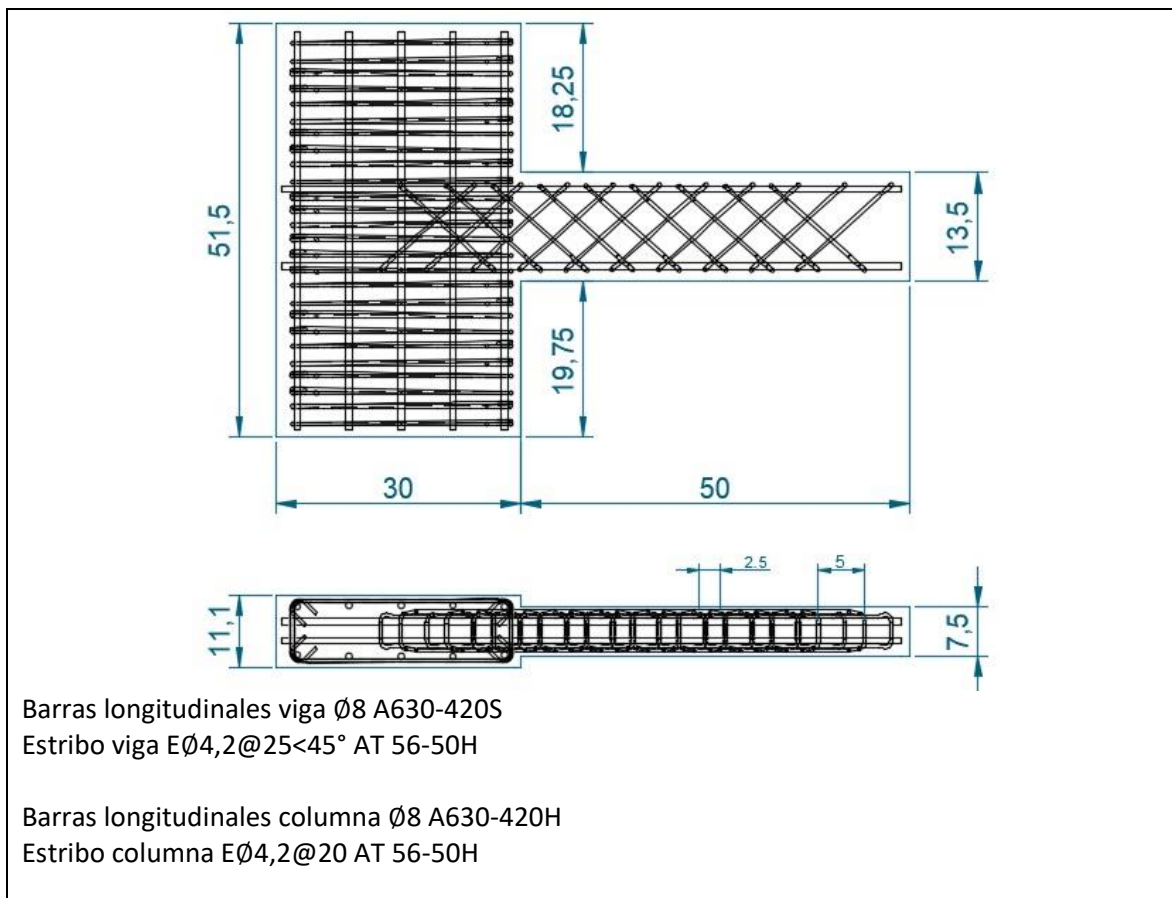


Figura 13. Detalle de las armaduras de las probetas P1 y P2

Se utilizaron estribos cerrados traslapados y soldados, con acinturamiento exterior e interior

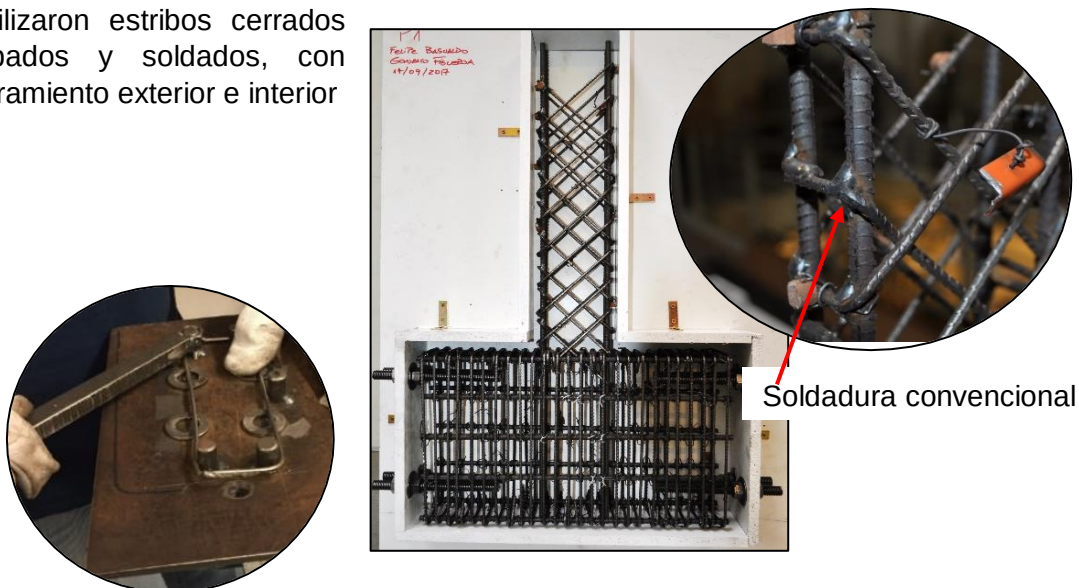


Figura 14. Algunas características de las probetas P1 y P2

2.2.5. Probetas E.B.1 y E.B.2

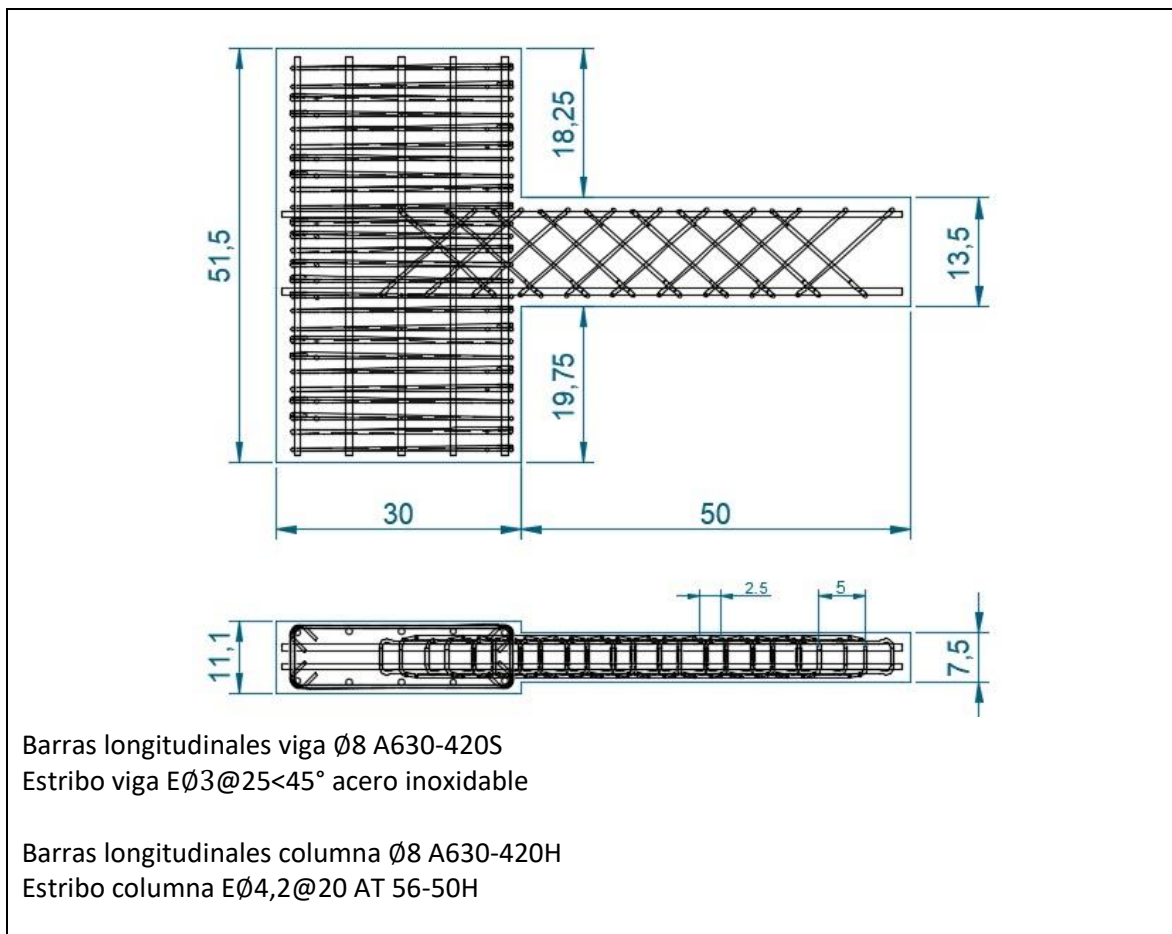


Figura 15. Detalle de las armaduras de las probetas E.B.1 y E.B.2



Intervención al espécimen después de ser hormigonado, realizando dos agujeros en la columna para posterior instalación de cámaras.

Cámaras para medir desplazamiento de una barra longitudinal al interior de la columna.

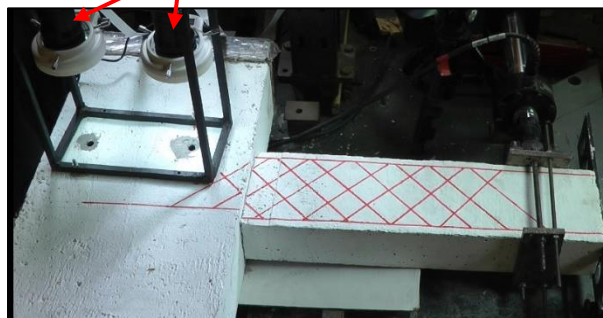


Figura 16. Algunas características de las probetas E.B.1 y E.B.2

2.2.6. Probeta C.B.1

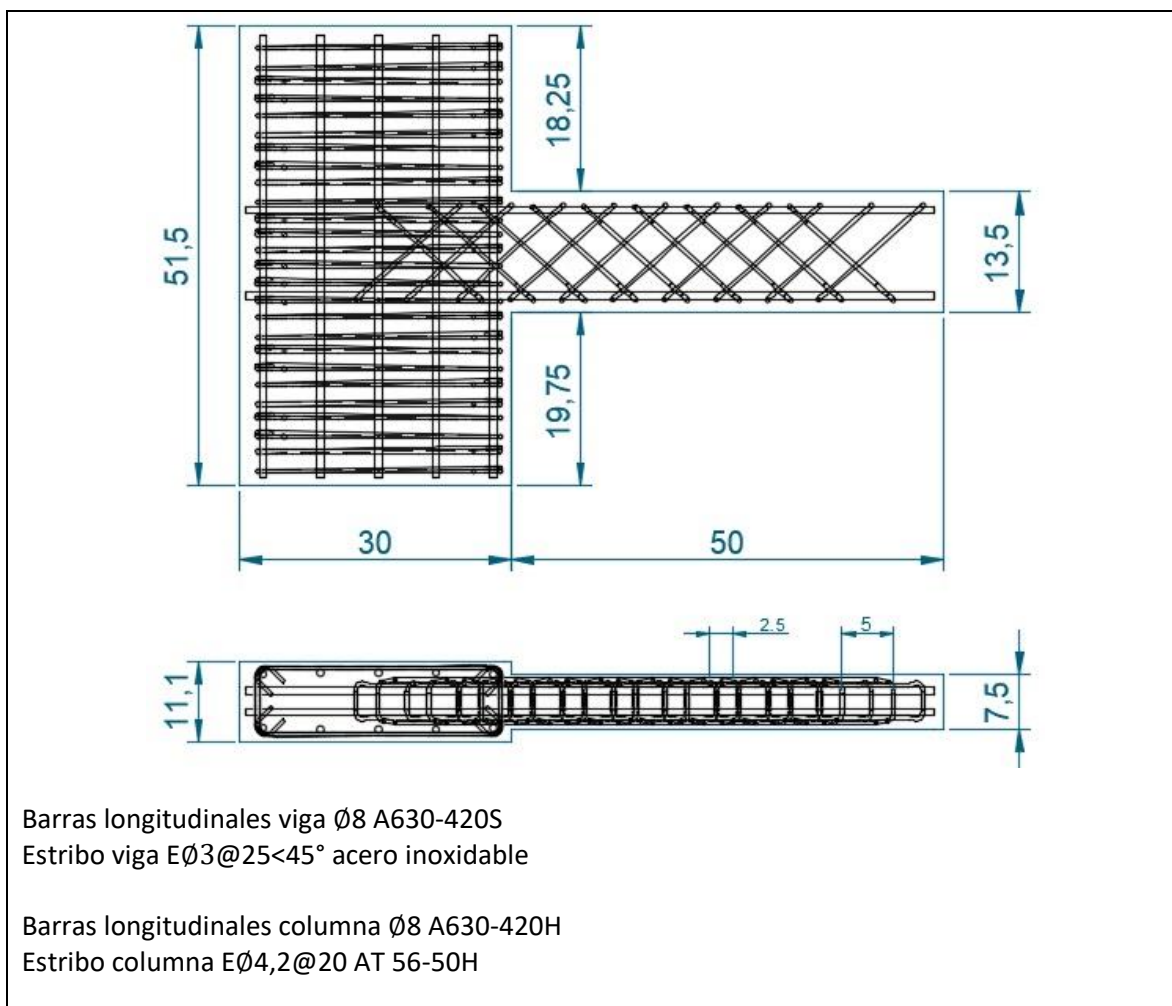


Figura 17. Detalle de la armadura de la probeta C.B.1

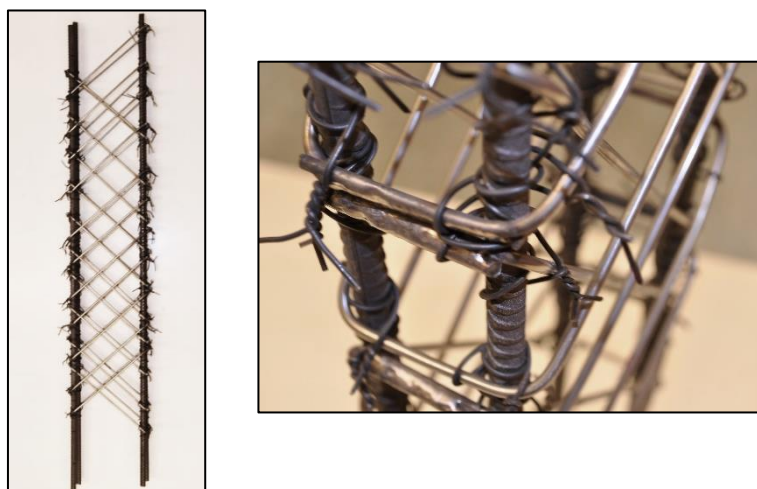


Figura 18. Algunas características de la probeta C.B.1

2.2.7. Probetas M.D.1 – N.B.1

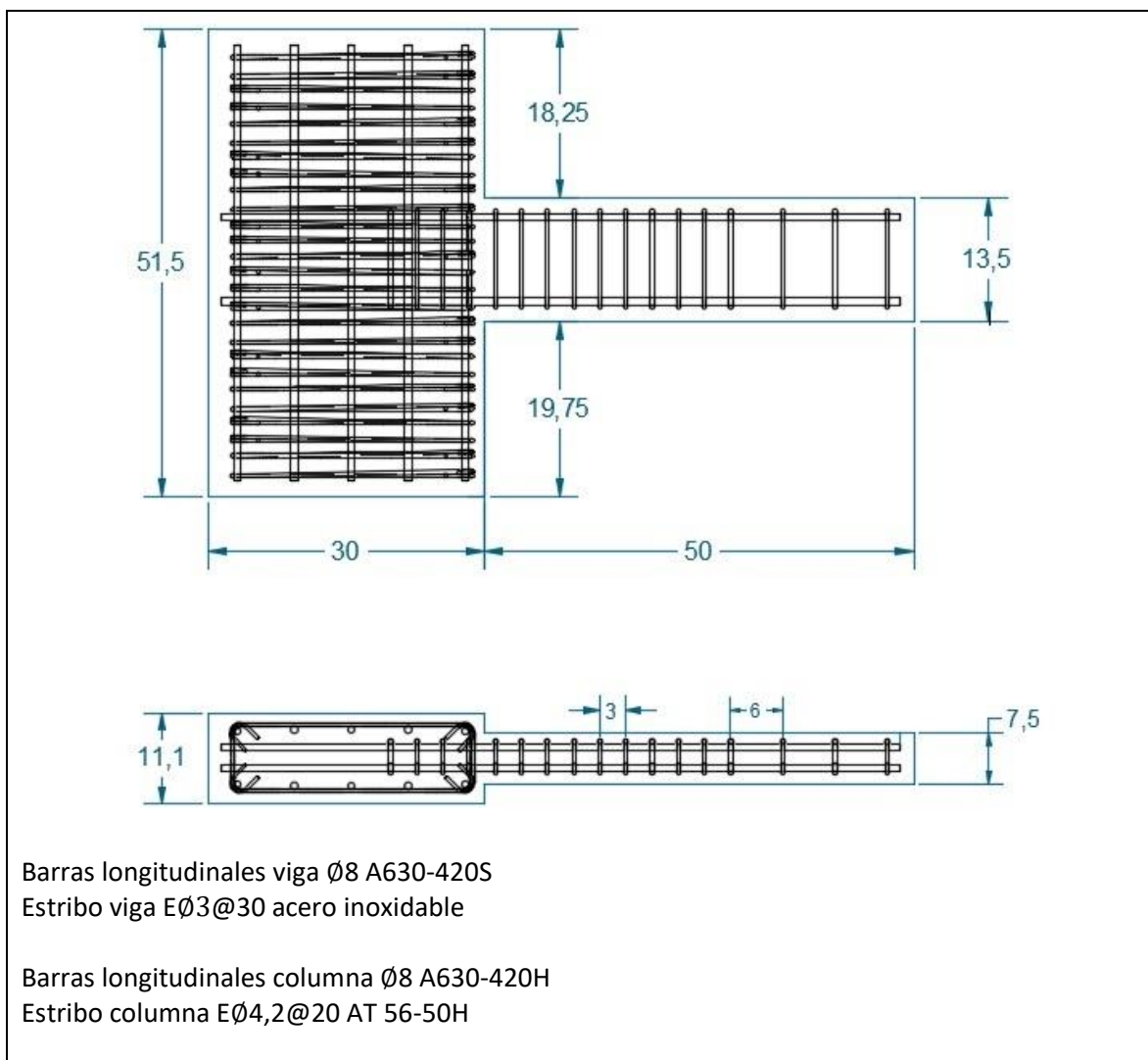


Figura 19. Detalles de las armaduras de las probetas M.D.1 y N.B.1



Figura 20. Algunas características de las probetas M.D.1 y N.B.1

2.3. Materiales

2.3.1. Hormigón

2.3.1.1. Dosificación de materiales para la mezcla

Se presenta en la tabla 1 los materiales y dosificaciones utilizadas para la confección de una probeta con hormigón preparado BEMEZCLA, tamaño máximo nominal de 8 [mm]. La resistencia certificada por el fabricante para la dosificación establecida es de 20 MPa. Debido a que esta es menor a la considerada para fabricar las probetas, se incorporó 0,8 [kg] de cemento melón especial y 1[L] de agua adicional por cada 12 [L] de BEMEZCLA HORMIGON H-20.

Tabla 1. Dosificación considerada para el hormigonado de una probeta

Material	Cantidad	Unidad
Hormigón preparado (BEMEZCLA H-20)	2	Saco (25 Kg)
Cemento Melón Especial	1,6	Kg
Agua	5	L
	1	L
Desmoldante		

2.3.1.2. Resistencias cilíndricas

Se realizaron ensayos para obtener la resistencia cilíndrica a los 28 días acorde a la norma NCh 1037-2009, obteniéndose los valores de la Tabla 2.

Tabla 2. Resistencia a la compresión medida

Nombre espécimen	Resistencia cilíndrica [MPa]
	28 días
G.F.1 y G.F.2	43,6
P.1 y P.2	36,1
E.B.1 y E.B.2	36,4
C.B.1, N.B.1 y M.D.1	41,9

2.3.2. Acero

A continuación, en las tablas 3 a 6 y figuras 21 a 24 se presenta un resumen de las características de los aceros empleados. La elongación indicada en los gráficos corresponde al desplazamiento del pistón de la máquina MTS utilizada en el ensayo de las barras, lo cual no es exacto pero suficiente para el dibujo.

2.3.2.1. Acero A630 – 420H

Tabla 3. Especificaciones de armadura longitudinal de columnas.

Fabricante	Gerdau Aza
Denominación	A630 - 420H
Diámetro nominal	8 [mm]
Esfuerzo nominal de fluencia	$f_y = 420$ [Mpa]
Esfuerzo nominal de rotura	$f_u = 630$ [Mpa]

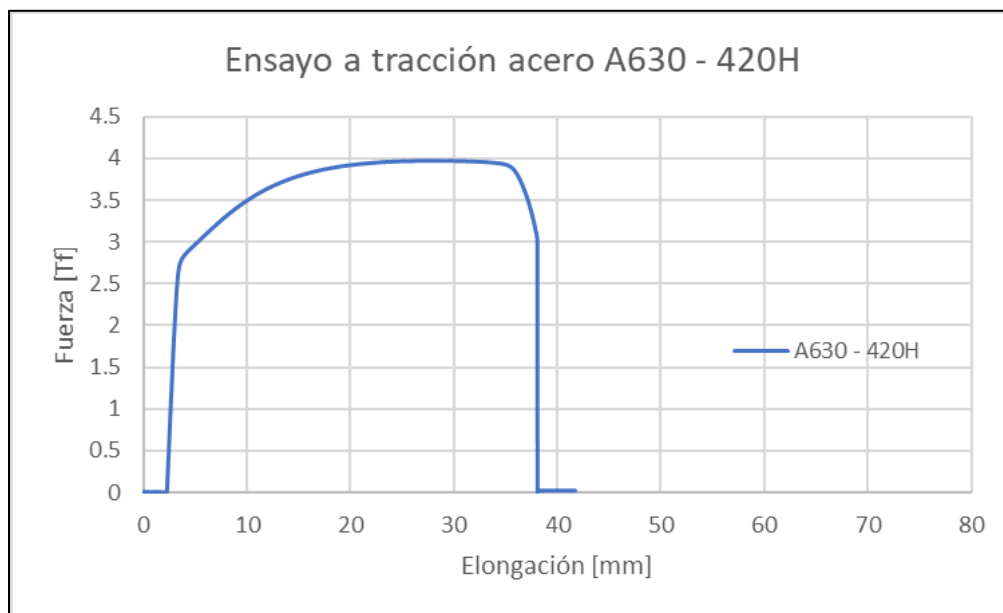


Figura 21. Curva del ensayo a tracción de una barra de acero empleado en columnas.

2.3.2.2. Acero A630 – 420S

Tabla 4. Especificaciones de armadura longitudinal de vigas.

Fabricante	Gerdau Aza
Denominación	A630 - 420S
Diámetro nominal	8 [mm]
Esfuerzo nominal de fluencia	$f_y = 420$ [Mpa]
Esfuerzo nominal de rotura	$f_u = 630$ [Mpa]

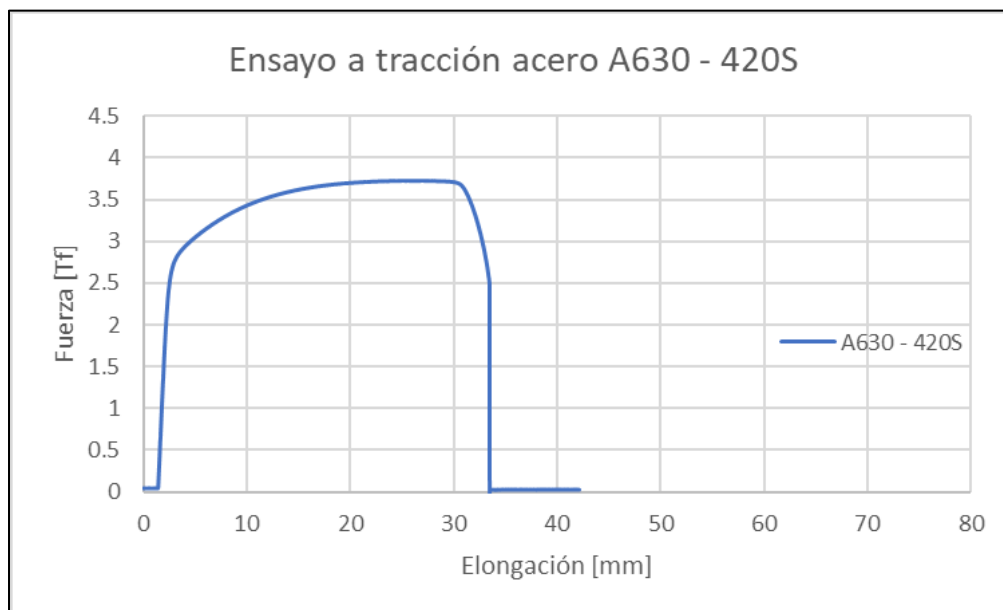


Figura 22. Curva del ensayo a tracción de una barra de acero empleado en vigas.

2.3.2.3. Acero AT56 – 50H

Tabla 5. Especificaciones de acero de refuerzo al corte de vigas y columnas.

Fabricante	ACMA
Denominación	AT56 - 50H
Diámetro nominal	4,2 mm
Esfuerzo nominal de fluencia	$f_y = 500$ Mpa
Esfuerzo nominal de rotura	$f_u = 560$ Mpa

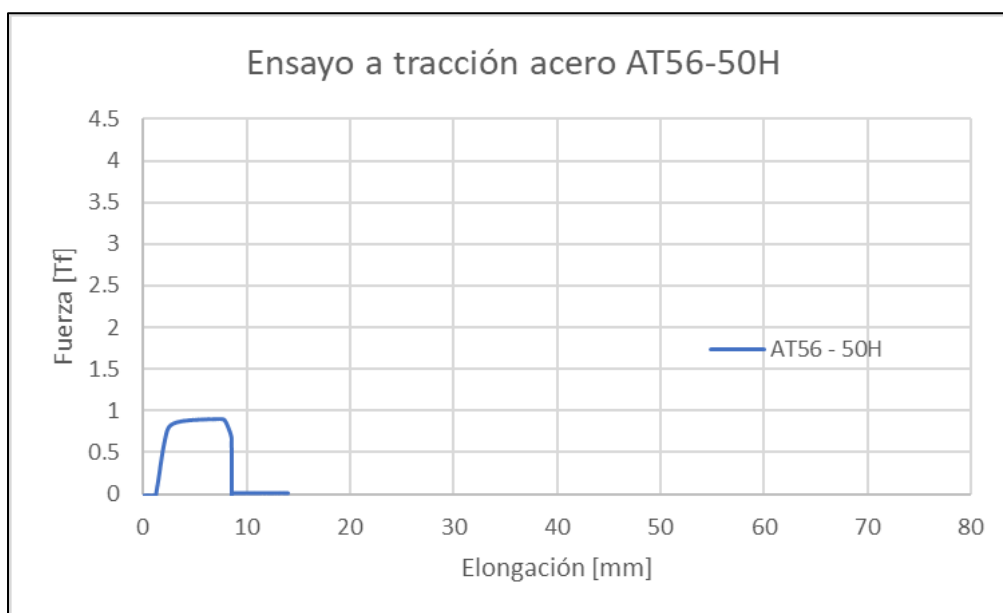


Figura 23. Curvas del ensayo a tracción de una barra de acero empleado en columnas y vigas G.F.1 – G.F.2 – P.1 – P.2.

2.3.2.4. Acero inoxidable 3 [mm]

Tabla 6, Especificaciones de acero de refuerzo al corte de vigas.

Fabricante	Proveedor local
Denominación	Acero inoxidable 3 mm
Díámetro nominal	3 mm

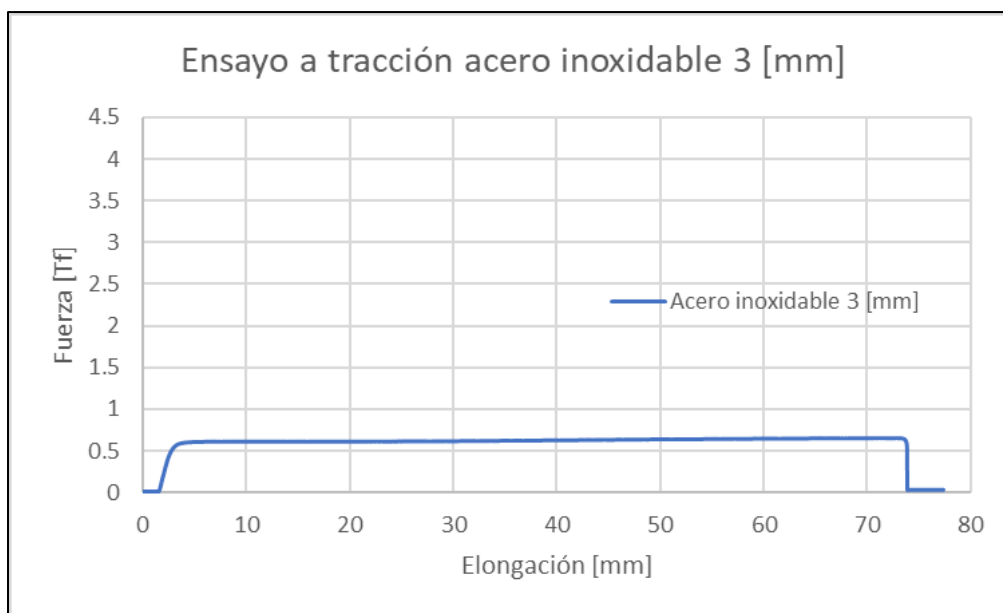


Figura 24. Curva del ensayo a tracción de una barra de acero empleada en la armadura transversal de las vigas E.B.1 – E.B.2 – C.B.1 – M.D.1 – N.B.1.

2.3.3. Moldajes

Para la confección de los moldajes se utilizó el producto MASISA melamina de enchape blanco de 15 [mm] y 18 [mm]. (figura 25)

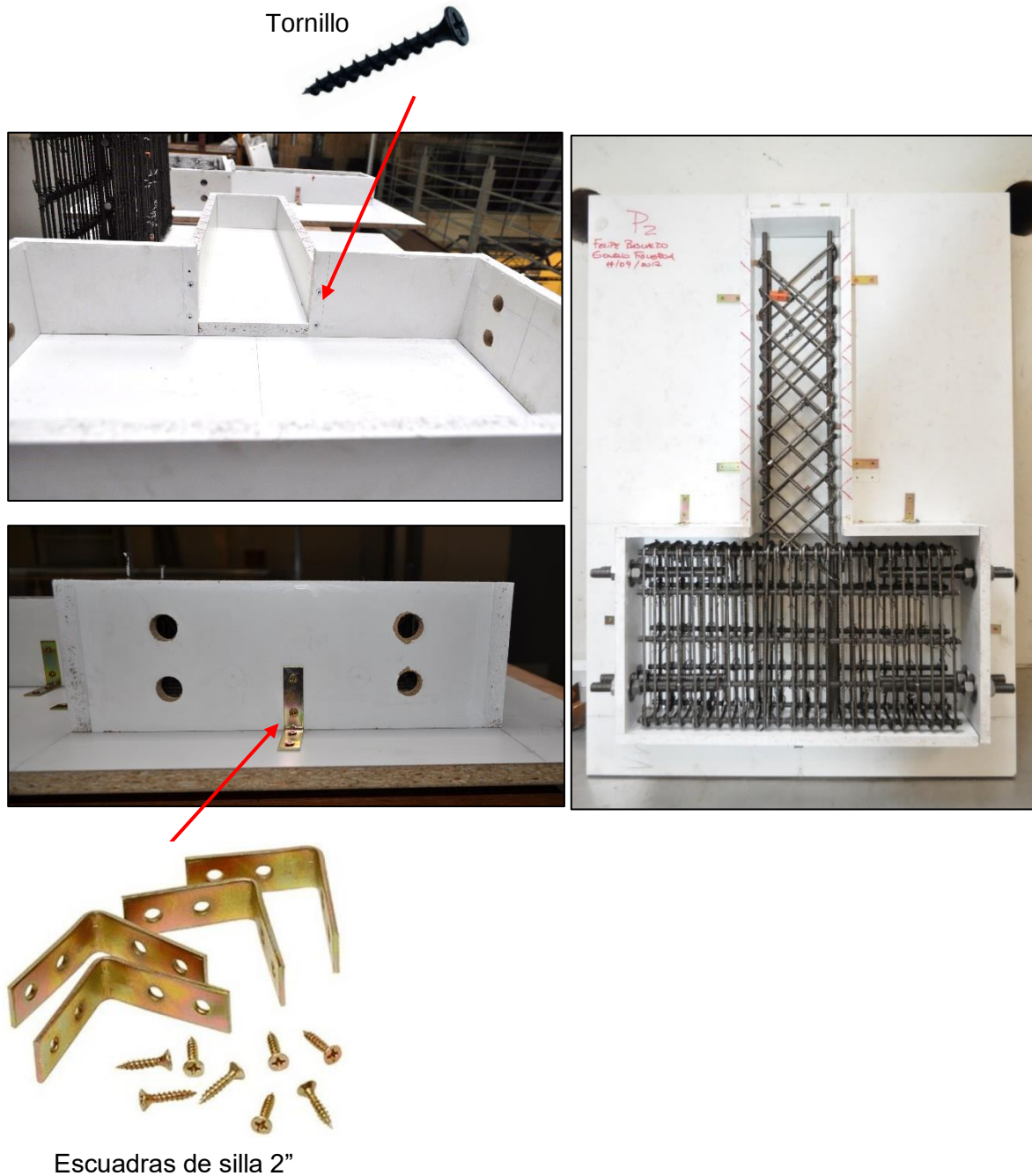


Figura 25. Moldaje de los especímenes.

CAPITULO III

Estudios previos y construcción de los especímenes de ensayo

3.1. Estudios de estribos inclinados

Armaduras transversales inclinadas han sido motivo de estudio por varios años en el Laboratorio de Ingeniería Sismorresistente de la UTFSM. El interés proviene de una investigación anterior sobre el comportamiento de marcos de hormigón armado sometidos a terremotos, desarrollada en modelos a escala 1/10 en la mesa sísmica de la UTFSM. Entre los resultados se informó la concentración extraordinaria del daño en las vigas en la zona próxima a la columna, lo cual fue considerablemente mayor que lo esperado.

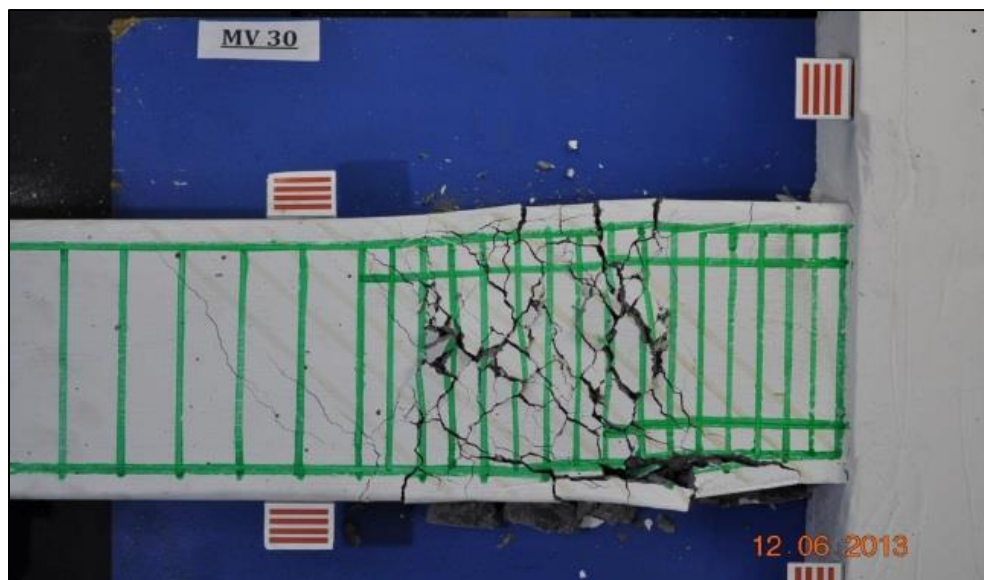


Figura 26. Ensayo de viga con estribos convencionales. Vergara (2014).

Con el fin de aclarar este aspecto, se empezó a trabajar con especímenes a escala mayor, como los de la presente memoria, que representan uniones viga-columna, parecidas a las que tenían los marcos a escala 1/10, pero construidas a una escala mayor, próxima al tamaño natural. Primero con armadura transversal tradicional con estribos a 90 grados (Fig. 26). Después, para mejorar el desempeño sísmico, Silva (2014) empezó los estudios sobre el uso de armadura transversal inclinada.

3.2. Construcción de especímenes

En estudios anteriores la construcción de probetas se realizaba de manera menos minuciosa, fabricándose los estribos mediante machinas de madera. Para lograr más precisión en las dimensiones de las probetas, Vidal (2019) junto con el autor, mejoraron significativamente machinas y moldajes. (Figuras 27 y 28).



Figura 27. Armadura de columna utilizada en memorias anteriores (izquierda) y armadura de columna utilizada en esta memoria (derecha).



Figura 28. Machina utilizada para la confección de estribos Pino (2016) (izquierda) y machina utilizada para la confección de estribos en la presente memoria (derecha)

3.3. Confección del refuerzo de la columna

Las columnas fueron iguales a las de memorias anteriores. La armadura longitudinal fue con diez barras de 8 mm de acero A630 420H, El distanciamiento de los estribos fue de 20 [mm], realizando las amarras con alambre acerado n°20. La figura 29 muestra la enfierradura de la columna con el espacio para el anclaje de la viga, detalle que se termina después.

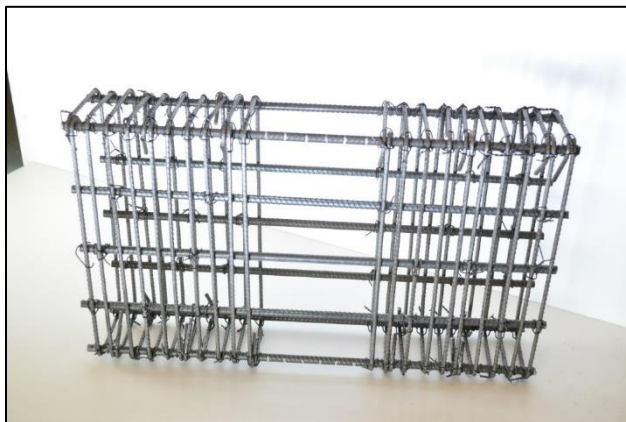


Figura 29. Armadura de la columna.

3.4. Confección del refuerzo de la viga

Las armaduras de las vigas se describieron antes en las figuras 11 al 20. Toda la armadura de los especímenes ensayados fue fabricada por el autor en el Laboratorio de Ingeniería Sismorresistente de la UTFSM, Excepto las soldaduras que fueron realizadas en un taller local. (Figura 30).



Figura 30. Armado y soldadura de las enfierraduras

3.5. Hormigonado

El hormigonado de las nueve probetas fue realizado en el laboratorio LEMCO de la UTFSM, con la supervisión del personal de ese laboratorio. (Figura 31).



Figura 31. Proceso de hormigonado. Mezcle en betonera (izquierda) y platachado de hormigón (derecha).

CAPITULO IV

Montaje e Instrumentación

Los especímenes se ensayaron con el actuador MTS de la mesa sísmica del Laboratorio de Ingeniería Sismorresistente del Departamento de Obras Civiles. Para el montaje de las probetas se desconectó del actuador la plataforma de la mesa, removiendo esta última y así dando espacio a los modelos a ensayar. Posteriormente se afianzó la columna a dos piezas metálicas, ancladas al sistema de fijación. Para finalizar se conectó el actuador a la viga a ensayar, cerca del extremo libre y aproximadamente a 40 [cm] del nudo, lo cual se hizo mediante placas perforadas y pernos de fijación, como muestra la figura 32.

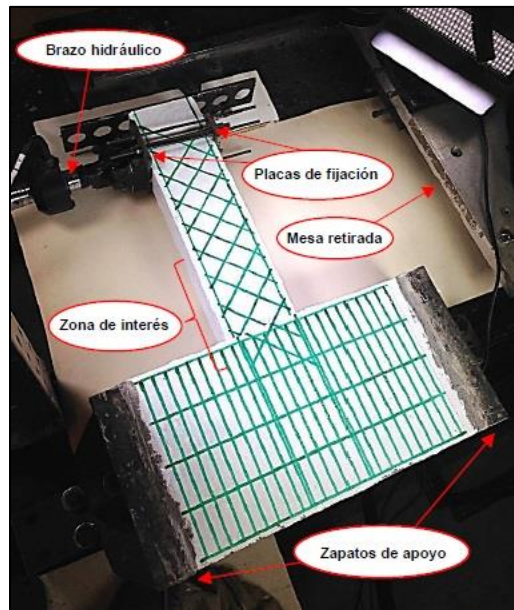


Figura 32. Montaje de un espécimen en el sistema de apoyo

La figura 33 muestra un diagrama del montaje de los ensayos y su instrumentación.

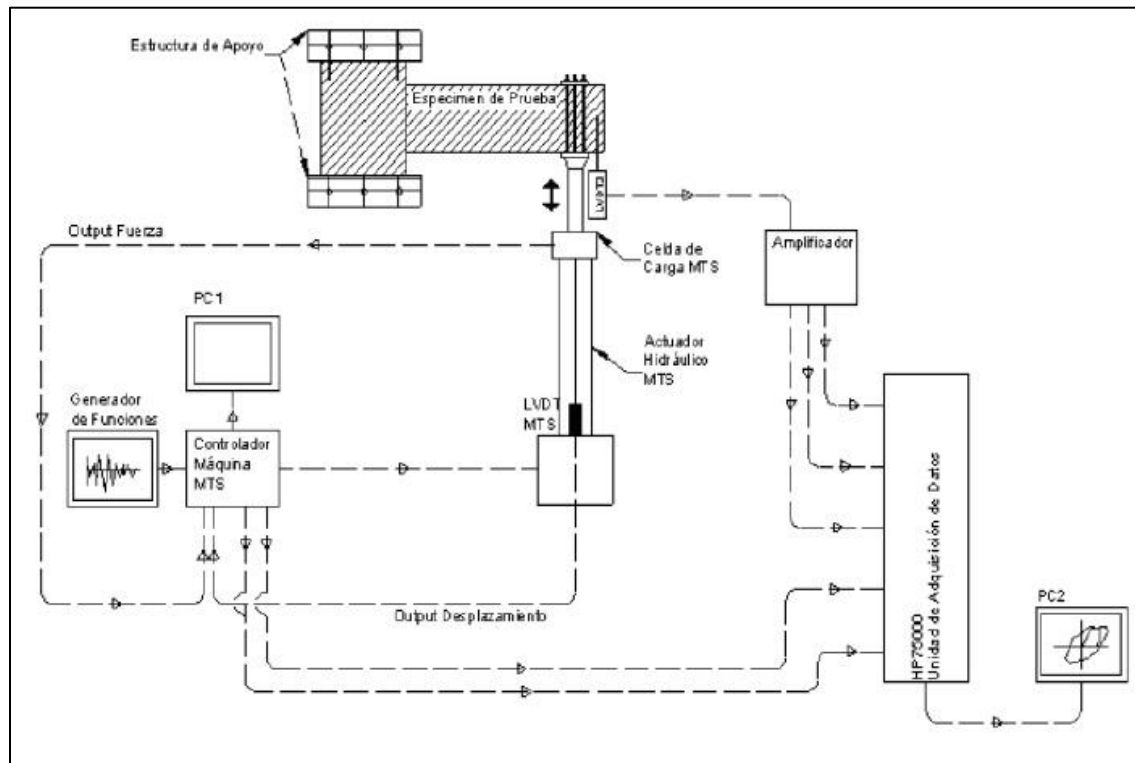


Figura 33. Esquema del montaje del ensayo e instrumentación

Se colocaron además cámaras fotográficas y video según la siguiente distribución: una cámara de video PANASONIC para el registro completo de la probeta, una cámara LUMIX para los costados de la probeta y una cámara NIKON para fotografiar la parte superior, específicamente la parte de la viga contigua a la columna, y así observar mayor detalle de la aparición y propagación de grietas. La iluminación se realizó con focos LED dispuestos convenientemente.

La carga aplicada a las probetas fue en términos de ciclos con desplazamiento controlado y con el programa que se presenta en la tabla n°7.

Tabla 7. Programa de carga

	N° de ciclos	Amplitud
1	5 ciclos	5 [mm]
2	5 ciclos	10 [mm]
3	5 ciclos	15 [mm]
5	5 ciclos	20 [mm]
6	10 ciclos	25 [mm]
7	5 ciclos	30 [mm]*

*Algunas probetas no alcanzaron los ciclos de 30 [mm].

CAPITULO V

Resultados

En este capítulo se presentan las curvas fuerza-desplazamiento obtenidas de cada uno de los ensayos. Se presenta también un esquema en perspectiva de la probeta correspondiente, fotografías relevantes y algunos comentarios de los resultados.

Tabla 8. Resumen de las características principales de las probetas ensayadas.

Nombre	Características
G.F.1 / G.F.2	Estribo de calidad AT 56 – 50H con gancho sísmico, soldado en 45° a la barra de refuerzo longitudinal.
P.1 / P.2	Estribo de calidad AT56 – 50H en forma de cerco cerrado con soldadura. Soldado en 45° a la barra de refuerzo longitudinal.
E.B.1 / E.B.2	Estribo de acero inoxidable de 3 [mm] en forma de cerco cerrado con soldadura. Soldado en 45° a la barra de refuerzo longitudinal.
C.B.1	Estribo de acero inoxidable de 3 [mm] en forma de cerco cerrado con soldadura. Amarrado en 45° a la barra de refuerzo longitudinal.
M.D.1	Estribo de acero inoxidable de 3 [mm] en forma de cerco cerrado con soldadura. Soldado en 90° a la barra de refuerzo longitudinal.
N.B.1	Estribo de acero inoxidable de 3 [mm] en forma de cerco cerrado con soldadura. Amarrado en 90° a la barra de refuerzo longitudinal.

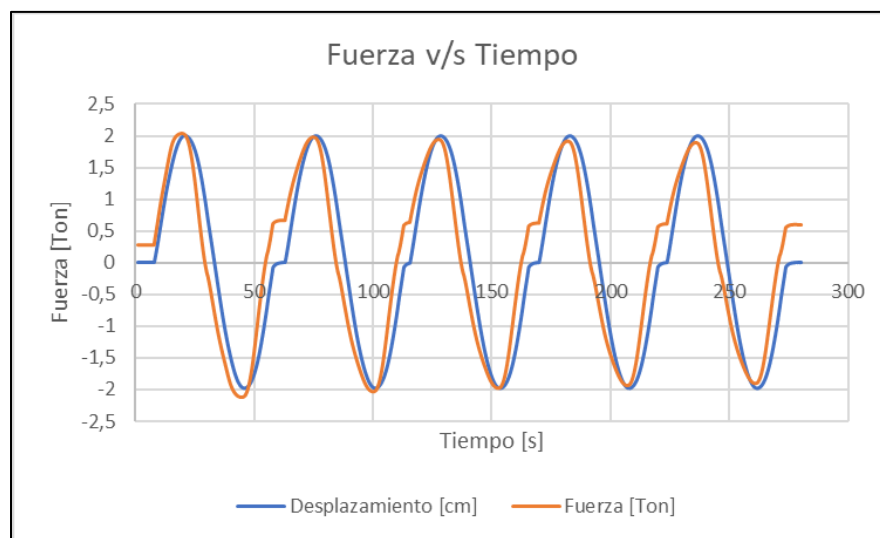


Figura 34. Curva fuerza y desplazamiento en función del tiempo. Ciclos de amplitud 20 [mm]

5.1. Espécimen G.F.1

Estribos inclinados calidad AT56 – 50H con gancho sísmico, soldados a las barras longitudinales.

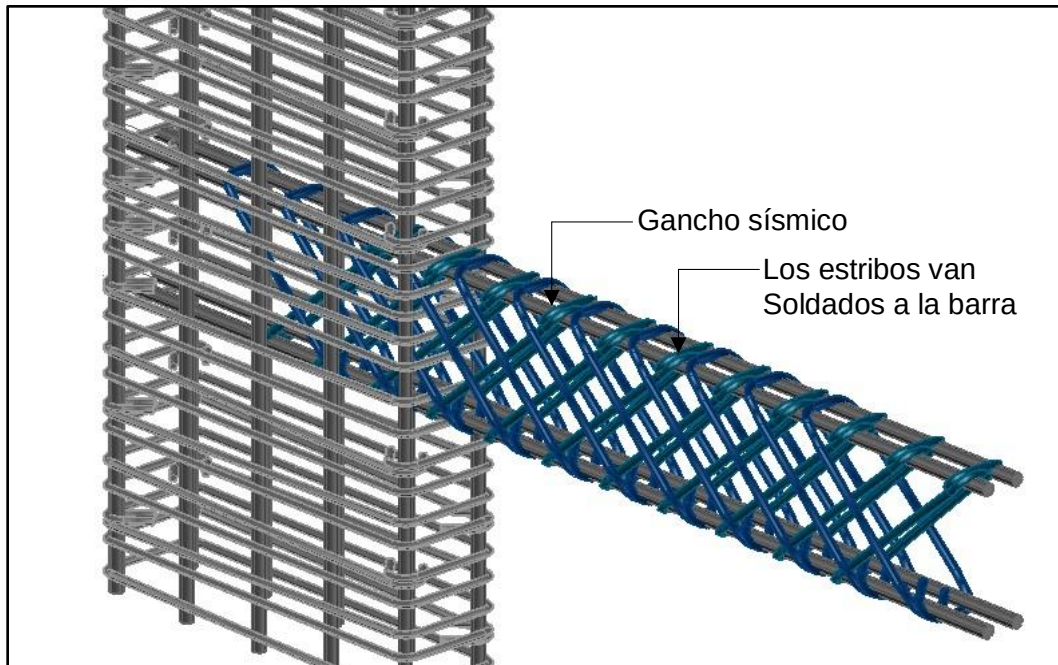


Figura 35. Armadura G.F.1.

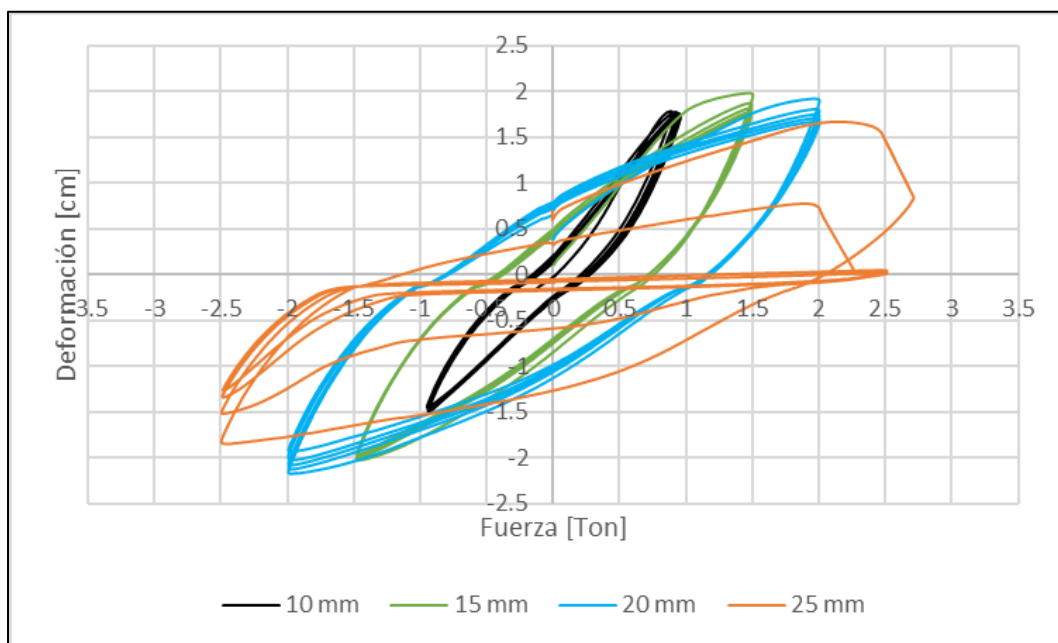


Figura 36. Curvas de fuerza-desplazamiento para probeta G.F.1



Figura 37. G.F.1. Cuarto ciclo, amplitud 25 [mm]. (Máximo desplazamiento positivo)

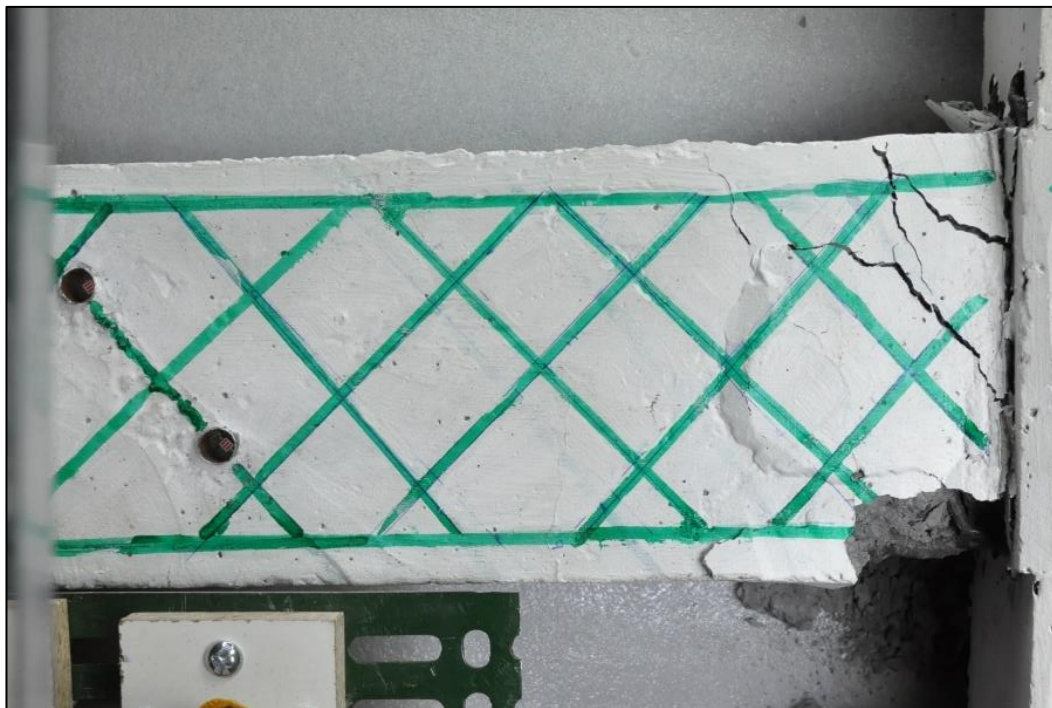
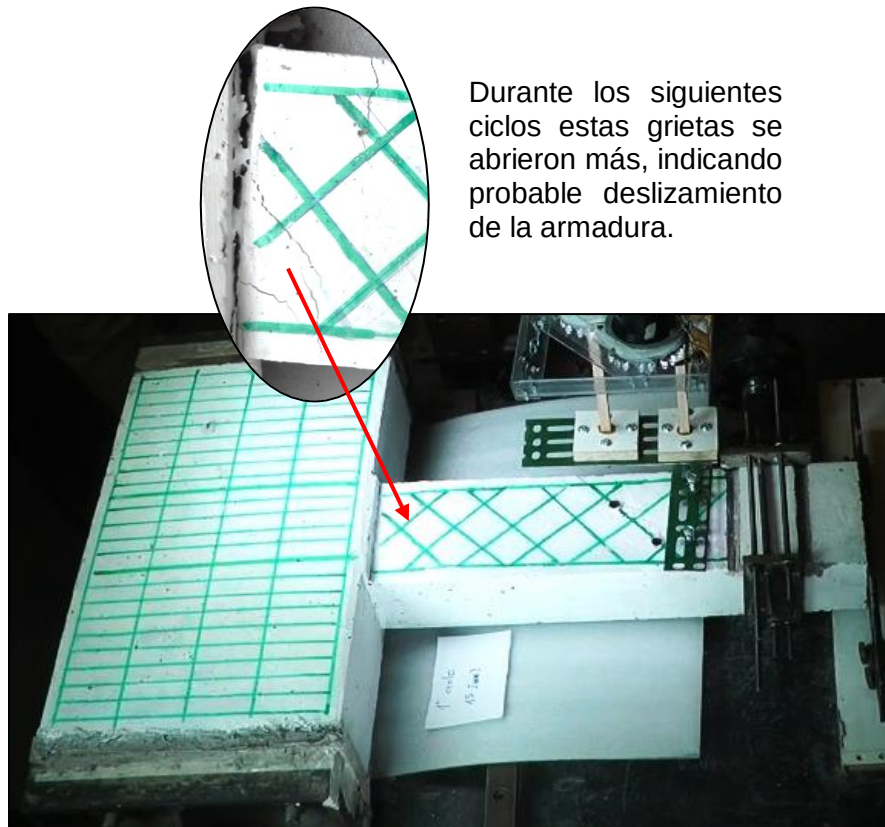
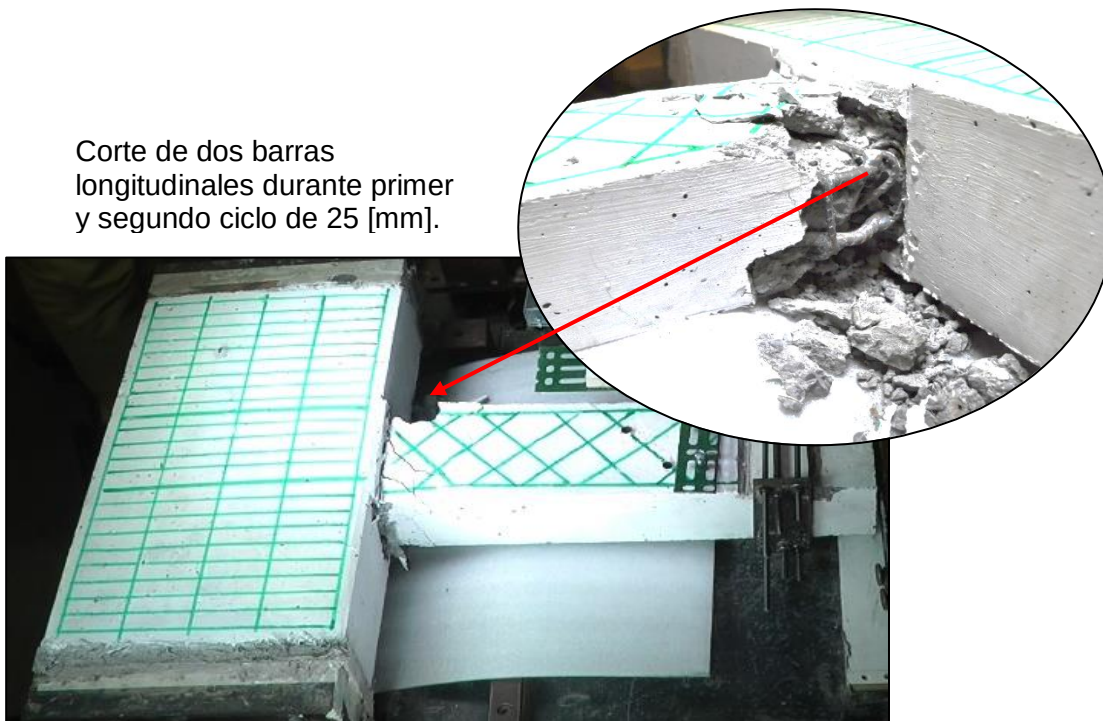


Figura 38. G.F.1. Cuarto ciclo, amplitud 25 [mm]. (Máximo desplazamiento negativo)



Durante los siguientes ciclos estas grietas se abrieron más, indicando probable deslizamiento de la armadura.

Figura 39. G.F.1. Primeras grietas durante ciclos de 5 [mm] y 10 [mm]



Corte de dos barras longitudinales durante primer y segundo ciclo de 25 [mm].

Figura 40. G.F.1. Estado de la probeta cerca del término del ensayo en el segundo ciclo de 25 [mm].

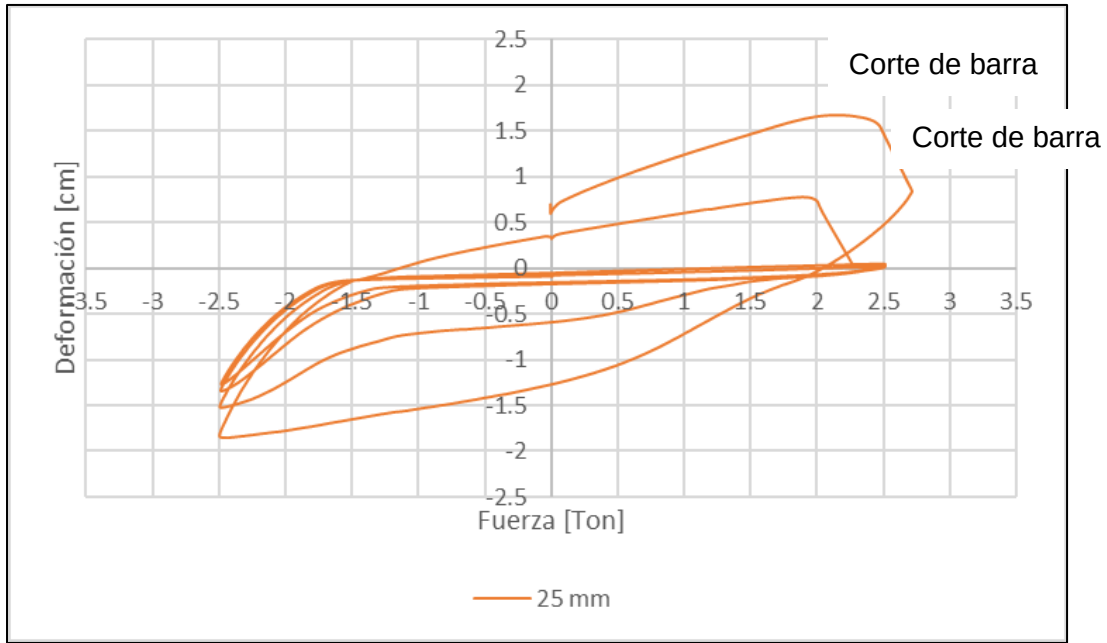


Figura 41. Curva fuerza-desplazamiento viga G.F.1. Amplitud 25 [mm]

Comentarios:

- Se colocó un punto de soldadura uniendo los dos extremos del gancho sísmico previo a soldar los estribos a las barras longitudinales, esto al parecer favoreció que se cortaran las barras por problemas de temperatura.
- Después del corte de dos barras longitudinales se finalizó el ensayo en el cuarto ciclo de 25 [mm].
- En el sentido positivo la probeta mostró menor resistencia que en sentido negativo.
- Este es el espécimen con peores resultados.

5.2. Espécimen G.F.2

Estribos inclinados calidad AT56 – 50H con gancho sísmico, soldados a las barras longitudinales

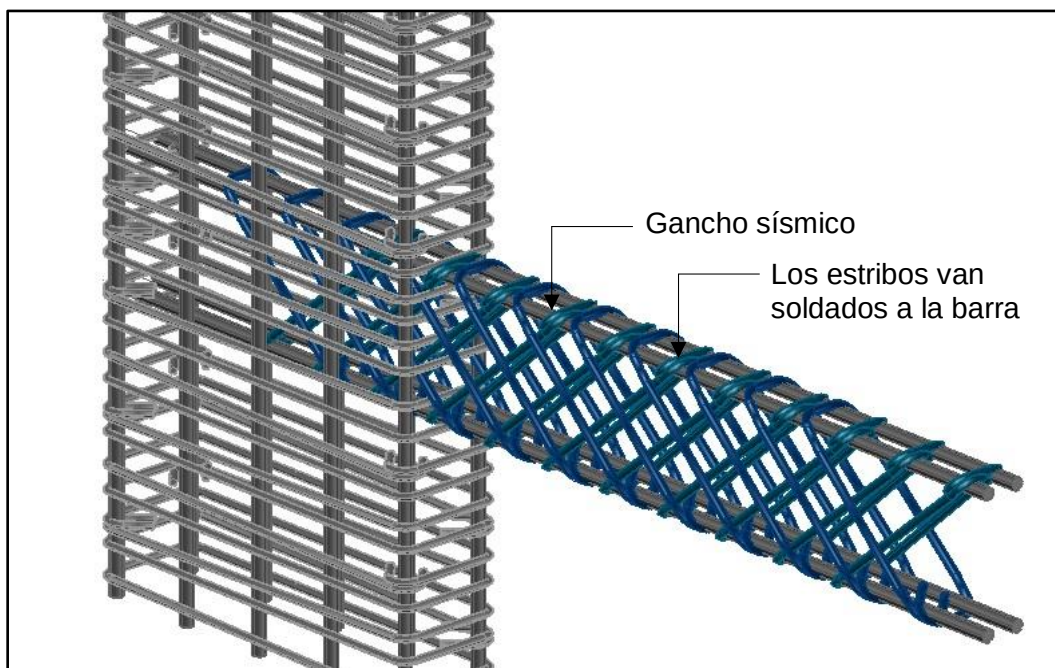


Figura 42. Armadura G.F.2.

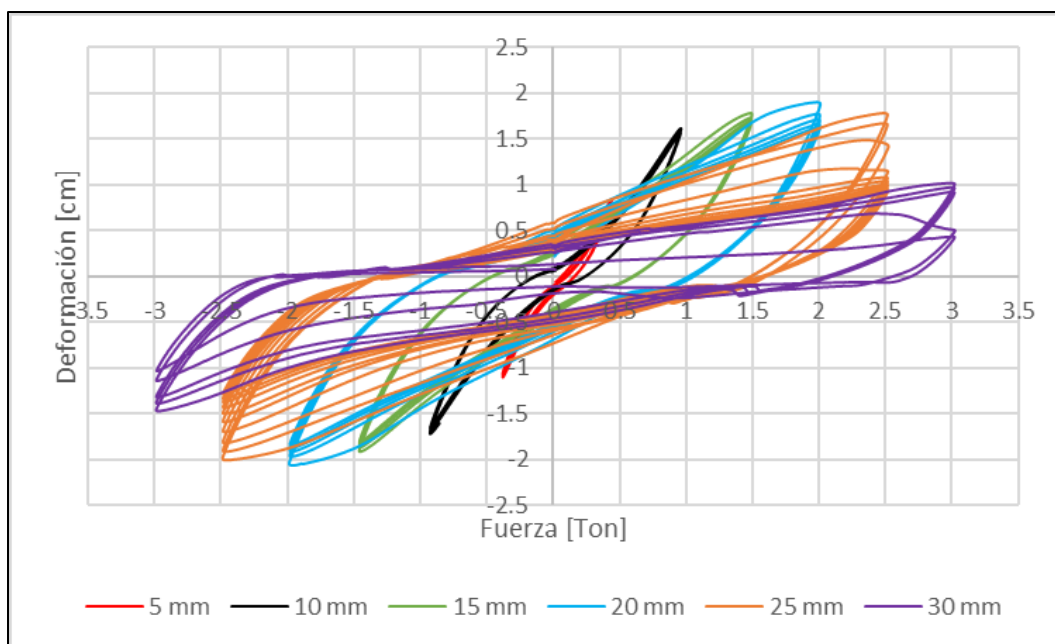


Figura 43. Curvas de fuerza-desplazamiento para probeta G.F.2

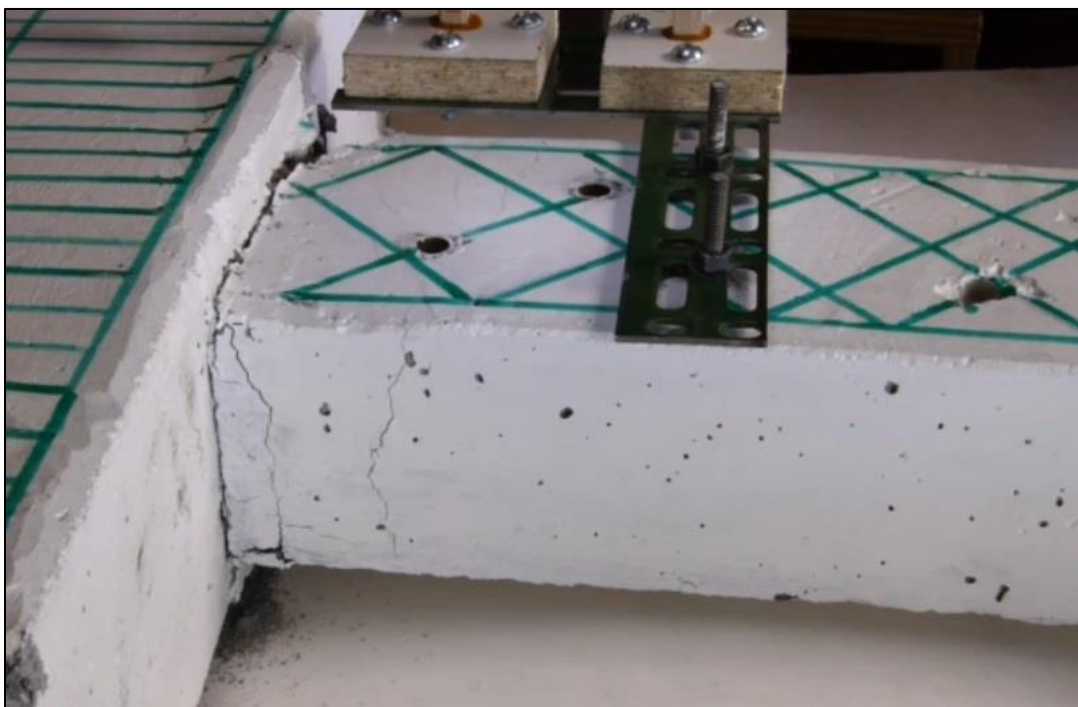


Figura 44. G.F.2. Quinto ciclo, amplitud 25 [mm]. (Máximo desplazamiento positivo)

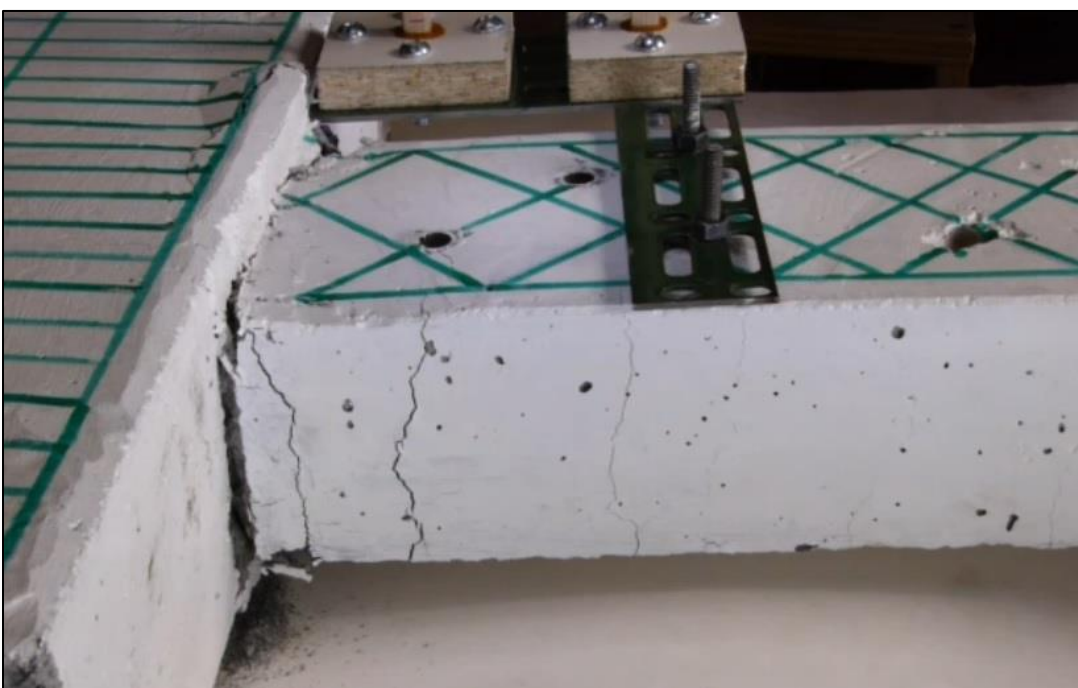


Figura 45. G.F.2. Quinto ciclo, amplitud 25 [mm]. (Máximo desplazamiento negativo)

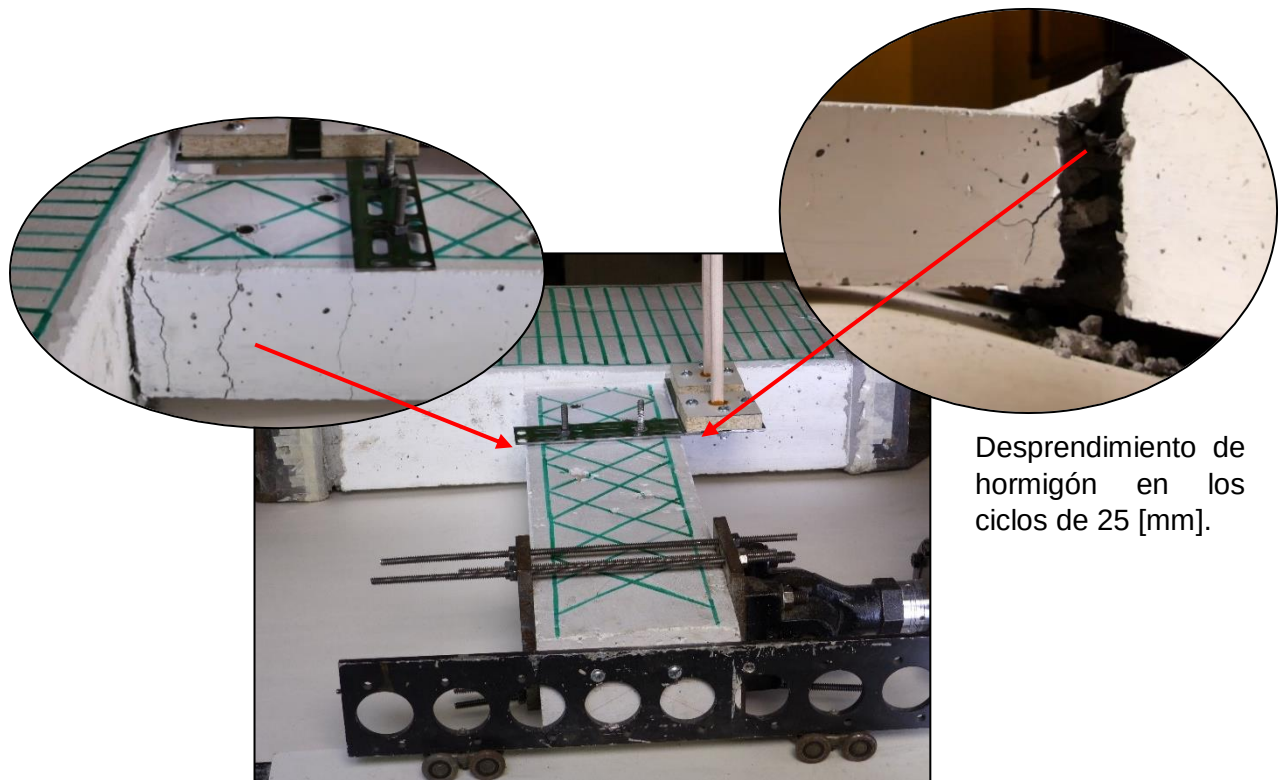


Figura 46. G.F.2. Primeras grietas en los ciclos de 10 [mm] y posterior desprendimiento de hormigón.

Desprendimiento de hormigón en la cara exterior producto del deslizamiento de las barras longitudinales de la viga.



Figura 47. G.F.2. Estado del espécimen cerca del término del ensayo.

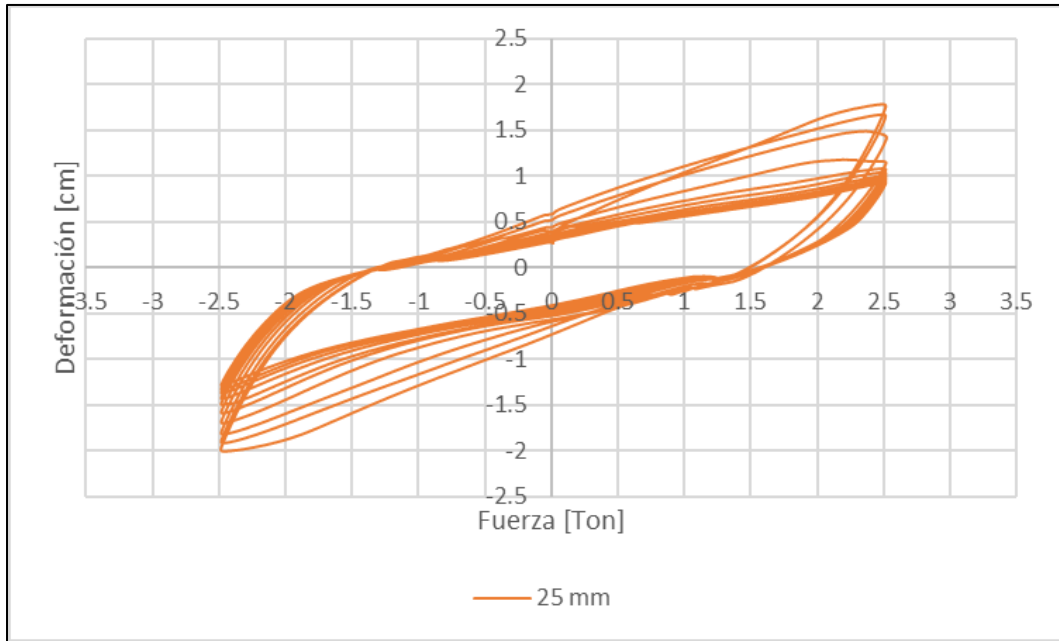


Figura 48. Curva fuerza-deslizamiento viga G.F.2. Amplitud 25 [mm].

Comentarios:

- Se observó deslizamiento de la armadura longitudinal dentro de la columna, provocando la degradación de la resistencia como se aprecia en la figura 48.
- Se vio que todas las soldaduras resistieron bien los ciclos de carga.
- No hubo corte de barras longitudinales, esto seguramente fue debido al deslizamiento de la armadura longitudinal dentro de la columna, según se observó.
- El ensayo finalizó en el quinto ciclo de 30 [mm].

5.3. Espécimen P.1

Estribos inclinados calidad AT56 – 50H hechos en la forma de un cerco cerrado con soldadura, y soldados a las barras longitudinales.

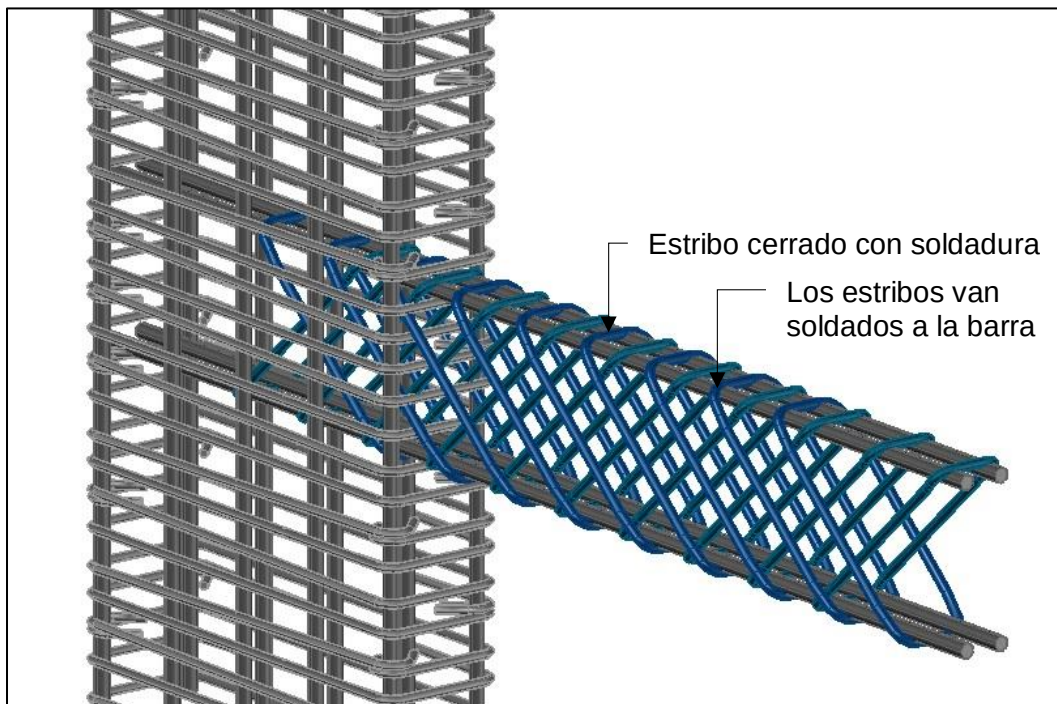


Figura 49. Armadura P.1.

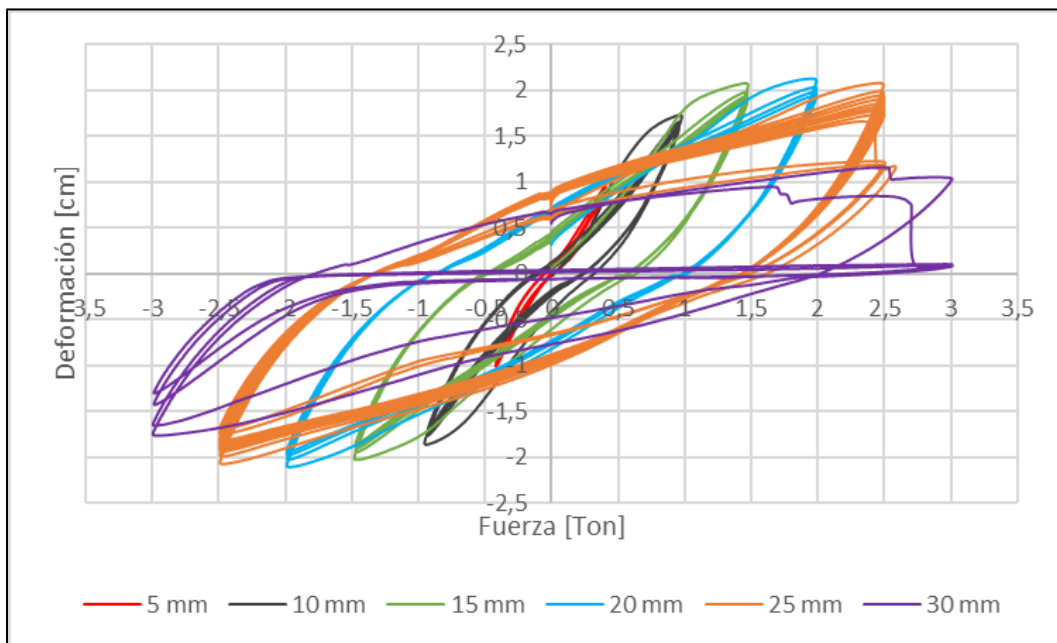


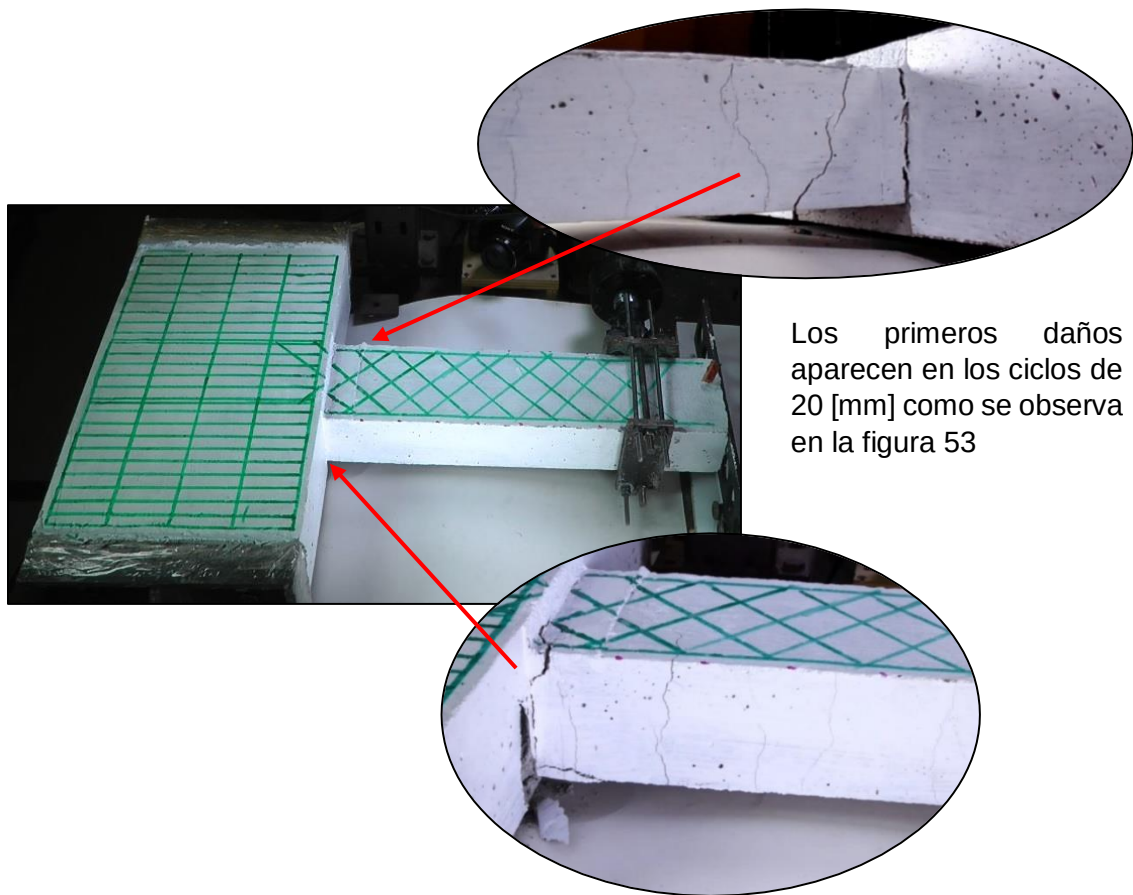
Figura 50. Curvas de fuerza-desplazamiento para probeta P.1.



Figura 51. P.1. Quinto ciclo. Amplitud 25 [mm]. (Máximo desplazamiento positivo)

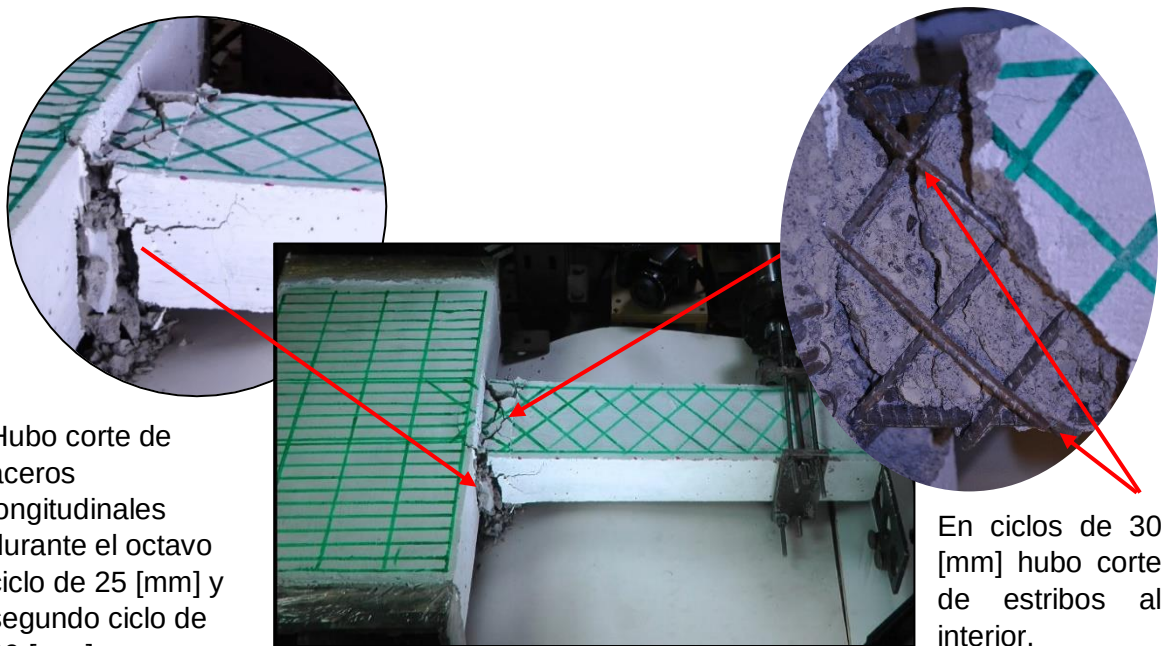


Figura 52. P.1. Quinto ciclo. Amplitud 25 [mm]. (Máximo desplazamiento negativo)



Los primeros daños aparecen en los ciclos de 20 [mm] como se observa en la figura 53

Figura 53. P.1. Estado del espécimen al finalizar los ciclos de 20 [mm].



Hubo corte de aceros longitudinales durante el octavo ciclo de 25 [mm] y segundo ciclo de 30 [mm].

En ciclos de 30 [mm] hubo corte de estribos al interior.

Figura 54. P.1. Estado final de la probeta al término del quinto ciclo de 30 [mm].

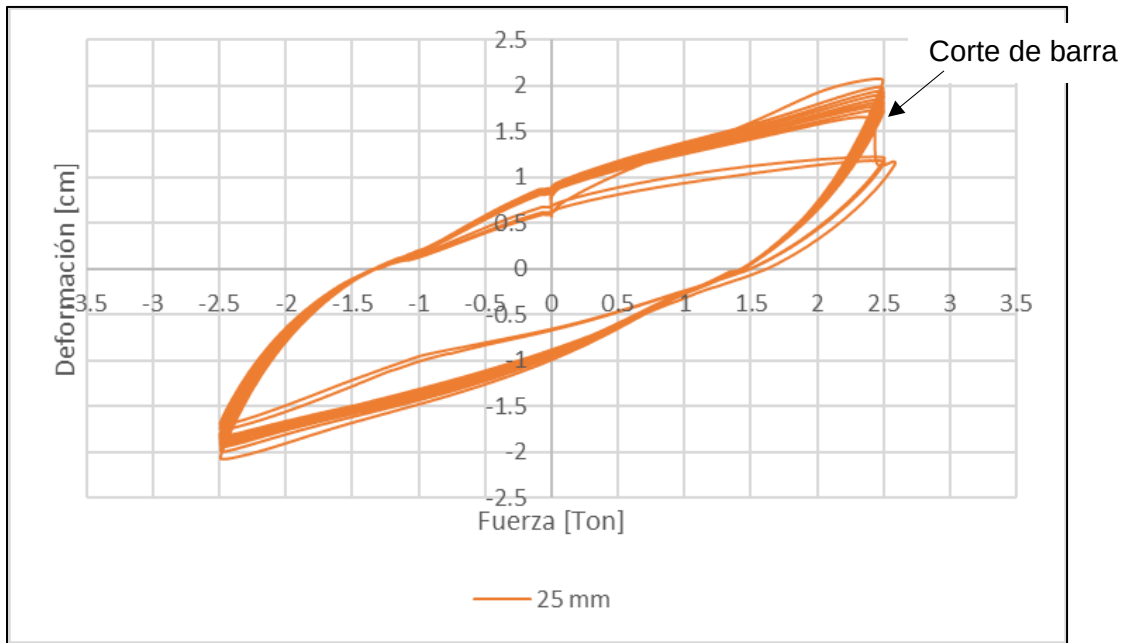


Figura 55. Curva fuerza-deformación viga P.1. Amplitud 25 [mm].

Comentarios:

- Corte de dos barras longitudinales, la primera en el octavo ciclo de 25 [mm] y la segunda en el segundo ciclo de 30 [mm].
- Se vio que todas las soldaduras resistieron bien los ciclos de carga.
- Llamó la atención el corte de estribos en dos ocasiones durante los ciclos de 30 [mm], lo cual provocó leve degradación de la resistencia.

6.4. Espécimen P.2

Estribos inclinados calidad AT56 – 50H hechos en la forma de un cerco cerrado con soldadura, soldados a las barras longitudinales.

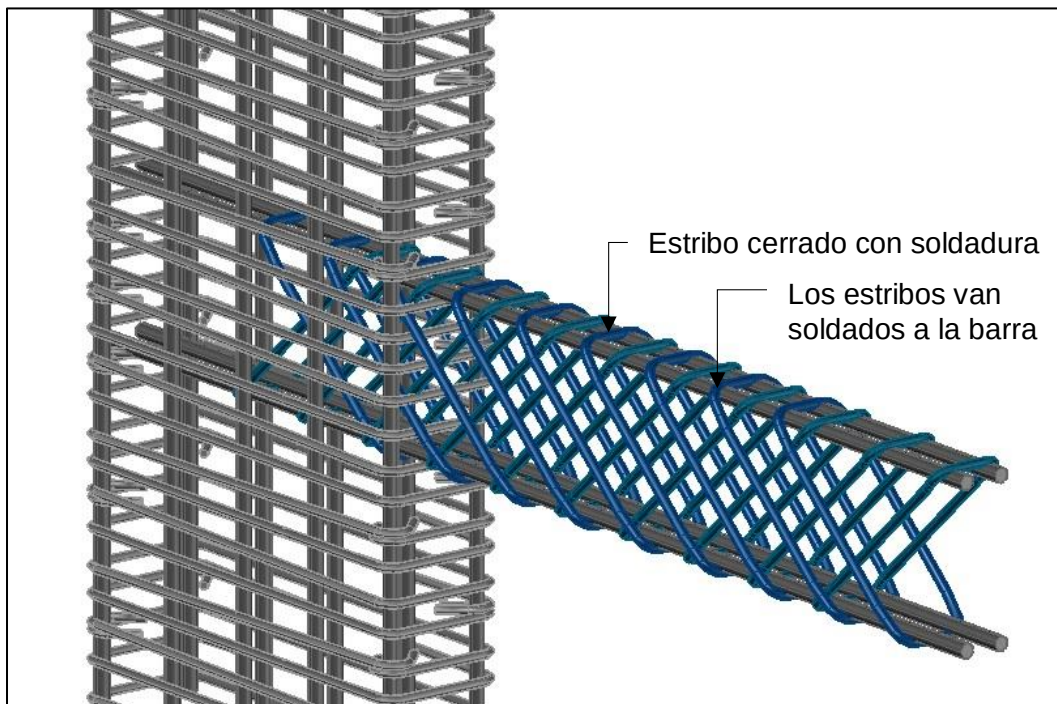


Figura 56. Armadura P.2.

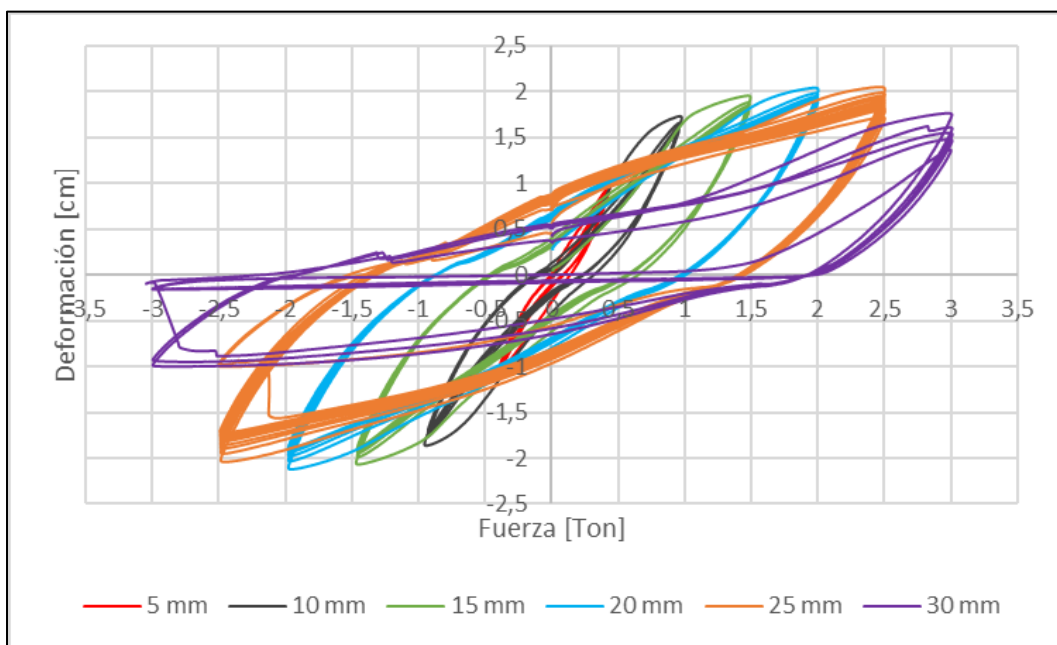


Figura 57. Curvas de fuerza-desplazamiento para probeta P.2.

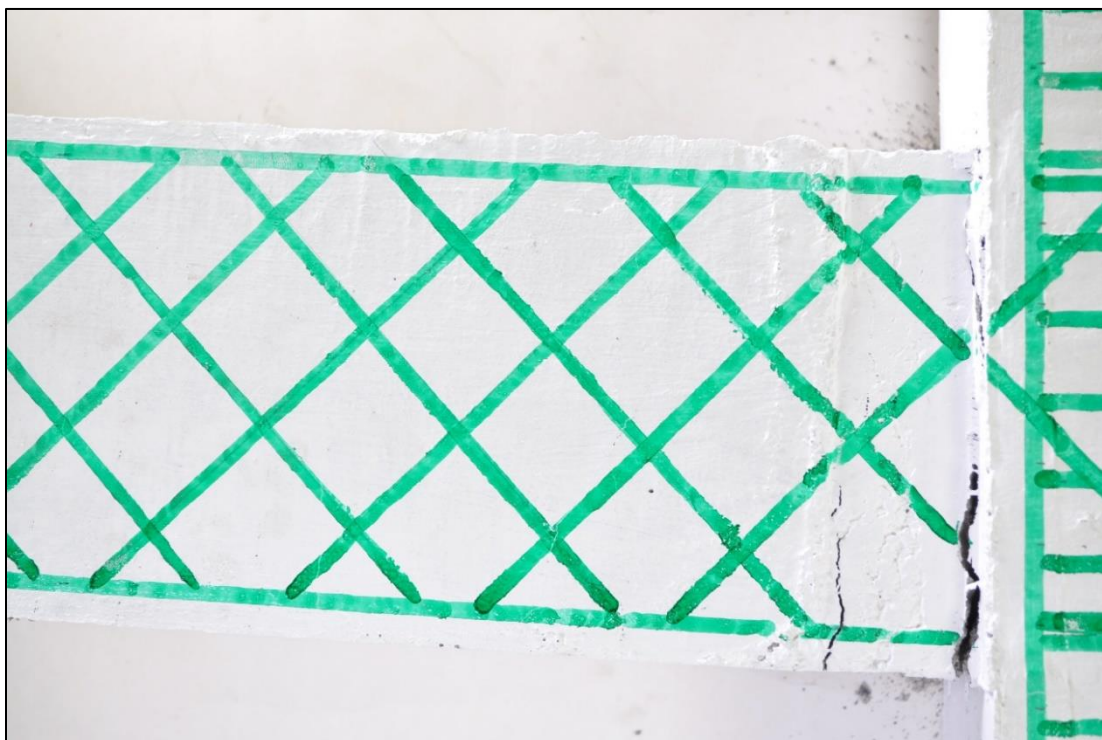
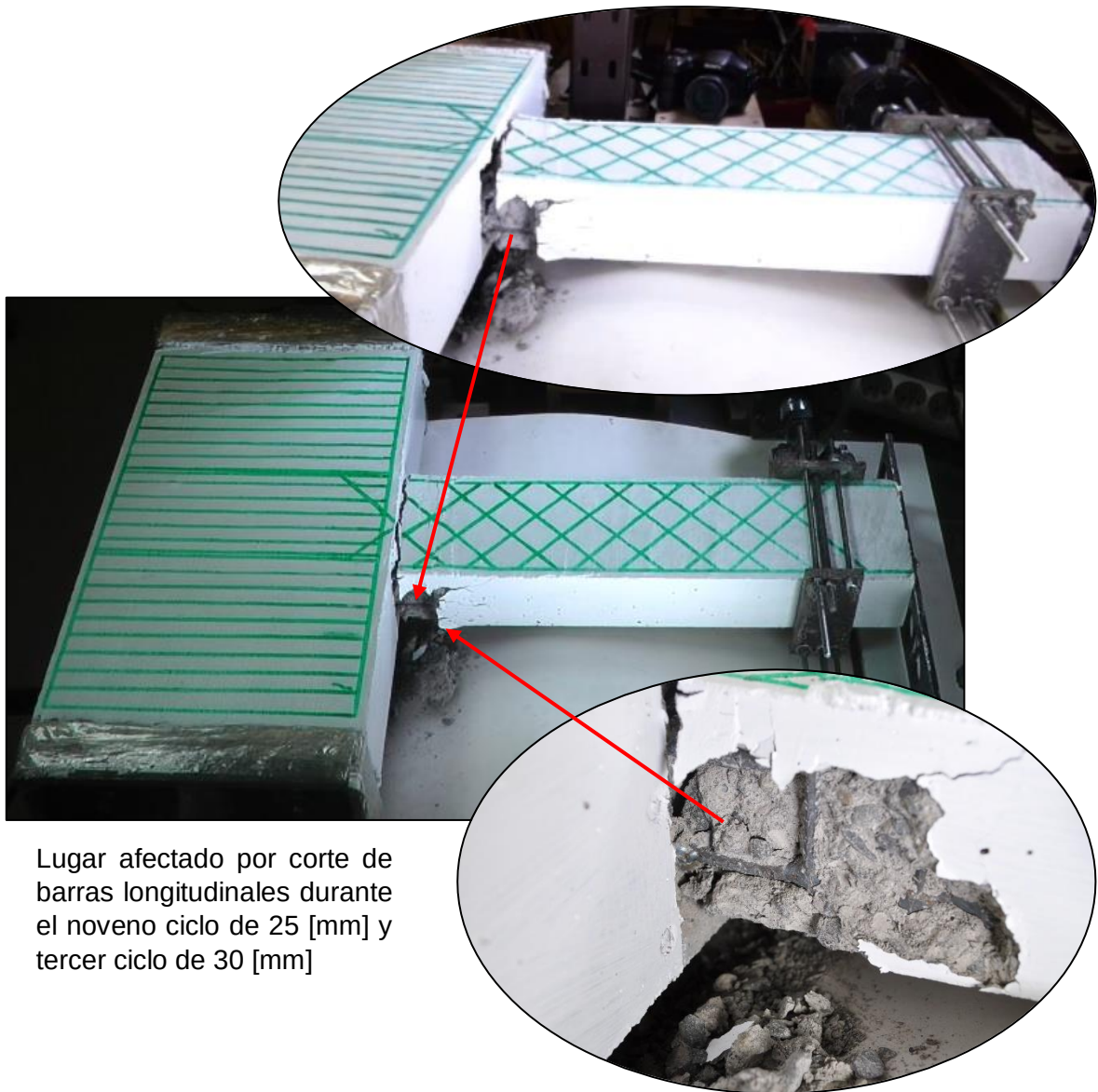


Figura 58. P.2. Quinto ciclo. Amplitud 25 [mm]. (Máximo desplazamiento positivo).



Figura 59. P.2. Quinto ciclo. Amplitud 25 [mm]. (Máximo desplazamiento negativo).



Lugar afectado por corte de barras longitudinales durante el noveno ciclo de 25 [mm] y tercer ciclo de 30 [mm]

Figura 60. P.2. Estado del espécimen al finalizar ciclos de 30 [mm].

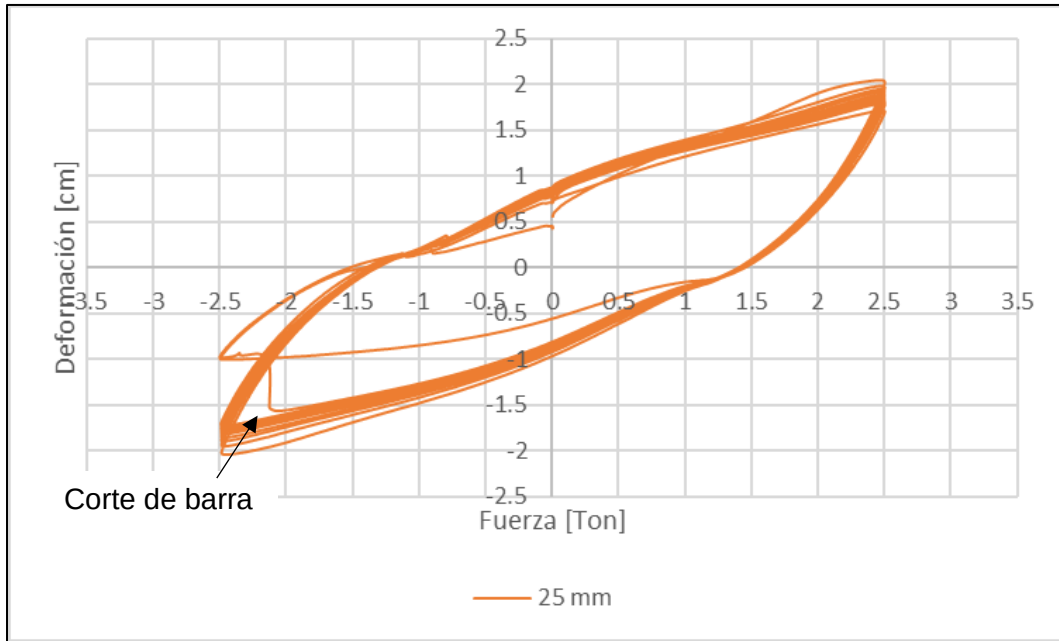


Figura 61. Curva fuerza-desplazamiento viga P.2. Amplitud 25 [mm].

Comentarios:

- Se observó deslizamiento de la armadura longitudinal dentro de la columna, debido a la aparición de grietas en su parte exterior.
- No se observó soldadura fracturada.
- Después del corte de dos barras de refuerzo longitudinal, se decidió dar término al ensayo en el quinto ciclo de 30 [mm].

5.5. Espécimen E.B.1

Estribos inclinados de acero inoxidable de 3 [mm] hechos en la forma de un cerco cerrado con soldadura, soldados a las barras longitudinales

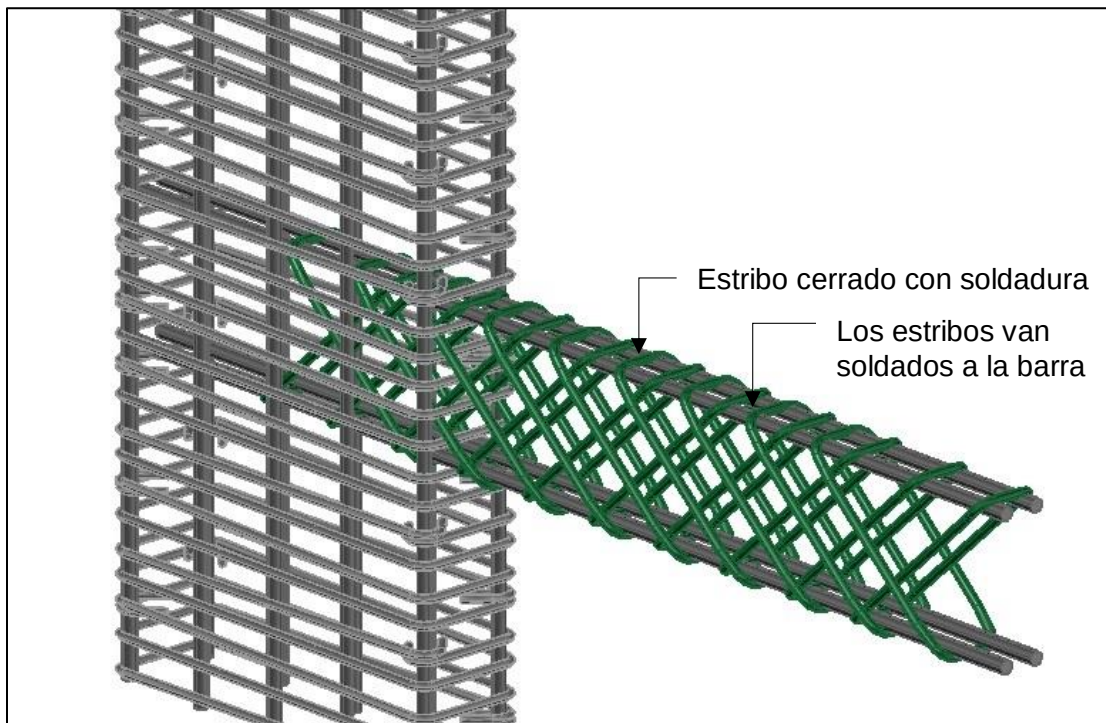


Figura 62. Armadura E.B.1.

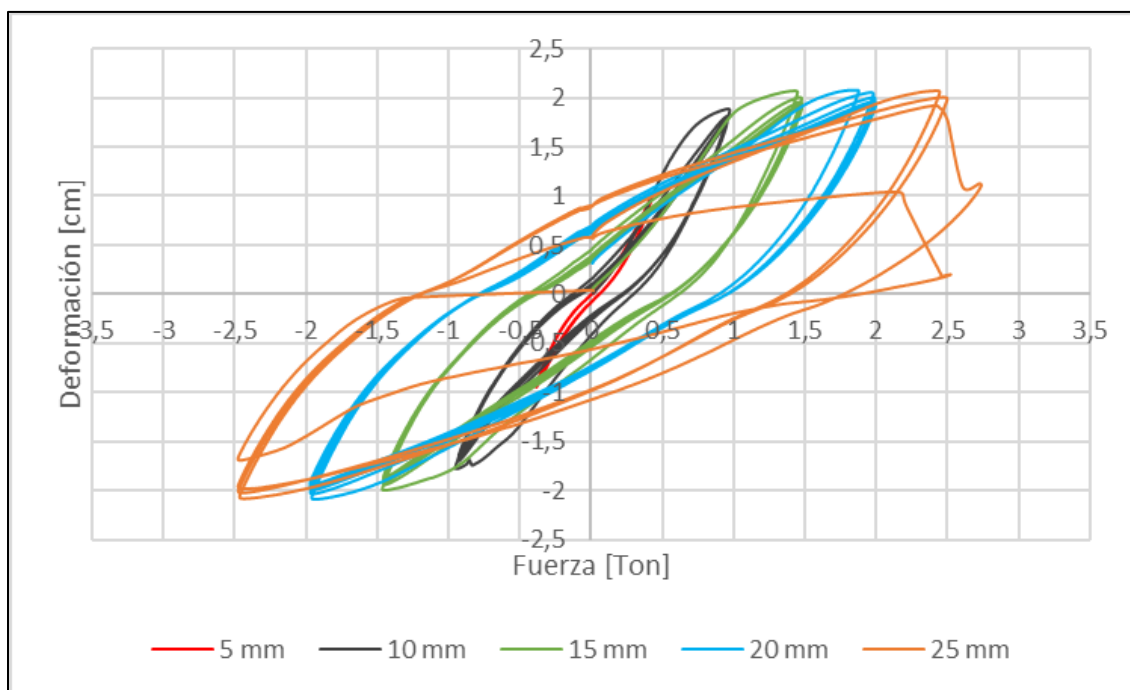


Figura 63. Curvas de fuerza-desplazamiento para probeta E.B.1.



Figura 64. E.B.1. Cuarto ciclo. Amplitud 25 [mm]. (Máximo desplazamiento positivo)



Figura 65. E.B.1. Cuarto ciclo. Amplitud 25 [mm]. (Máximo desplazamiento negativo).

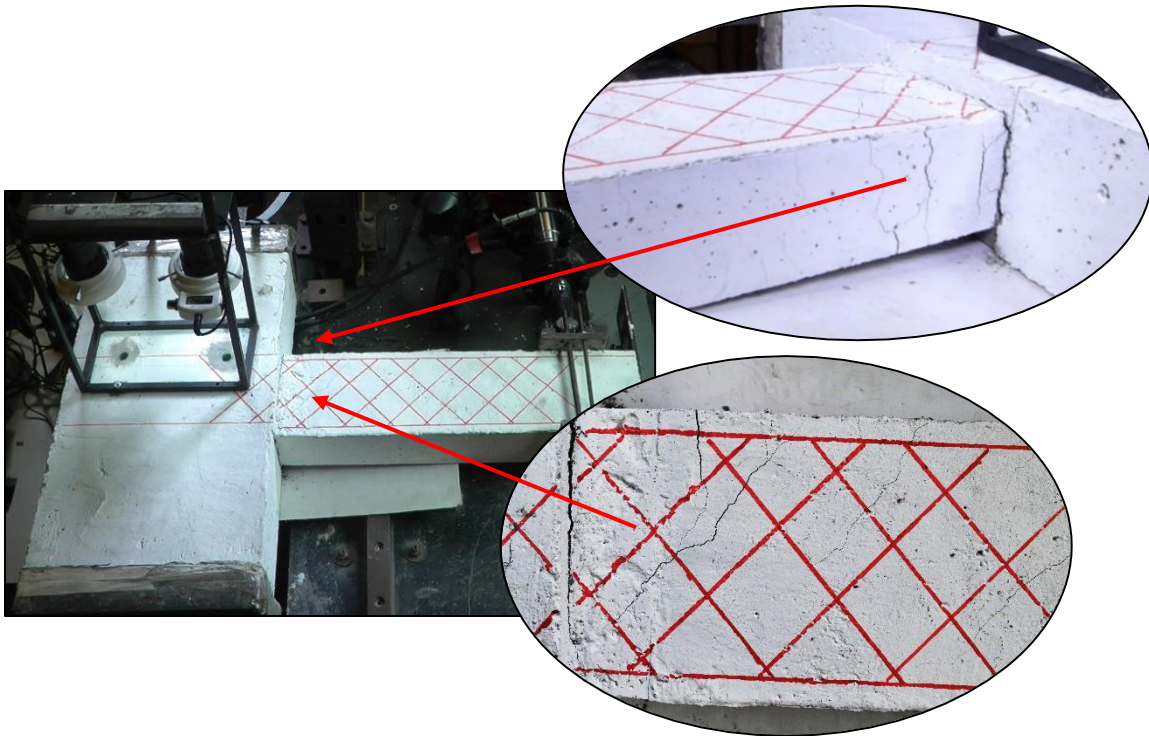
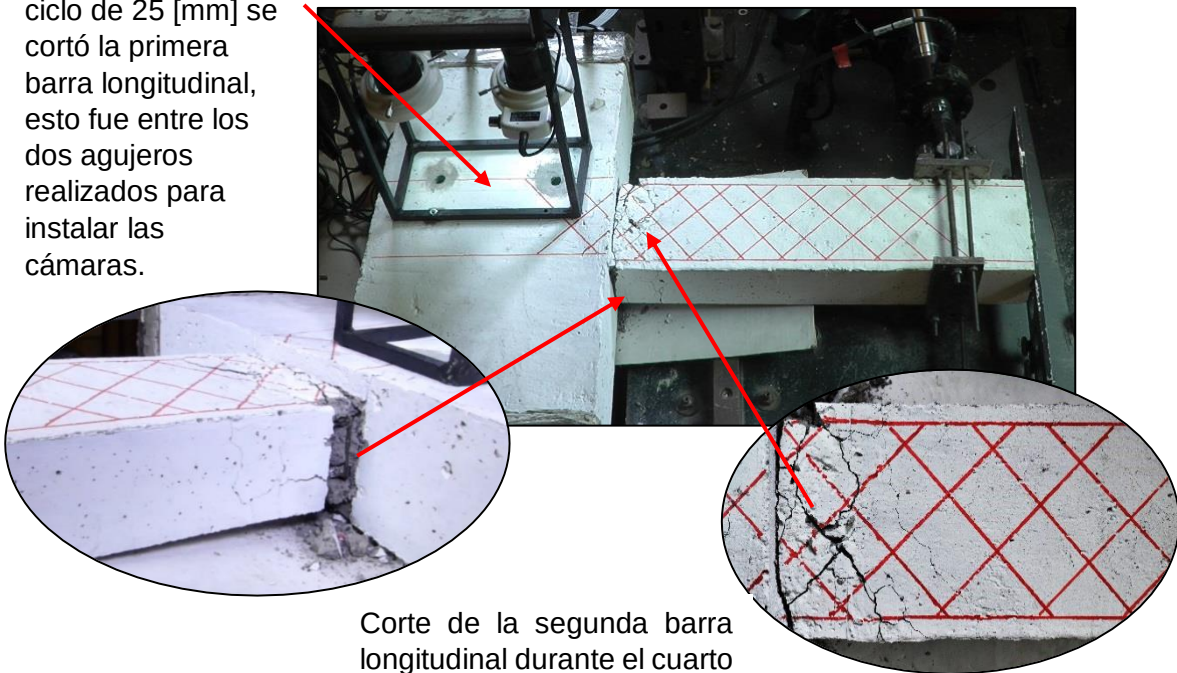


Figura 66. E.B.1. Estado de la probeta al finalizar los ciclos de 20 [mm]

Durante el segundo ciclo de 25 [mm] se cortó la primera barra longitudinal, esto fue entre los dos agujeros realizados para instalar las cámaras.



Corte de la segunda barra longitudinal durante el cuarto ciclo de 25 [mm] y deterioro de la probeta.

Figura 67. E.B.1. Estado de la probeta al finalizar el ensayo

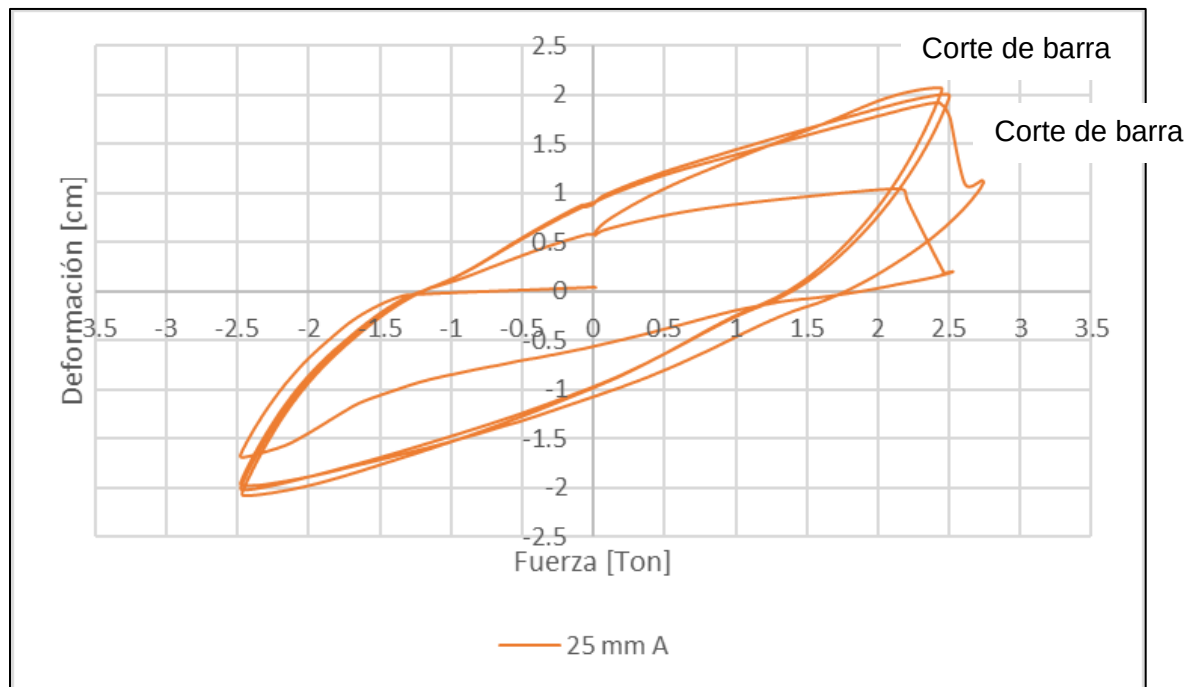


Figura 68. Curva fuerza-deformación viga E.B.1. Amplitud 25 [mm].

Comentarios:

- Gracias al sistema implementado por Lagos (2019) se pudo observar deslizamiento de armadura longitudinal al interior de la columna.
- Al contrario que en el sentido positivo, hubo poca degradación de la resistencia en el sentido negativo de la probeta.
- Se observó que todas las soldaduras resistieron bien los ciclos de carga.
- Al cortarse las dos barras de refuerzo, se finalizó el ensayo en el cuarto ciclo de 25 [mm], debido a la pérdida total de resistencia por el lado positivo.

6.6. Espécimen E.B.2

Estribos inclinados de acero inoxidable de 3 [mm] hechos en la forma de un cerco cerrado con soldadura, soldados a las barras longitudinales

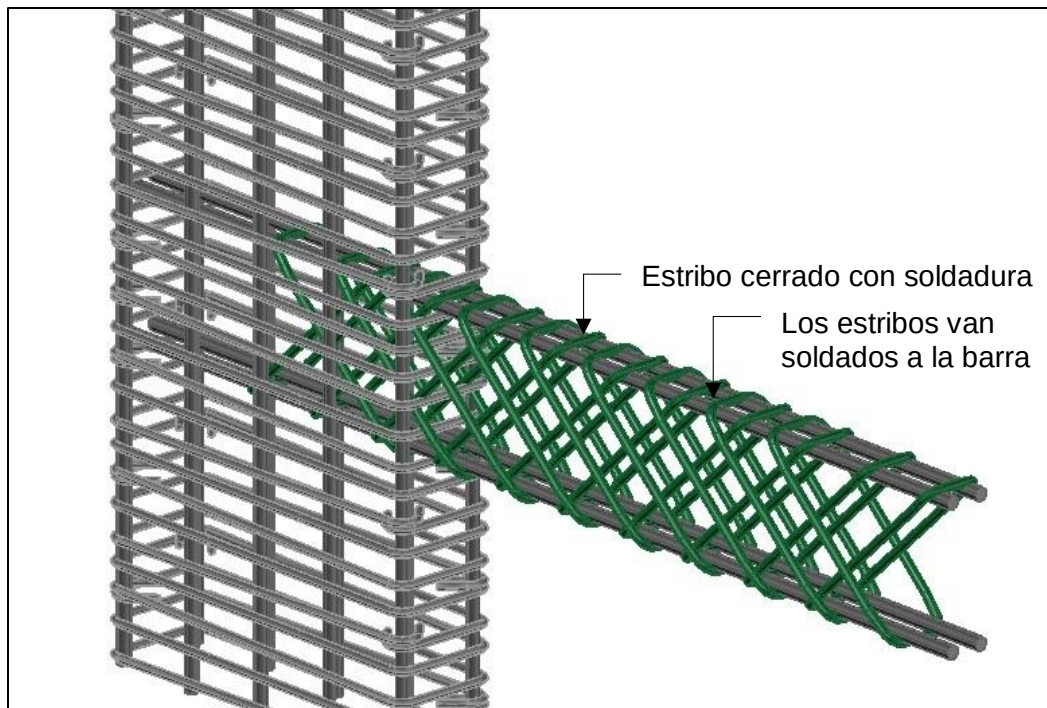


Figura 69. Armadura E.B.2.

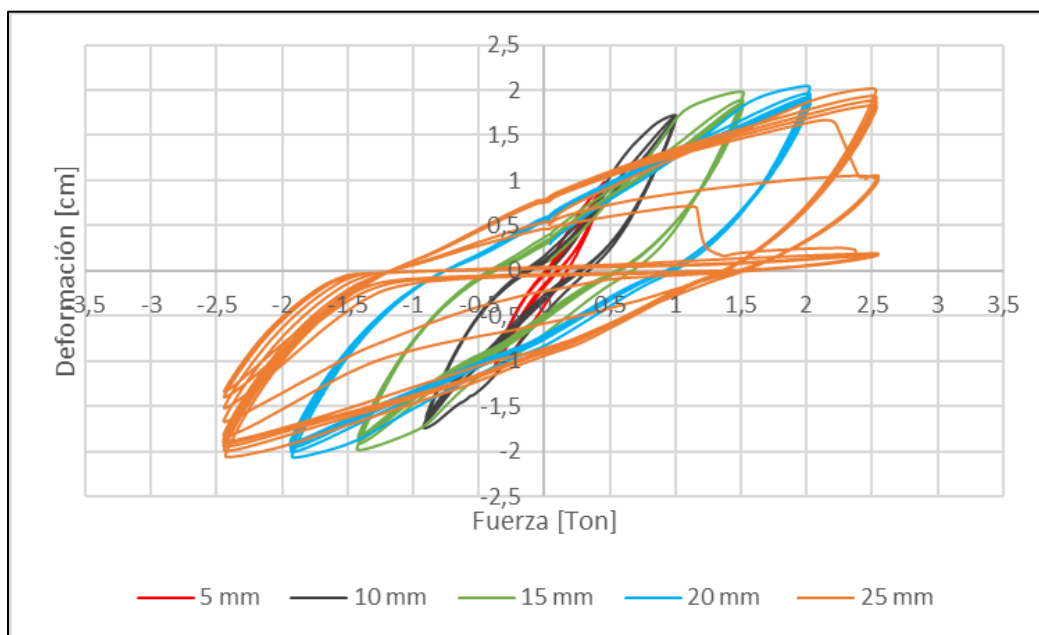


Figura 70. Curvas de fuerza-desplazamiento para probeta E.B.2.

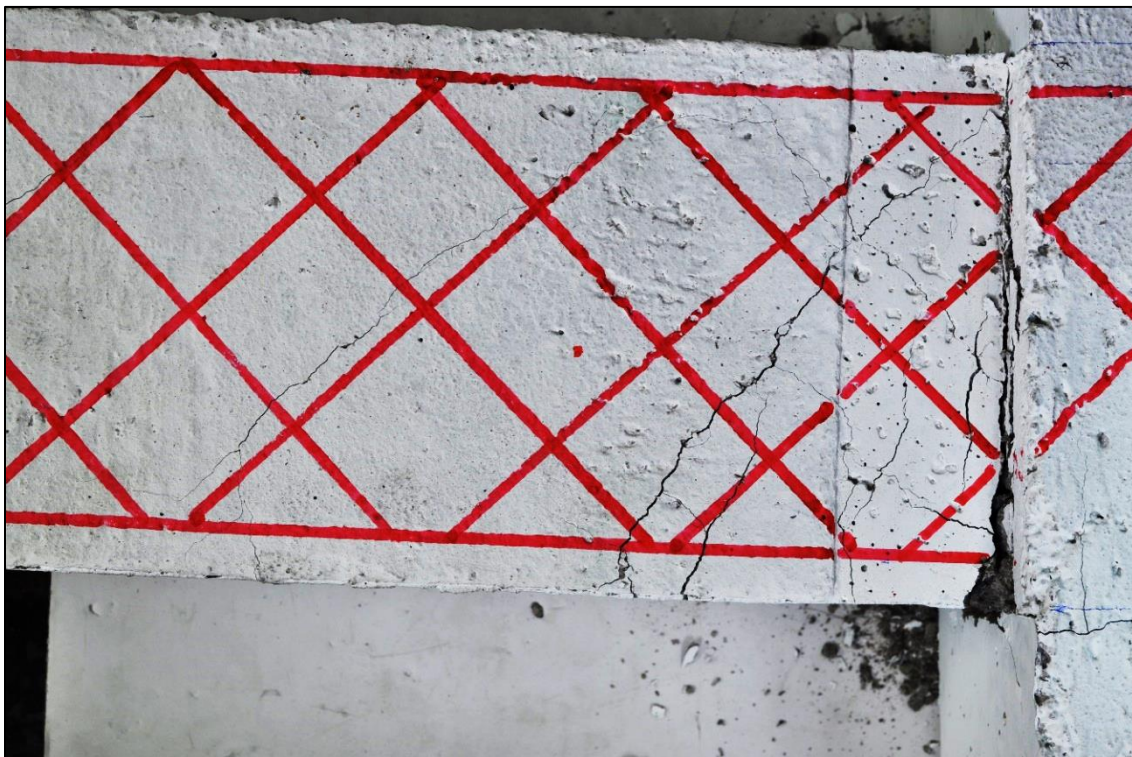


Figura 71. E.B.2. Quinto ciclo. Amplitud 25 [mm]. (Máximo desplazamiento positivo).

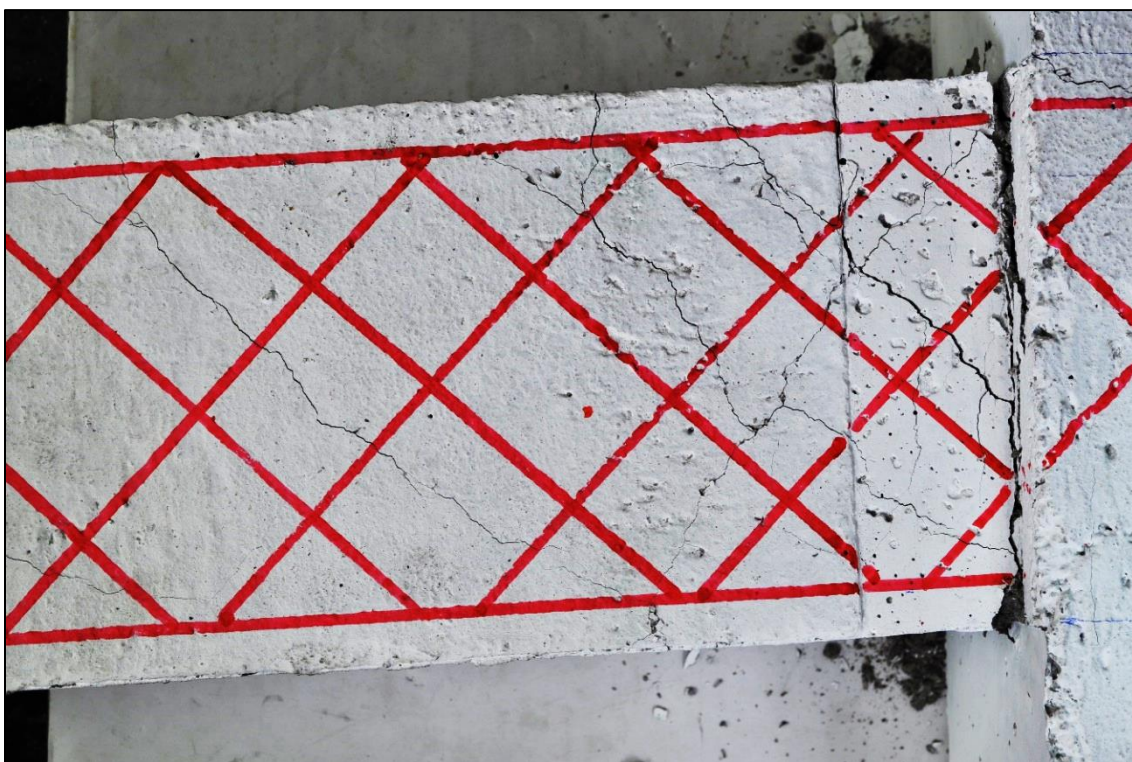


Figura 72. E.B.2. Quinto ciclo. Amplitud 25 [mm]. (Máximo desplazamiento negativo).

En los ciclos de 10 [mm] aparecen mayor cantidad de grietas en la parte exterior de la columna en comparación con su similar E.B.1.

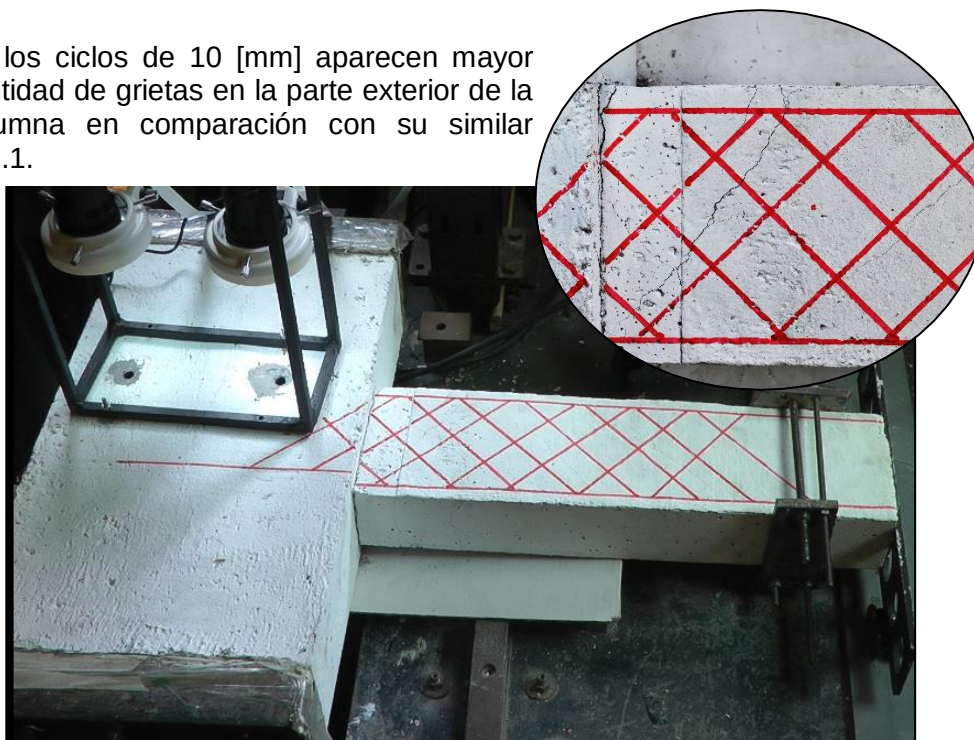


Figura 73. E.B.2. Estado de la probeta al finalizar los ciclos de 10 [mm].

Se cortó una barra en el quinto ciclo de 25 [mm], en el séptimo ciclo se cortó la segunda barra del mismo lado, cayendo la resistencia a cero.

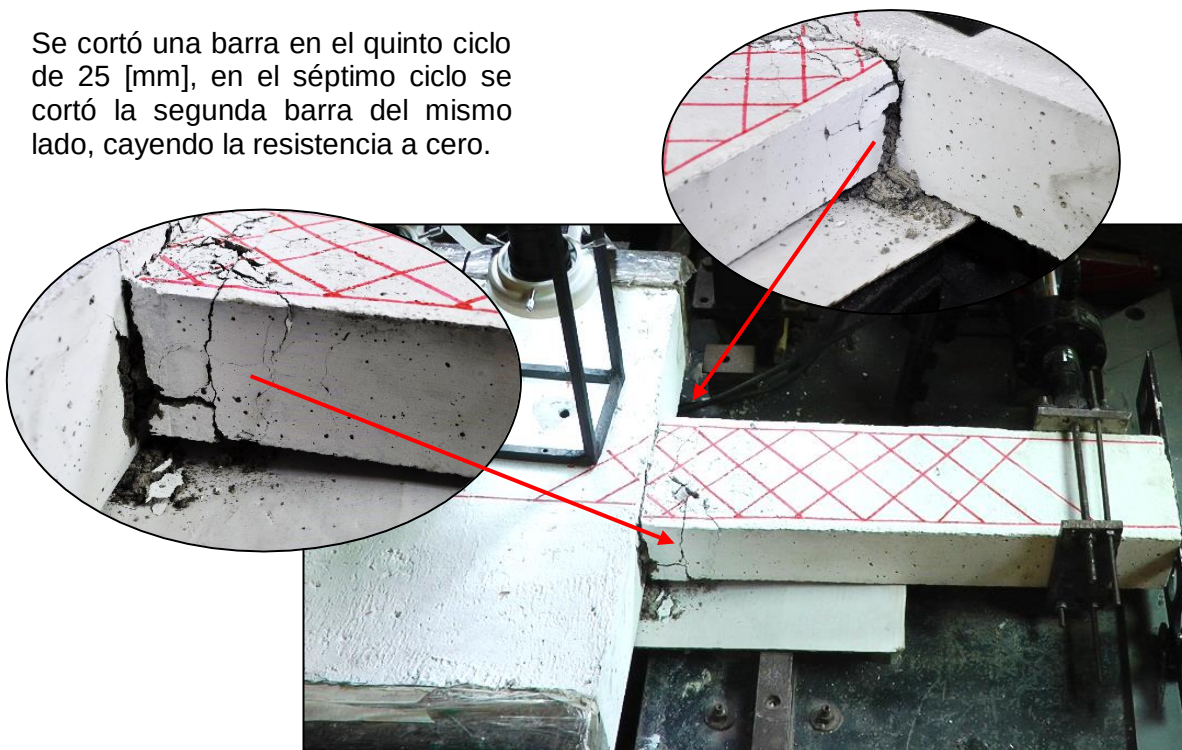


Figura 74. E.B.2. Estado del espécimen al termino de los ciclos de 25 [mm]

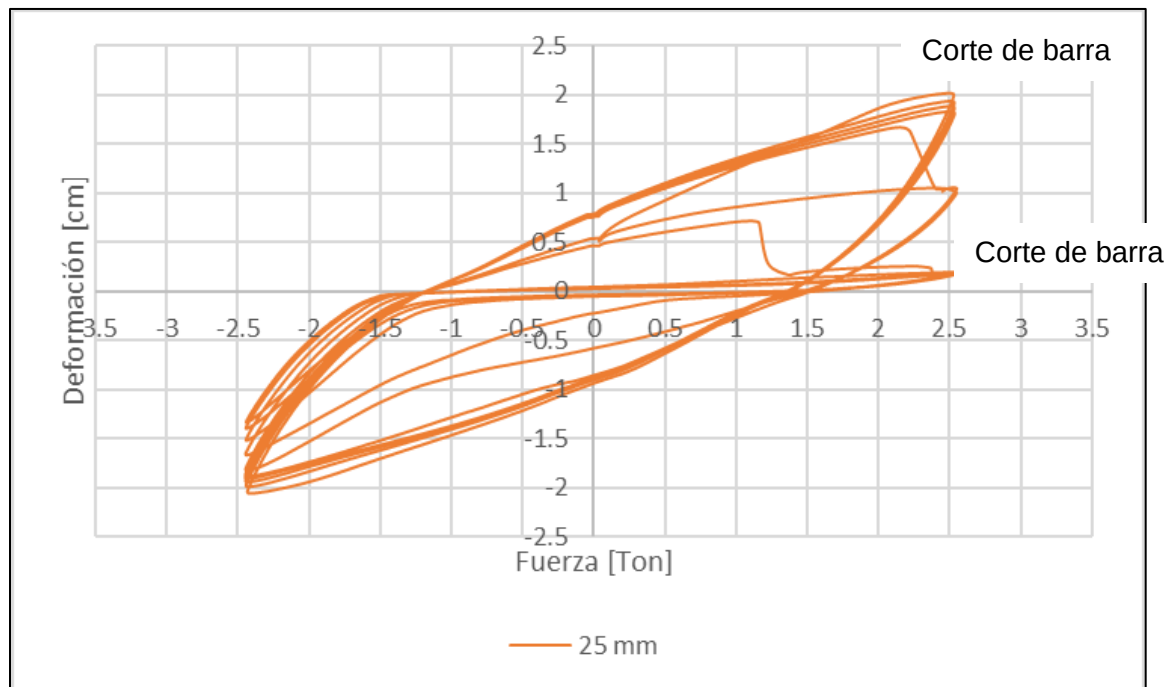


Figura 75. Curva fuerza-desplazamiento viga E.B.2. Amplitud 25 [mm].

Comentarios:

- Se observó que todas las soldaduras resistieron bien los ciclos de carga.
- Fue evidente el deslizamiento de la armadura longitudinal en el interior de la columna.
- Al cortarse dos barras de refuerzo longitudinal se decidió finalizar el ensayo en el décimo ciclo de 25 [mm].

5.7. Espécimen C.B.1.

Estribos inclinados de acero inoxidable de 3 [mm] hechos en la forma de un cerco cerrado con soldadura, amarrados a las barras longitudinales

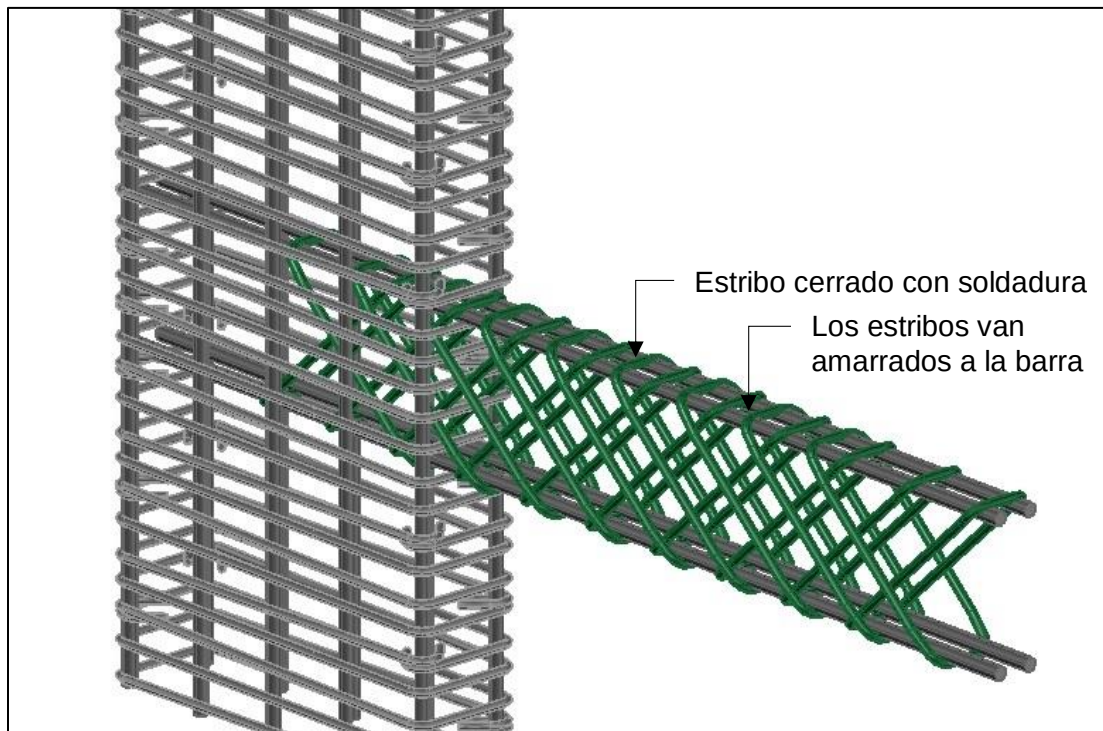


Figura 76. Armadura C.B.1.

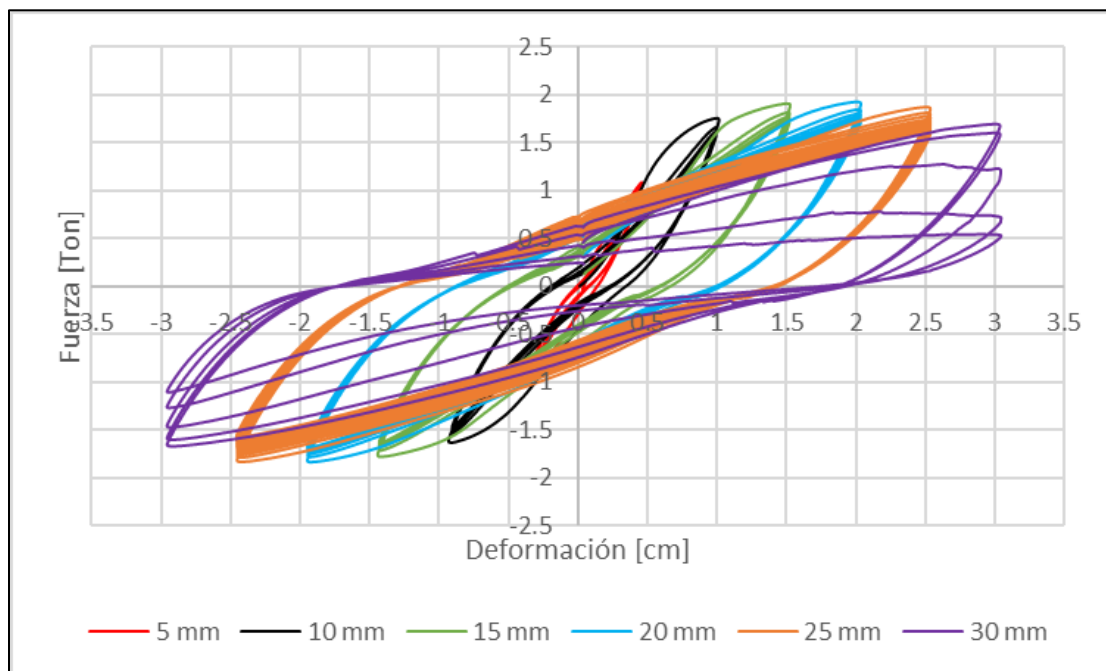


Figura 77. Curvas de fuerza-desplazamiento probeta C.B.1.

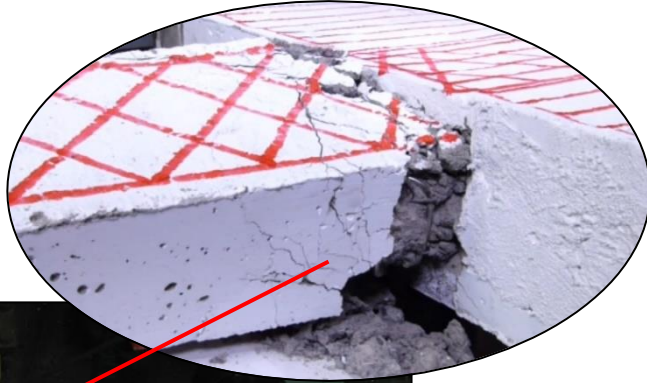
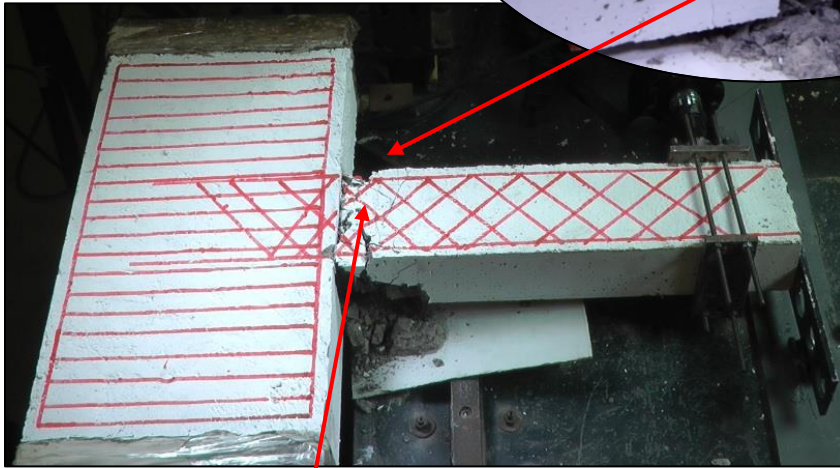


Figura 78. C.B.1. Quinto ciclo. Amplitud 25 [mm]. (Máximo desplazamiento positivo).



Figura 79. C.B.1. Quinto ciclo. Amplitud 25 [mm]. (Máximo desplazamiento negativo).

Fragmentación y
desprendimiento de
hormigón en la viga
durante los ciclos de
20 [mm] y 25 [mm]



Desprendimiento considerable
de hormigón debido al
movimiento de los estribos al
interior de la viga.

Figura 80. C.B.1. Estado final de la probeta al finalizar los ciclos de 25 [mm]

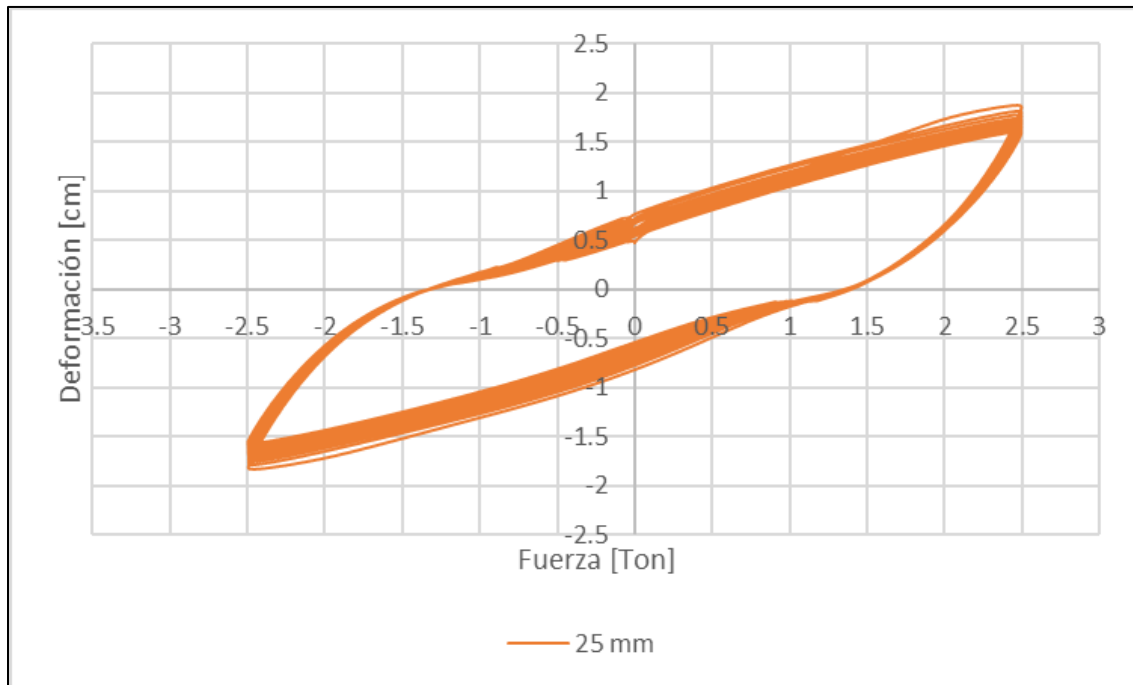


Figura 81. Curva fuerza-deslizamiento viga C.B.1. Amplitud 25 [mm].

Comentarios:

- Mayor agrietamiento y fragmentación de la viga desde el comienzo del ensayo en comparación a los especímenes ensayados anteriormente.
- Las amarras resistieron bien los ciclos de carga, sin cortarse. Sí se observó deslizamiento de los estribos.
- Se observó gran desprendimiento del hormigón durante los ciclos de 30 [mm], lo que generó considerable degradación de la resistencia.
- No hubo corte de las barras longitudinales, contribuyó a esto el hecho que la armadura transversal se encontraba amarrada, no soldada, y por lo tanto no hubo efectos perjudiciales por temperatura.

6.8. Espécimen M.D.1

Estribos rectos de acero inoxidable de 3 [mm] hechos en la forma de un cerco cerrado con soldadura, soldados a las barras longitudinales

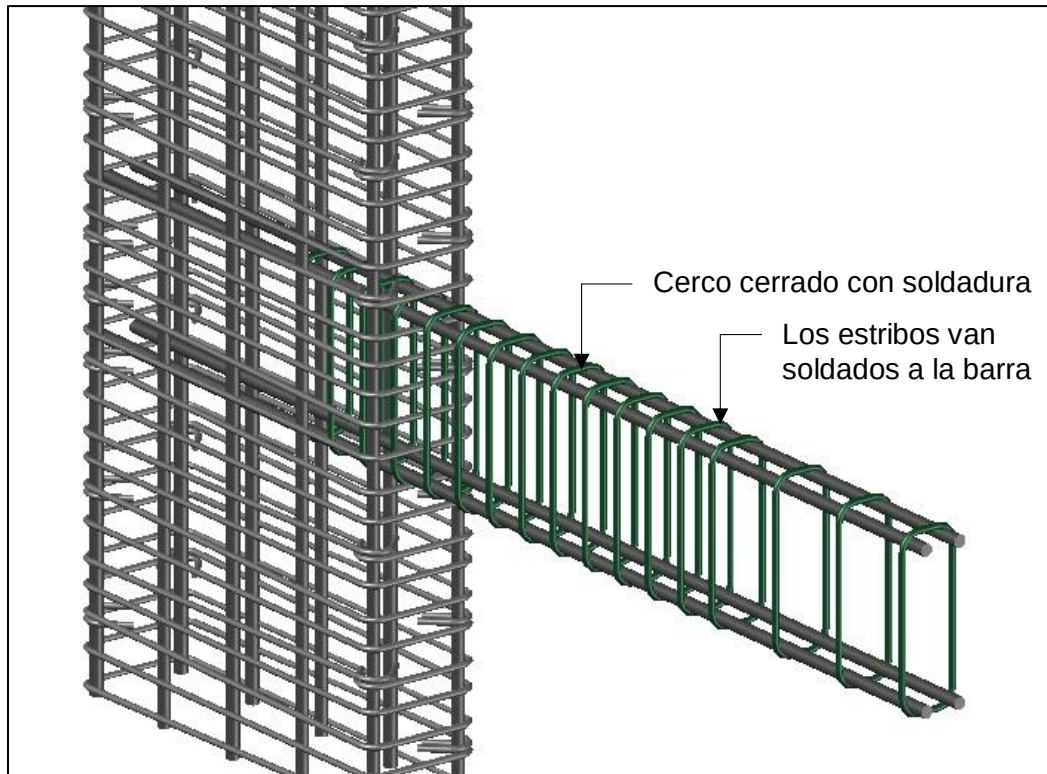


Figura 82. Armadura M.D.1.

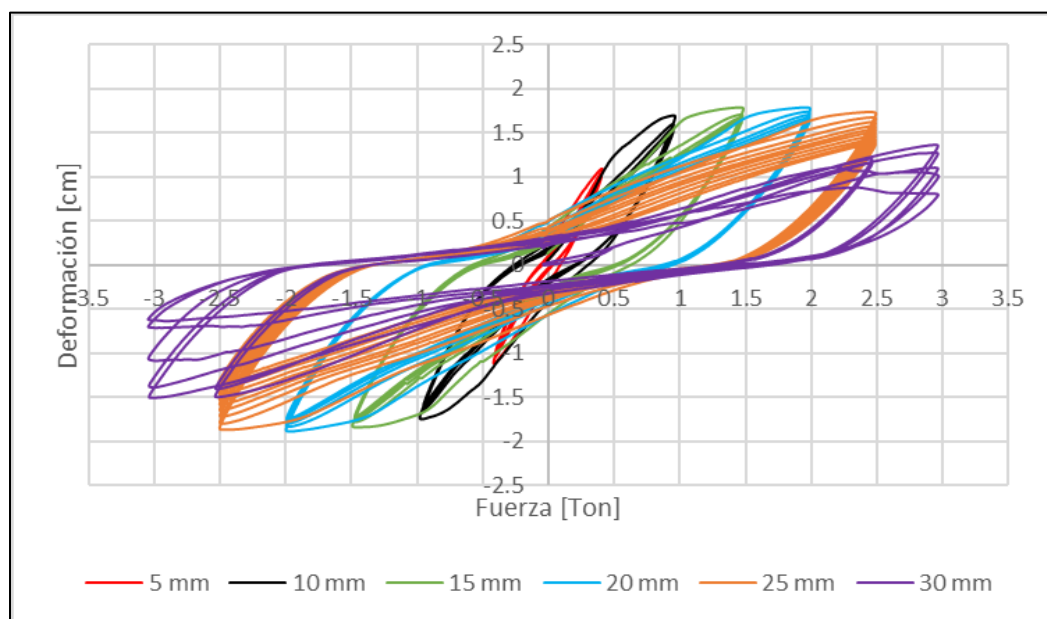


Figura 83. Curvas de fuerza-desplazamiento para probeta M.D.1.



Figura 84. M.D.1. Quinto ciclo. Amplitud 25 [mm]. (Máximo desplazamiento positivo).



Figura 85. M.D.1. Quinto ciclo. Amplitud 25 [mm]. Máximo desplazamiento negativo).

Considerable desprendimiento de hormigón al finalizar los ciclos de 25 [mm], diferenciándose de los especímenes con estribos en 45°.

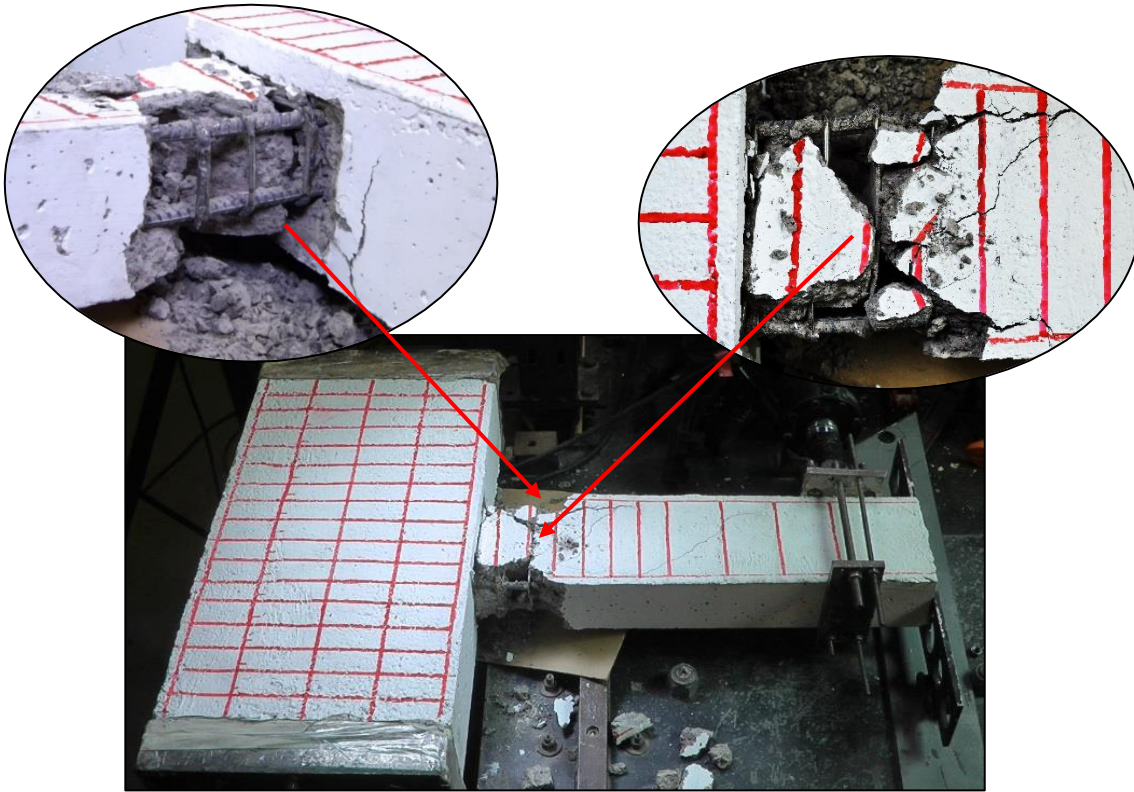


Figura 86. M.D.1. Estado de la probeta al finalizar los cinco ciclos de 30 [mm].

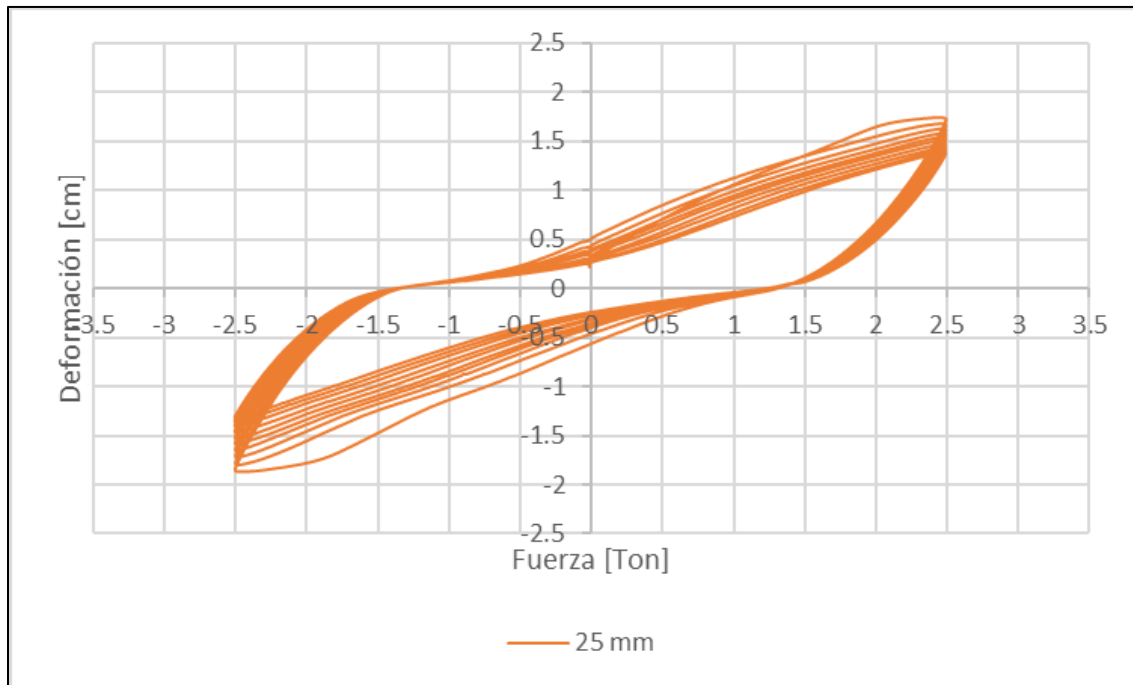


Figura 87. Curva fuerza-desplazamiento viga M.D.1. Amplitud 25[mm]

Comentarios:

- Se observa que las soldaduras resisten bien todos los ciclos de carga.
- Hubo degradación de la resistencia debido al desprendimiento de hormigón, como se observó en el gráfico de 25 [mm].
- No hubo corte de barras de refuerzo longitudinal, debido al considerable desprendimiento de hormigón, finalizándose el ensayo en el quinto ciclo de 30 [mm].

5.9. Espécimen N.B.1

Estribos rectos de acero inoxidable de 3 [mm] hechos en la forma de un cerco cerrado con soldadura, amarrados a las barras longitudinales

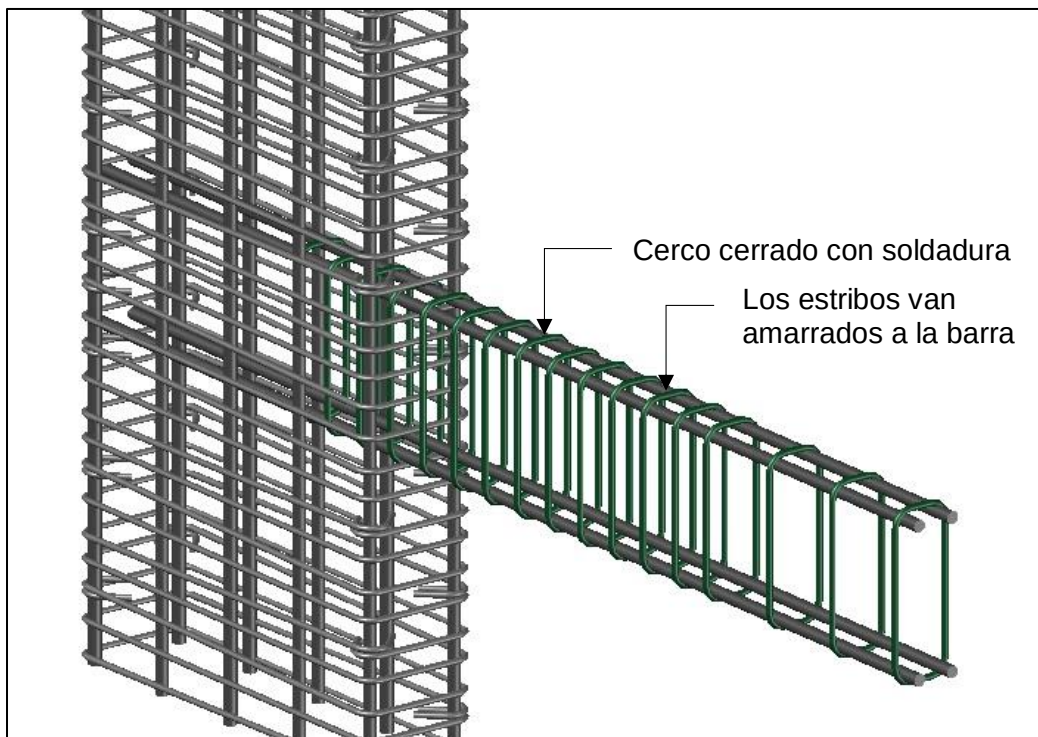


Figura 88. Armadura N.B.1

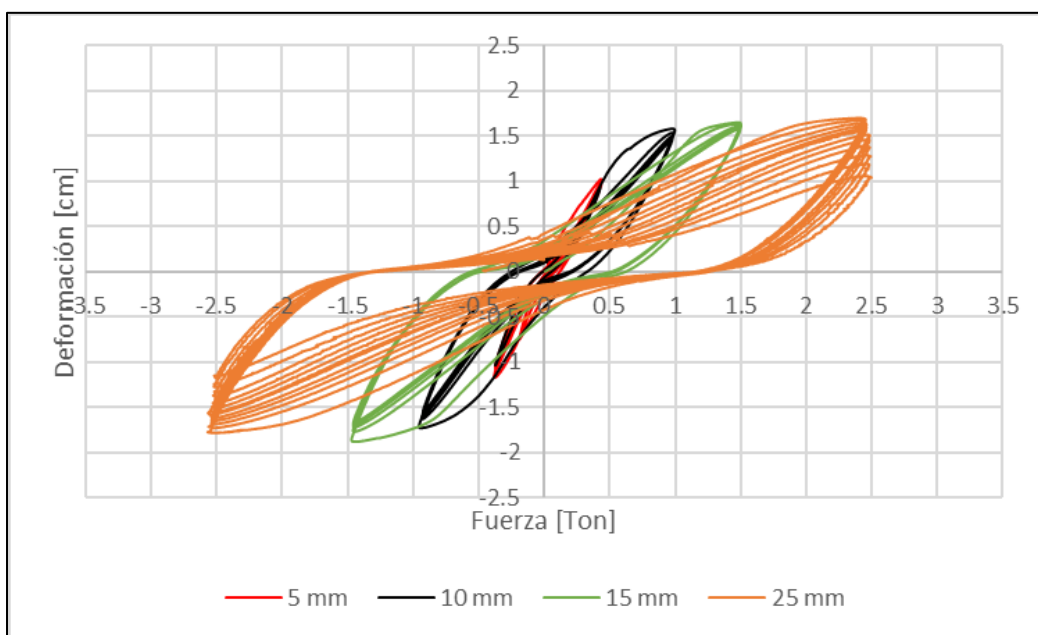


Figura 89. Curvas de fuerza-desplazamiento probeta N.B.1.

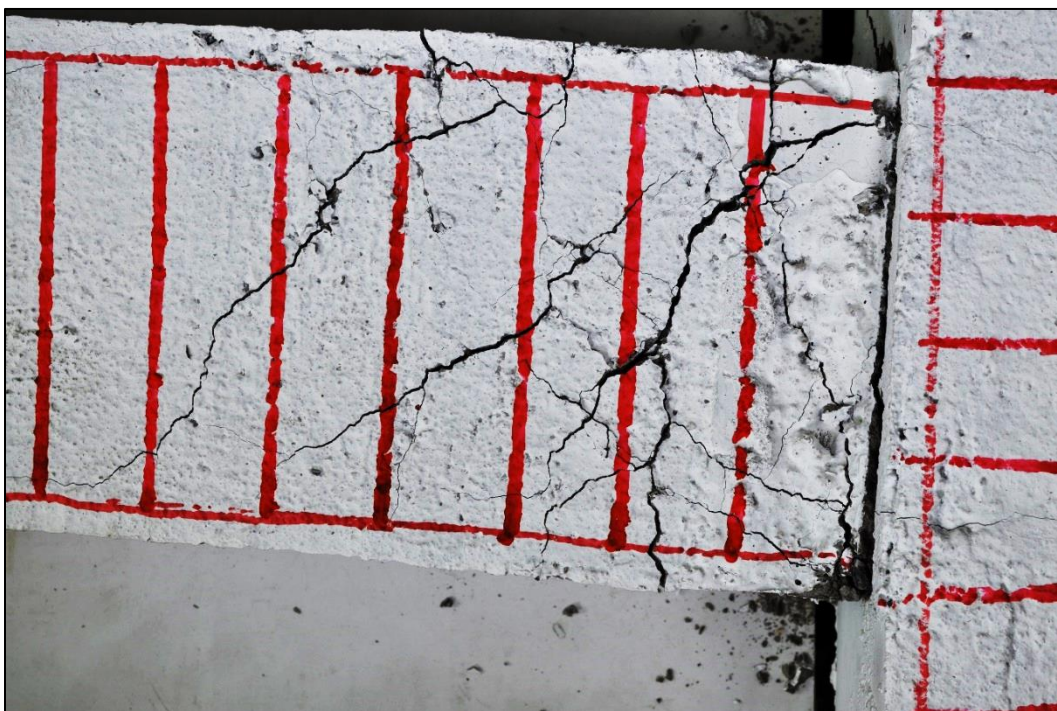
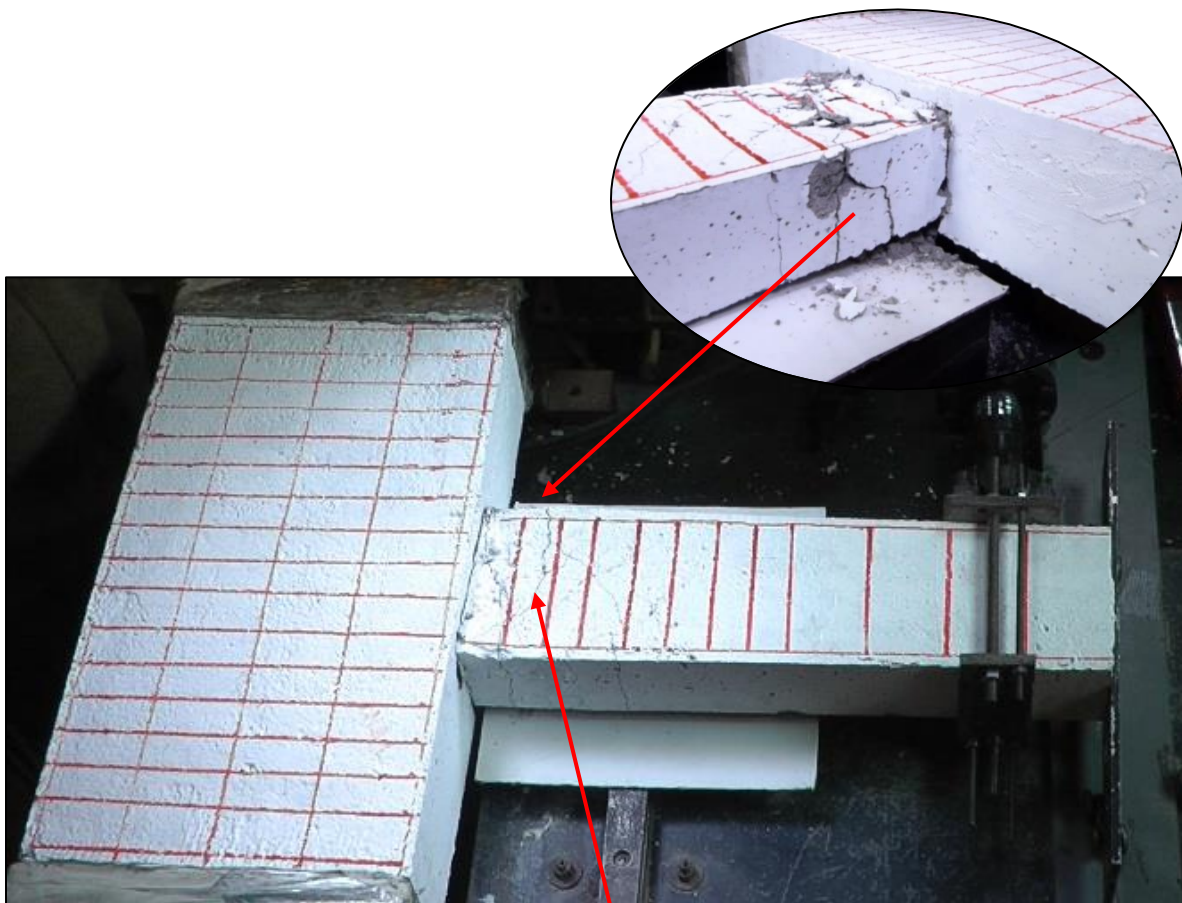


Figura 90. N.B.1. Quinto ciclo. Amplitud 25 [mm]. (Máximo desplazamiento positivo).



Figura 91. N.B.1. Quinto ciclo. Amplitud 25 [mm]. (Máximo desplazamiento negativo).



Durante los primeros ciclos de carga se presentó gran fragmentación de hormigón, quedando con daño considerable al final del ensayo.

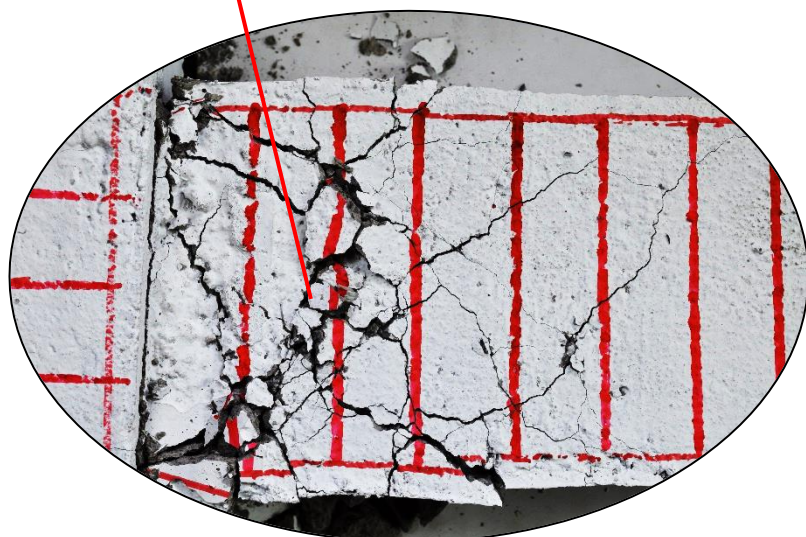


Figura 92. N.B.1 Estado de la probeta al finalizar los ciclos de 25 [mm]

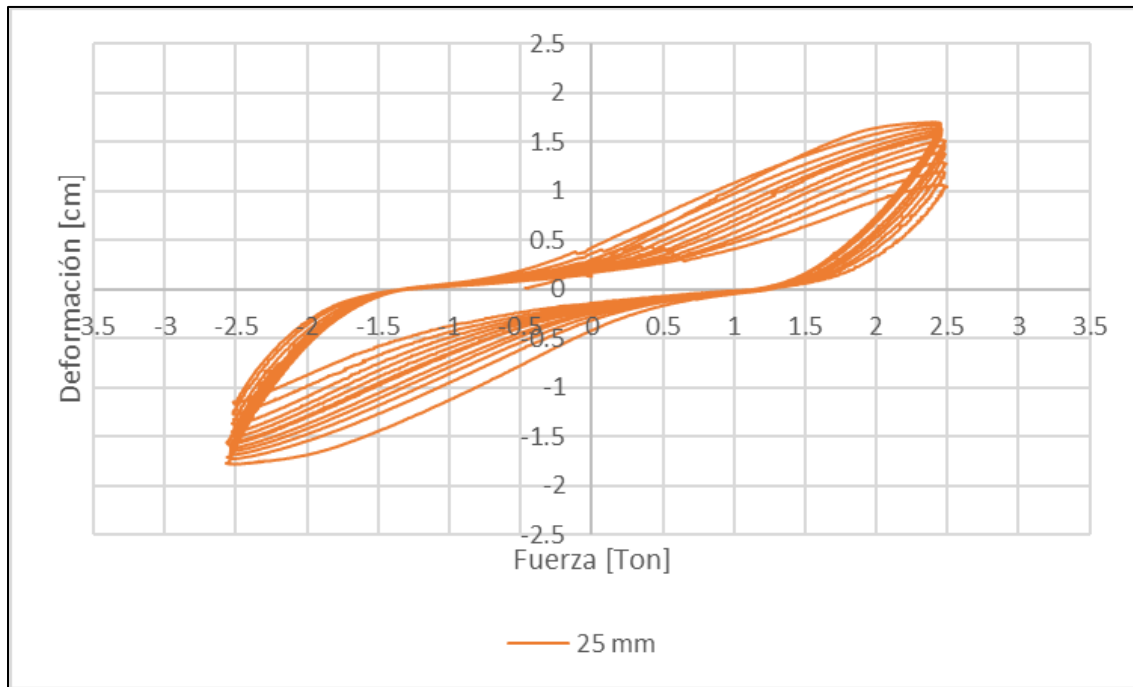


Figura 93. Curva fuerza-desplazamiento viga N.B.1. Amplitud 25 [mm].

Comentarios:

- Se observó gran desprendimiento de hormigón en la viga, provocando la degradación de la resistencia que se aprecia en la figura 93.
- Las amarras resistieron bien los ciclos de carga, sin cortarse. Sí se observó deslizamiento de los estribos.
- El ensayo finaliza en décimo ciclo de 25 [mm].

5.10. Comentarios de los Resultados

5.10.1. Cambio de estribos con gancho sísmico a cerco cerrado con soldadura

Los estribos con forma de cerco cerrados con soldadura son más firmes en su unión, tienen menos deslizamiento y confinan el hormigón mejor que los estribos con gancho sísmico.

Nótese que hubo estribos cortados en la proximidad de los puntos de soldadura, probablemente por problemas de calor, sin embargo, hubo algunos casos en que los estribos se cortaron lejos de los puntos de soldadura (figura 94). El hecho que la soldadura a las barras longitudinales impide a los estribos acomodarse, a veces resulta en un incremento extraordinario en la fuerza a que éstos resultan sometidos.



Figura 94. Estribo con gancho sísmico (izquierda). Estribo cerrado traslapado y soldado (derecha).



Figura 95. Estribo cortado lejos del punto de soldadura.

5.10.2. Deslizamiento

En la mayoría de los especímenes se vio deslizamiento de las barras de refuerzo longitudinal en el interior de la columna, observándose esto en primera instancia en el agrietamiento y posterior desprendimiento del hormigón en la cara exterior de la columna (figura 96). Dado los resultados de la probeta G.F.2, en que hubo notorio deslizamiento, se concluye que lo ocurrido contribuye positivamente al desempeño global, ya que de entre las soldadas, fue la única que no cortó algunas de sus barras longitudinales.



Figura 96. Agrietamiento en zona exterior de la columna a causa del deslizamiento de las barras de refuerzo longitudinal.

5.10.3. Amarras y soldaduras

Al iniciar este estudio se pensó que para evitar el corrimiento de los estribos la mejor opción era utilizar acero CAPSOL para el refuerzo longitudinal y soldar los estribos a este. Sin embargo, vigas construidas de esta manera no alcanzaron a llegar al fin del programa de carga cortando su armadura durante los ciclos de 25 [mm] a diferencia de las vigas con estribos inclinados amarrados, que llegaron sin problemas a los ciclos de 30 [mm].

Se observó que el efecto del corrimiento de los estribos amarrados no fue tan grave como se había pensado al comienzo de la investigación, ya que si esto ocurría era en ciclos avanzados del ensayo.

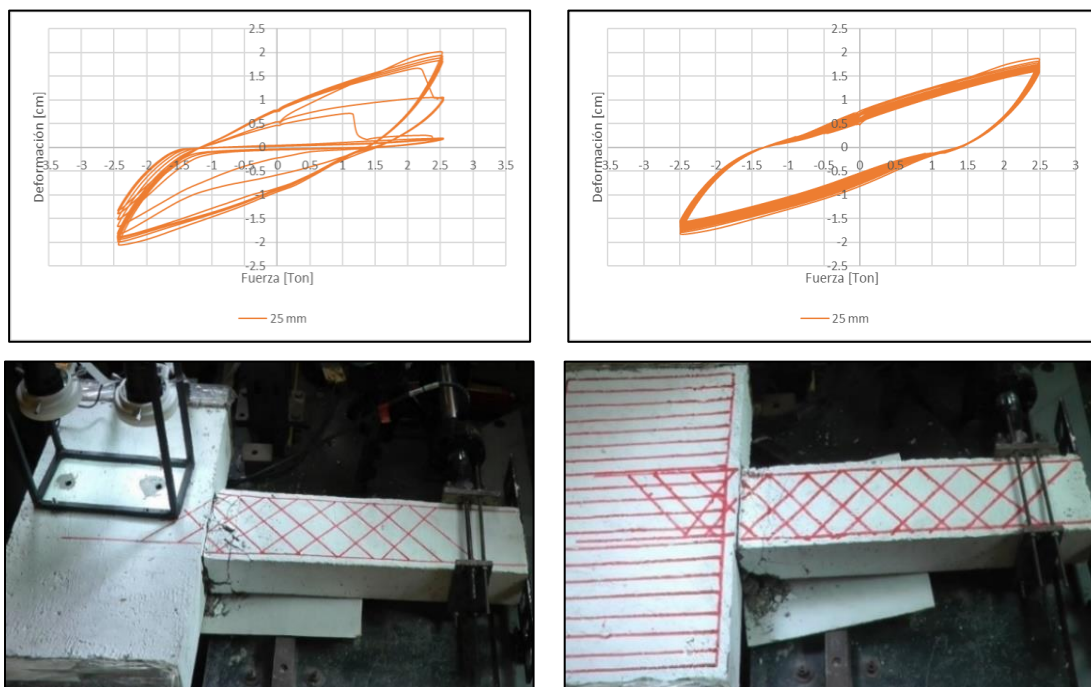


Figura 97. Gráfico 25 [mm] y deterioro probeta E.B.1 (izquierda) y gráfico 25 [mm] y deterioro probeta C.B.1 (derecha).

CAPITULO VI

Conclusiones

Se construyeron nueve probetas representando la zona de la viga próxima a la columna, todas con acero longitudinal soldable de calidad A630 – 420S, las cuales se ensayaron bajo solicitación sísmica en el Laboratorio de Ingeniería Sismorresistente del Departamento de Obras Civiles. El estudio consideró vigas con estribos rectos, con estribos inclinados, con estribos amarrados y con estribos soldados de 3 [mm] y 4,2[mm].

En esta institución los estudios referentes a vigas con estribos inclinados ya se han realizado durante largo tiempo y en esta ocasión nuevamente mostraron buenos resultados. Sus curvas de histéresis fueron mucho más estables y anchas que las de similares vigas con armadura transversal convencional. La aparición de grietas no fue hasta ciclos avanzados de carga, al igual que la fragmentación y desprendimiento de hormigón. Sin embargo, en algunas de las vigas con armadura transversal inclinada, se cortó la armadura longitudinal hacia el final de los ensayos, lo cual es una falla catastrófica y que no se observó en vigas con estribos rectos.

El comportamiento de todos los especímenes fue similar hasta el final de los cinco ciclos de 20 [mm], sin presentar daños ni deterioros. A partir de ese instante se ve un notorio angostamiento en las curvas de histéresis y grave deterioro en las probetas que tenían armadura transversal recta, mientras que las que tenían armadura transversal inclinada presentaron muy poco daño. Algunas de estas, que tenían armadura con estribos cerrados soldados de 4,2 [mm] casi no presentaron daño.

No existieron grandes diferencias entre los resultados de vigas con estribos de acero estriado AT56 -50H de 4,2 [mm] y estribos de acero inoxidable liso de 3 [mm], salvo lo esperado por la ligeramente menor capacidad de estas últimas.

Casi todas las vigas en las cuales los estribos se encontraban soldados a las barras longitudinales cortaron alguna barra hacia el final de los ensayos, determinando de esta manera que la soldadura complica mucho la faena de la construcción, debido que el acero CAPSOL necesitaría de condiciones muy controladas. En cambio, en este trabajo la soldadura fue realizada en un ambiente normal de obra de construcción. G. Figueroa (2019) se ha dedicado a estudiar este problema.

El efecto del desplazamiento de amarras apenas se detectó, por lo tanto, no fue tan grave como se había pensado al comienzo del estudio, ocurriendo en algunos casos en momentos cercanos al colapso del espécimen por alguna razón ajena a este efecto. Es por esto y además debido a que casi todas las vigas con estribos cerrados, traslapados y soldados dieron muy buenos resultados, es que el presente estudio confirma que es mejor que se construyan vigas con estribos configurados como cercos soldados confeccionados en fábrica y sólo amarrados a la armadura longitudinal en terreno, no soldados.

BIBLIOGRAFIA

- Schnaidt, C. Estudio en mesa de simulación de terremotos de dos soluciones para el soporte de una plataforma de hormigón armado. Tesis para optar al grado de Magister en Ciencias de la Ingeniería Civil, UTFSM, Valparaíso, Chile, 2005.
- Rondón, C. Manual de Armaduras de Refuerzo para Hormigón, Gerdau Aza. Santiago de Chile: M y M Servicios Gráficos S.A. 2005.
- Moreno, A. Falla de vigas de marcos sísmicos de hormigón armado en la zona próxima al nudo. Memoria para optar al título de Constructor Civil, UTFSM, Valparaíso, Chile, 2011.
- Silva, B. Vigas de hormigón armado con refuerzo al corte en 45° sometidas a cargas cíclicas. Memoria para optar al título de Constructor Civil, UTFSM, Valparaíso, Chile, 2005.
- Vergara, M. Viga de hormigón armado con refuerzo uniforme y con refuerzo variable en su longitud, sometidas a solicitaciones sísmicas. Estudio experimental. Memoria para optar al título de Constructor Civil, Valparaíso, Chile, 2014.
- Pino, C. Vigas de hormigón armado con refuerzo transversal y anclajes inclinados 45° sometidas a sollicitación sísmica. Memoria para optar al título de Constructor Civil, UTFSM, Valparaíso, Chile, 2016.
- Lobera, R. Respuesta sísmica de marcos de hormigón armado con detalles innovadores para las vigas en las zonas próximas a los nudos. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, UTFSM. Valparaíso, Chile, 2016.