



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

**CURVAS DE CAPACIDAD DE CUERDAS DE POLIÉSTER DAÑADAS:
ESTUDIO EXPERIMENTAL**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

ALEJANDRO GARATE FLORES

PROFESOR GUÍA:
JUAN FELIPE BELTRÁN MORALES

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
RICARDO MOFFAT COVARRUBIAS
BORIS SÁEZ GARCIA

SANTIAGO DE CHILE
2019

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA
OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
POR: ALEJANDRO GARATE FLORES
FECHA: 1 DE ABRIL 2019
PROFESOR GUÍA: J. FELIPE BELTRÁN

“CURVAS DE CAPACIDAD DE CUERDAS DE POLIÉSTER DAÑADAS:
ESTUDIO EXPERIMENTAL”

Las cuerdas de poliéster tienen una mejor relación resistencia por peso en comparación con cables tradicionales como por ejemplo los de acero y debido a los avances tecnológicos en la producción de fibras sintéticas las cuerdas de poliéster son cada día más usadas en la ingeniería. Producto del deterioro que sufren las cuerdas de poliéster por el uso se ha querido estudiar cómo afecta en las capacidades de la cuerda cuando se corta totalmente una o más hebras.

La presente memoria tiene como objetivo estudiar las consecuencias de daños provocados en cuerdas de poliéster, de esta manera, determinar cómo afecta en la capacidad y deformación de la cuerda. Se estudiará cuanto disminuye la resistencia a tracción dependiendo de las hebras dañadas y el fenómeno de localización de deformaciones en la zona dañada.

Para el estudio experimental fueron ensayadas a tracción cuerdas de poliéster de 8 mm, 12mm y 16 mm de diámetro en la Máquina INSTRON 600 LX, estas cuerdas están conformadas por 3 hebras enrolladas de forma helicoidal. Se confeccionarán 3 tipos de probetas de cuerdas para cada diámetro: la primera probeta corresponderá a una cuerda virgen, la segunda una cuerda con una hebra dañada y la tercera una cuerda con 2 hebras dañadas. Es importante recalcar que los daños se realizaron en una sección ubicada en la longitud media de la cuerda. Se colocaron 3 extensómetros en la parte superior, inferior y central de la cuerda ensayada para medir las deformaciones locales y un LVDT para medir la deformación global de la cuerda. También para cada diámetro de cuerda se ensayarán a tracción probetas confeccionadas con hebras de cuerdas vírgenes.

De los resultados obtenidos se concluyó que las hebras cortadas de cuerdas de poliéster dañadas comienzan a tomar carga a una distancia de la sección dañada, esta longitud de cuerda se le llama largo de recuperación. Además, se determinó experimentalmente que los ganchos son más eficientes que las prensas tipo crosby para ensayar a tracción cuerdas de poliéster. Se comprobó que cualitativamente las curvas de capacidad son más flexibles a medida que aumenta el daño en la sección transversal de la cuerda. Con respecto a la rigidez se logró determinar cuantitativamente que la rigidez de la cuerda disminuye a medida que el daño aumenta en la sección transversal para todos los 3 diámetros y que la rigidez de las hebras es un poco menor que la rigidez de una cuerda virgen.

A modo de recomendación los extensómetros no resultaron confiables para medir deformaciones locales en las cuerdas de poliéster ya que estos no se agarraban bien. En cambio, el LVDT es bastante confiable para medir deformaciones globales en cuerdas de poliéster ya que tiene la ventaja que no le afecta la rotación de la cuerda y donde no está agarrado a la cuerda puede medir deformaciones hasta que termine el ensayo.

Agradecimientos

Agradezco a FONDECYT proyecto N°1150409 por el financiamiento otorgado a esta investigación.

Quiero darles las gracias a los profesores Juan Felipe Beltrán y Ricardo Moffat por todo el gran apoyo y disposición que siempre mostraron en este tema de investigación. Gracias al profesor Boris Sáez por ser miembro de la comisión. También agradezco al profesor Pedro Soto y a Víctor por toda la ayuda recibida en el laboratorio.

Agradezco a mi familia y a todas las personas que me ayudaron en estos largos años universitarios.

Tabla de contenido

Agradecimientos	iii
Tabla de contenido.....	iv
Índice de figuras	vi
Índice de tablas	ix
Capítulo 1. Introducción	11
1.1. Antecedentes	11
1.2. Objetivos	12
1.2.1. Generales	12
1.2.2. Específicos.....	12
1.3. Metodología	12
1.4. Resultados esperados	13
Capítulo 2. Revisión bibliográfica	14
2.1. Normativa.....	14
2.2. Estudios previos	14
Capítulo 3. Montaje experimental de cuerdas de poliéster.....	16
3.1. Cantidad de cuerdas ensayadas	16
3.2. Máquina de Ensayo	18
3.3. Instrumentación: Extensómetro y LVDT.....	19
3.4. Montaje experimental de cuerdas de diámetro 8 mm.....	20
3.3. Montaje experimental de cuerdas de diámetro 12 mm y 16 mm	22
3.4. Nomenclatura de los ensayos	24
3.5. Características de los ensayos de cuerdas de diámetro 8mm.....	25
3.6. Características de los ensayos de cuerdas de diámetro 12 mm.....	27
3.7. Características de los ensayos de cuerdas de diámetro 16 mm.....	30
Capítulo 4. Análisis experimental de cuerdas de poliéster	32
4.1. Análisis experimental para cuerdas de poliéster de diámetro 8 mm.....	33
4.1.1. Carga máxima.....	33
4.1.2. Efecto área.....	34
4.1.3. Gráficos de carga vs deformación	36
4.2. Análisis experimental para cuerdas de poliéster de diámetro 12 mm.....	40
4.2.1. Carga máxima.....	40
4.1.2. Efecto área.....	41
4.2.3. Gráficos de carga vs deformación	45

4.3. Análisis experimental para cuerdas de poliéster de diámetro 16 mm.....	48
4.3.1. Carga máxima.....	48
4.1.2. Efecto área.....	49
4.3.2. Gráficos de carga vs deformación.....	52
Capítulo 5. Rigidez de las cuerdas de poliéster.....	57
5.1. Rigidez de las cuerdas de poliéster de diámetro 8 mm.....	57
5.2. Rigidez de las cuerdas de poliéster de diámetro 12 mm.....	59
5.3. Rigidez de las cuerdas de poliéster de diámetro 16 mm.....	61
Capítulo 6. Conclusiones.....	63
Bibliografía.....	65
Anexo.....	66

Índice de figuras

Figura 1: Cuerda de poliéster de diámetro 8 mm	16
Figura 2: Sección transversal de la cuerda	17
Figura 3: Vista longitudinal de la cuerda.....	17
Figura 4: Máquina INSTRON 600 LX largo extendido manual funcionamiento a tracción (círculos rojos mordazas para funcionamiento a tracción).....	18
Figura 5: Muela colocada en una mordaza (círculo rojo).....	19
Figura 6: Extensómetro	19
Figura 7: LVDT (círculo rojo).....	20
Figura 8: Gancho en 3 vistas distintas	21
Figura 9: Amarre de cuerda a gancho.....	21
Figura 10: Montaje experimental de la cuerda de diámetro 8 mm con 3 extensómetros.....	22
Figura 11: Prensa tipo Crosby	22
Figura 12: Ojales en los extremos de la cuerda formadas por prensas tipo Crosby	23
Figura 13: Unión placa metálica y ojal de cuerda de poliéster.....	23
Figura 14: Montaje experimental para cuerda de poliéster de diámetro 16 mm virgen con 2 extensómetros y LVDT	24
Figura 15: Esquematación de los daños a la sección transversal de las probetas ensayadas.....	25
Figura 16: Esquema de los 3 largos de la cuerda de diámetro 8 mm	26
Figura 17: Esquema de los 3 largos de la cuerda de diámetro 12 mm	29
Figura 18: Esquema de instrumentos de medición para cuerda de diámetro 8 mm.	33
Figura 19: Gráfico carga máxima normalizada por la carga máxima promedio de las cuerdas vírgenes versus el área remanente para la cuerda de diámetro 8 mm.....	36
Figura 20: Gráfico carga vs deformación cuerda de diámetro 8 mm virgen.....	37
Figura 21 :Gráfico carga vs deformación cuerda de diámetro 8 mm con 1 daño.....	38
Figura 22: Gráfico carga vs deformacion cuerda de diámetro 8 mm con 2 daños	39
Figura 23: Gráfico carga vs deformacion hebra cuerda de diámetro 8 mm virgen	40
Figura 24: Gráfico carga máxima normalizada por la carga máxima promedio de las cuerdas vírgenes versus el área remanente para la cuerda de diámetro 12 mm.....	44
Figura 25: Gráfico carga máxima normalizada por la carga mínima de rotura especificada por el proveedor versus el área remanente para la cuerda de diámetro 12 mm.....	44
Figura 26: Gráfico carga vs deformación cuerda de diámetro 12 mm virgen.....	45
Figura 27: Gráfico carga vs deformacion cuerda de diámetro 12 mm con 1 daño.....	46
Figura 28: Gráfico vs deformacion cuerda de diámetro 12 mm con 2 daños.....	47
Figura 29: Gráfico carga vs deformacion hebra cuerda de diámetro 12 mm virgen	48
Figura 30: Gráfico carga máxima normalizada por la carga máxima promedio de las cuerdas vírgenes versus el área remanente para la cuerda de diámetro 16 mm.....	51
Figura 31: Gráfico carga máxima normalizada por la carga mínima de rotura especificada por el proveedor versus el área remanente para la cuerda de diámetro 16 mm.....	52
Figura 32: Gráficos carga vs deformación cuerda de diámetro 16 mm virgen	53
Figura 33: Gráfico carga vs deformacion cuerda de diámetro 16 mm con 1 daño.....	54
Figura 34: Gráfico vs deformacion cuerda de diámetro 16 mm con 2 daños.....	55
Figura 35: Gráfico carga vs deformacion hebra cuerda de diámetro 16 mm virgen	56
Figura 36: Gráfico completo carga vs deformación cuerda de diámetro 8 mm virgen ensayo numero 1	66

Figura 37: Gráfico completo carga vs deformación cuerda de diámetro 8 mm virgen ensayo numero 2	67
Figura 38: Gráfico completo carga vs deformación cuerda de diámetro 8 mm con 1 daño ensayo numero 1	67
Figura 39: Gráfico completo carga vs deformación cuerda de diámetro 8 mm con 1 daño ensayo numero 2	68
Figura 40: Gráfico completo carga vs deformación cuerda de diámetro 8 mm con 1 daño ensayo numero 3	68
Figura 41: Gráfico completo carga vs deformación cuerda de diámetro 8 mm con 2 daños ensayo numero 1	69
Figura 42: Gráfico completo carga vs deformación cuerda de diámetro 8 mm con 2 daños ensayo numero 2	69
Figura 43: Gráfico completo carga vs deformación cuerda de diámetro 8 mm con 2 daños ensayo numero 3	70
Figura 44: Gráfico completo carga vs deformación hebra cuerda de diámetro 8 mm virgen ensayo numero 1	70
Figura 45: Gráfico completo carga vs deformación hebra cuerda de diámetro 8 mm virgen ensayo numero 2	71
Figura 46: Gráfico completo carga vs deformación hebra cuerda de diámetro 8 mm virgen ensayo numero 3	71
Figura 47: Gráfico completo carga vs deformación cuerda de diámetro 12 mm virgen ensayo numero 1	72
Figura 48: Gráfico completo carga vs deformación cuerda de diámetro 12 mm virgen ensayo numero 2	72
Figura 49: Gráfico completo carga vs deformación cuerda de diámetro 12 mm con 1 daño ensayo numero 1	73
Figura 50: Gráfico completo carga vs deformación cuerda de diámetro 12 mm con 1 daño ensayo numero 2	73
Figura 51: Gráfico completo carga vs deformación cuerda de diámetro 12 mm con 1 daño ensayo numero 3	74
Figura 52: Gráfico completo carga vs deformación cuerda de diámetro 12 mm con 1 daño ensayo numero 4	74
Figura 53: Gráfico completo carga vs deformación cuerda de diámetro 12 mm con 2 daños ensayo numero 1	75
Figura 54: Gráfico completo carga vs deformación cuerda de diámetro 12 mm con 2 daños ensayo numero 2	76
Figura 55: Gráfico completo carga vs deformación cuerda de diámetro 12 mm con 2 daños ensayo numero 3	76
Figura 56: Gráfico completo carga vs deformación cuerda de diámetro 12 mm con 2 daños ensayo numero 4	77
Figura 57: Gráfico completo carga vs deformación hebra cuerda de diámetro 12 mm virgen ensayo numero 1	77
Figura 58: Gráfico completo carga vs deformación hebra cuerda de diámetro 12 mm virgen ensayo numero 2	78
Figura 59: Gráfico completo carga vs deformación hebra cuerda de diámetro 12 mm virgen ensayo numero 3	78

Figura 60: Gráfico completo carga vs deformación hebra cuerda de diámetro 12 mm virgen ensayo numero 4.....	79
Figura 61: Gráfico completo carga vs deformación cuerda de diámetro 16 mm virgen ensayo numero 1.....	79
Figura 62: Gráfico completo carga vs deformación cuerda de diámetro 16 mm virgen ensayo numero 2.....	80
Figura 63: Gráfico completo carga vs deformación cuerda de diámetro 16 mm con 1 daño ensayo numero 1.....	80
Figura 64: Gráfico completo carga vs deformación cuerda de diámetro 16 mm con 1 daño ensayo numero 2.....	81
Figura 65: Gráfico completo carga vs deformación cuerda de diámetro 16 mm con 1 daño ensayo numero 3.....	81
Figura 66: Gráfico completo carga vs deformación cuerda de diámetro 16 mm con 2 daños ensayo numero 1.....	82
Figura 67: Gráfico completo carga vs deformación cuerda de diámetro 16 mm con 2 daños ensayo numero 2.....	82
Figura 68: Gráfico completo carga vs deformación cuerda de diámetro 16 mm con 2 daños ensayo numero 3.....	83
Figura 69: Gráfico completo carga vs deformación hebra cuerda de diámetro 16 mm virgen ensayo numero 1.....	83

Índice de tablas

Tabla 1: Cantidad de ensayos, diámetro de la hebra y angulo de helice de todos los diámetros de cuerdas de poliester ensayados.	16
Tabla 2: Nomenclatura de cada tipo de probeta y sus características	24
Tabla 3: Nomenclatura para señalar el numero de un ensayo para una misma probeta.....	25
Tabla 4: Ejemplo de Nomenclatura “0 #1” y significado.....	25
Tabla 5: Características específicas de cada ensayo para la cuerda de diámetro 8 mm	27
Tabla 6: Cantidad de instrumentos utilizados en cada ensayo para la cuerda de diámetro 8 mm.	27
Tabla 7: Características específicas de cada ensayo para la cuerda de diámetro 12 mm	29
Tabla 8: Cantidad de instrumentos utilizados en cada ensayo para la cuerda de diámetro 12 mm.....	30
Tabla 9: Características específicas de cada ensayo para la cuerda de diámetro 16 mm	31
Tabla 10: Cantidad de instrumentos utilizados en cada ensayo para la cuerda de diámetro 12 mm	32
Tabla 11: Simbología de Instrumentos de medición.....	32
Tabla 12: Ejemplo de nomenclatura para la curva graficada MID 0 #3.....	33
Tabla 13: Carga máxima registrada y área remanente de cada ensayo para la cuerda de diámetro 8 mm	34
Tabla 14: Diferencia de la carga máxima promedio con respecto a la carga mínima de rotura para las cuerdas de diámetro 8 mm	34
Tabla 15: Carga máxima normalizada por la carga máxima promedio de las cuerdas vírgenes y la desviación con respecto del efecto área para la cuerda de diámetro 8 mm	35
Tabla 16: Carga máxima registrada y área remanente de cada ensayo para la cuerda de diámetro 12 mm	41
Tabla 17: Diferencia de la Carga máxima promedio con respecto a la carga mínima de rotura para las cuerdas de diámetro 12 mm	41
Tabla 18: Carga máxima normalizada por la carga máxima promedio de las cuerdas vírgenes y la desviación con respecto del efecto área para la cuerda de diámetro 12 mm	42
Tabla 19: La tabla 18 muestra la carga máxima normalizada por la carga mínima de rotura especificada por el proveedor y la desviación con respecto del efecto área para cada uno de los ensayos realizados para la cuerda de diámetro 12 mm.....	43
Tabla 20: Carga máxima registrada y área remanente de cada ensayo cuerda de diámetro 16 mm	49
Tabla 21: Diferencia de la Carga máxima promedio con respecto a la carga mínima de rotura para las cuerdas de diámetro 16 mm	49
Tabla 22: Carga máxima normalizada por la carga máxima promedio de las cuerdas vírgenes y la desviación con respecto del efecto área cuerda de diámetro 16 mm.	50
Tabla 23: Carga máxima normalizada por la carga mínima de rotura especificada por el proveedor y la desviación con respecto del efecto área cuerda de diámetro 16 mm.	50
Tabla 24: Carga que debe resistir la cuerda si se aplica una tension de 66,3145596216231 MPa para cada uno de los 3 diámetros.....	57
Tabla 25: Rigidez obtenida por medio de extensómetros utilizados en los ensayos para la cuerda de diámetro 8 mm.....	58
Tabla 26: Rigidez obtenida por medio de LVDT utilizados en los ensayos para la cuerda de diámetro 8 mm.....	58
Tabla 27: Rigidez secante de las cuerdas de poliéster de diámetro 8 mm ensayadas	59

Tabla 28: Rigidez secante promedio para cada tipo de probeta ensayada para la cuerda de diámetro 8 mm.....	59
Tabla 29: Rigidez obtenida por medio de extensómetros utilizados en los ensayos para la cuerda de diámetro 12 mm.....	60
Tabla 30: Rigidez obtenida por medio de LVDT utilizados en los ensayos para la cuerda de diámetro 12 mm.....	60
Tabla 31: Rigidez secante de las cuerdas de poliéster de diámetro 12 mm.....	60
Tabla 32: Rigidez obtenida por medio de extensómetros utilizados en los ensayos para la cuerda de diámetro 16 mm.....	61
Tabla 33: Rigidez obtenida por medio de LVDT utilizados en los ensayos para la cuerda de diámetro 16 mm.....	61
Tabla 34: Rigidez secante de las cuerdas de poliéster de diámetro 16mm.....	62
Tabla 35: Rigidez secante promedio para cada tipo de probeta ensayada para la cuerda de diámetro 16 mm.....	62

Capítulo 1. Introducción

1.1. Antecedentes

La cuerda es un material largo y delgado muy flexible, conformado de fibras que se usa generalmente para atar o sujetar cosas. La cuerda es un elemento usado desde la prehistoria sobre todo en el terreno de la construcción y navegación, hace 4000 años los egipcios elaboraban la cuerda con juncos, el uso de la cuerda sirvió para la construcción de las pirámides.

Las cuerdas se pueden clasificar en 3 tipos de fibras textiles: naturales, artificiales o sintéticas. Las fibras naturales tienen su origen de la naturaleza y se clasifican de acuerdo con su origen: animal, vegetal o mineral. Entre las naturales están el cáñamo, esparto, algodón, yute, seda, lana, y pelo. Las fibras artificiales son manufacturadas a partir de materia prima natural, entre las artificiales está el rayón, que se emplea en la elaboración de cuerdas decorativas. La fibra sintética es una fibra textil que proviene de diversos productos derivados del petróleo.

Las cuerdas de fibra sintética (fibras como el nylon, poliéster, polipropileno, polietileno, aramida y polietileno de alto módulo (HMPE)) tienen cada vez más aplicaciones como miembros estructurales principalmente debido a su buena relación de resistencia y peso en comparación con cables de acero tradicionales y debido a los avances en las confecciones de cuerdas de fibra que permiten su producción. Tales aplicaciones incluyen cuerdas para equipos de elevación y materiales en sitios de construcción, sistema de anclaje en ingeniería oceánica, redes anticolidión y de protección, líneas de asistencia de buques.

La fibra de poliéster se recomienda cuando se requiere resistencia a la abrasión, la tracción, la humedad. Es por eso que se utiliza como cuerda náutica porque tiene baja elongación y un buen comportamiento con el uso de poleas además de resistencia a los rayos solares. Su desventaja es que su resistencia a la tracción es menor respecto al nylon y se hunde. En particular, el uso de poliéster (PET) ha recibido una gran atención de la industria offshore como un potencial reemplazo para tradicionales sistemas de amarre de acero.

Debido a la importancia de la cuerda de fibra sintética de poliéster en la ingeniería actualmente se determinarán las curvas de capacidad de cuerdas de poliéster dañadas realizando ensayos de tracción para cuerdas de diámetros 8mm, 12 mm y 16mm.

1.2. Objetivos

1.2.1. Generales

El trabajo de título tiene como objetivo principal determinar las curvas de capacidad de cuerdas de poliéster dañadas realizando ensayos de tracción para cuerdas de diámetros 8 mm, 12 mm y 16mm.

1.2.2. Específicos

El trabajo de título propuesto posee diferentes objetivos específicos, los cuales se detallan a continuación:

- Estudiar normas sobre ensayo de cuerdas de fibra sintéticas para la correcta ejecución del ensayo a tracción en laboratorio.
- Determinar experimentalmente la resistencia a tracción de las cuerdas de poliéster de 8 mm ,12 mm y 16 mm vírgenes y dañadas. El daño corresponde al corte total de una o dos hebras en la longitud media de la cuerda.
- Medir deformaciones locales en las cuerdas dañadas ensayadas por medios de extensómetros ubicados en la parte superior, inferior y central para estudiar el potencial fenómeno de concentración de deformaciones. La curva de capacidad de las cuerdas será obtenida mediante el uso de LVDT.
- Estudiar un potencial efecto de área comparando cuerdas con igual geometría y misma distribución de daño, pero de diámetros diferentes.

1.3. Metodología

- Revisión bibliográfica

Se realizan revisiones bibliográficas de estudios realizados a ensayos a tracción de cuerdas de poliéster ahondando en especial al fenómeno de localización de deformaciones. Además, en esta etapa se revisan normas técnicas extranjera asociada al ensayo de cuerdas para su estudio, con la finalidad de comparar y ensayar correctamente las cuerdas.

- Ensayo de cuerdas

Las cuerdas son de fibra sintética de poliéster están compuestas por 3 hebras enrolladas de forma helicoidal. Para el estudio experimental se ensayan a tracción cuerdas de poliéster de 8 mm, 12mm y 16 mm de diámetro en la Maquina INSTROM 600 LX del laboratorio experimental de estructuras. Los daños se realizan en una sección ubicada en la longitud media de la cuerda, se ensayan probetas de cuerdas para cada diámetro:

probetas sin daños, con una hebra dañada y con 2 hebras dañadas. Además, para cada diámetro de cuerda se ensayan a tracción probetas de hebras de cuerdas vírgenes. También se miden deformaciones locales por medio de 3 extensómetros colocados en la parte superior, inferior y central en cada probeta. Finalmente se miden deformaciones globales por medio de LVDT.

- Análisis de datos y conclusiones

Las curvas de capacidad se confeccionan con la carga a tracción que aplica la máquina para el ensayo de las cuerdas y las deformaciones que miden los extensómetros o LVDT. Las resistencias a tracción obtenidas experimentalmente permitirán concluir como disminuye la resistencia dependiendo de las hebras dañadas. Se comparan las cargas máximas a tracción experimentales con las cargas mínimas de rotura especificadas por el fabricante que son 1100kgf, 2300kgf y 3600kgf para las cuerdas de 8mm, 12 mm y 16mm de diámetro respectivamente. Las deformaciones medidas por los extensómetros permitirán estudiar la las deformaciones en el centro de las cuerdas dañadas y comparar con la deformación en una cuerda no dañada y concluir como se relaciona con el diámetro.

1.4. Resultados esperados

Los resultados esperados de este trabajo de título son:

- Obtener experimentalmente las curvas de capacidad para cuerdas de poliéster dañadas de diámetro 8 mm, 12 mm y 16 mm.
- Correlación entre daño de la cuerda y resistencia residual.
- Capturar experimentalmente el fenómeno de localización de deformaciones en cuerdas dañadas cerca de la zona donde el daño es inducido.
- Estudiar el efecto área

Capítulo 2. Revisión bibliográfica

2.1. Normativa

Norma UNE-EN 919: cuerdas de fibra para usos diversos: determinación de ciertas propiedades físicas y mecánicas. Esta norma es la versión oficial en español de la norma europea EN 919 de fecha de agosto de 1995. Los objetivos y campos de aplicación de esta norma son especificar para cuerdas de clases diferentes, un método para determinar 5 características, masa neta por metro, longitud del paso, paso de la trenza, alargamiento, resistencia a la tracción. Las 3 primeras características se miden con la cuerda bajo tensión especificada llamada tensión de referencia que se determina por medio de una tabla dependiendo del diámetro. La cuarta característica (alargamiento) corresponde el incremento medido en la longitud de la cuerda cuando la fuerza de tracción a la que está sometida dicha cuerda se aumenta desde un valor inicial (tensión de referencia) hasta un valor igual al 75% de la resistencia mínima a la rotura especificada por la cuerda. La quinta característica (resistencia a la tracción) es la carga máxima alcanzada durante un ensayo de rotura de la probeta por tracción, efectuado mediante una máquina de ensayo de tracción con desplazamiento a velocidad constante del elemento móvil (cruzeta). Los valores de resistencia a la rotura dados en las tablas de especificaciones de la cuerda son válidos únicamente cuando se usa este tipo de máquina de ensayo. De esta norma son importantes los métodos para determinar el alargamiento y la resistencia a la tracción, cabe mencionar que en la norma existe una tabla que muestra el largo mínimo de la cuerda dependiendo de 3 factores: diámetro de la cuerda, tipo de fibra (natural o sintética) y tipo de máquina de ensayo. Este largo mínimo limita la utilidad de la máquina de ensayo a tracción del LEE porque el desplazamiento máximo de la maquina es de unos 20 cm y según la norma el largo mínimo que corresponde para una cuerda de poliéster de diámetro 8 mm es de 40 cm.

2.2. Estudios previos

Beltrán JF, Williamson EB, Ramírez N. 2017. En este trabajo, dos factores que rigen la respuesta de las cuerdas dañadas se examinan numéricamente de forma independiente: localización de deformaciones y distribución de daños asimétricos. Estos dos mecanismos se estudian mediante el uso de dos modelos mecánicos no lineales que representan la localización de deformaciones alrededor del sitio de falla debido a los efectos de fricción (SLM) y la presencia de fuerzas de contacto radial desequilibradas dentro de una sección transversal de la cuerda debido a la asimetría en la distribución de daños (ADDM). Estos modelos se aplican a un conjunto disponible de pruebas de tensión estática en cuerdas de poliéster de gran escala, dañadas asimétricamente. El nivel de daño inicial de las secciones transversales de la cuerda y los diámetros de la cuerda variaron de 5% a 15% y de 32 mm a 166 mm, respectivamente. Una prueba semi-analítica se da para demostrar que el SLM y el ADDM proporcionan los límites superiores e inferiores, respectivamente, a la respuesta dañada de las cuerdas analizadas. Los resultados indican que, en relación con la cuerda intacta, el SLM predijo una reducción en la capacidad de la cuerda similar al nivel de daño y

una reducción máxima en la capacidad de deformación de la cuerda igual al 16% para un nivel de daño efectivo igual al 25%. Por el contrario, el ADDM predijo una reducción de la resistencia residual de la cuerda ligeramente mayor que el nivel de daño y una reducción máxima en la capacidad de deformación igual al 3%.

De Vico, 2013, presenta un modelo mecánico no lineal simplificado para estimar la curva de capacidad residual de un cable dañado en forma asimétrica. Este modelo es capaz de predecir el gradiente de tensiones y deformaciones en la sección transversal de un cable dañado asimétricamente producto de la concentración de tensiones y deformaciones en los componentes adyacentes al daño. Esta concentración puede producir una falla temprana de los componentes del cable y por consiguiente reducir la carga axial máxima y la deformación axial de fractura en comparación a un cable sin daño. El modelo propuesto (MP) se basa en un análisis de una viga plana no lineal con pequeñas deformaciones considerando hipótesis de Bernoulli. Cabe mencionar que el modelo propuesto es validado mediante comparaciones con datos experimentales de cables de poliéster dañados simétricamente de 6 mm de diámetro con diferentes grados de asimetría (Li et al., 2002). Por lo tanto, es importante diferenciar el fenómeno de localización de deformaciones con la asimetría del daño que induce flexión y un gradiente de tensiones y deformaciones en la sección del cable.

Capítulo 3. Montaje experimental de cuerdas de poliéster

3.1. Cantidad de cuerdas ensayadas

Se ensayaron a tracción un total de 34 cuerdas de poliéster. La tabla 1 muestra la cantidad de ensayos que se realizaron, para cada uno de los 3 diámetros de 8 mm, 12 mm y 16 mm. Cabe mencionar que algunos ensayos de la cuerda de diámetro 12 mm fueron realizados por Andrea Mancilla.

Tabla 1: Cantidad de ensayos, diámetro de la hebra y angulo de helice de todos los diámetros de cuerdas de poliester ensayados.

Diámetro de la cuerda [mm]	Cantidad de ensayos	Diámetro hebra [mm]	Angulo hélice [°]
8	11	4	45
12	14	6	45
16	9	8	45

Las cuerdas están conformadas por 3 hebras enrolladas de forma helicoidal por lo tanto para los 3 diámetros las cuerdas tienen la misma sección transversal. La figura 1 muestra la cuerda de poliéster de diámetro 8 mm.

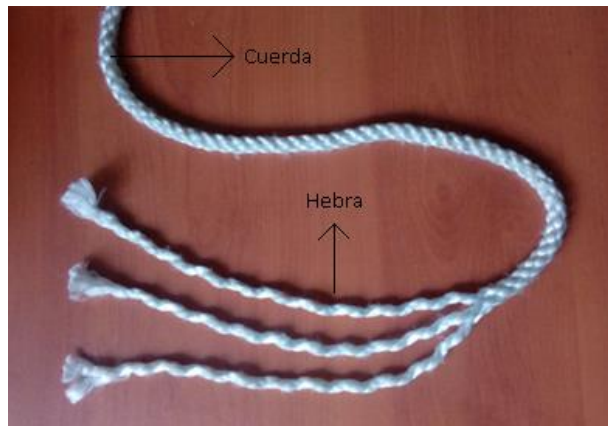
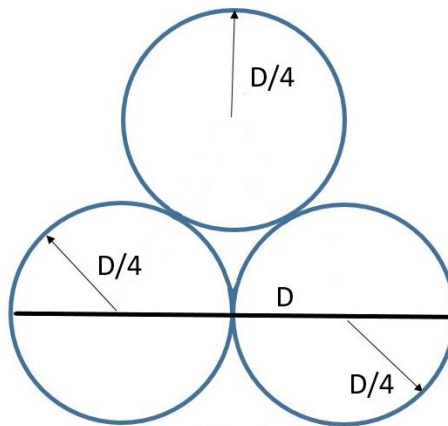


Figura 1: Cuerda de poliéster de diámetro 8 mm

En la figura 2 se muestra un esquema de la sección transversal de las cuerdas de poliéster ensayas. Se puede apreciar en el esquema que el diámetro de la cuerda se midió como D y representa el doble del diámetro de sus hebras.

Esquema de la sección transversal de las cuerdas



D = Diámetro de la cuerda

Figura 2: Sección transversal de la cuerda

En la figura 3 se muestra la vista longitudinal de la cuerda donde también se ilustra la distribución geométrica que tienen los elementos helicoidales con respecto a la vertical cuyo ángulo es α .

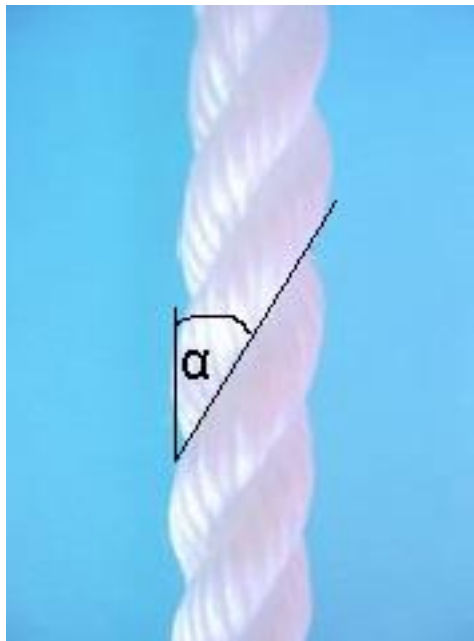


Figura 3: Vista longitudinal de la cuerda

3.2. Máquina de Ensayo

La máquina que se utilizó para ensayar a tracción las cuerdas corresponde a la Máquina INSTRON 600 LX largo extendido manual, esta máquina puede funcionar a tracción, compresión y cíclica. La máquina tracciona la cuerda a una velocidad de 5 mm por minutos en todos los ensayos. La figura 4 muestra las mordazas (círculos rojos) que se deben utilizar para que la máquina pueda traccionar.



Figura 4: Máquina INSTRON 600 LX largo extendido manual funcionamiento a tracción (círculos rojos mordazas para funcionamiento a tracción)

En la figura 5 se muestra una muela (círculo rojo) colocada en la mordaza inferior. Las muelas se colocan en el centro de las mordazas sujetadas por medio de 4 resortes y tienen la función de sujetar piezas, dependiendo de la geometría y el tamaño de la pieza que se quiere sujetar se coloca un determinado tipo de muela.



Figura 5: Muela colocada en una mordaza (círculo rojo)

3.3. Instrumentación: Extensómetro y LVDT

Se utilizaron Extensómetros AXIAL EXTENSOMETER model:3543-050M-ST de marca Epsilon Technology Corp. Estos extensómetros miden deformaciones en un largo inicial de 50 mm y pueden medir en un rango de 100 mm aproximadamente, por lo tanto, resultan adecuados para medir deformaciones en zonas locales de la cuerda. Para medir las deformaciones de toda la cuerda se utilizó un Linear variable differential transformer (LVDT), el LVDT utilizado es el MACRO SENSORS serie DC 750 10000. En las figuras 6 y 7 se muestran el extensómetro y LVDT (elipsoide color rojo) respectivamente.

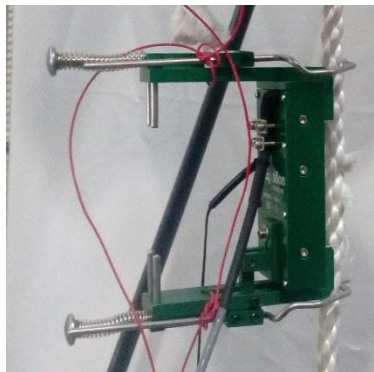


Figura 6: Extensómetro



Figura 7:LVDT (círculo rojo)

3.4. Montaje experimental de cuerdas de diámetro 8 mm

Para el ensayo a tracción de cuerdas de poliéster de diámetro 8 mm se usaron 2 piezas metálicas llamadas ganchos. En la figura 8 se muestra un gancho en 3 vistas distintas. Las cuerdas de poliéster de 8 mm de diámetro se amarraron a ganchos en los extremos para realizar el ensayo a tracción. En la figura 9 se muestra cómo se amarraron las cuerdas de poliéster de 8 mm a los ganchos. El gancho está conformado por una parte maciza y un perno, el perno sirve para que la maquina agarre el gancho con sus mordazas y pueda traccionar la cuerda. En la figura 10 se muestra el montaje experimental para la cuerda de poliéster de diámetro 8mm virgen con 3 extensómetros sin LVDT.



Figura 8: Gancho en 3 vistas distintas



Figura 9: Amarre de cuerda a gancho



Figura 10: Montaje experimental de la cuerda de diámetro 8 mm con 3 extensómetros

3.3. Montaje experimental de cuerdas de diámetro 12 mm y 16 mm

Para el montaje experimental de las cuerdas de poliéster de diámetro 12 mm y 16 mm se utilizaron prensas tipo Crosby. En la figura 11 se puede apreciar la prensa tipo Crosby



Figura 11:Prensa tipo Crosby

Las cuerdas de poliéster de diámetro 12 mm y 16 mm se apretaron con prensas tipo Crosby en los extremos para formar 2 ojales. La figura 12 muestra la cuerda con un ojal en cada extremo.



Figura 12: Ojales en los extremos de la cuerda formados por prensas tipo Crosby

Cada ojal de la cuerda se unió a una placa metálica por medio de un perno. La figura 13 muestra cómo se unió el ojal a la placa metálica.



Figura 13: Unión placa metálica y ojal de cuerda de poliéster

Las placas metálicas se apretaron con las mordazas en su parte plana fijando la cuerda para poder ensayarla a tracción con la máquina. La figura 14 muestra el montaje experimental para la cuerda de poliéster de diámetro 16 mm virgen con 2 extensómetros y LVDT.

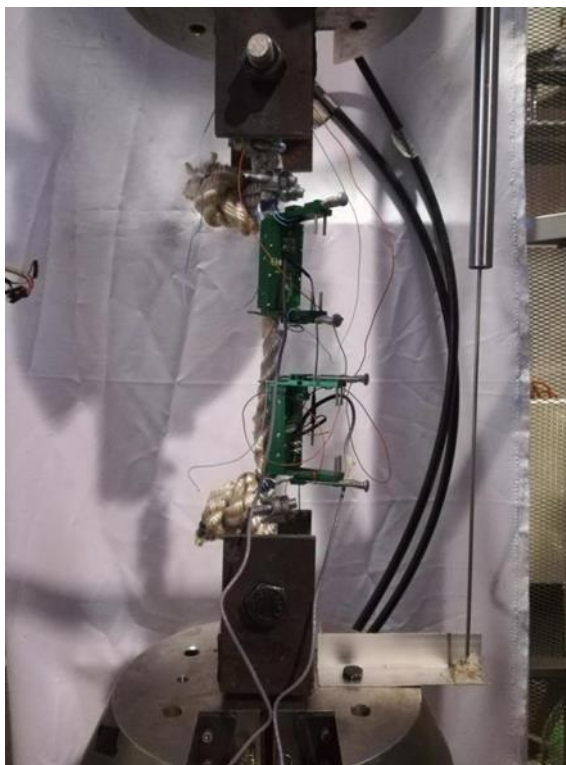


Figura 14: Montaje experimental para cuerda de poliéster de diámetro 16 mm virgen con 2 extensómetros y LVDT

3.4. Nomenclatura de los ensayos

Se confeccionaron 4 tipos de probetas para cada uno de los 3 diámetros de cuerdas de poliéster. Con el objetivo de detallar de forma abreviada una probeta de cuerda de poliéster se confeccionó una nomenclatura representada por un número que puede ser 0, 1, 2, 3. La tabla 2 muestra la nomenclatura de cada tipo de probeta y sus características. Es importante recalcar que los daños se realizaron en una sección ubicada en la longitud media de la cuerda.

Tabla 2: Nomenclatura de cada tipo de probeta y sus características

Tipo de probeta ensayada	Características de la probeta	Nomenclatura
Probeta tipo 1	Cuerda virgen de poliéster	0
Probeta tipo 2	Cuerda de poliéster con 1 hebra cortada	1
Probeta tipo 3	Cuerda de poliéster con 2 hebras cortadas	2
Probeta tipo 4	Hebra de cuerda virgen de poliéster	3

La figura 15 muestra la esquematización de los daños a la sección transversal de las probetas ensayadas.

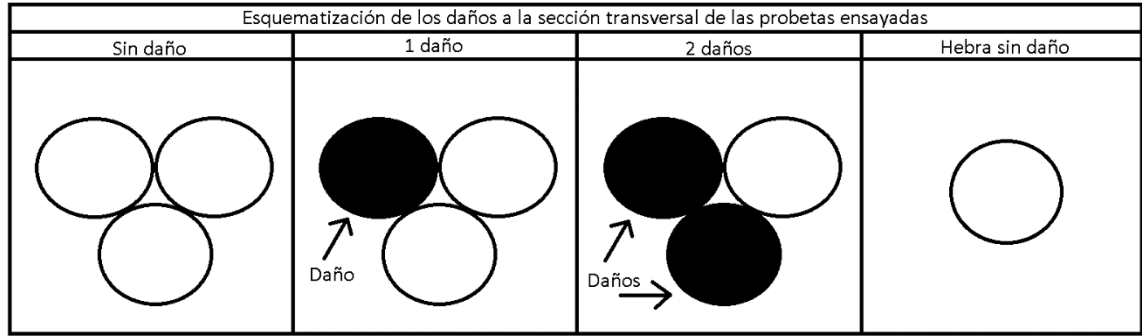


Figura 15: Esquemmatización de los daños a la sección transversal de las probetas ensayadas

Para cada uno de los 3 diámetros de cuerda de poliéster se realizaron entre 1 a 4 ensayos por tipo de probeta, por lo tanto, siguiendo con la idea anterior, la tabla 3 muestra la nomenclatura para señalar el número de un ensayo para una misma probeta, donde se puede apreciar que son 2 caracteres el símbolo “#” seguido por un número del 1 al 4.

Tabla 3: Nomenclatura para señalar el numero de un ensayo para una misma probeta

Nomenclatura	Significado
#1	Ensayo número 1
#2	Ensayo número 2
#3	Ensayo número 3
#4	Ensayo número 4

Finalmente, la nomenclatura para un ensayo queda representada por 2 grupos de caracteres separados por un espacio de izquierda a derecha. El primer grupo corresponde al tipo de probeta y segundo al número del ensayo de una misma probeta. A modo de ejemplo la tabla 4 muestra la nomenclatura “0 #1” y lo que significa.

Tabla 4: Ejemplo de Nomenclatura “0 #1” y significado

Nomenclatura	Significado
0 #1	Ensayo número 1 para la probeta tipo 1 (cuerda virgen de poliéster)

3.5. Características de los ensayos de cuerdas de diámetro 8mm

Características generales de los ensayos de cuerdas de diámetro 8 mm:

- Se utilizaron cuerdas de poliéster de diámetro 8 mm con una carga mínima de rotura 1.100 kg especificada según el proveedor. Cabe mencionar que las resistencias las entrego el proveedor por correo cuya página web es: <https://www.plasticord.cl/>
- Se utilizaron muelas capaces de sujetar piezas cilíndricas de 1,6 cm y 2 ganchos
- El ensayo tenía 2 etapas: 1) se pretensaron las cuerdas en 2 ciclos de tracción cuya carga máxima fue de 330 Kgf (30% de 1100 Kgf) y 2) se traccionaron hasta la falla.

- El pretensado sirve para alinear las hebras y acomodar el amarre a los ganchos ya que a medida que se tracciona la cuerda disminuye en diámetro y el amarre se suelta dificultando la medición correcta de la deformación.
- La cuerda se divide en 3 largos: largo recto, largo de amarre y largo suelto. La figura 16 muestra un esquema de los 3 largos de la cuerda. El largo recto se define como el largo de la cuerda totalmente recto entre los ganchos, este largo toma totalmente la carga y es donde se colocan los extensómetros. El largo de amarre es largo de cuerda que se utiliza para amarrar la cuerda a los 2 ganchos y posee una longitud de 124 cm. El largo suelto es el largo de cuerda que no toma carga y por lo tanto no se deforma.
- Las mediciones de los largos en la cuerda se realizaron después de terminar la primera etapa del ensayo
- El Largo inicial se calculó como la suma del largo recto más un porcentaje del largo de amarre porque empíricamente se observó que este se deformaba también, pero menos que el largo recto. Para calcular este porcentaje se utilizó el método de prueba y error para ajustar las curvas obtenidas del LVDT a las obtenidas de los extensómetros para las cuerdas vírgenes. Se determinó que un 40% del largo de amarre presentaba deformación cuya longitud, es igual a 496 m y se suma al largo recto para efectos de cálculos de la deformación de la cuerda en base a datos del LVDT.
- También se ensayaron hebras de cuerdas vírgenes cuyos ensayos tienen las mismas características que los ensayos de cuerda de 8 mm virgen excepto en que se pretensaron a 110 Kgf (1/3 de 330 Kgf).
- La tabla 5 muestra las características específicas de cada ensayo para la cuerda de diámetro 8 mm. La tabla 6 muestra la cantidad de instrumentos utilizados en cada ensayo para la cuerda de diámetro 8 mm.

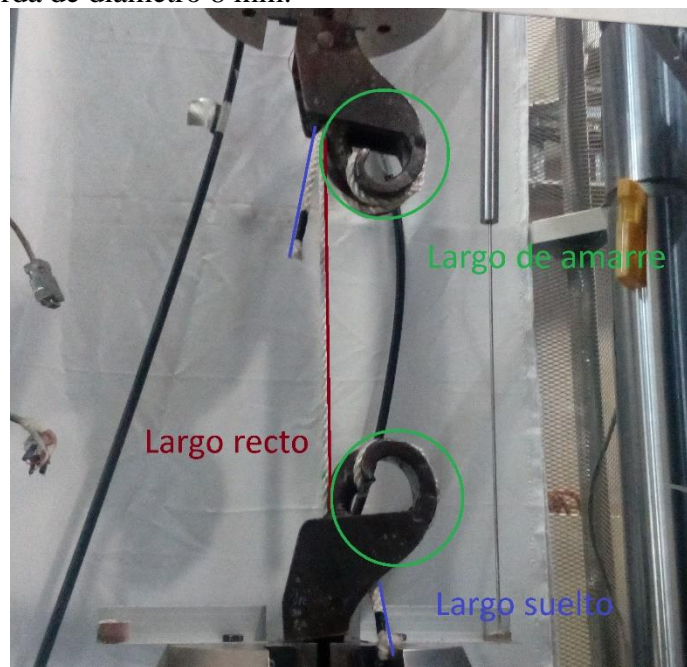


Figura 16: Esquema de los 3 largos de la cuerda de diámetro 8 mm

Tabla 5: Características específicas de cada ensayo para la cuerda de diámetro 8 mm

Ensayo	Fecha	Largo recto [mm]	Largo inicial [mm]
0 #1	28-11-2017	315	811
0 #2	07-12-2017	305	801
1 #1	07-12-2017	305	801
1 #2	18-12-2017	295	791
1 #3	25-01-2018	310	806
2 #1	03-04-2018	375	871
2 #2	04-04-2018	340	836
2 #3	04-04-2018	350	846
3 #1	18-12-2017	295	791
3 #2	18-12-2017	295	791
3 #3	18-12-2017	295	791

Tabla 6: Cantidad de instrumentos utilizados en cada ensayo para la cuerda de diámetro 8 mm

Ensayo	Cantidad de extensómetros utilizados	Cantidad de LVDT utilizados
0 #1	3	0
0 #2	1	1
1 #1	1	1
1 #2	3	1
1 #3	3	1
2 #1	2	1
2 #2	2	1
2 #3	2	1
3 #1	1	1
3 #2	1	1
3 #3	1	1

3.6. Características de los ensayos de cuerdas de diámetro 12 mm

Características generales de los ensayos de cuerdas de diámetro 12 mm:

- Se utilizaron cuerdas de poliéster de diámetro 12 mm con una carga mínima de rotura 2300 Kgf especificada por el proveedor. Cabe mencionar que las resistencias las entrego el proveedor por correo cuya página web es: <https://www.plasticord.cl/>
- Se utilizaron muelas capaces de sujetar piezas planas de 1 cm de espesor.
- Se utilizaron Prensa tipo Crosby de 10 mm para todos los ensayos. Se colocaron 4 prensas Crosby por lado en la cuerda para formar ojales.
- El ensayo tenía 2 etapas: 1) se pretensaron las cuerdas en 2 ciclos de tracción cuya carga máxima fue de 690 Kgf (30% de 2300 Kgf) y 2) se traccionaron hasta la falla.

- El pretensado sirvió para acomodar el apriete de las prensas Crosby ya que a medida que se ensaya la cuerda disminuye el diámetro y el apriete se suelta dificultando la medición correcta de la deformación.
- La cuerda se divide en 3 largos: largo recto, largo ojal y largo suelto. La figura 17 muestra un esquema de los 3 largos de la cuerda. El largo recto se define como el largo de la cuerda totalmente recto entre los ojales, este largo toma totalmente la carga y es donde se colocan los extensómetros. El largo ojal es el largo de cuerda que se utiliza para unir la cuerda a las 2 placas metálicas y posee una longitud de 44 cm. El largo suelto es el largo de cuerda que no toma carga y por lo tanto no se deforma.
- Las mediciones de los largos en la cuerda se realizaron después de terminar la primera etapa del ensayo
- El Largo inicial se calculó como la suma del largo recto más un porcentaje del largo de ojal porque empíricamente se observó que este se deformaba también, pero menos que el largo recto. Para calcular este porcentaje se utilizó el método de prueba y error para ajustar las curvas obtenidas del LVDT a las obtenidas de los extensómetros para las cuerdas vírgenes. Se determinó que un 50% del largo de ojal presentaba deformación cuya longitud, es igual a 22 cm y se suma al largo recto para efectos de cálculos de la deformación de la cuerda en base a datos del LVDT.
- También se ensayaron hebras de cuerdas vírgenes cuyos ensayos tienen las mismas características que los ensayos de cuerda de 12 mm excepto en que se pretensaron a 230 Kgf (1/3 de 690 Kgf).
- La tabla 7 muestra las características específicas de cada ensayo para la cuerda de diámetro 12 mm. La tabla 8 muestra la cantidad de instrumentos utilizados en cada ensayo para la cuerda de diámetro 12 mm. Todos los ensayos en que se utilizó solo extensómetros fueron realizados por Andrea Mancilla en el año 2016 y en los que se utilizó LVDT fueron realizados por Alejandro Garate en el año 2018.

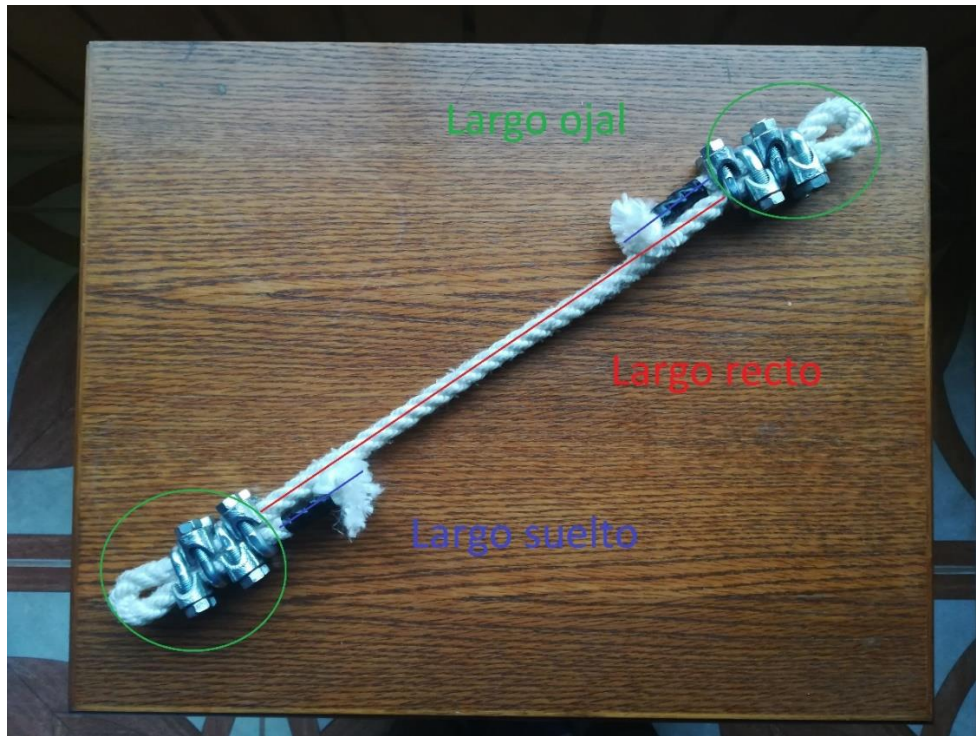


Figura 17: Esquema de los 3 largos de la cuerda de diámetro 12 mm

Tabla 7: Características específicas de cada ensayo para la cuerda de diámetro 12 mm

Ensayo	Fecha	Largo recto [mm]	Largo inicial [mm]
0 #1	08-09-2016	320	
0 #2	19-06-2018	205	425
1 #1	19-08-2016	260	
1 #2	19-08-2016	266	
1 #3	08-09-2016	298	
1 #4	26-04-2018	295	515
2 #1	19-08-2016	328	
2 #2	19-08-2016	305	
2 #3	08-09-2016	360	
2 #4	05-06-2018	275	495
3 #1	29-07-2016	440	
3 #2	29-07-2016	474	
3 #3	29-07-2016	457	
3 #4	05-06-2018	260	480

Tabla 8: Cantidad de instrumentos utilizados en cada ensayo para la cuerda de diámetro 12 mm

Ensayo	Cantidad de extensómetros utilizados	Cantidad de LVDT utilizados
0 #1	3	0
0 #2	2	1
1 #1	3	0
1 #2	3	0
1 #3	3	0
1 #4	0	1
2 #1	3	0
2 #2	3	0
2 #3	3	0
2 #4	0	1
3 #1	2	0
3 #2	2	0
3 #3	2	0
3 #4	0	1

3.7. Características de los ensayos de cuerdas de diámetro 16 mm

Características generales de los ensayos de cuerdas de diámetro 16 mm:

- Se utilizaron cuerdas de poliéster de diámetro 16 mm con una carga mínima de rotura 3600 Kgf especificada por el proveedor. Cabe mencionar que las resistencias las entregó el proveedor por correo cuya página web es: <https://www.plasticord.cl/>
- Se utilizaron muelas capaces de sujetar piezas planas de 1 cm de espesor.
- Se utilizaron Prensa tipo Crosby de ½ pulgadas para todos los ensayos de cuerdas de diámetro 16 mm. Se colocaron 3 prensas Crosby por lado para formar ojales en todos los ensayos.
- El ensayo tenía 2 etapas: 1) se pretensaron las cuerdas en 2 ciclos de tracción cuya carga máxima fue de 1080 Kgf (30% de 3600 Kgf) y 2) se traccionaron hasta la falla.
- El pretensado sirvió para acomodar el apriete de las prensas Crosby ya que a medida que se ensaya la cuerda disminuye el diámetro y el apriete se suelta dificultando la medición correcta de la deformación.
- La cuerda se divide en 3 largos: largo recto, largo ojal y largo suelto. La figura 17 muestra un esquema de los 3 largos de la cuerda para la cuerda de 12 mm que es el mismo esquema para la cuerda de 16 mm solo que el diámetro es mayor y las prensas son más grandes. El largo recto se define como el largo de la cuerda totalmente recto entre los ojales, este largo toma totalmente la carga y es donde se colocan los extensómetros. El largo ojal es el largo de cuerda que se utiliza para unir la cuerda a

las 2 placas metálicas y posee una longitud de 52 cm. El largo suelto es el largo de cuerda que no toma carga y por lo tanto no se deforma.

- Las mediciones de los largos en la cuerda se realizaron después de terminar la primera etapa del ensayo.
- El Largo inicial se calculó como la suma del largo recto más un porcentaje del largo de ojal porque empíricamente se observó que este se deformaba también, pero menos que el largo recto. Para calcular este porcentaje se utilizó el método de prueba y error para ajustar las curvas obtenidas del LVDT a las obtenidas de los extensómetros para las cuerdas vírgenes. Se determinó que un 50% del largo de ojal presentaba deformación cuya longitud, es igual a 26 cm y se suma al largo recto para efectos de cálculos de la deformación de la cuerda en base a datos del LVDT.
- También se ensayaron hebras de cuerdas vírgenes cuyos ensayos tienen las mismas características que los ensayos de cuerda de 16 mm excepto en que se pretensaron a 360 Kgf (1/3 de 1080 Kgf). Se utilizaron para el ensayo de una hebra prensas tipo Crosby de 10 mm para el ensayo y 4 prensas tipo Crosby por lado para formar los ojales. El largo ojal se utiliza en formar un ojal con las prensas Crosby en la hebra es 24 cm aproximadamente.
- La tabla 9 muestra las características específicas de cada ensayo para la cuerda de diámetro 16 mm. La tabla 10 muestra la cantidad de instrumentos utilizados en cada ensayo para la cuerda de diámetro 16 mm.
-

Tabla 9: Características específicas de cada ensayo para la cuerda de diámetro 16 mm

Ensayo	Fecha	Largo recto [mm]	Largo inicial [mm]
0 #1	20-06-2018	205	465
0 #2	04-07-2018	255	515
1 #1	28-06-2018	195	455
1 #2	06-07-2018	220	480
1 #3	06-08-2018	300	560
2 #1	29-06-2018	210	470
2 #2	03-08-2018	305	565
2 #3	06-08-2018	300	560
3 #1	29-06-2018	265	505

Tabla 10: Cantidad de instrumentos utilizados en cada ensayo para la cuerda de diámetro 12 mm

Ensayo	Cantidad de extensómetros utilizados	Cantidad de LVDT utilizados
0 #1	2	1
0 #2	2	1
1 #1	2	1
1 #2	2	1
1 #3	2	1
2 #1	2	1
2 #2	2	1
2 #3	2	1
3 #1	2	1

Capítulo 4. Análisis experimental de cuerdas de poliéster

Luego de realizar los 34 ensayos se obtuvieron una serie de datos a partir de los extensómetros y LVDT, para determinar deformaciones locales y globales respetivamente. Con estos datos se graficaron curvas de fuerza vs deformación con sus respectivos análisis cuantitativos y cualitativos.

Las curvas obtenidas por LVDT y extensómetros fueron graficadas hasta el punto donde los instrumentos se sueltan debido a falla de la cuerda, para ver la curva completamente ver el Anexo. El LVDT midió correctamente en todos los ensayos que se utilizó, sin embargo, los extensómetros no midieron alcanzada cierta deformación en algunos ensayos ya que se soltaron de la cuerda o giraron demasiado, por lo tanto, en los ensayos en que el extensómetro no midió correctamente durante todo el tiempo que duró el ensayo se decidió no graficarlos. La tabla 11 muestra la simbología que se usa para referirse de manera sencilla al instrumento de medición con que se obtuvo la curva graficada. La figura 18 muestra un esquema para entender mejor la tabla 11.

Tabla 11: Simbología de Instrumentos de medición

Símbolo	Significado
LVDT	Instrumento de medida LVDT colocado en el exterior de la cuerda
TOP	Instrumento de medida Extensómetro colocado en la zona superior de la cuerda
MID	Instrumento de medida Extensómetro colocado en la zona central de la cuerda
BOT	Instrumento de medida Extensómetro colocado en la zona inferior de la cuerda

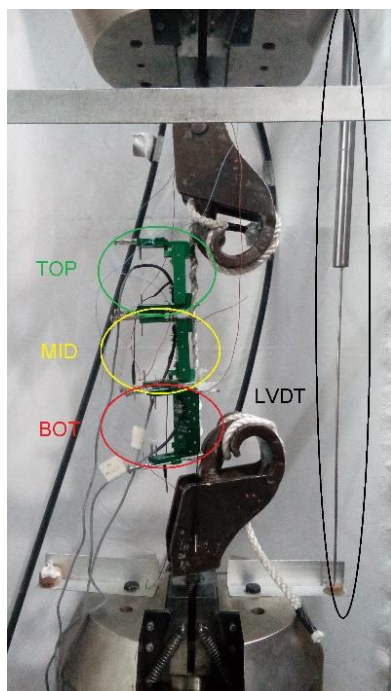


Figura 18: Esquema de instrumentos de medición para cuerda de diámetro 8 mm.

Finalmente, para referirse a una curva en un gráfico se utiliza una nomenclatura compuesta por 3 símbolos separados con un espacio, de izquierda a derecha por los símbolos de instrumento de medida, el tipo de probeta y el número del ensayo. La tabla 12 muestra un ejemplo de nomenclatura.

Tabla 12: Ejemplo de nomenclatura para la curva graficada MID 0 #3

Símbolo	Significado
MID 0 #3	Curva del ensayo número 3 de cuerda virgen obtenida por extensómetro colocado en zona central

4.1. Análisis experimental para cuerdas de poliéster de diámetro 8 mm

4.1.1. Carga máxima

La tabla 13 muestra la carga máxima registrada y el área remanente de cada ensayo realizado para la cuerda de poliéster de diámetro 8 mm. El área remanente se calcula como la razón entre el área de la sección transversal que tiene la cuerda ensayada con respecto al área de la sección transversal de la cuerda virgen.

Tabla 13: Carga máxima registrada y área remanente de cada ensayo para la cuerda de diámetro 8 mm

Ensayo	Área remanente [%]	Carga máxima [kN]	Lugar de la falla
0 #1	100%	11,21	Zona de los ganchos
0 #2	100%	11,61	Zona de los ganchos
1 #1	67%	10,99	En la sección dañada
1 #2	67%	8,86	Zona de los ganchos
1 #3	67%	8,44	Zona de los ganchos
2 #1	33%	5,02	En la sección dañada
2 #2	33%	6,00	En la sección dañada
2 #3	33%	5,19	En la sección dañada
3 #1	33%	5,92	En la sección media
3 #2	33%	6,14	En la sección media
3 #3	33%	6,49	En la sección media

El proveedor especifica que la cuerda de poliéster de diámetro 8 mm virgen tiene una carga mínima de rotura 1100 kg, que equivalen a 10,78 KN aproximadamente. Los valores de las cargas máxima obtenidas para las cuerdas vírgenes fueron mayores que los especificados por el proveedor en un orden del 6 %. Es importante mencionar que la terminación de los especímenes se materializó con ganchos, cuya interacción con los especímenes indujo la fractura de éstos. Por lo tanto, se puede concluir que el uso de este tipo de ganchos para el ensayo de cuerdas de poliéster de diámetro 8 mm vírgenes tiene una eficiencia en un orden del 100 %. La tabla 14 muestra la diferencia de la carga máxima promedio con respecto a la carga mínima de rotura de cada ensayo realizado para la cuerda de diámetro 12 mm.

Tabla 14: Diferencia de la carga máxima promedio con respecto a la carga mínima de rotura para las cuerdas de diámetro 8 mm

Carga mínima de rotura especificada por el proveedor [kN]	10,78
Carga máxima promedio obtenida de los ensayos [kN]	11,41
Diferencia de la carga máxima promedio con respecto a la carga mínima de rotura [%]	5,85%

4.1.2. Efecto área

Con el objetivo de estudiar cuanto disminuye la resistencia de la cuerda cuando se corta una o dos de sus hebras se determinó la desviación con respecto del efecto área en cada ensayo realizado para la cuerda de poliéster de 8 mm de diámetro. El efecto área ocurre cuando la carga máxima es proporcional al área remanente. La desviación con respecto del efecto área determinó dividiendo la carga máxima obtenida en cada ensayo por la carga máxima promedio de las cuerdas vírgenes y luego se restó el área remanente respectivo. La tabla 15 muestra la carga máxima normalizada por la carga máxima promedio de las cuerdas

vírgenes y la desviación con respecto del efecto área para cada uno de los ensayos realizados para la cuerda de diámetro 12 mm. De la tabla se depende que la desviación con respecto del efecto área fueron todas positivas en las cuerdas dañadas ensayadas llegando a un valor máximo de 29,6 % en desviación con respecto del efecto área. El valor positivo de la desviación con respecto del efecto área en todo el ensayo significa que las cargas máximas obtenidas fueron mayores a valores de cargas máximas proporcionales al área remanente. Sin embargo, se hace notar que la interacción del de los ganchos con la cuerda indujo la falla cerca de esta zona en algunos ensayos como se puede apreciar en la tabla 13.

Tabla 15: Carga máxima normalizada por la carga máxima promedio de las cuerdas vírgenes y la desviación con respecto del efecto área para la cuerda de diámetro 8 mm

Ensayo	Carga máxima/ carga máxima promedio cuerdas vírgenes [%]	Desviación con respecto del efecto área [%]
0 #1	98,2%	
0 #2	101,8%	
1 #1	96,3%	29,6%
1 #2	77,6%	11,0%
1 #3	73,9%	7,3%
2 #1	44,0%	10,7%
2 #2	52,5%	19,2%
2 #3	45,5%	12,1%
3 #1	51,9%	18,6%
3 #2	53,8%	20,5%
3 #3	56,9%	23,6%

Figura 19 muestra el gráfico carga máxima normalizada por la carga máxima promedio de las cuerdas vírgenes versus el área remanente de todos los ensayos realizados en la cuerda de poliéster de diámetro 8 mm. Del gráfico se depende que las cargas máximas obtenidas en los ensayos para las cuerdas dañadas fueron mayores que el efecto área.

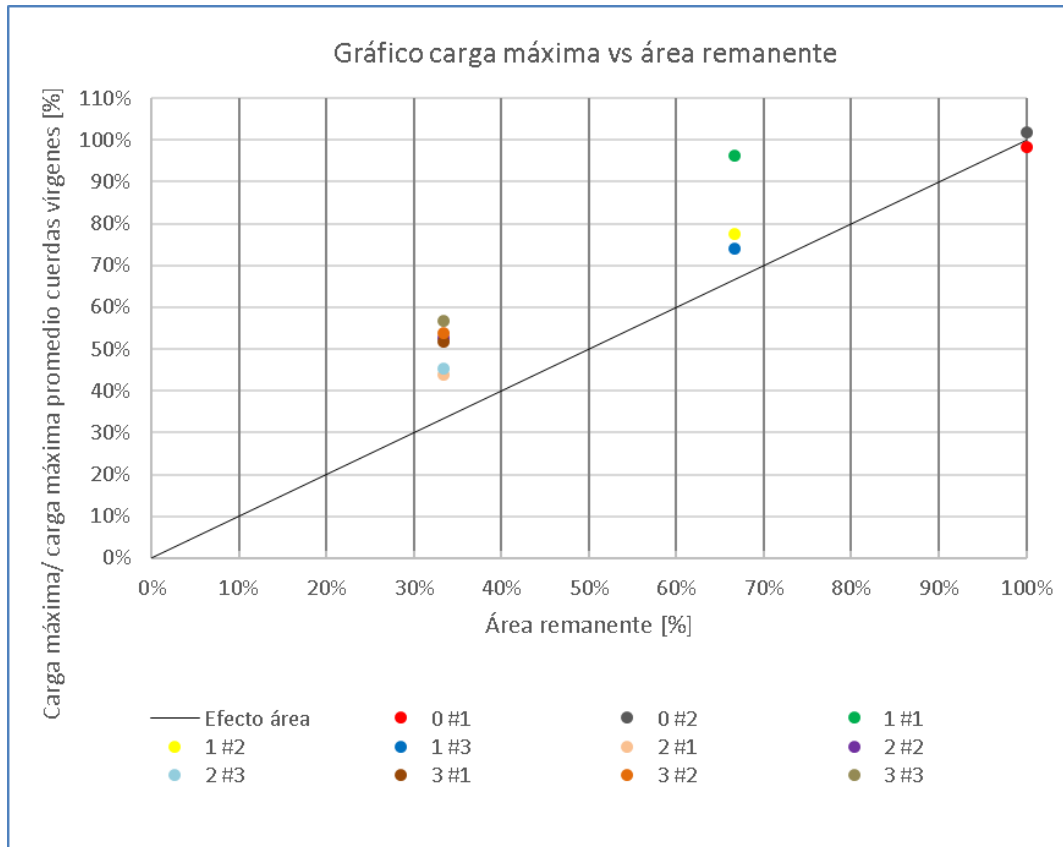


Figura 19: Gráfico carga máxima normalizada por la carga máxima promedio de las cuerdas vírgenes versus el área remanente para la cuerda de diámetro 8 mm

4.1.3. Gráficos de carga vs deformación

La figura 20 muestra el gráfico carga vs deformación para la cuerda de diámetro 8 mm virgen. Del gráfico se desprende que en general las curvas alcanzan a una carga de 11 kN y una deformación de 0,24. Se puede observar que la curva MID 0 #2 resulta representativa con todas las demás curvas excepto con la curva BOT 0 #1 que se escapa de las demás curvas porque las condiciones de borde influyeron en la medición correcta del extensómetro y se soltó antes de la fractura. Por lo tanto, para poder comparar las deformaciones y cargas obtenidas por la inducción de daños con respecto a la cuerda virgen se graficará la curva MID 0 #2 de color negro en los gráficos 21, 22 y 23. Cabe recordar que las deformaciones de la curva MID 0 #2 se obtuvieron por medio de un extensómetro colocado en la longitud media de la cuerda.

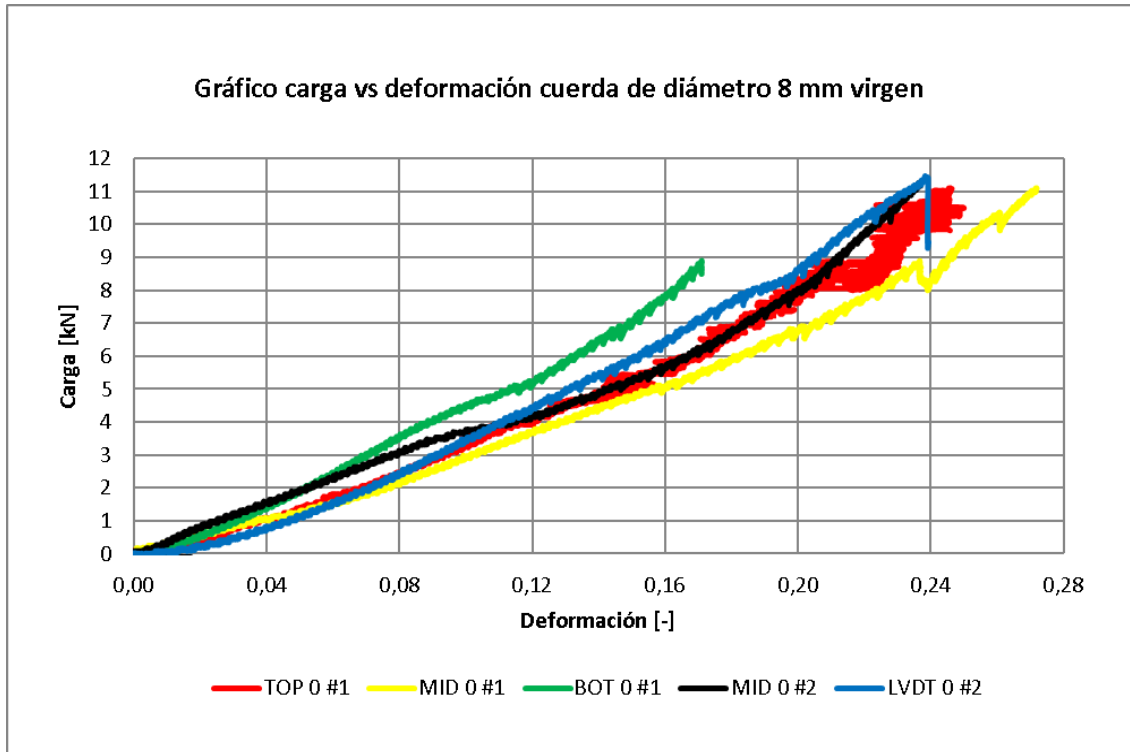


Figura 20: Gráfico carga vs deformación cuerda de diámetro 8 mm virgen

La figura 21 muestra el gráfico carga vs deformación para la cuerda de diámetro 8 mm con 1 daño. Del gráfico se desprende que en general las curvas alcanzan una carga de 9 kN y una deformación de 0,21 excepto en las curvas MID 1 #1 y LVDT 1 #1 que alcanzan una carga de 11 kN y deformación de 0,25. Las curvas obtenidas por extensómetros colocados en los extremos de la cuerda fueron 2, la curva BOT 1 #2 y TOP 1 #2. Se puede apreciar que la curva BOT 1 #2 se escapa de las demás ya que a los 1 kN de carga el extensómetro comenzó a soltarse afectando la medición correcta de la deformación. Se puede observar que la curva TOP 1#2 tiende a seguir el mismo comportamiento que la curva MID 0 #2 pero cuando alcanza los 2,5 kN de carga los extensómetros giraron. Por lo tanto, en la cuerda de diámetro 8 mm con una hebra cortada sus secciones transversales alejadas de la sección dañada se comportaron parecido a la sección de una cuerda virgen. Esta conclusión coincide con la evidencia experimental en que se observó que a una distancia alejada de daño (distancia no medida experimentalmente) las tres hebras de la sección de la cuerda tomaron carga. Las curvas obtenidas por extensómetros colocados en una sección ubicada en la longitud media de la cuerda fueron 2, la curva MID 1 #1 y MID 1 #2. Se puede apreciar de la figura 21 que la curva MID 1#1 se deforma más que la curva virgen MID 0 #2. La curva MID 1 #2 también se deforma más que curva virgen MID 0 #2 pero al alcanzar los 4 kN de carga el extensómetro comienza a soltarse. Por lo tanto, en la cuerda de diámetro 8 mm con una hebra cortada hubo una concentración de deformaciones en la sección dañada.

En el gráfico de la figura 21 la curva efecto área 1 daño se confecciono en base a la curva MID 0 #2 donde la fuerza esta multiplicada por dos tercios debido a que es el valor del área remanente para una cuerda con una hebra dañada. Se desprende del gráfico que las curvas obtenidas por LVDT en cuerdas con una hebra dañada están acotadas superiormente por la curva virgen MID 0 #2 e inferiormente por la curva efecto área 1 daño. Esto coincide con la investigación realizada por Beltrán et al. (2017), que demuestra de manera semi-analítica que la respuesta de una cuerda dañada está en un espacio de soluciones definido por el efecto de localización de deformaciones (límite superior) y efecto de daño asimétrico (límite inferior). En este estudio se muestra que este último fenómeno en términos de rigidez de la cuerda dañada coincide con la rigidez dada por el efecto área.

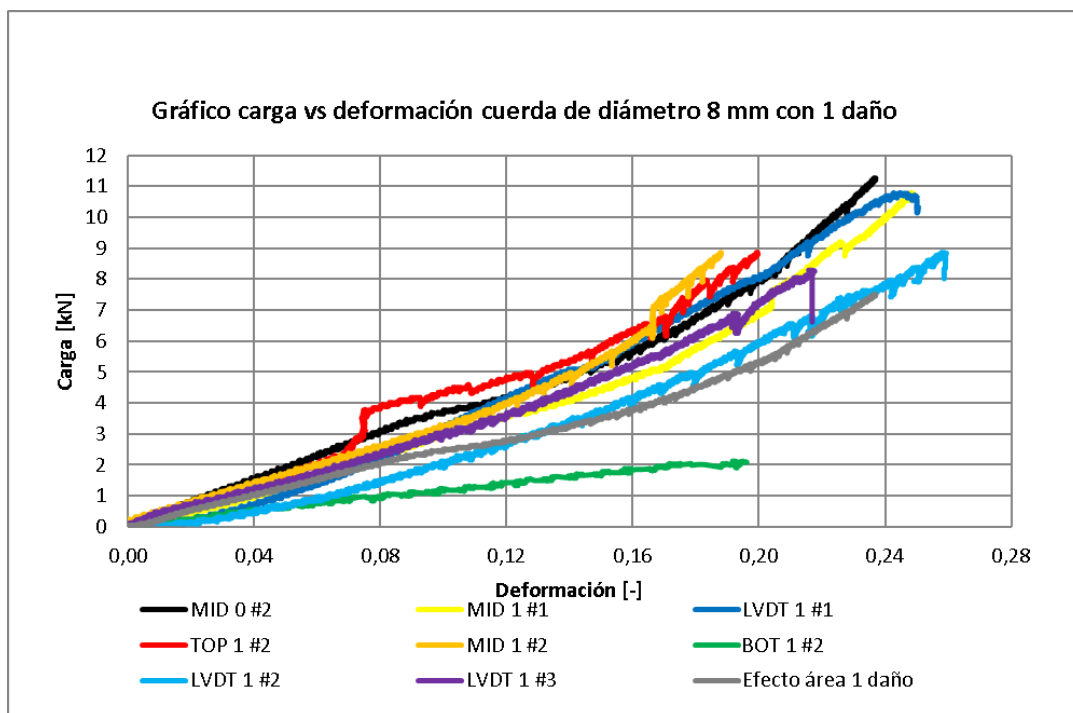


Figura 21 :Gráfico carga vs deformación cuerda de diámetro 8 mm con 1 daño

La figura 22 muestra el gráfico carga vs deformación para la cuerda de diámetro 8 mm con 2 daños. Del gráfico se puede apreciar que las curvas obtenidas por LVDT alcanzan valores alrededor de 5,5 kN de carga y 0,24 de deformación. No se graficaron curvas obtenidas por extensómetros colocados en la longitud media de la cuerda por qué los extensómetros no podían sujetarse en la sección con 2 daños. Las curvas obtenidas por medio de extensómetros tienen el mismo comportamiento en general excepto por la curva BOT 2 #1. Del gráfico se puede observar que de las curvas obtenidas por medio de extensómetros solo la curva BOT 2 #2 pudo medir correctamente hasta la fractura alcanzando una carga de 6 kN y una deformación de 0,2. De esto se desprende que las curvas BOT y TOP son más rígidas que las curvas LVDT y considerando que las curvas obtenidas por LVDT es una curva promedio de las deformaciones en las cuerdas entonces debería haber una distribución no homogénea de deformación en que existirían zonas en la cuerda con deformaciones mayores

a las obtenidas por los extensómetros de TOP Y BOT. Por lo tanto, en la cuerda de diámetro 8 mm con dos hebras cortadas hubo una concentración de deformaciones en la sección dañada.

En el gráfico de la figura 22 la curva efecto área 2 daños se confecciono en base a la curva MID 0 #2 donde la fuerza esta multiplicada por un tercio debido a que es el valor del área remanente para una cuerda con dos hebras dañadas. Se desprende del gráfico que las curvas obtenidas por LVDT en cuerdas con dos hebras dañadas están acotadas superiormente por la curva MID 0 #2 e inferiormente por la curva efecto área 2 daños.

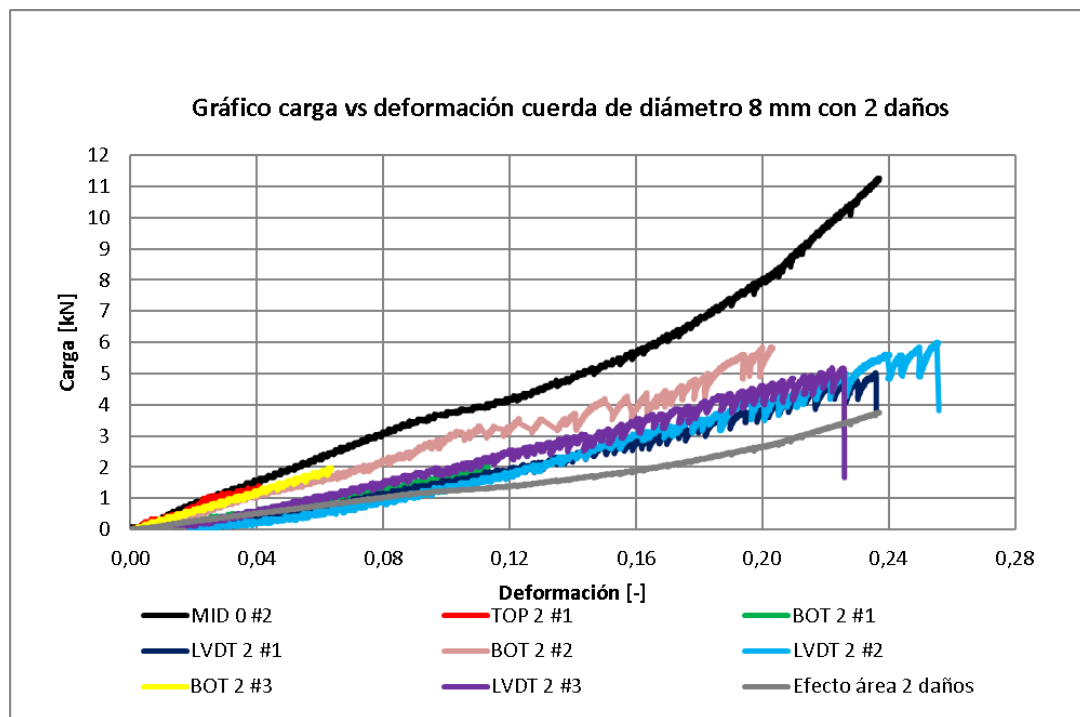


Figura 22: Gráfico carga vs deformacion cuerda de diámetro 8 mm con 2 daños

La figura 23 muestra el gráfico carga vs deformación para la hebra de cuerda de diámetro 8 mm virgen. No se graficaron curvas obtenidas por extensómetros por qué los extensómetros no podían sujetarse en la sección transversal de la hebra. Del gráfico se puede apreciar que las curvas obtenidas por LVDT alcanzan valores alrededor de 6 kN de carga y 0,15 de deformación. Se desprende que las curvas obtenidas para la hebra de cuerda de diámetro 8 mm virgen son más rígidas que la curva MID 0 #2 por lo tanto las curvas obtenidas para la hebra de cuerda de diámetro 8 mm virgen son más rígidas que las curvas obtenidas para la cuerda de diámetro 8 mm virgen.

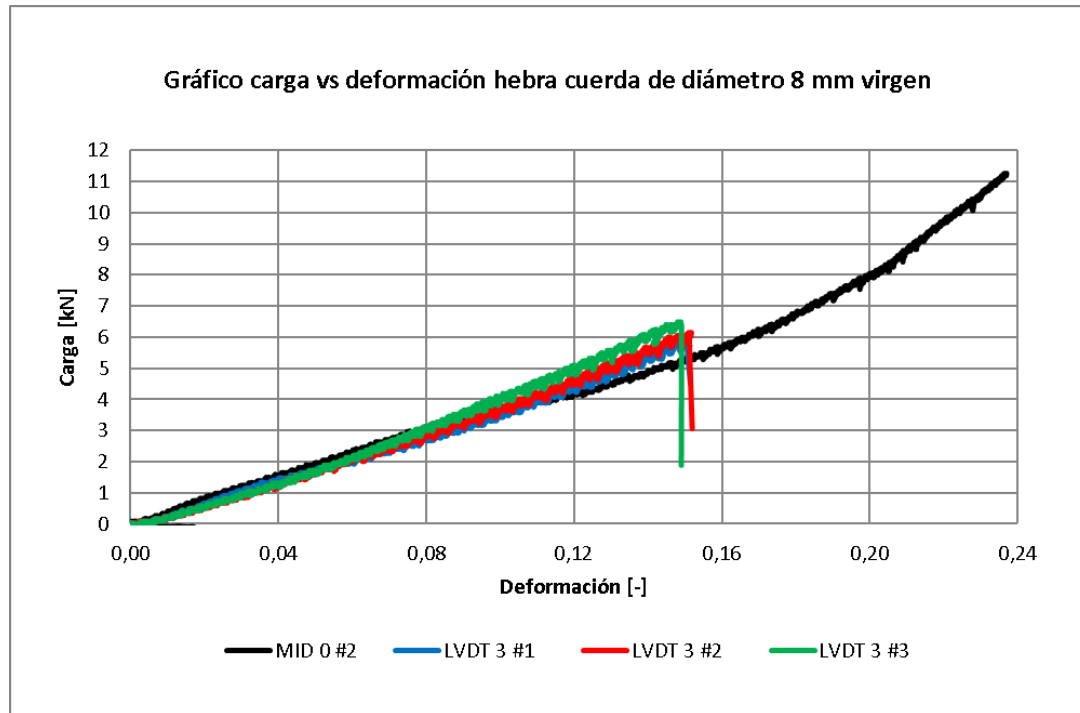


Figura 23: Gráfico carga vs deformacion hebra cuerda de diámetro 8 mm virgen

4.2. Análisis experimental para cuerdas de poliéster de diámetro 12 mm

4.2.1. Carga máxima

La tabla 16 muestra la carga máxima registrada y el área remanente de cada ensayo realizado para la cuerda de poliéster de diámetro 12 mm. El área remanente se calcula como el área de la sección transversal de la cuerda ensayada dividida por el área de la sección transversal de la cuerda virgen.

Tabla 16: Carga máxima registrada y área remanente de cada ensayo para la cuerda de diámetro 12 mm

Ensayo	Área remanente [%]	Carga máxima [kN]	Lugar de la falla
0 #1	100,00%	15,58	Sin información
0 #2	100,00%	15,98	Zona de las prensas tipo crosby
1 #1	66,70%	11,92	Sin información
1 #2	66,70%	11,56	Sin información
1 #3	66,70%	12,95	Sin información
1 #4	66,70%	12,18	Zona de las prensas tipo crosby
2 #1	33,30%	5,71	Sin información
2 #2	33,30%	7,57	Sin información
2 #3	33,30%	7,36	Sin información
2 #4	33,30%	5,98	Zona de las prensas tipo crosby
3 #1	33,30%	7,04	Sin información
3 #2	33,30%	5,98	Sin información
3 #3	33,30%	6,18	Sin información
3 #4	33,30%	7,78	Zona de las prensas tipo crosby

El proveedor especifica que la cuerda de poliéster de diámetro 12 mm virgen tiene una carga mínima de rotura 2300 kg, que equivalen a 22,88 KN aproximadamente. Los valores de las cargas máxima obtenidas fueron menores que los especificados por el proveedor en un orden del 30 %. Es importante mencionar que la terminación de los especímenes se materializó con prensas tipo crosby de 10 mm, cuya interacción con los especímenes indujo la fractura de éstos. Por lo tanto, se puede concluir que el uso de este tipo de prensas para el ensayo de cuerdas de poliéster vírgenes de 12 mm de diámetro tiene una eficiencia del orden de un 70 %. La tabla 17 muestra la diferencia de la carga máxima promedio con respecto a la carga mínima de rotura de cada ensayo realizado para la cuerda de diámetro 12 mm.

Tabla 17: Diferencia de la Carga máxima promedio con respecto a la carga mínima de rotura para las cuerdas de diámetro 12 mm

Carga mínima de rotura especificada por el proveedor [kN]	22,87
Carga máxima promedio obtenida de los ensayos [kN]	15,78
Diferencia de la carga máxima promedio con respecto a la carga mínima de rotura [%]	-30,99

4.1.2. Efecto área

Con el objetivo de estudiar cuanto disminuye la resistencia de la cuerda cuando se corta una o dos de sus hebras se determinó la desviación con respecto del efecto área en cada ensayo realizado para la cuerda de poliéster de 8 mm de diámetro. El efecto área ocurre cuando la carga máxima es proporcional al área remanente. La desviación con respecto del

efecto área determinó dividiendo la carga máxima obtenida en cada ensayo por la carga máxima promedio de las cuerdas vírgenes y luego se restó el área remanente respectivo. La tabla 18 muestra la carga máxima normalizada por la carga máxima promedio de las cuerdas vírgenes y la desviación con respecto del efecto área para cada uno de los ensayos realizados para la cuerda de diámetro 12 mm. De la tabla 18 se desprende que la desviación con respecto del efecto área fueron todas positivas en las cuerdas dañadas ensayadas llegando a un valor máximo de 15,4 % en desviación con respecto del efecto área. El valor positivo de la desviación con respecto del efecto área en todo el ensayo significa que las cargas máximas obtenidas fueron mayores a valores de cargas máximas proporcionales al área remanente. Sin embargo, se hace notar que la interacción del de las prensas tipo crosby con la cuerda indujo la falla cerca de esta zona en todos los ensayos provocando que se alcanzaran cargas menores a las esperadas entonces para realizar un análisis preliminar se utilizaron las cargas mínimas del proveedor como solución. Se puede apreciar en la tabla 16 los lugares donde fallaron las cuerdas ensayadas, los espacios en blanco indican que no se sabe el lugar de la falla. La tabla 19 muestra la carga máxima normalizada por la carga mínima de rotura especificada por el proveedor y la desviación con respecto del efecto área para cada uno de los ensayos realizados para la cuerda de diámetro 12 mm.

Tabla 18: Carga máxima normalizada por la carga máxima promedio de las cuerdas vírgenes y la desviación con respecto del efecto área para la cuerda de diámetro 12 mm

Ensayo	Carga máxima/ carga máxima promedio cuerdas vírgenes [%]	Desviación con respecto del efecto área [%]
0 #1	98,7%	
0 #2	101,3%	
1 #1	75,5%	8,8%
1 #2	73,3%	6,6%
1 #3	82,1%	15,4%
1 #4	77,2%	10,5%
2 #1	36,2%	2,8%
2 #2	48,0%	14,6%
2 #3	46,6%	13,3%
2 #4	37,9%	4,5%
3 #1	44,6%	11,3%
3 #2	37,9%	4,6%
3 #3	39,1%	5,8%
3 #4	49,3%	15,9%

Tabla 19: La tabla 18 muestra la carga máxima normalizada por la carga mínima de rotura especificada por el proveedor y la desviación con respecto del efecto área para cada uno de los ensayos realizados para la cuerda de diámetro 12 mm

Ensayo	Carga máxima/carga mínima de rotura especificada por el proveedor [%]	Desviación con respecto del efecto área [%]
0 #1	68%	-32%
0 #2	70%	-30%
1 #1	52%	-15%
1 #2	51%	-16%
1 #3	57%	-10%
1 #4	53%	-13%
2 #1	25%	-8%
2 #2	33%	0%
2 #3	32%	-1%
2 #4	26%	-7%
3 #1	31%	-3%
3 #2	26%	-7%
3 #3	27%	-6%
3 #4	34%	1%

La Figura 24 muestra el gráfico carga máxima normalizada por la carga máxima promedio de las cuerdas vírgenes versus el área remanente de todos los ensayos realizados en la cuerda de poliéster de diámetro 12 mm. Del gráfico se desprende que las cargas máximas obtenidas en los ensayos para las cuerdas dañadas fueron mayores que el efecto de área. La Figura 25 muestra el gráfico carga máxima normalizada por la carga mínima de rotura especificada por el proveedor versus el área remanente de todos los ensayos realizados en la cuerda de poliéster de diámetro 16 mm. Se puede apreciar que ninguna carga fue mayor que el efecto área.

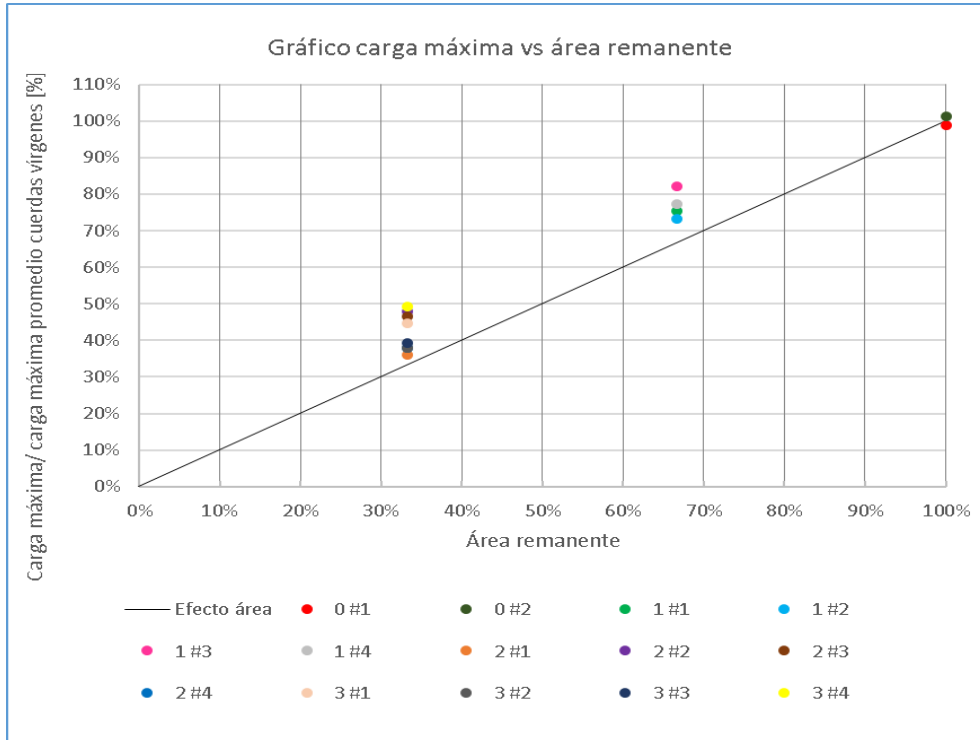


Figura 24: Gráfico carga máxima normalizada por la carga máxima promedio de las cuerdas vírgenes versus el área remanente para la cuerda de diámetro 12 mm

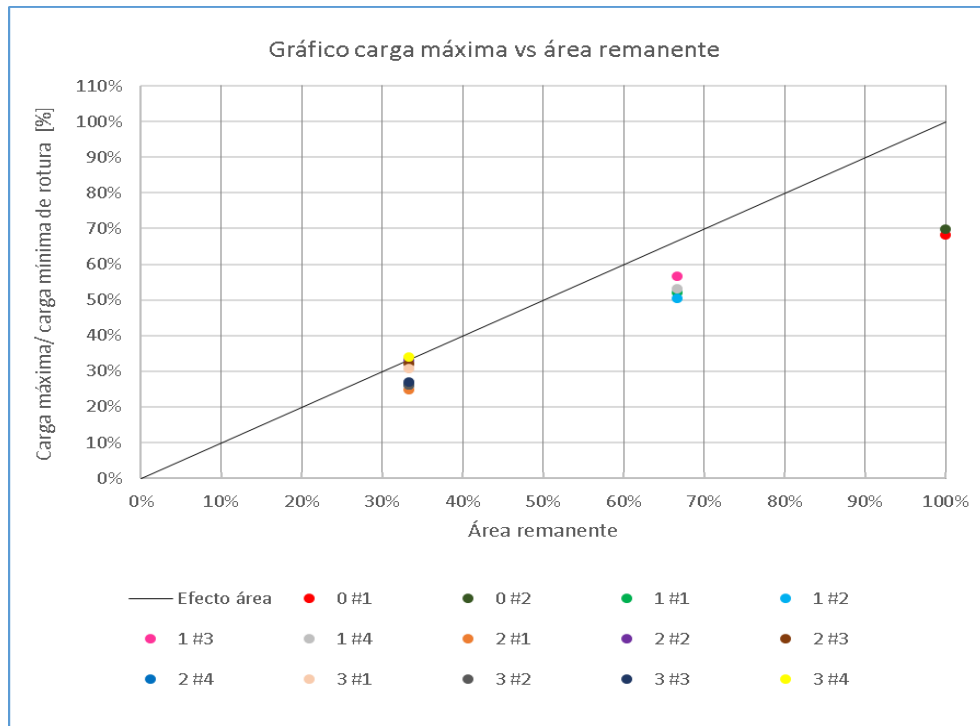


Figura 25: Gráfico carga máxima normalizada por la carga mínima de rotura especificada por el proveedor versus el área remanente para la cuerda de diámetro 12 mm

4.2.3. Gráficos de carga vs deformación

La figura 26 muestra el gráfico carga vs deformación para la cuerda de diámetro 12 mm virgen. Del gráfico se puede apreciar que las curvas TOP 0 #1, MID 0 #1, BOT 0 #1 alcanzan alrededor de una carga de 13 kN y una deformación de 0,22. La curva TOP 0 # 2 alcanza una carga de 15,98 kN y una deformación de 0,27. La curva TOP 0 # 2 resulta representativa con todas las demás curvas excepto con la curva MID 0 #2 que se escapa de las demás curvas porque el extensómetro giro alrededor de la cuerda y no midió correctamente. Por lo tanto, para poder comparar las deformaciones y cargas obtenidas por la inducción de daños con respecto a la cuerda virgen se graficará la curva TOP 0 #2 de color negro en los gráficos 27,28 y 29 . Cabe recordar que las deformaciones de la curva TOP 0 #2 se obtuvieron por medio de un extensómetro colocado en la longitud superior de la cuerda.

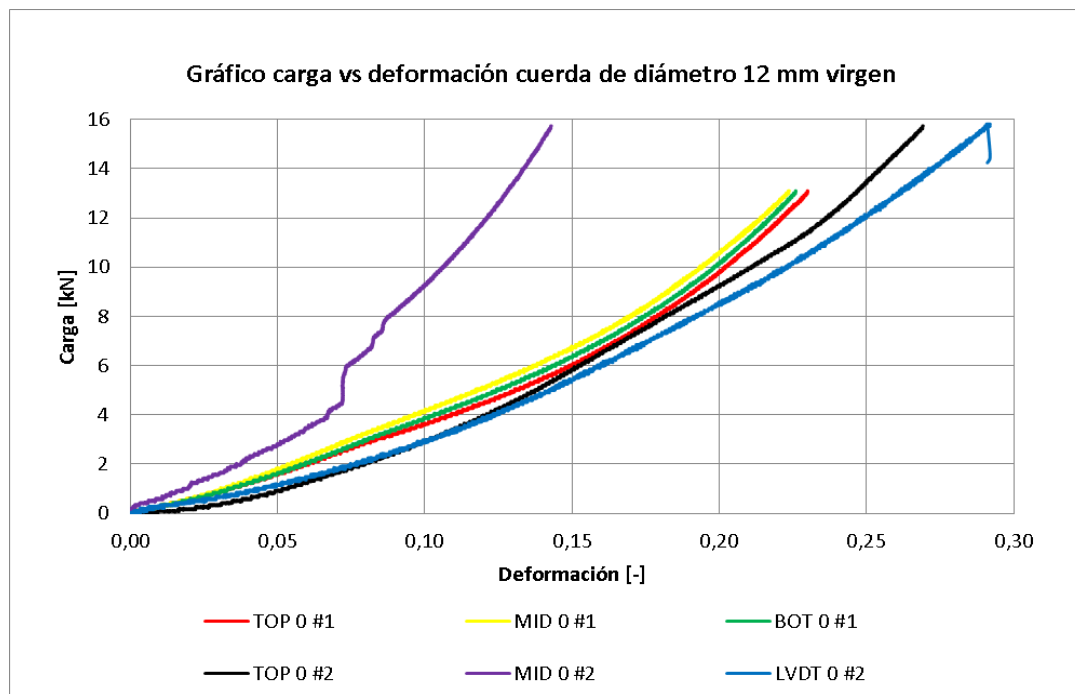


Figura 26: Gráfico carga vs deformación cuerda de diámetro 12 mm virgen

La figura 27 muestra el gráfico carga vs deformación para la cuerda de diámetro 12 mm con 1 daño. Del gráfico se desprende que en general las curvas siguen el comportamiento de la curva TOP 0 #2 y de todas ellas la curva MID 1 #3 es la que alcanza mayores mediciones de carga y deformación, alcanzando una carga de 12,75 kN y 0,22 de deformación. En cambio, Las curvas TOP 1 #1, BOT 1 # 1, BOT 1 #3 tienden a seguir el comportamiento de la curva LVDT 1 # 4 que alcanzó una carga de 9,7 kN y 0,3 de deformación. Es importante mencionar que para el ensayo numero 1 hubo una concentración de deformaciones en la parte

superior de la cuerda ya que la curva TOP 1 #1 se deformato más que la curvas BOT 1 #1 y MID 1 #1. En el ensayo numero 2 no se puede decir que hubo una concentración de deformaciones por que la curvas TOP 1 #2 y BOT 1 #2 fueron parecidas y no midió correctamente el extensómetro correspondiente a la curva MID 1 #2. En cambio, en el ensayo numero 3 la curva TOP 1 #3 se deformato más que las curvas MID 1 #3 y BOT 1 #3 por lo tanto hubo una concentración de deformaciones en la parte inferior de la cuerda. En conclusión, la distribución de deformaciones no fue simétrica y hubo concentración de deformaciones en las cuerdas de una hebra dañada.

En el gráfico de la figura 27 la curva efecto área 1 daño se confecciono en base a la curva TOP 0 #2 donde la fuerza esta multiplicada por dos tercios debido a que es el valor del área remanente para una cuerda con una hebra dañada de tres. Se desprende del gráfico que las curvas obtenidas por LVDT en cuerdas con una hebra dañada están acotadas superiormente por la curva virgen TOP 0 #2 e inferiormente por la curva efecto área 1 daño. Sin embargo, al estar la curva más cerca del límite inferior se puede concluir que domino la asimetría de la sección dañada.

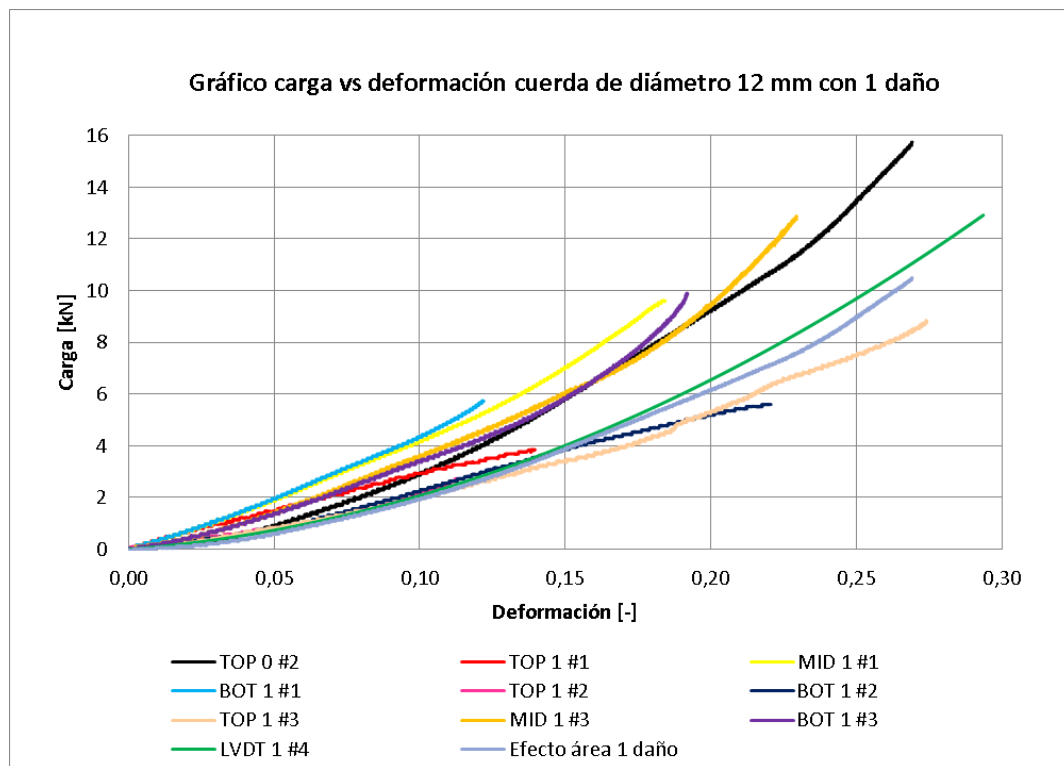


Figura 27: Gráfico carga vs deformacion cuerda de diámetro 12 mm con 1 daño

La figura 28 muestra el gráfico carga vs deformación para la cuerda de diámetro 12 mm con 2 daños. Del gráfico se puede apreciar que la curva obtenidas por LVDT alcanzo 6 kN de carga y 0,26 de deformación, en cambio todas las curvas obtenidas por extensómetros alcanzaron valores que van desde 2,5 kN a 3,5 kN y desde 0,6 a 0,11 de deformación. Del gráfico se desprende que las curvas obtenidas por extensómetros colocados en TOP y MID

son más rígidas que las curvas obtenidas por extensómetros colocados en BOT por lo tanto hubo una concentración de deformaciones en las partes inferior de la cuerda.

En el gráfico de la figura 28 la curva efecto área 2 daños se confecciono en base a la curva TOP 0 #2 donde la fuerza esta multiplicada por un tercio debido a que es el valor del área remanente para una cuerda con dos hebras dañadas de tres. Se desprende del gráfico que las curvas obtenida por LVDT en la cuerda con dos hebras dañadas está acotada superiormente por la curva TOP 0 #2 e inferiormente por la curva efecto área 2 daños.

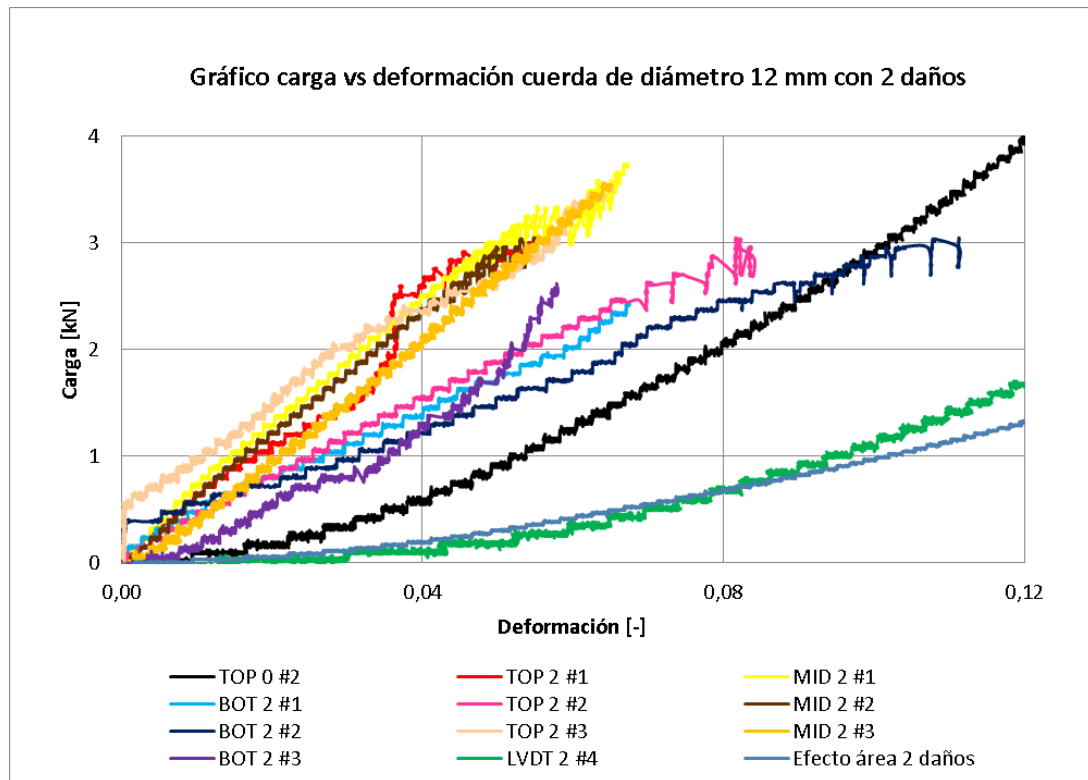


Figura 28: Gráfico vs deformacion cuerda de diámetro 12 mm con 2 daños

La figura 29 muestra el gráfico carga vs deformación para la hebra de cuerda de diámetro 12 mm virgen. Del gráfico se puede apreciar que las curvas obtenidas por los extensómetros alcanzaron valores alrededor de 6 kN de carga y 0,9 de deformación. La curva LVDT 3 #4 se comporta más flexible que las curvas obtenidas por los extensómetros, alcanza mayores valores de carga y deformación cuyos valores son 7,32 y 0,16 respectivamente. Se desprende que las curvas obtenidas para la hebra de cuerda de diámetro 12 mm virgen son más rígidas que la curva TOP 0 #2 por lo tanto las curvas obtenidas para la hebra de cuerda de diámetro 12 mm virgen son más rígidas que las curvas obtenidas para la cuerda de diámetro 12 mm virgen.

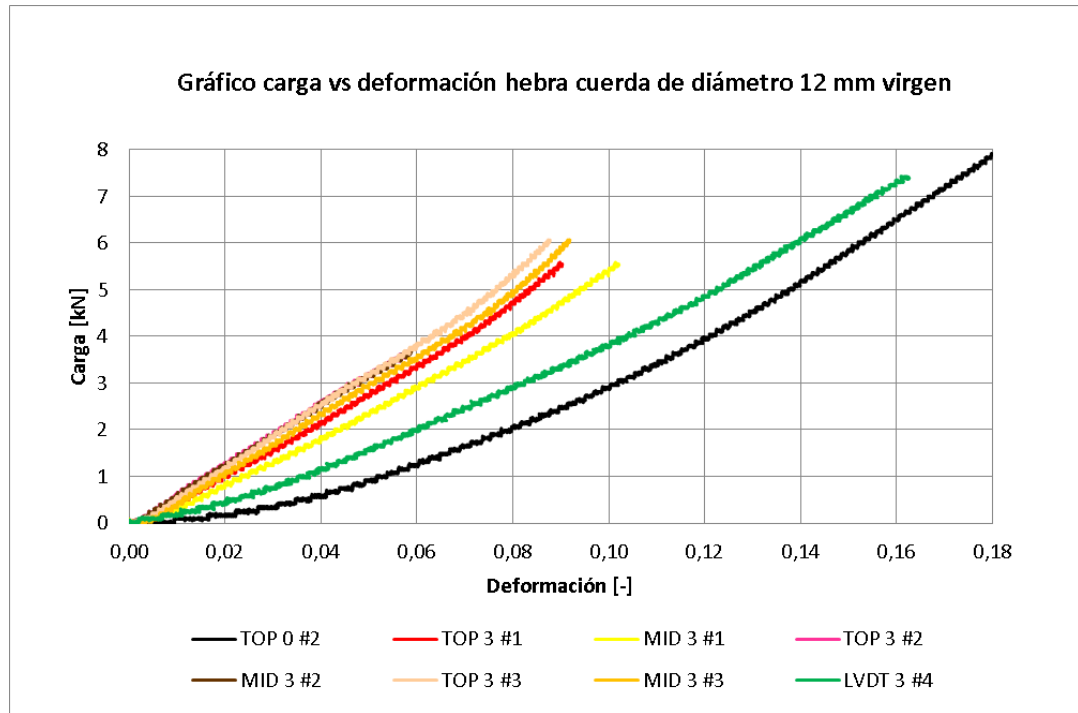


Figura 29: Gráfico carga vs deformación hebra cuerda de diámetro 12 mm virgen

4.3. Análisis experimental para cuerdas de poliéster de diámetro 16 mm

4.3.1. Carga máxima

La tabla 20 muestra la carga máxima registrada y el área remanente de cada ensayo realizado para la cuerda de poliéster de diámetro 16 mm. El área remanente se calcula como la razón entre el área de la sección transversal que tiene la cuerda ensayada con respecto al área de la sección transversal de la cuerda virgen.

Tabla 20: Carga máxima registrada y área remanente de cada ensayo cuerda de diámetro 16 mm

Ensayo	Área remanente [%]	Carga máxima [kN]	Lugar de la falla
0 #1	100,00%	25,71	Zona de las prensas tipo crosby
0 #2	100,00%	28,9	Zona de las prensas tipo crosby
1 #1	66,70%	18,7	Zona de las prensas tipo crosby
1 #2	66,70%	21,65	Zona de las prensas tipo crosby
1 #3	66,70%	18,86	Zona de las prensas tipo crosby
2 #1	33,30%	14,44	En la sección dañada
2 #2	33,30%	10,02	Zona de las prensas tipo crosby
2 #3	33,30%	10,25	Zona de las prensas tipo crosby
3 #1	33,30%	14,64	Zona de las prensas tipo crosby

El proveedor especifica que la cuerda de poliéster de diámetro 16 mm virgen tiene una carga mínima de rotura 3600 kg, que equivalen a 35,3 kN aproximadamente. Los valores de las cargas máxima obtenidas fueron menores que los especificados por el proveedor en un orden del 23 %. Es importante mencionar que la terminación de los especímenes se materializó con prensas tipo crosby de ½ pulgada, cuya interacción con los especímenes indujo la fractura de éstos. Por lo tanto, se puede concluir que el uso de este tipo de prensas para el ensayo de cuerdas de poliéster vírgenes de 16 mm de diámetro tiene una eficiencia del orden de un 77 %. La tabla 21 muestra la diferencia de la carga máxima promedio con respecto a la carga mínima de rotura de cada ensayo realizado para la cuerda de diámetro 16 mm.

Tabla 21: Diferencia de la Carga máxima promedio con respecto a la carga mínima de rotura para las cuerdas de diámetro 16 mm

Carga mínima de rotura especificada por el proveedor [kN]	35,3
Carga máxima promedio obtenida de los ensayos [kN]	27,31
Diferencia de la Carga máxima promedio con respecto a la carga mínima de rotura [%]	-22,65%

4.1.2. Efecto área

Con el objetivo de estudiar cuanto disminuye la resistencia de la cuerda cuando se corta una o dos de sus hebras se determinó la desviación con respecto del efecto área en cada ensayo realizado para la cuerda de poliéster de 16 mm de diámetro. El efecto área ocurre cuando la carga máxima es proporcional al área remanente. La desviación con respecto del efecto área determinó dividiendo la carga máxima obtenida en cada ensayo por la carga máxima promedio de las cuerdas vírgenes y luego se restó el área remanente respectivo. La tabla 22 muestra la carga máxima normalizada por la carga máxima promedio de las cuerdas vírgenes y la desviación con respecto del efecto área para cada uno de los ensayos realizados para la cuerda de diámetro 16 mm. De la tabla 22 se depende que la desviación con respecto del efecto área fueron todas positivas en las cuerdas dañadas ensayadas llegando a un valor

máximo de 19,5 % en desviación con respecto del efecto área. El valor positivo de la desviación con respecto del efecto área en todo el ensayo significa que las cargas máximas obtenidas fueron mayores a valores de cargas máximas proporcionales al área remanente. Sin embargo, se hace notar que la interacción del de las prensas tipo crosby con la cuerda indujo la falla cerca de esta zona en todos los ensayos provocando que se alcanzaran cargas menores a las esperadas entonces para realizar un análisis preliminar se utilizaron las cargas mínimas del proveedor como solución. La tabla 23 muestra la carga máxima normalizada por la carga mínima de rotura especificada por el proveedor y la desviación con respecto del efecto área para cada uno de los ensayos realizados para la cuerda de diámetro 16 mm.

Tabla 22: Carga máxima normalizada por la carga máxima promedio de las cuerdas vírgenes y la desviación con respecto del efecto área cuerda de diámetro 16 mm.

Ensayo	Carga máxima/ carga máxima promedio de las cuerdas vírgenes [%]	Desviación con respecto del efecto área [%]
0 #1	94,2%	
0 #2	105,8%	
1 #1	68,5%	1,8%
1 #2	79,3%	12,6%
1 #3	69,1%	2,4%
2 #1	52,9%	19,5%
2 #2	36,7%	3,3%
2 #3	37,6%	4,2%
3 #1	53,6%	20,3%

Tabla 23: Carga máxima normalizada por la carga mínima de rotura especificada por el proveedor y la desviación con respecto del efecto área cuerda de diámetro 16 mm.

Ensayo	Carga máxima/carga mínima de rotura especificada por el proveedor [%]	Desviación con respecto del efecto área [%]
0 #1	72,8%	-27,2%
0 #2	81,9%	-18,1%
1 #1	53,0%	-13,7%
1 #2	61,3%	-5,3%
1 #3	53,4%	-13,2%
2 #1	40,9%	7,6%
2 #2	28,4%	-5,0%
2 #3	29,0%	-4,3%
3 #1	41,5%	8,1%

La Figura 30 muestra el gráfico carga máxima normalizada por la carga máxima promedio de las cuerdas vírgenes versus el área remanente de todos los ensayos realizados en la cuerda de poliéster de diámetro 16 mm. Del gráfico se desprende que las cargas máximas

obtenidas en los ensayos para las cuerdas dañadas fueron mayores que el efecto área. La Figura 31 muestra el gráfico carga máxima normalizada por la carga mínima de rotura especificada por el proveedor versus el área remanente de todos los ensayos realizados en la cuerda de poliéster de diámetro 16 mm. Se puede apreciar que solo en el ensayo 2 #1 la carga fue mayor que el efecto área.

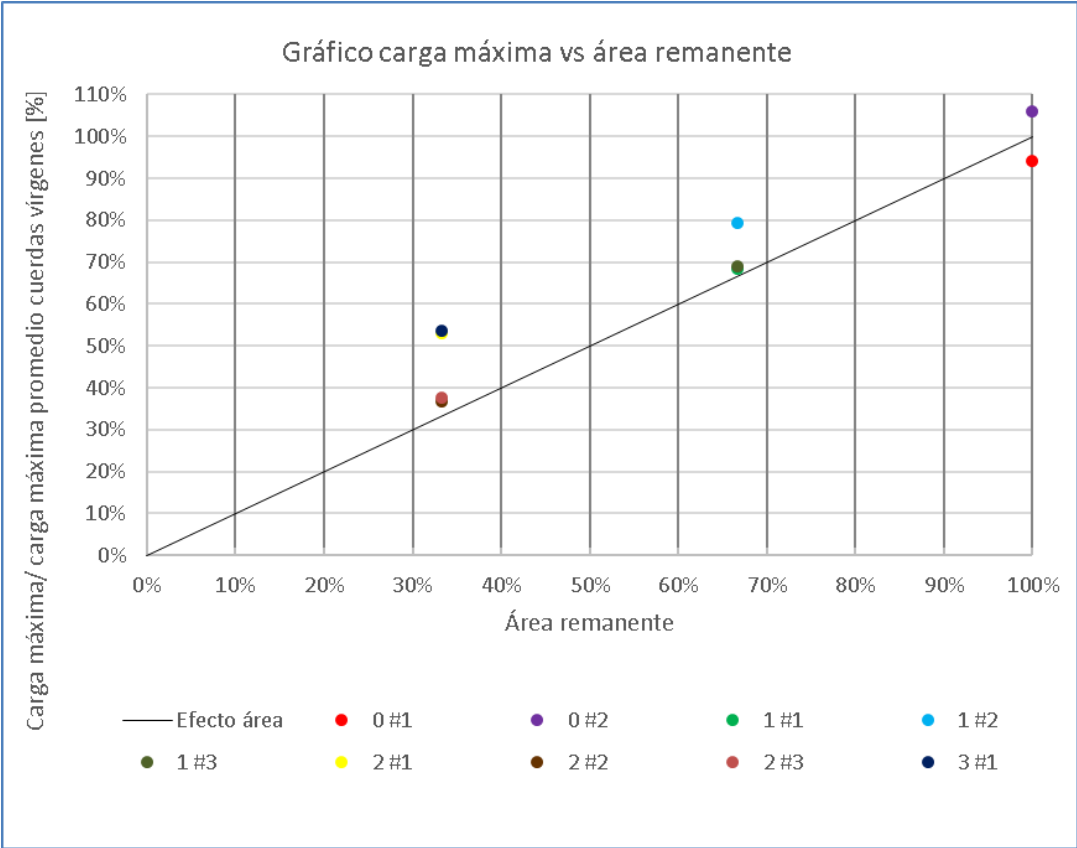


Figura 30: Gráfico carga máxima normalizada por la carga máxima promedio de las cuerdas vírgenes versus el área remanente para la cuerda de diámetro 16 mm

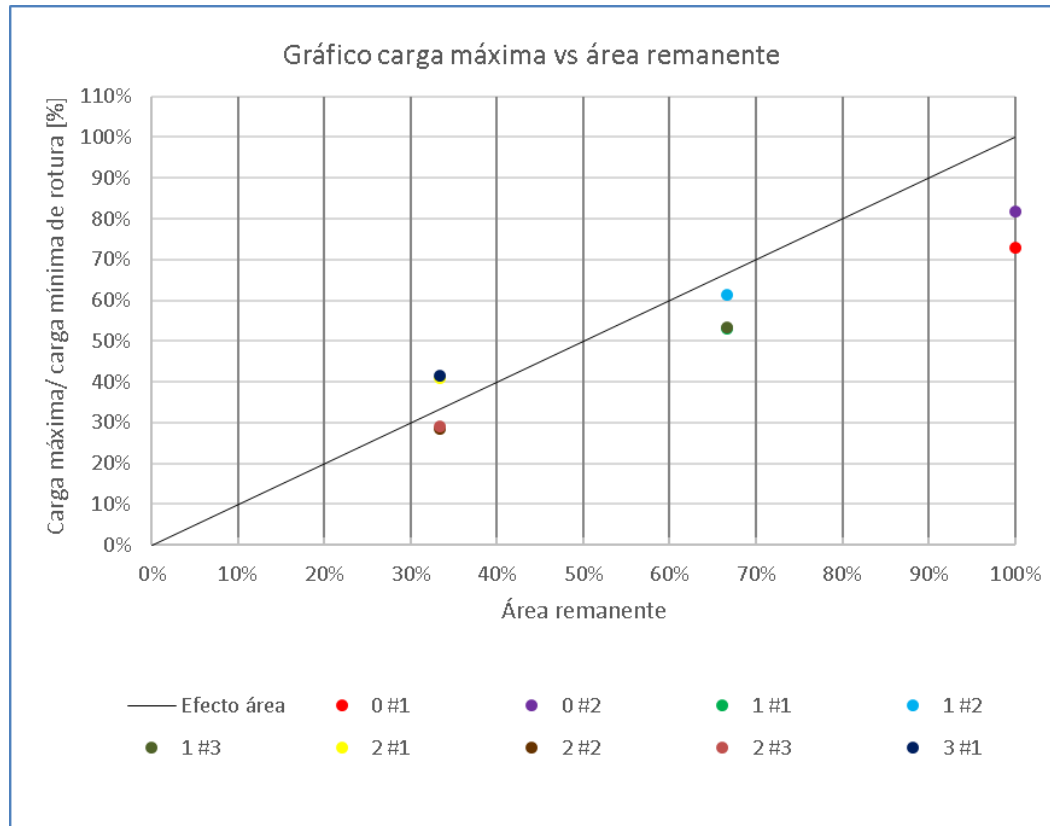


Figura 31: Gráfico carga máxima normalizada por la carga mínima de rotura especificada por el proveedor versus el área remanente para la cuerda de diámetro 16 mm

4.3.2. Gráficos de carga vs deformación

La figura 32 muestra el gráfico carga vs deformación para la cuerda de diámetro 16 mm virgen. Del gráfico se puede observar que en general las curvas alcanzan valores alrededor de 26 kN y 0,3 de deformación excepto que escapan de los valores de las demás curvas. La curva MID 0 # 2 resulta representativa con todas las demás curvas excepto con las curvas BOT 0 #1 y BOT 0 #2 que se escapan de las demás curvas. Por lo tanto, para poder comparar las deformaciones y cargas obtenidas por la inducción de daños con respecto a la cuerda virgen se graficará la curva MID 0 #2 de color negro en los gráficos 33,34 y 35. Cabe recordar que las deformaciones de la curva MID 0 #2 se obtuvieron por medio de un extensómetro colocado en la longitud media de la cuerda.

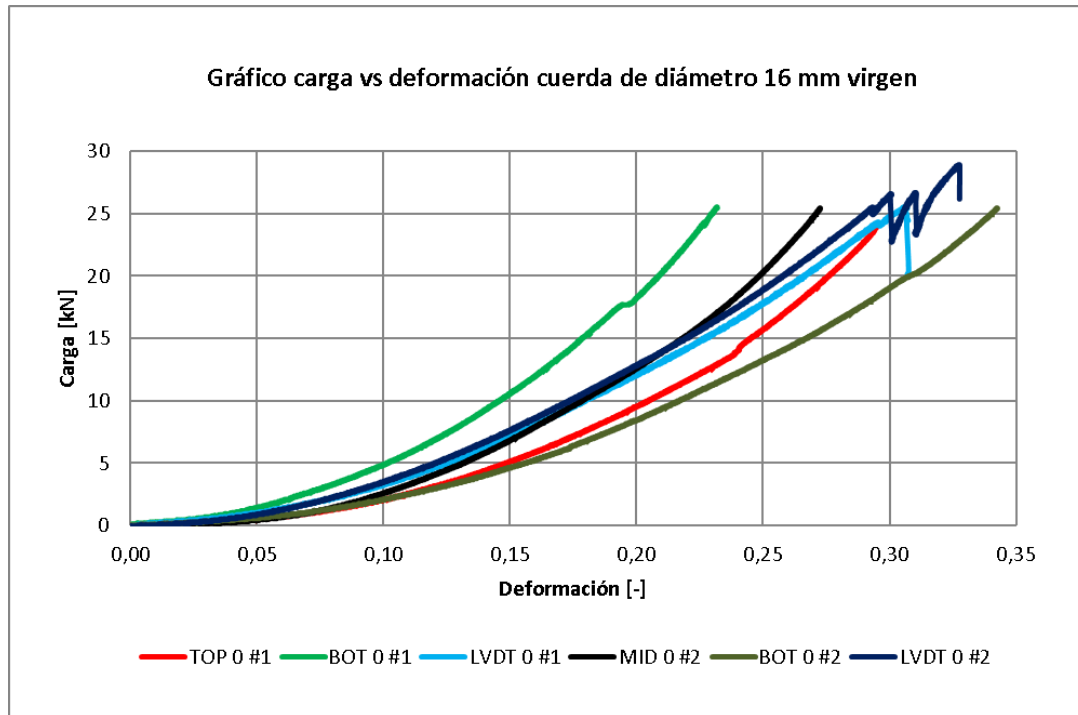


Figura 32: Gráficos carga vs deformación cuerda de diámetro 16 mm virgen

La figura 33 muestra el gráfico carga vs deformación para la cuerda de diámetro 16 mm con 1 daño. Del gráfico se puede apreciar que en general las curvas obtenidas por extensómetros alcanzaron valores que rondan los 19 kN de carga y 0,35 de deformación excepto por las curvas BOT 1 #1 y MID 1 #3 que no midieron correctamente hasta el final de ensayo por que se soltó el extensómetro. Se desprende que en general las curvas obtenidas por LVDT muestran un comportamiento más rígido que las curvas obtenidas por los extensómetros alcanzando valores que rondan los 20 kN de carga y 0,3 de deformación. Cabe destacar que la curva MID 1 #1 es más flexible que la curva BOT 1 #1 y que la curva MID 1 #3 es más flexible que la curva TOP 1 #3, como corresponden a mediciones de la misma cuerda dañada se puede concluir que hubo una concentración de deformaciones en la sección dañada.

En el gráfico de la figura 33 la curva efecto área 1 daño se confecciono en base a la curva MID 0 #2 donde la fuerza esta multiplicada por dos tercios debido a que es el valor del área remanente para una cuerda con una hebra dañada de tres. Se desprende del gráfico que las curvas obtenidas por LVDT en cuerdas con una hebra dañada están acotadas superiormente por la curva virgen MID 0 #2 e inferiormente por la curva efecto área 1 daño.

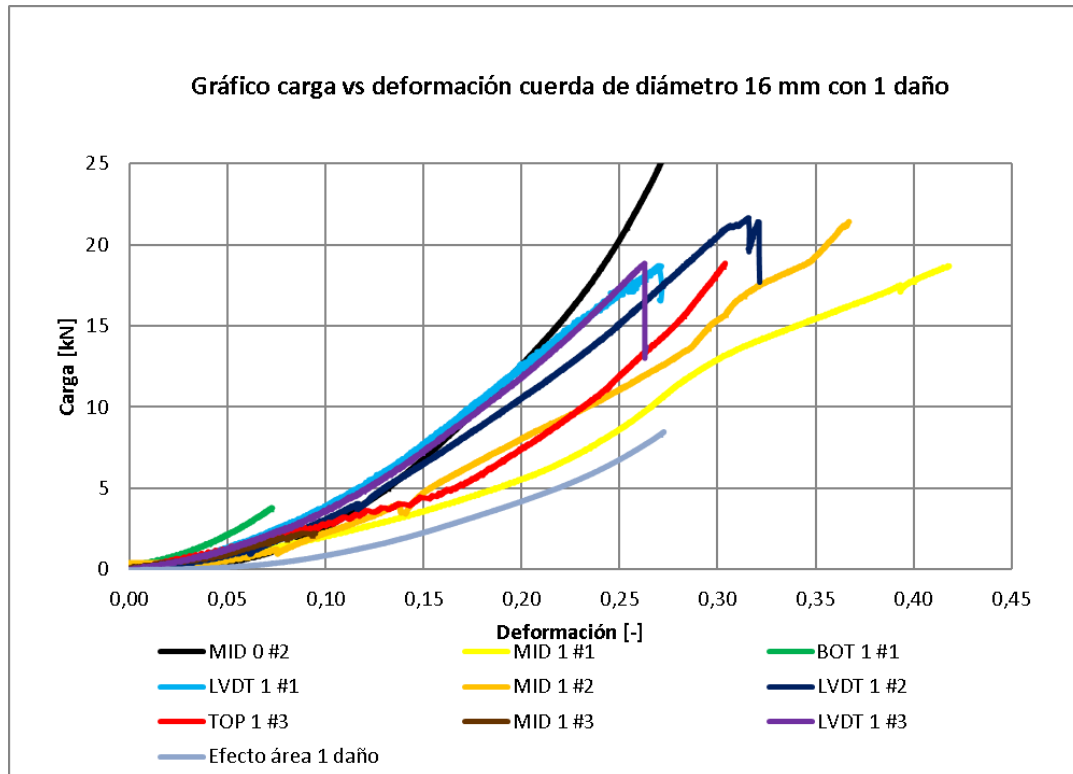


Figura 33: Gráfico carga vs deformacion cuerda de diámetro 16 mm con 1 daño

La figura 34 muestra el gráfico carga vs deformación para la cuerda de diámetro 16 mm con 2 daños. Del gráfico se puede apreciar que las curvas obtenidas por LVDT alcanzaron valores que rondan 10 kN de carga y 0,27 de deformación excepto en la curva LVDT 2 #1 que no midió correctamente a partir de esa carga por que el LVDT comenzó a vibrar producto de la inestabilidad de la deformación de la cuerda. Solo un extensómetro colocado en la longitud media de la cuerda midió correctamente, la curva de capacidad MID 2 #1 alcanzo la carga de 10 kN y 0,5 de deformación. Del gráfico se desprende que las curvas obtenidas para la cuerda de diámetro 16 mm con 2 daños son más flexibles que la curva MID 0 #2 por lo tanto las curvas obtenidas para la cuerda de diámetro 16 mm con 2 daños son más flexibles que las curvas obtenidas para la cuerda de diámetro 16 mm virgen.

En el gráfico de la figura 34 la curva efecto área 2 daños se confecciono en base a la curva MID 0 #2 donde la fuerza esta multiplicada por un tercio debido a que es el valor del área remanente para una cuerda con dos hebras dañadas de tres. Se desprende del gráfico que las curvas obtenidas por LVDT en cuerdas con dos hebras dañadas están acotadas superiormente por la curva MID 0 #2 e inferiormente por la curva efecto área 2 daños, sin embargo, las curvas obtenidas por LVDT están en el punto medio entre ambos limites por lo tanto significa que hay una concentración de deformaciones más un proceso eventual de undwinding.

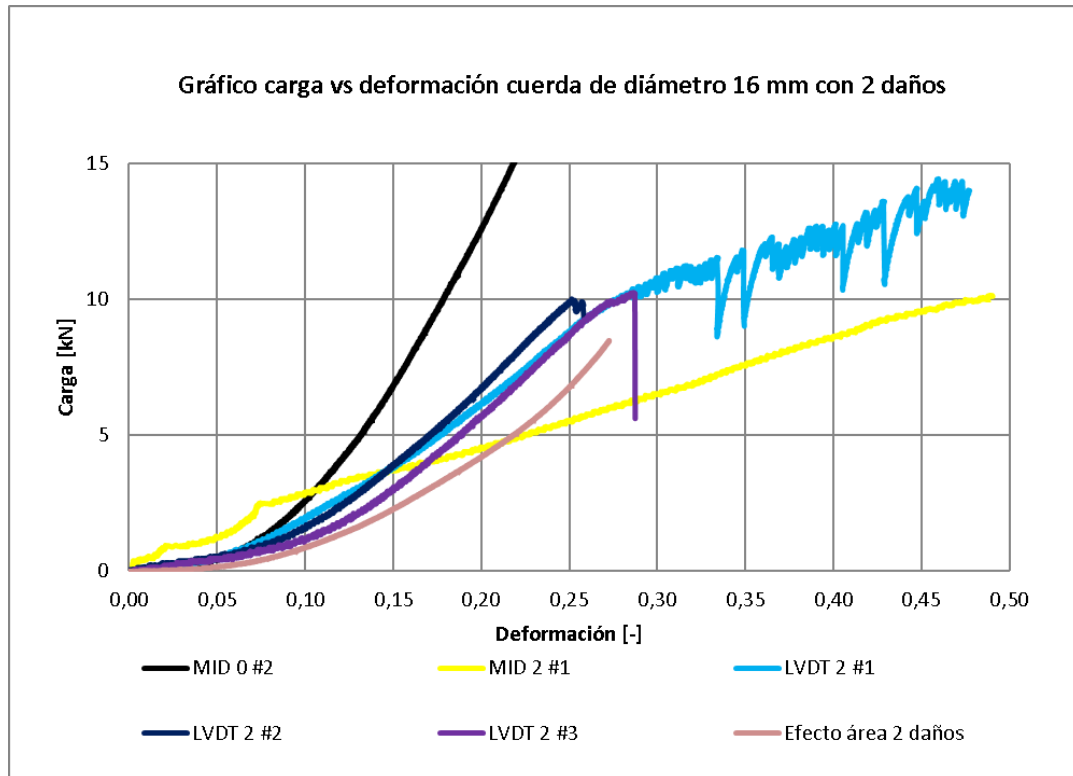


Figura 34: Gráfico vs deformacion cuerda de diámetro 16 mm con 2 daños

La figura 35 muestra el gráfico carga vs deformación para la hebra de cuerda de diámetro 16 mm virgen. Del gráfico se puede apreciar que las curvas obtenidas por el extensómetro alcanzo los 12,57 kN de carga y 0,11 de deformación. En cambio, la curva LVDT 3 #1 se comportó más flexible que la curva obtenida por el extensómetro, alcanzando mayores valores de carga y deformación cuyos valores son 14,53 y 0,16 respectivamente. Se depende que las curvas obtenidas para la hebra de cuerda de diámetro 16 mm virgen son mucho más rígidas que la curva MID 0 #2 por lo tanto las curvas obtenidas para la hebra de cuerda de diámetro 16 mm virgen son más rígidas que las curvas obtenidas para la cuerda de diámetro 16 mm virgen.

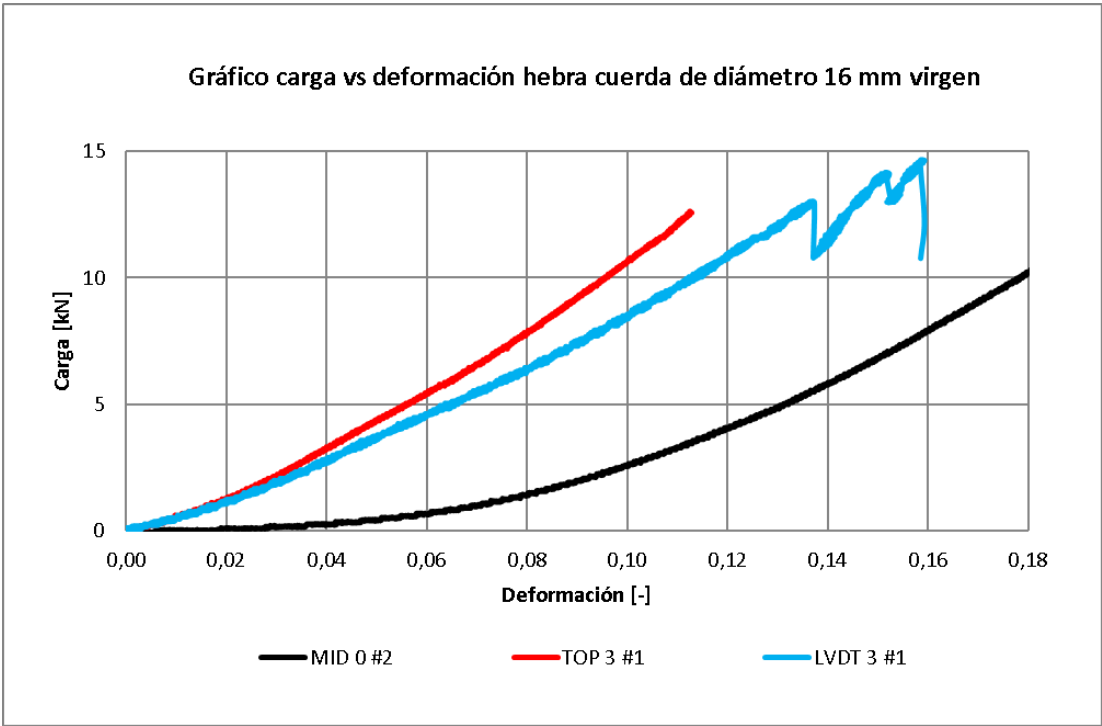


Figura 35: Gráfico carga vs deformacion hebra cuerda de diámetro 16 mm virgen

Capítulo 5. Rigidez de las cuerdas de poliéster.

Con el objetivo de estudiar la rigidez de las cuerdas de poliéster ensayadas a tracción se realizaron los siguientes análisis:

- 1) Se determinó la rigidez en todos los ensayos para una misma tensión. La tabla 24 muestra la carga que debe resistir una cuerda si se aplica una tensión de 66,3145596216231 MPa para cada uno de los 3 diámetros. Cabe mencionar que el área de la sección transversal de la cuerda se calculó como el triple del área transversal de su hebra.
- 2) Se determinó la rigidez secante para cada uno de los 3 diámetros de la cuerda de poliéster. La rigidez secante se determinó dividiendo la carga máxima por el desplazamiento medida por el LVDT al aplicar dicha carga. Las deformaciones corresponden solo a mediciones hechas por LVDT ya que estos instrumentos pudieron medir correctamente hasta la carga máxima de cada ensayo en comparación con los extensómetros.

Tabla 24: Carga que debe resistir la cuerda si se aplica una tensión de 66,3145596216231 MPa para cada uno de los 3 diámetros

Diámetro de la cuerda [mm]	Diámetro de la hebra [mm]	Área de la cuerda [mm ²]	Carga [kN]
8	4	37,70	2,5
12	6	84,82	5,625
16	8	150,80	10

5.1. Rigidez de las cuerdas de poliéster de diámetro 8 mm

Se procedió a determinar la rigidez para una carga de 2,5 kN en todos los ensayos realizados para la cuerda de diámetro 8 mm. Las tablas 25 y 26 muestran la rigidez obtenida por medio de extensómetros y LVDT respectivamente para una carga de 2,5 kN. Cabe mencionar que no se obtuvieron datos con valores de cargas iguales a 2,5 kN es por eso que para el estudio de la rigidez se tomaron las cargas mas cercanas a 2,5 kN, en este caso el valor de carga elegida fue de 2,51 kN en todos los ensayos. Además, no se analizaron los datos en los que el instrumento de medida no midió hasta los 2,5 kN. Es importante mencionar que cuando se mide con extensómetros el largo inicial es 50 mm porque corresponde a la longitud en que comienza a medir desplazamientos. En el caso del LVDT los largos iniciales no son iguales, pero tienen valores cercanos a 800 mm. De la tabla 25 y 26 se desprende que la rigidez disminuye a medida que aumenta el daño de la sección transversal de la cuerda. También se desprende de la tabla 26 que los LVDT lograron medir desplazamientos en las hebras de cuerdas vírgenes obteniendo rigideces mayores que las cuerdas vírgenes y en consecuencia que las cuerdas dañadas.

Tabla 25: Rigidez obtenida por medio de extensómetros utilizados en los ensayos para la cuerda de diámetro 8 mm

Ensayo	Desplazamiento [mm]	Largo inicial [mm]	Carga [N]	Rigidez [N/mm]
TOP 0 #1	4,08	50	2510	615,95
MID 0 #1	4,46	50	2510	563,41
BOT 0 #1	3,07	50	2510	818,92
MID 0 #2	3,24	50	2510	775,89
MID 1 #1	4,31	50	2510	583,04
TOP 1 #2	3,48	50	2510	721,26
MID 1 #2	3,77	50	2510	665,78
BOT 2 #2	4,51	50	2510	557,16

Tabla 26: Rigidez obtenida por medio de LVDT utilizados en los ensayos para la cuerda de diámetro 8 mm

Ensayo	Desplazamiento [mm]	Largo inicial [mm]	Carga [N]	Rigidez [N/mm]
LVDT 0 #2	64,80	801	2510	38,73
LVDT 1 #1	68,81	801	2510	36,48
LVDT 1 #2	88,99	791	2510	28,21
LVDT 1 #3	67,30	806	2510	37,30
LVDT 2 #1	128,30	871	2510	19,56
LVDT 2 #2	121,47	836	2510	20,66
LVDT 2 #3	101,77	846	2510	24,66
LVDT 3 #1	57,74	791	2510	43,47
LVDT 3 #2	55,53	791	2510	45,20
LVDT 3 #3	53,00	791	2510	47,36

La tabla 27 muestra rigidez secante de las cuerdas de poliéster de diámetro 8 mm ensayadas, de esta tabla se desprende que la rigidez secante disminuye a medida que aumenta el daño en la sección transversal de la cuerda. La tabla 28 muestra la rigidez secante promedio para cada tipo de probeta ensayada, de esta tabla se puede apreciar que la rigidez secante promedio disminuye a medida que aumenta el daño en la sección transversal de la cuerda y que la rigidez secante promedio de las hebras de cuerdas vírgenes fue mayor que la secante promedio de las cuerdas de dos daños en su sección transversal. Cabe mencionar que los desplazamientos utilizados para determinar la rigidez secante fueron medidos todos por LVDT.

Tabla 27: Rigidez secante de las cuerdas de poliéster de diámetro 8 mm ensayadas

Ensayo	Desplazamiento [mm]	Largo inicial [mm]	Carga máxima [N]	Rigidez [N/mm]
0 #2	197,53	801	11610	14,49
1 #1	202,73	801	10990	13,72
1 #2	204,47	791	8860	11,20
1 #3	183,77	806	8440	10,47
2 #1	205,47	871	5020	5,76
2 #2	213,51	836	6000	7,18
2 #3	187,81	846	5190	6,13
3 #1	119,36	791	5920	7,48
3 #2	119,52	791	6140	7,76
3 #3	117,46	791	6490	8,20

Tabla 28: Rigidez secante promedio para cada tipo de probeta ensayada para la cuerda de diámetro 8 mm

Características de la probeta ensayada	Rigidez Secante promedio [N]
Cuerda de poliéster virgen	14,49
Cuerda de poliéster con 1 hebra cortada	11,80
Cuerda de poliéster con 2 hebras cortadas	6,36
Hebra de cuerda de poliéster virgen	7,82

5.2. Rigidez de las cuerdas de poliéster de diámetro 12 mm

Se procedió a determinar la rigidez para una carga de 5,625 kN en todos los ensayos realizados para la cuerda de diámetro 12 mm. Las tablas 29 y 30 muestran la rigidez obtenida por medio de extensómetros y LVDT respectivamente para una carga de 5,625 kN. Cabe mencionar que no se obtuvieron datos con valores de cargas iguales a 5,625 kN es por eso que para el estudio de la rigidez se tomaron las cargas mas cercanas a 5,625. Además, no se analizaron los datos en los que el instrumento de medida no midió hasta los 5,625 kN. Es importante mencionar que cuando se mide con extensómetros el largo inicial es 50 mm porque corresponde a la longitud en que comienza a medir desplazamientos y que no midieron hasta los 5,625 kN en los ensayos realizados para las cuerdas con dos daños en su sección transversal. En el caso del LVDT los largos iniciales no son iguales, pero tienen valores cercanos a 500 mm. De la tabla 29 y 30 se desprende que la rigidez disminuye a medida que aumenta el daño de la sección transversal de la cuerda y que en las hebras de cuerdas vírgenes se obtuvieron rigideces mayores que las cuerdas vírgenes y en consecuencia que las cuerdas dañadas.

Tabla 29: Rigidez obtenida por medio de extensómetros utilizados en los ensayos para la cuerda de diámetro 12 mm

Ensayo	Desplazamiento [mm]	Largo inicial [mm]	Carga [N]	Rigidez [N/mm]
TOP 0 #1	7,12	50	5635	791,99
MID 0 #1	6,49	50	5635	868,26
BOT 0 #1	6,81	50	5635	828,07
TOP 0 #2	7,32	50	5629	769,51
MID 1 #1	6,42	50	5641	879,35
BOT 1 #1	6,03	50	5641	936,27
BOT 1 #2	10,90	50	5611	514,77
TOP 1 #3	10,31	50	5623	545,66
MID 1 #3	7,10	50	5623	792,53
BOT 1 #3	7,30	50	5623	770,27
TOP 3 #1	4,57	50	5626	1231,07
MID 3 #1	5,39	50	5626	1044,75
TOP 3 #2	4,20	50	5633	1342,79
MID 3 #2	4,42	50	5633	1274,43
TOP 3 #3	4,16	50	5627	1354,27
MID 3 #3	4,37	50	5627	1287,64

Tabla 30: Rigidez obtenida por medio de LVDT utilizados en los ensayos para la cuerda de diámetro 12 mm

Ensayo	Desplazamiento [mm]	Largo inicial [mm]	Carga [N]	Rigidez [N/mm]
LVDT 0 #2	64,60	425,00	5629	87,14
LVDT 1 #4	94,25	515,00	5626	59,70
LVDT 2 #4	120,53	495,00	5629	46,70
LVDT 3 #4	63,41	480,00	5629	88,77

La tabla 31 muestra rigidez secante de las cuerdas de poliéster de diámetro 12 mm ensayadas, de esta tabla se desprende que la rigidez secante disminuye a medida que aumenta el daño en la sección transversal de la cuerda y que la rigidez secante de las hebras de cuerdas vírgenes fue mayor que de las cuerdas dañadas en su sección transversal. Cabe mencionar que los desplazamientos utilizados para determinar la rigidez secante fueron medidos todos por LVDT.

Tabla 31: Rigidez secante de las cuerdas de poliéster de diámetro 12 mm

Ensayo	Desplazamiento [mm]	Largo inicial [mm]	Carga máxima [N]	Rigidez [N/mm]
0 #2	130,65	425	15980	122,32
1 #4	211,05	515	12180	57,71
2 #4	130,53	495	5980	45,81
3 #4	99,22	480	7780	78,41

5.3. Rigidez de las cuerdas de poliéster de diámetro 16 mm

Se procedió a determinar la rigidez para una carga de 10 kN en todos los ensayos realizados para la cuerda de diámetro 16 mm. Las tablas 32 y 33 muestran la rigidez obtenida por medio de extensómetros y LVDT respectivamente para una carga de 10 kN. Cabe mencionar que se no se obtuvo un dato con un valor de carga igual a 10 kN en la curva LVDT 2 #2 en su lugar se utilizó 9,98 kN, además no se analizaron los datos en los que el instrumento de medida no midió hasta los 10 kN. Es importante mencionar que cuando se mide con extensómetros el largo inicial es 50 mm porque corresponde a la longitud en que comienza a medir desplazamientos. En el caso del LVDT los largos iniciales no son iguales, pero tienen valores cercanos a 500 mm. De la tabla 32 y 33 se desprende que la rigidez disminuye a medida que aumenta el daño de la sección transversal de la cuerda.

Tabla 32: Rigidez obtenida por medio de extensómetros utilizados en los ensayos para la cuerda de diámetro 16 mm

Ensayo	Desplazamiento [mm]	Largo inicial [mm]	Carga [N]	Rigidez [N/mm]
TOP 0 #1	10,22	50	10000	978,95
BOT 0 #1	7,28	50	10000	1374,57
MID 0 #2	8,93	50	10000	1119,82
BOT 0 #2	10,86	50	10000	921,23
MID 1 #1	13,32	50	10000	751,03
MID 1 #2	11,64	50	10000	859,48
TOP 1 #3	11,56	50	10000	865,05
MID 2 #1	24,29	50	10000	411,69
TOP 3 #1	4,80	50	10000	2085,51

Tabla 33: Rigidez obtenida por medio de LVDT utilizados en los ensayos para la cuerda de diámetro 16 mm

Ensayo	Desplazamiento [mm]	Largo inicial [mm]	Carga [N]	Rigidez [N/mm]
LVDT 0 #1	83,33	465	10000	21,51
LVDT 0 #2	89,51	515	10000	19,42
LVDT 1 #1	80,22	455	10000	21,98
LVDT 1 #2	92,69	480	10000	20,83
LVDT 1 #3	101,02	560	10000	17,86
LVDT 2 #1	130,94	470	10000	21,28
LVDT 2 #2	141,93	565	10000	17,70
LVDT 2 #3	157,36	560	10000	17,86
LVDT 3 #1	56,96	505	10000	19,80

La tabla 34 muestra rigidez secante de las cuerdas de poliéster de diámetro 16 mm ensayadas y la tabla 35 muestra la rigidez secante promedio para cada tipo de probeta ensayada. De la tabla 34 se desprende que la rigidez secante disminuye a medida que aumenta

el daño en la sección transversal de la cuerda y de la tabla 35 que la rigidez secante promedio disminuye a medida que aumenta el daño en la sección transversal de la cuerda. Cabe mencionar que los desplazamientos utilizados para determinar la rigidez secante fueron medidos todos por LVDT y que en la hebra de cuerda virgen se obtuvo una rigidez mayor que las cuerdas vírgenes y por lo tanto que las cuerdas dañadas.

Tabla 34: Rigidez secante de las cuerdas de poliéster de diámetro 16mm

Ensayo	Desplazamiento [mm]	Largo inicial [mm]	Carga máxima [N]	Rigidez [N/mm]
0 #1	150,29	465	25710	171,07
0 #2	168,66	515	28900	171,35
1 #1	122,90	455	18700	152,16
1 #2	151,39	480	21650	143,01
1 #3	147,11	560	18860	128,20
2 #1	216,01	470	14440	66,85
2 #2	142,04	565	10020	70,54
2 #3	160,38	560	10250	63,91
3 #1	80,45	505	14640	181,98

Tabla 35: Rigidez secante promedio para cada tipo de probeta ensayada para la cuerda de diámetro 16 mm

Características de la probeta ensayada	Rigidez Secante promedio [N]
Cuerda de poliéster virgen	171,21
Cuerda de poliéster con 1 hebra cortada	141,12
Cuerda de poliéster con 2 hebras cortadas	67,10
Hebra de cuerda de poliéster virgen	181,98

Capítulo 6. Conclusiones

En este trabajo de título se logró obtener las curvas de capacidad de 34 cuerdas de poliéster ensayadas a tracción para diámetros de 8 mm, 12 mm y 16 mm. Se indujo cortes de hebras en una sección ubicada en la longitud media de la cuerda para determinar cómo afecta en la carga máxima y deformación en comparación con una cuerda virgen.

Las cargas máximas obtenidas para la cuerda de poliéster de diámetro de 8 mm fueron mayores a los valores de carga mínima de rotura especificado por el proveedor alrededor de un 6%, en cambio para las cuerdas de diámetro 12 mm y 16 mm las cargas máximas fueron menores a las especificadas por el proveedor alrededor de un 31% y 22,7% respectivamente. Los ganchos son más eficientes que las prensas tipo Crosby para ensayar a tracción cuerdas de poliéster por lo tanto se recomienda usar ganchos para ensayar cuerdas de poliéster.

Entre los resultados obtenidos las cuerdas dañadas presentaron una disminución de la carga máxima que resisten en comparación con una cuerda virgen pero no proporcional al área remanente si no que a medida que el área remanente disminuye, la carga máxima lo hace en menor cantidad. Por lo tanto, no se cumple el efecto área en las cuerdas de poliéster independiente del diámetro.

Se pudo observar que para la cuerda de diámetro 8 mm en el ensayo 1 #1 (cuerda con una hebra cortada) la carga máxima fue de 10,99 kN y en el ensayo 0 #1 (cuerda virgen) la carga máxima fue de 11,21 kN, es decir, la cuerda con una hebra cortada resistió casi la misma carga que una cuerda virgen. Este fenómeno sucedió para todos los diámetros y daños, por lo tanto, se puede concluir que las hebras cortadas de cuerdas de poliéster dañadas comienzan a tomar carga a una distancia de la sección dañada, esta longitud de cuerda se le llama “largo de recuperación”.

Se determinaron que las curvas de capacidad obtenidas por medio de extensómetro para las cuerdas de poliéster dañadas de diámetro 8 mm y 16 mm son más flexibles que las curvas de capacidad de las cuerdas vírgenes respectivas a medida que aumenta el daño de la sección transversal. Sin embargo, en caso de las curvas de capacidad obtenidas por extensómetros para la cuerda de poliéster dañadas de diámetro 12 mm son más rígidas que las curvas de capacidad de cuerdas vírgenes. Cabe mencionar que en los ensayos realizados por Andrea Mancilla (cuerdas de diámetro 12 mm) se aplicaron mayores valores de pretensado que en los ensayos realizados por Alejandro Garate, esto explica por qué dieron valores más rígidos en general. Por lo tanto, se concluye cualitativamente las curvas de capacidad son más flexibles a medida que aumenta el daño en la sección transversal de la cuerda.

Se logró determinar cuantitativamente que la rigidez de la cuerda disminuye a medida que el daño aumenta en la sección transversal para todos los 3 diámetros. Con respecto a la rigidez de las hebras es un poco menor que la rigidez de una cuerda virgen.

Se logró observar el fenómeno de concentración de deformaciones ya que en las cuerdas con uno y dos daños los extensómetros colocados en la sección transversal dañada midieron mayores deformaciones que los extensómetros colocados en las secciones transversales no dañadas en todos los ensayos para todos los diámetros.

A modo de recomendación los extensómetros no resultaron confiables para medir deformaciones locales en las cuerdas de poliéster ya que estos no se agarraban bien del material de poliéster. Otro problema era que los extensómetros se soltaban cuando la cuerda rotaba con respecto su eje vertical y no medían correctamente, la rotación se debía a la disposición helicoidal de las cuerdas que generaba un gradiente de deformaciones. Por último, sucedió que entre más pequeño es el diámetro menos se agarran los extensómetros de las cuerdas y tienden a resbalar dando valores más rígidos para la curva de capacidad.

Con respecto al instrumento de medida LVDT es bastante confiable para medir deformaciones globales en cuerdas de poliéster ya que tiene la ventaja que no le afecta la rotación de la cuerda y donde no está agarrado a la cuerda puede medir deformaciones hasta que termine el ensayo en comparación con un extensómetro (por que se suelta de la cuerda por el impacto de la rotura). Cabe mencionar que si bien el LVDT mide la deformación también de todo lo que acompaña la cuerda ensayada como mordazas o placas metálicas, estas deformaciones son despreciables para las cargas necesarias para romper la cuerdas.

Todas las cuerdas vírgenes ensayadas para los diámetros de 12 mm y 16 mm fallaron antes que la carga mínima de rotura (según el fabricante) debido a que los ganchos o prensas Crosby inducían la falla en los extremos, por lo tanto, una opción para estimar el valor de la capacidad de la cuerda virgen podría ser mediante un modelo numérico en base a las cargas máximas obtenidas del ensayo de una hebra de cuerda virgen que no haya fallado en los extremos (ley constitutiva).

Bibliografía

- (1) UNE-EN 919: cuerdas de fibra para usos diversos: determinación de ciertas propiedades físicas y mecánicas.
- (2) Beltrán JF, Williamson EB, Ramírez N. 2017. Simplified analysis of the influence of strain localization and asymmetric damage distribution on static damaged polyester rope behavior. *Ocean Engineering* (145),237–249.
- (3) De Vico, E., 2013, Efectos de la Distribución Asimétrica de Daño en la Sección Transversal de un Cable: Modelación Numérica, Depto. Ing. Civil, Universidad de Chile (in spanish).

Anexo

En este capítulo se muestran los gráficos Carga vs Deformación completos para todos los ensayos de cuerdas, en todos los ensayos el extensómetro colocado en la zona superior, central e inferior se representan por las curvas de color rojo, amarillo y verde respectivamente. En todos los ensayos la curva de color azul representa el LVDT.

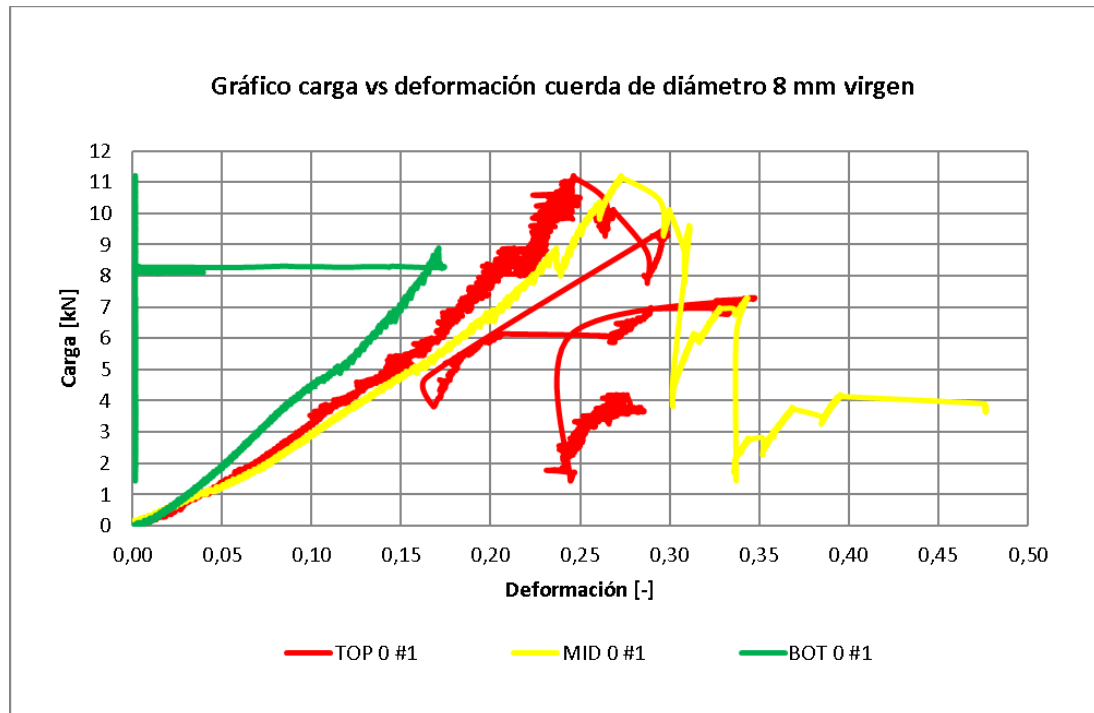


Figura 36: Gráfico completo carga vs deformación cuerda de diámetro 8 mm virgen ensayo numero 1

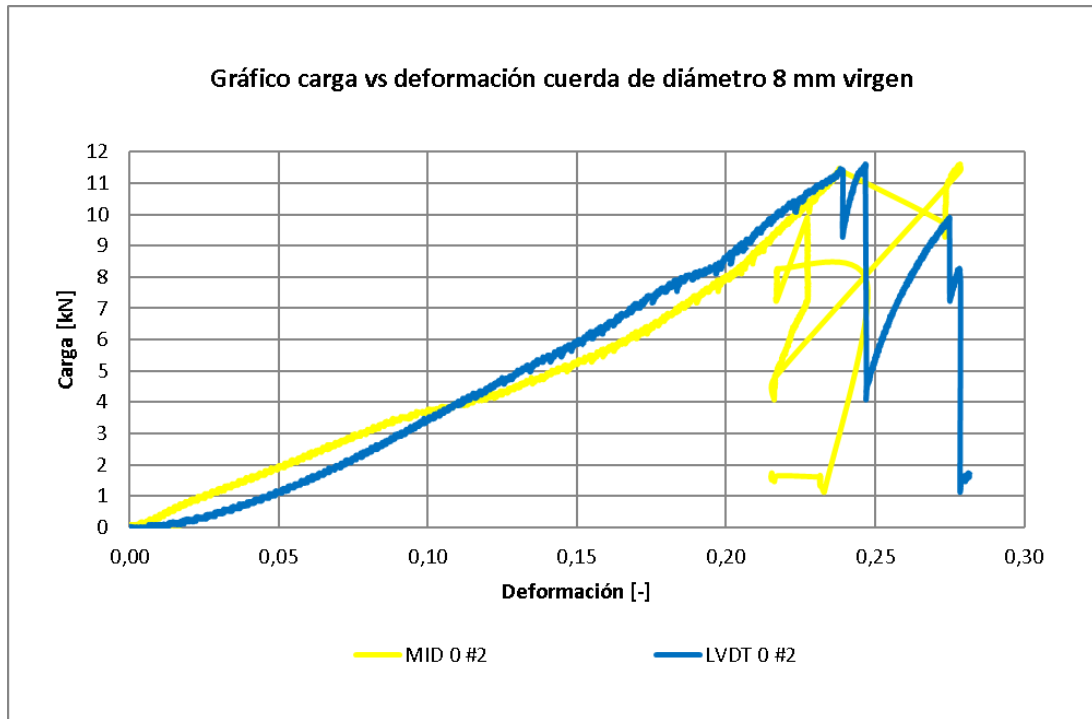


Figura 37: Gráfico completo carga vs deformación cuerda de diámetro 8 mm virgen ensayo numero 2

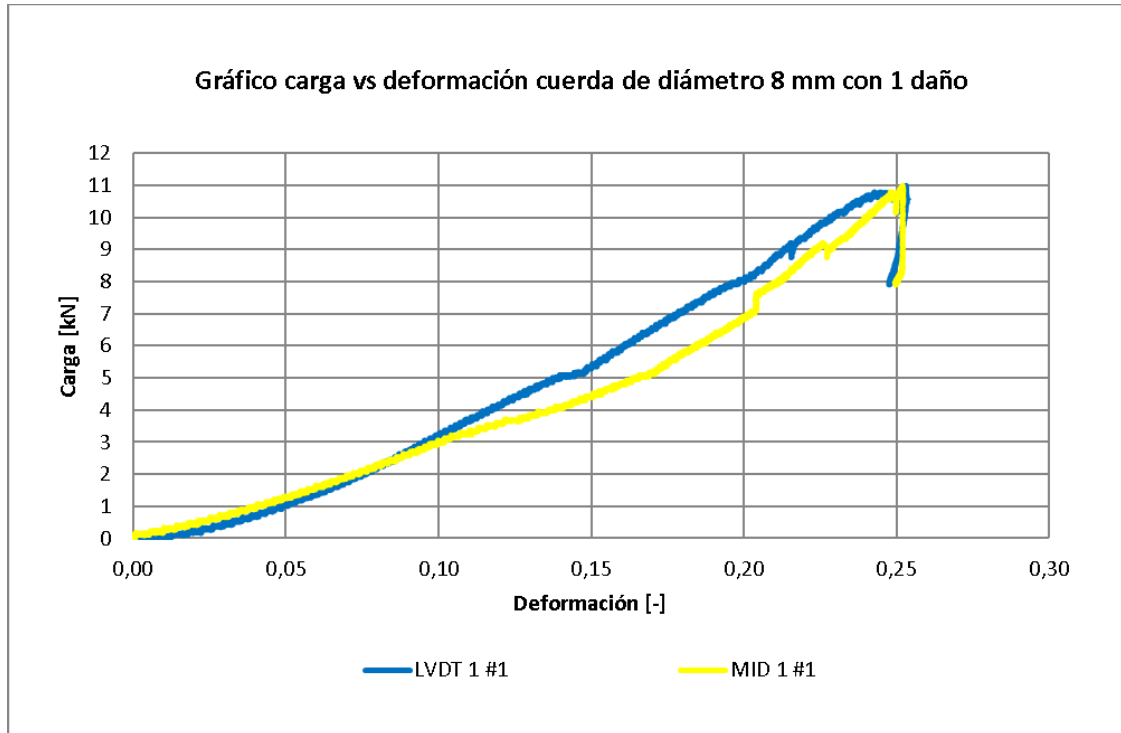


Figura 38: Gráfico completo carga vs deformación cuerda de diámetro 8 mm con 1 daño ensayo numero 1

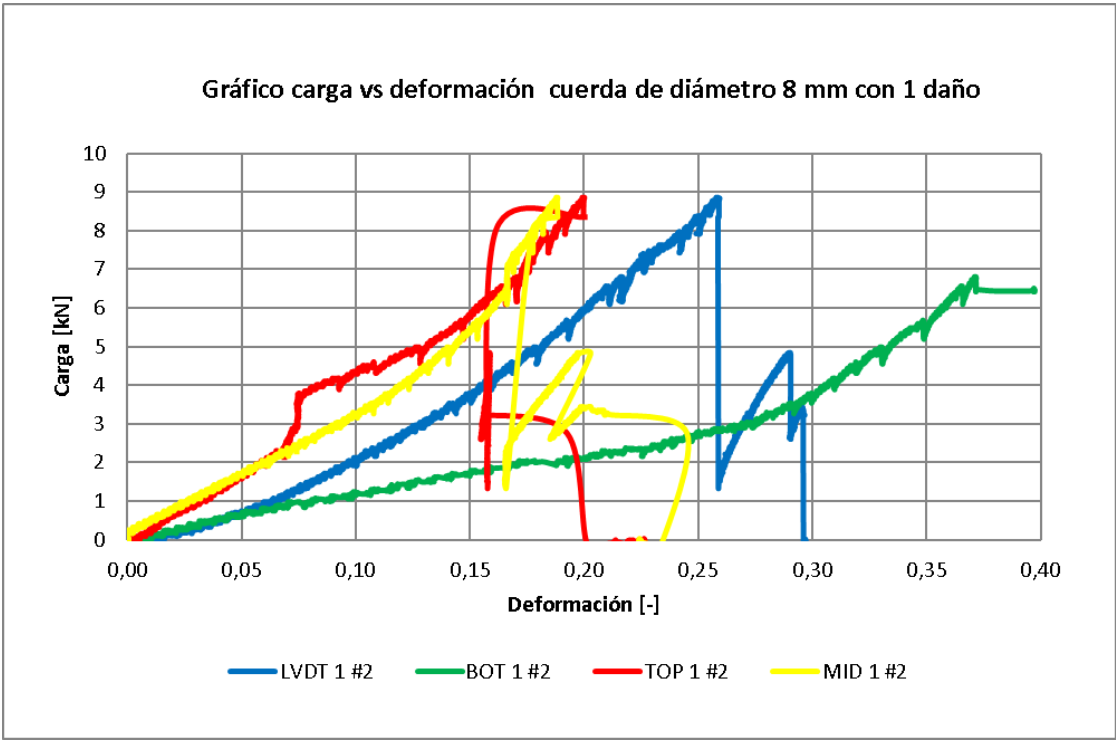


Figura 39: Gráfico completo carga vs deformación cuerda de diámetro 8 mm con 1 daño ensayo numero 2

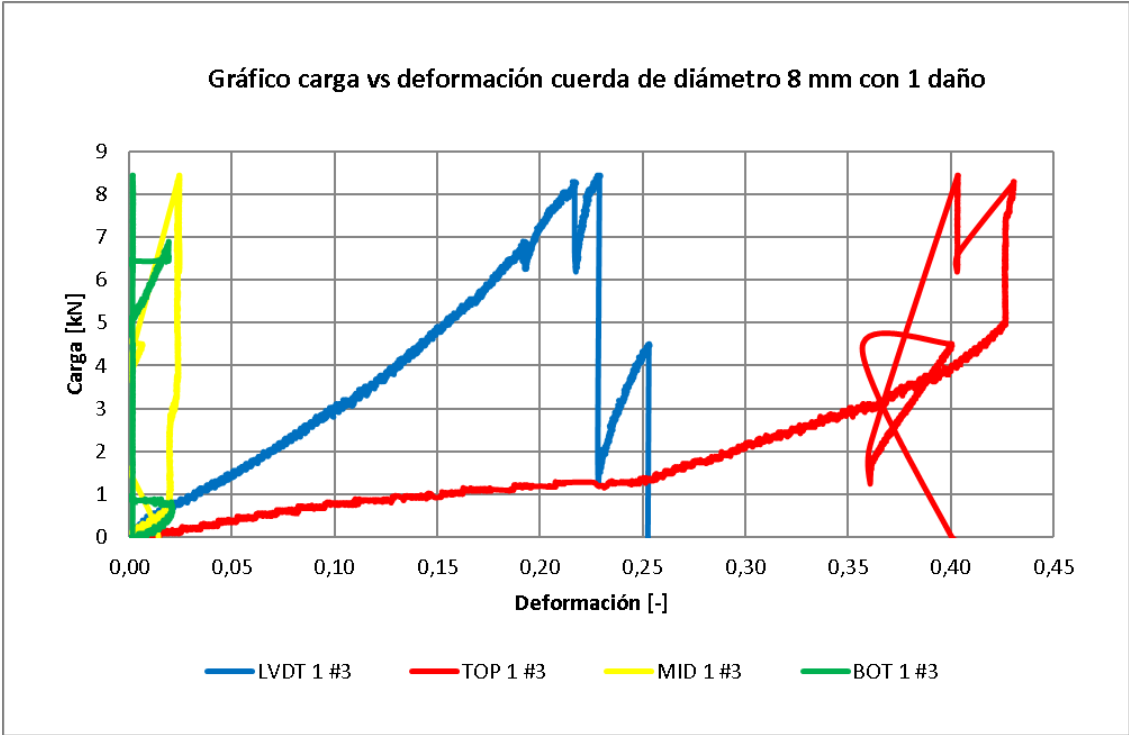


Figura 40: Gráfico completo carga vs deformación cuerda de diámetro 8 mm con 1 daño ensayo numero 3

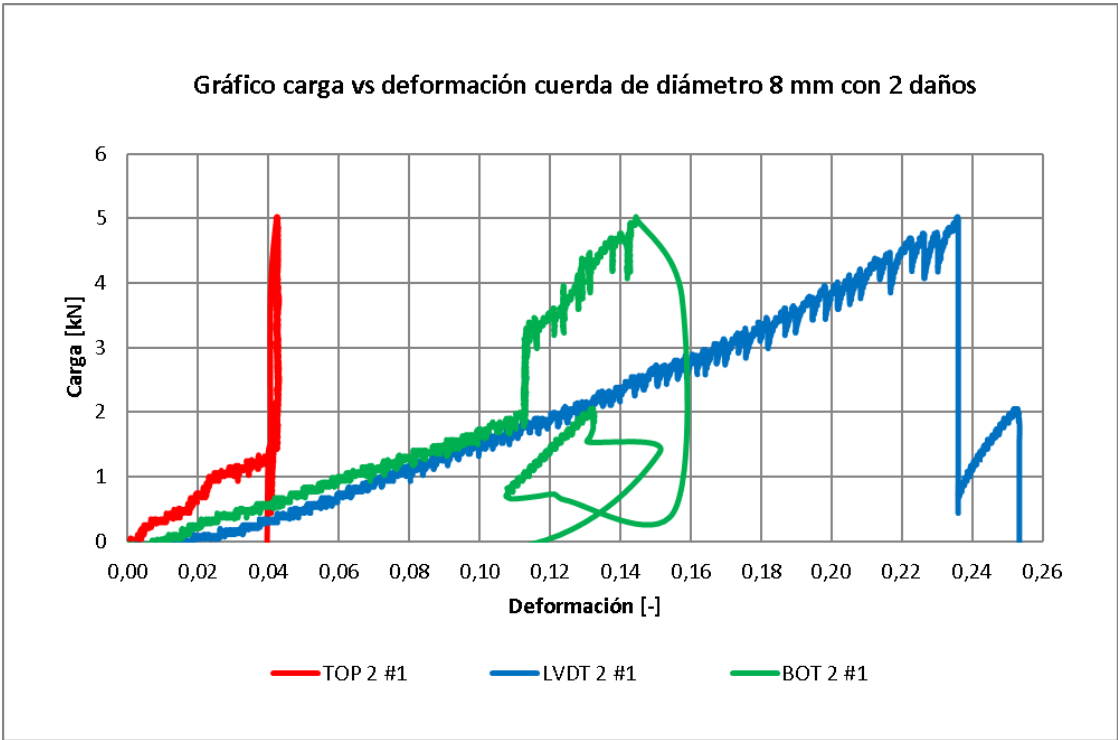


Figura 41: Gráfico completo carga vs deformación cuerda de diámetro 8 mm con 2 daños ensayo numero 1

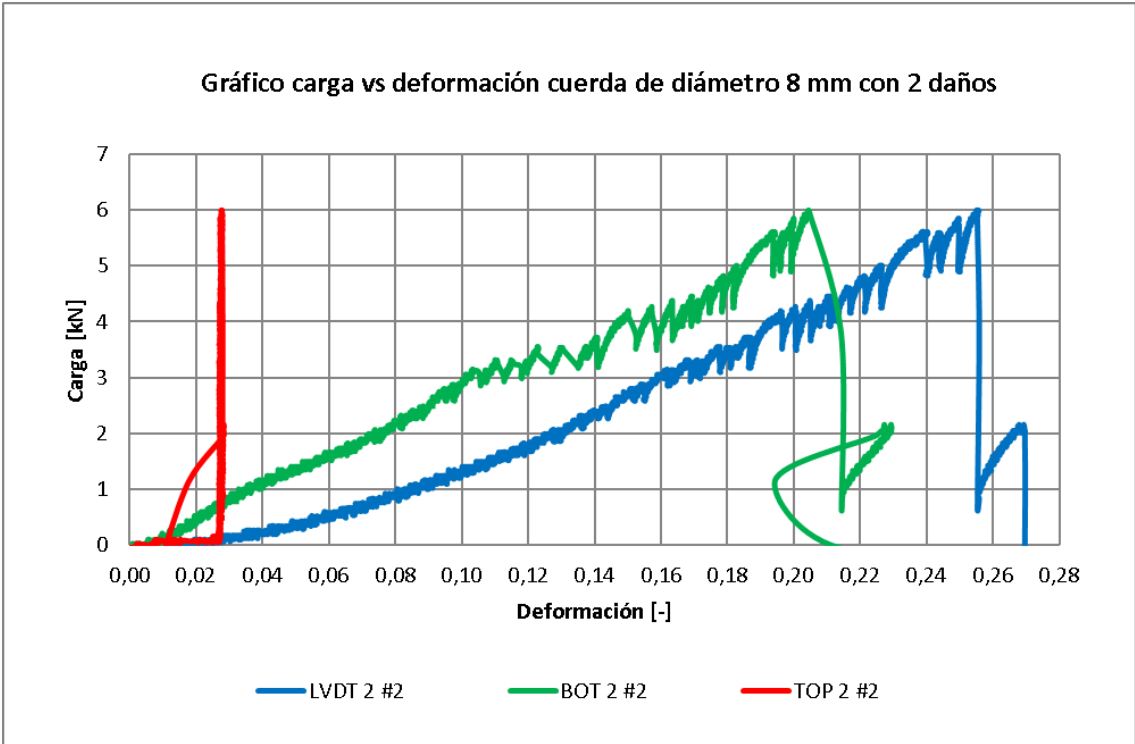


Figura 42: Gráfico completo carga vs deformación cuerda de diámetro 8 mm con 2 daños ensayo numero 2

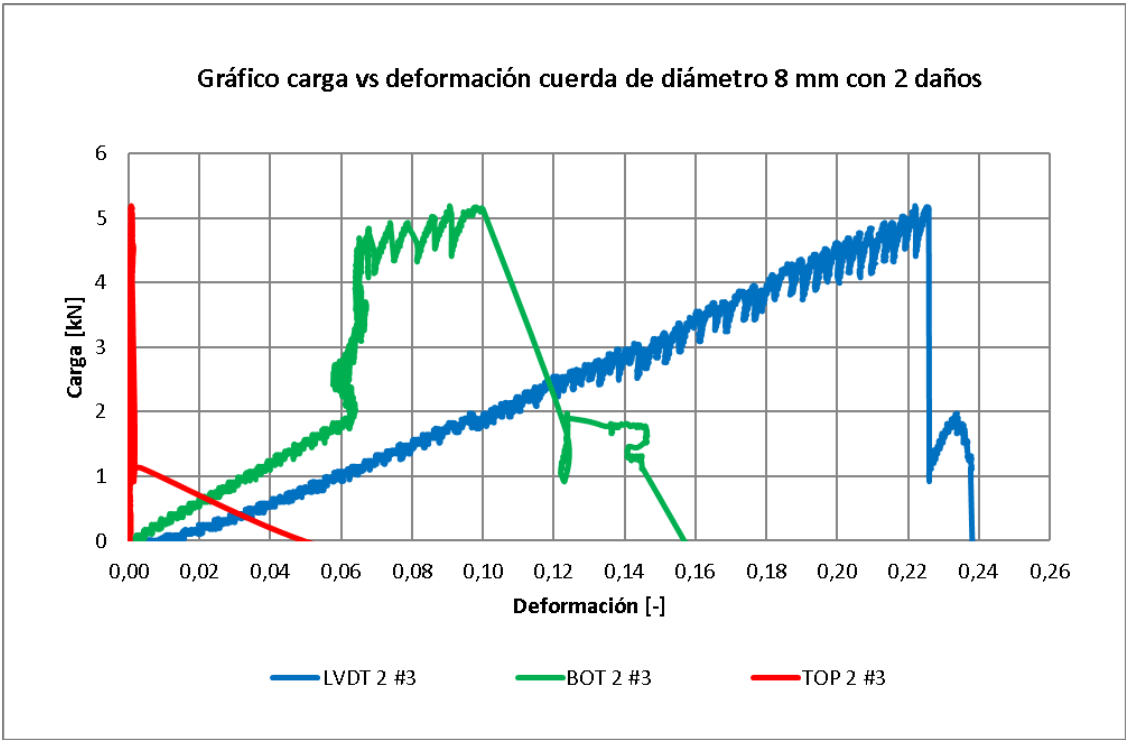


Figura 43: Gráfico completo carga vs deformación cuerda de diámetro 8 mm con 2 daños ensayo numero 3

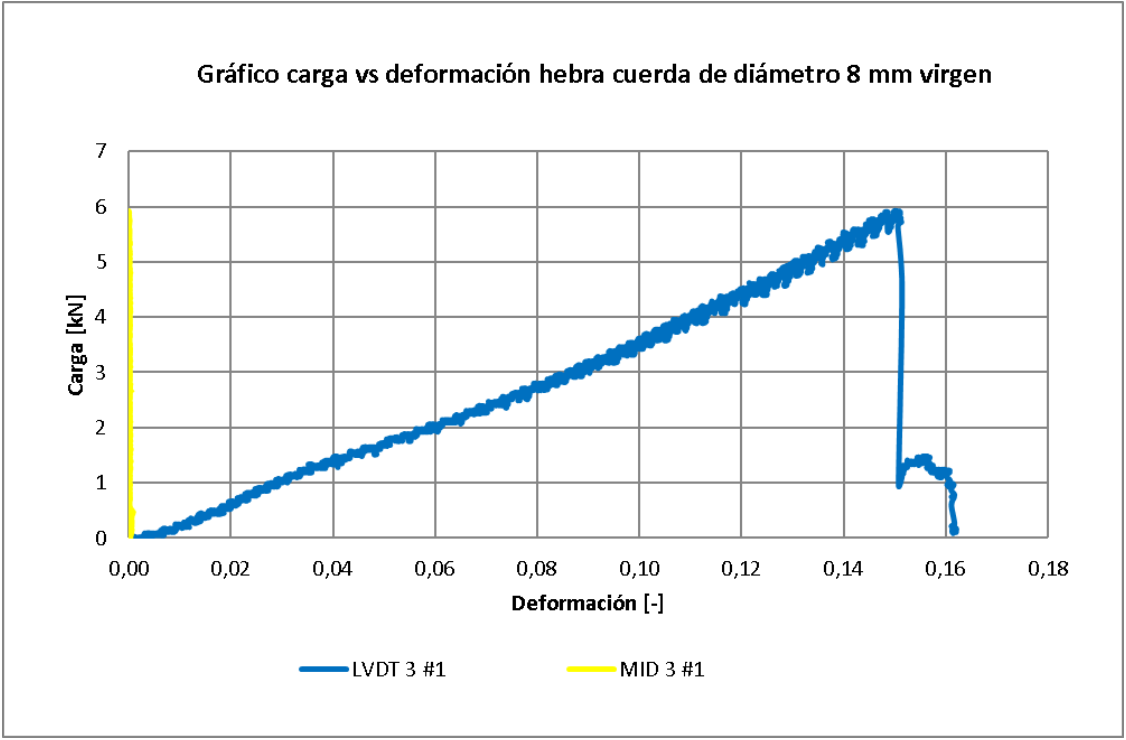


Figura 44: Gráfico completo carga vs deformación hebra cuerda de diámetro 8 mm virgen ensayo numero 1

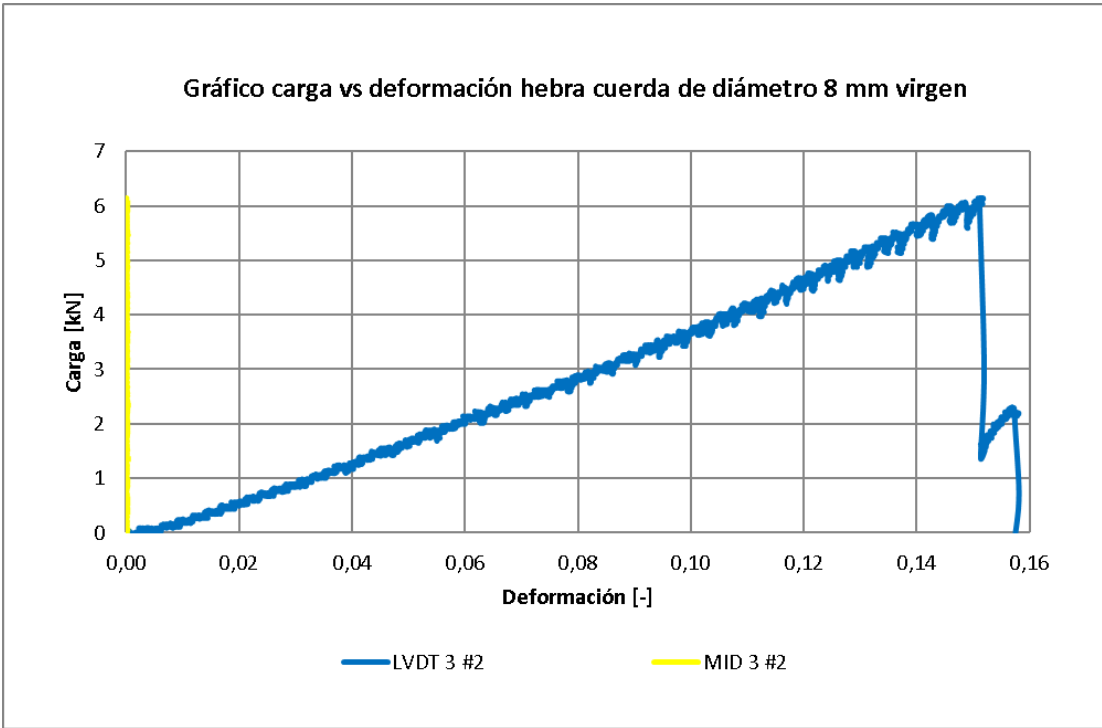


Figura 45: Gráfico completo carga vs deformación hebra cuerda de diámetro 8 mm virgen ensayo numero 2

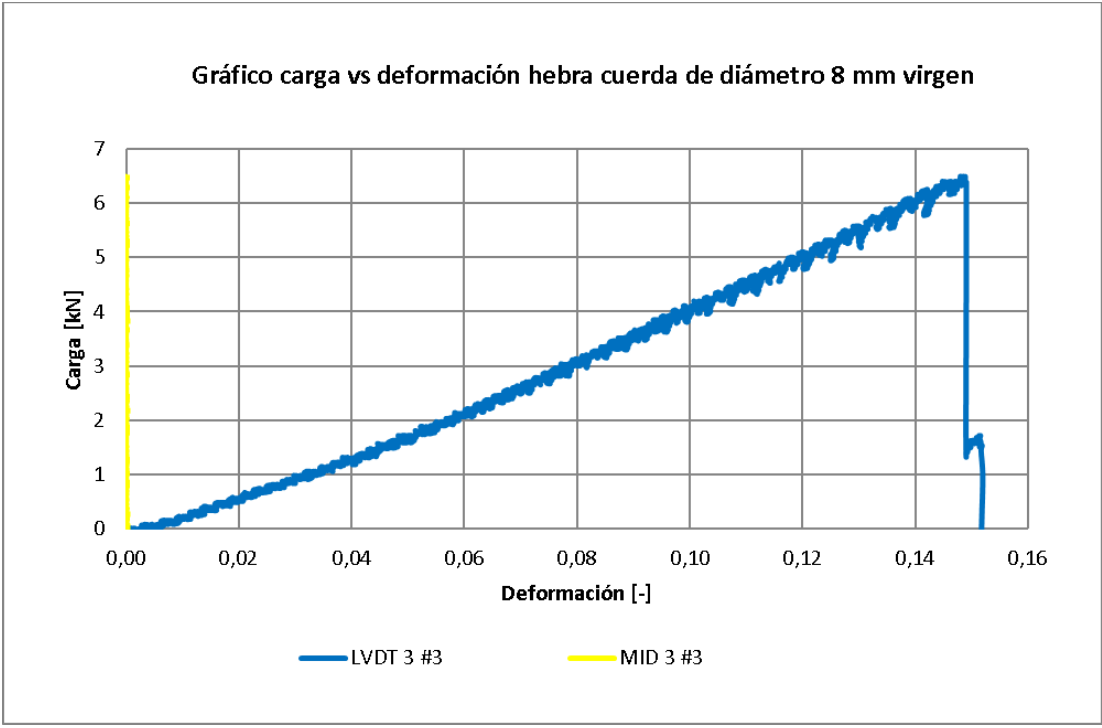


Figura 46: Gráfico completo carga vs deformación hebra cuerda de diámetro 8 mm virgen ensayo numero 3

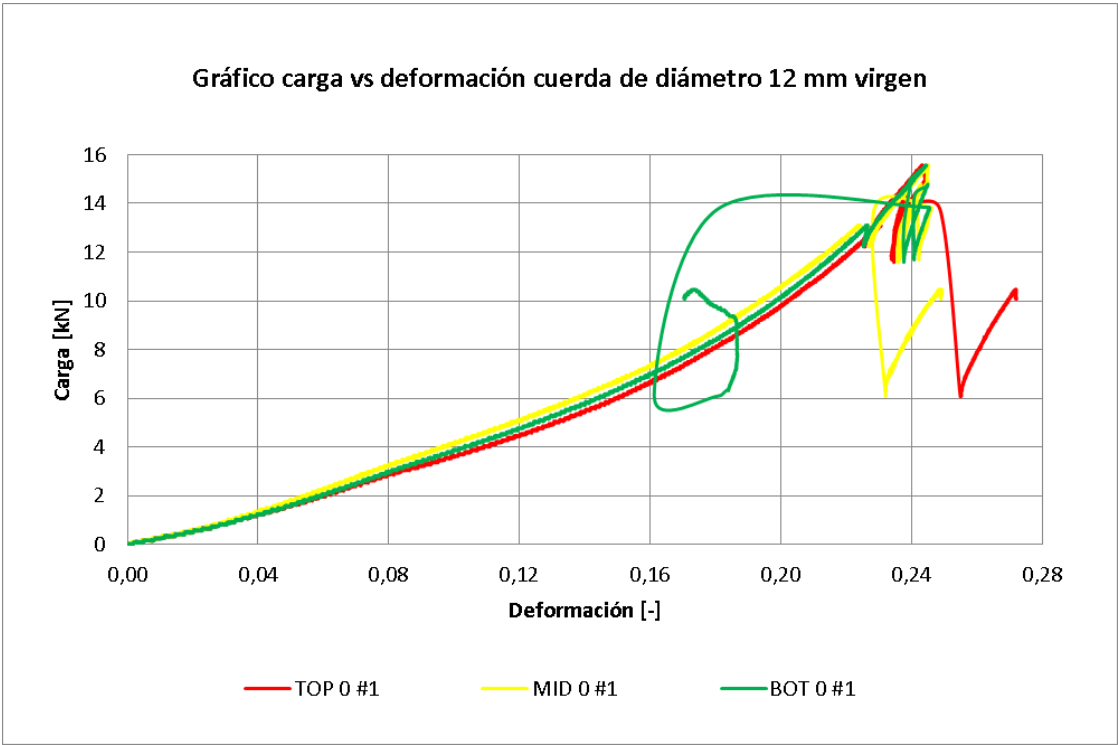


Figura 47: Gráfico completo carga vs deformación cuerda de diámetro 12 mm virgen ensayo numero 1

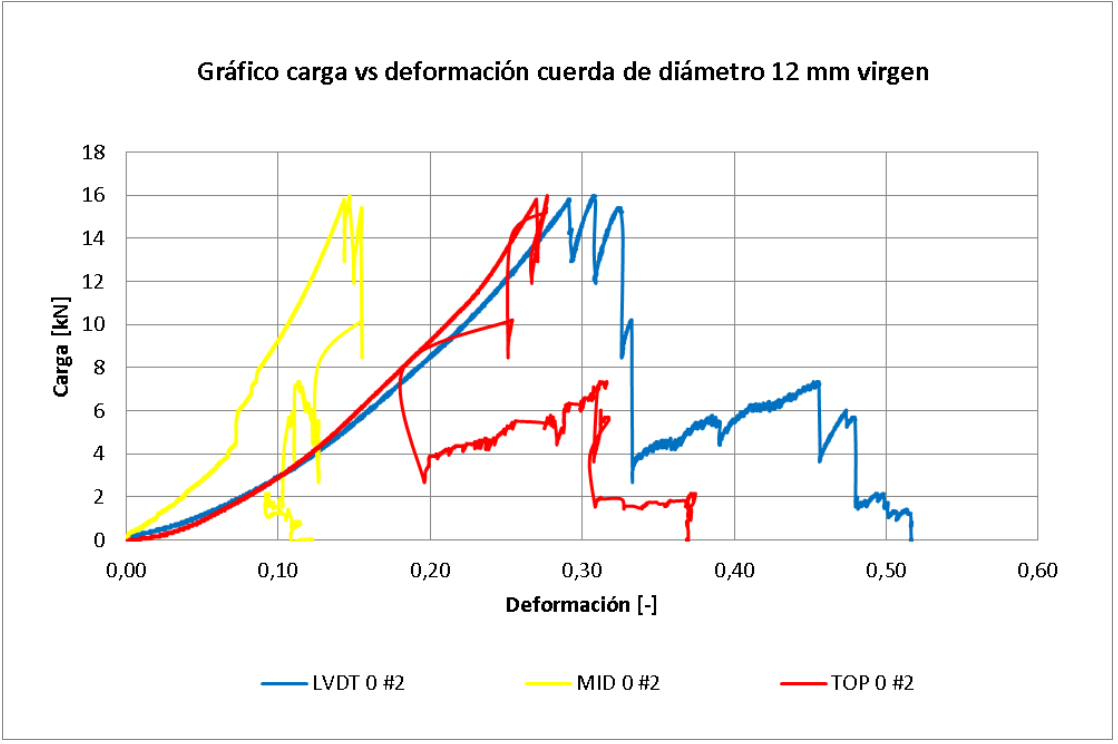


Figura 48: Gráfico completo carga vs deformación cuerda de diámetro 12 mm virgen ensayo numero 2

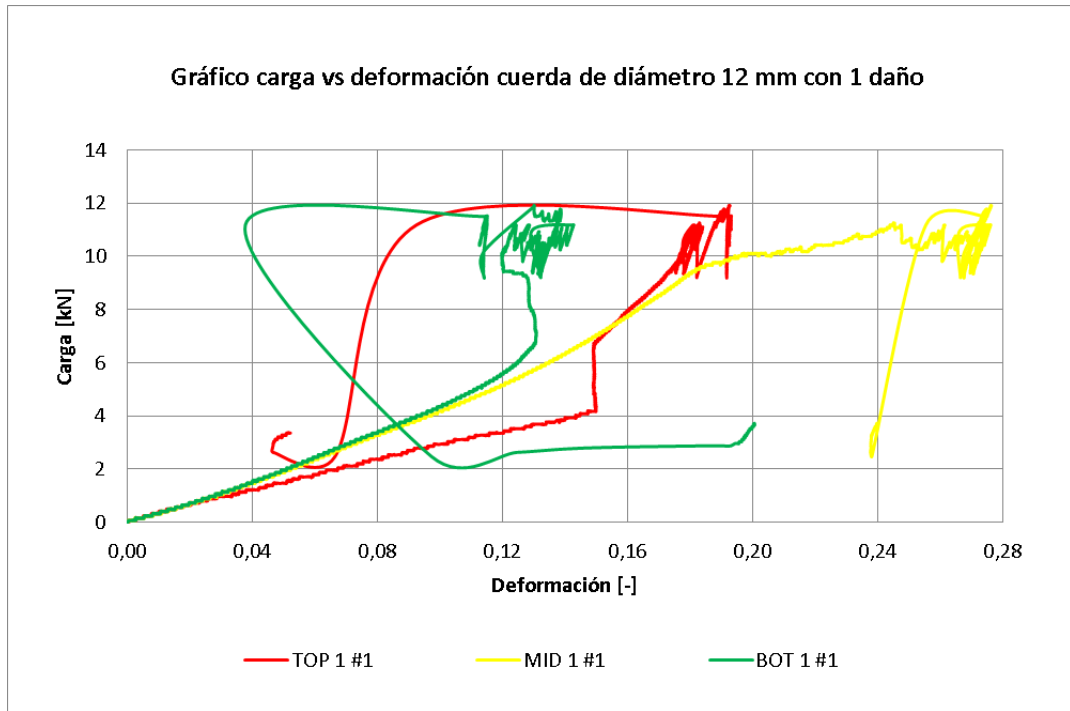


Figura 49: Gráfico completo carga vs deformación cuerda de diámetro 12 mm con 1 daño ensayo numero 1

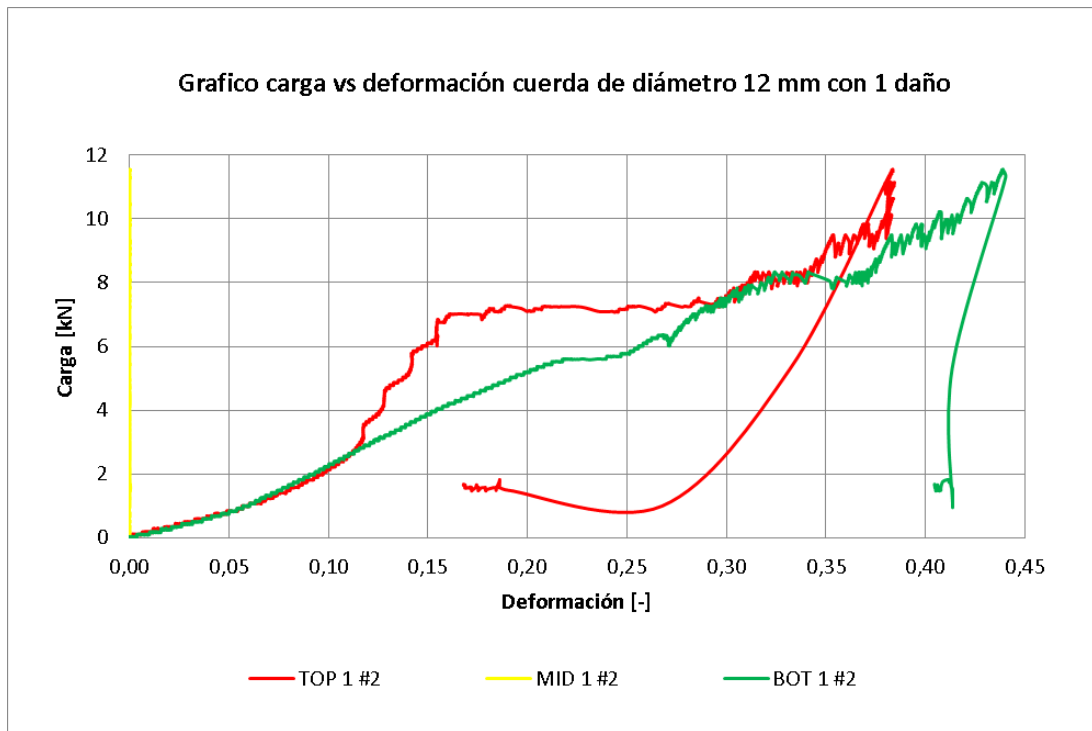


Figura 50: Gráfico completo carga vs deformación cuerda de diámetro 12 mm con 1 daño ensayo numero 2



Figura 51: Gráfico completo carga vs deformación cuerda de diámetro 12 mm con 1 daño ensayo numero 3

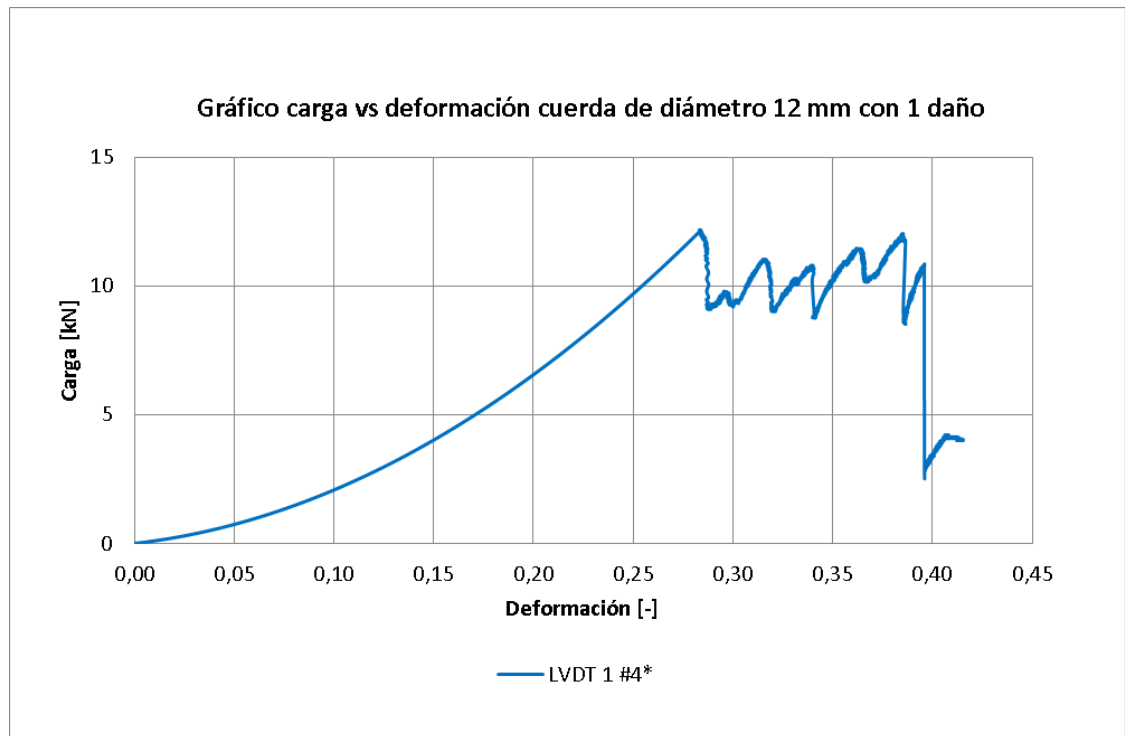


Figura 52: Gráfico completo carga vs deformación cuerda de diámetro 12 mm con 1 daño ensayo numero 4

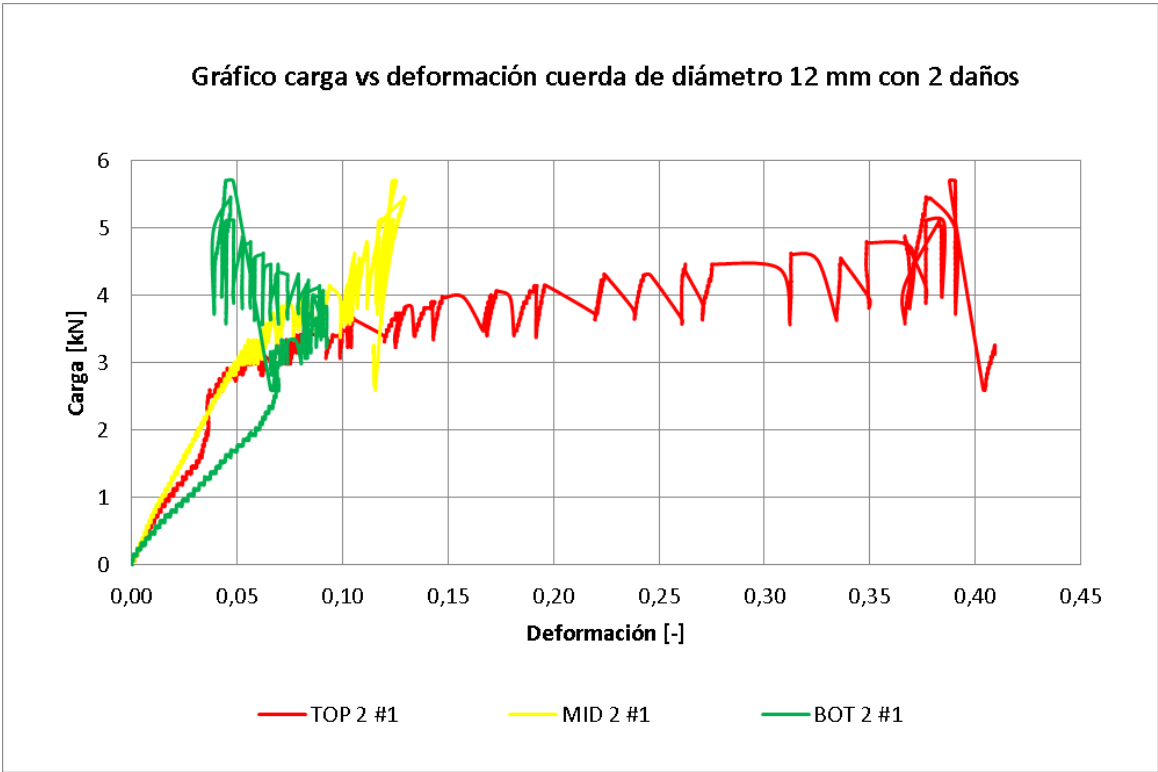


Figura 53: Gráfico completo carga vs deformación cuerda de diámetro 12 mm con 2 daños ensayo numero 1

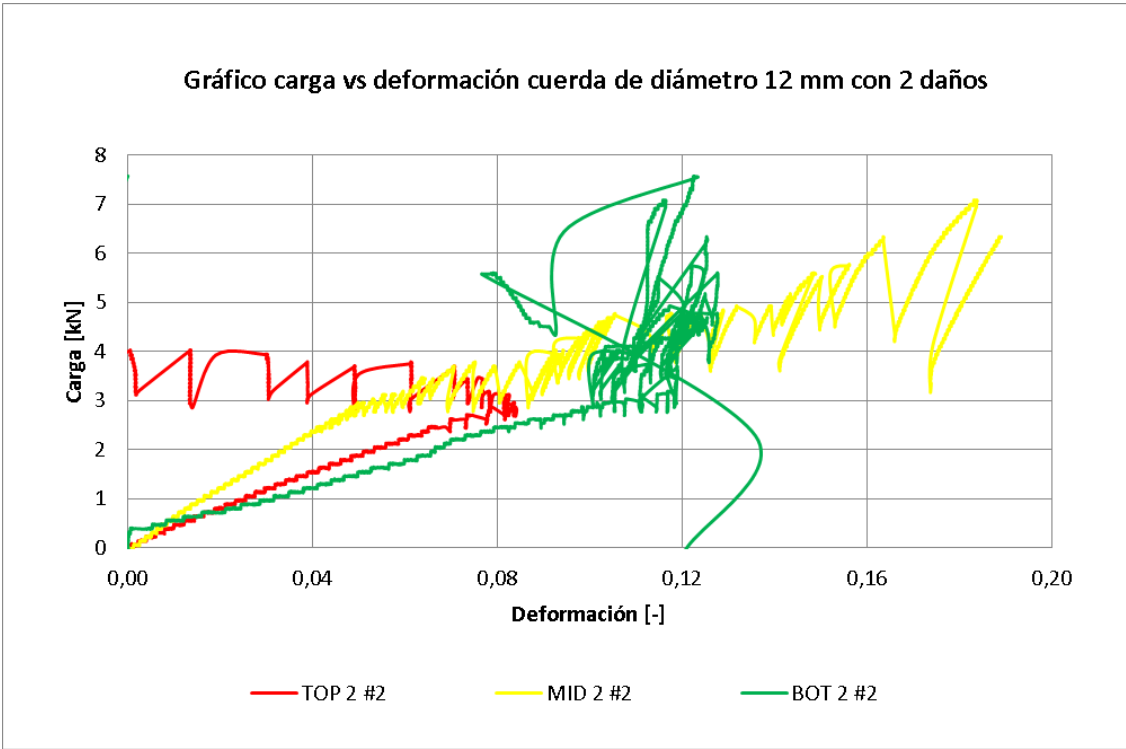


Figura 54: Gráfico completo carga vs deformación cuerda de diámetro 12 mm con 2 daños ensayo numero 2

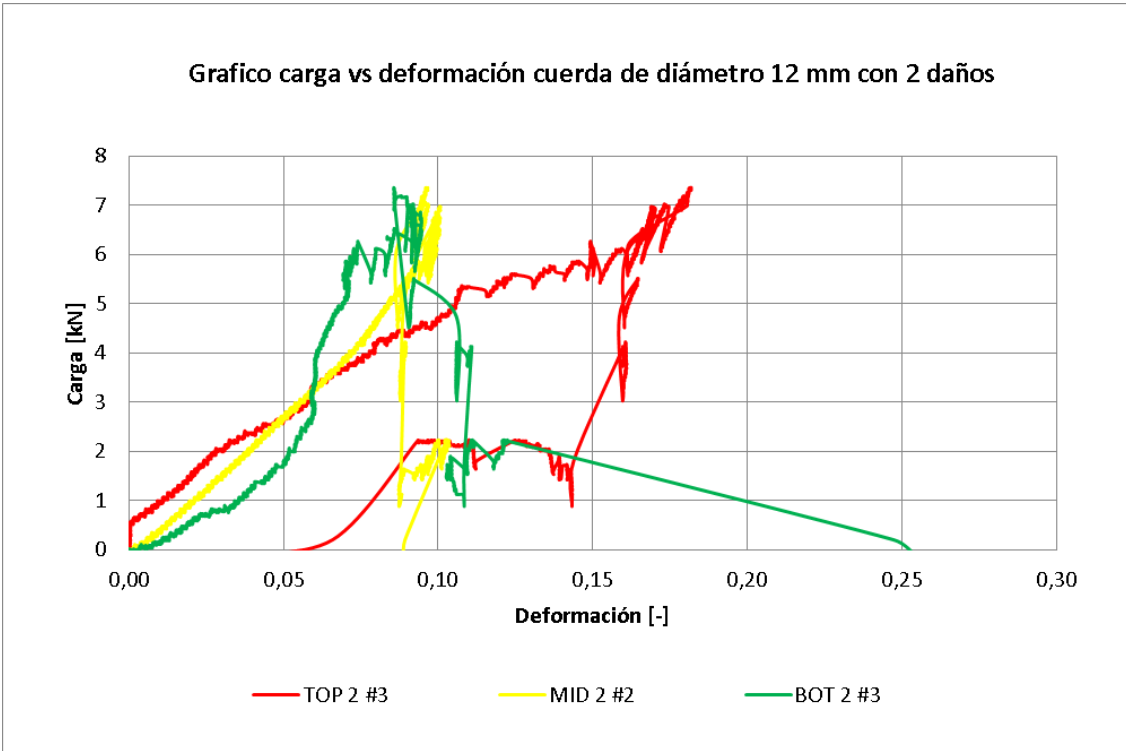


Figura 55: Gráfico completo carga vs deformación cuerda de diámetro 12 mm con 2 daños ensayo numero 3

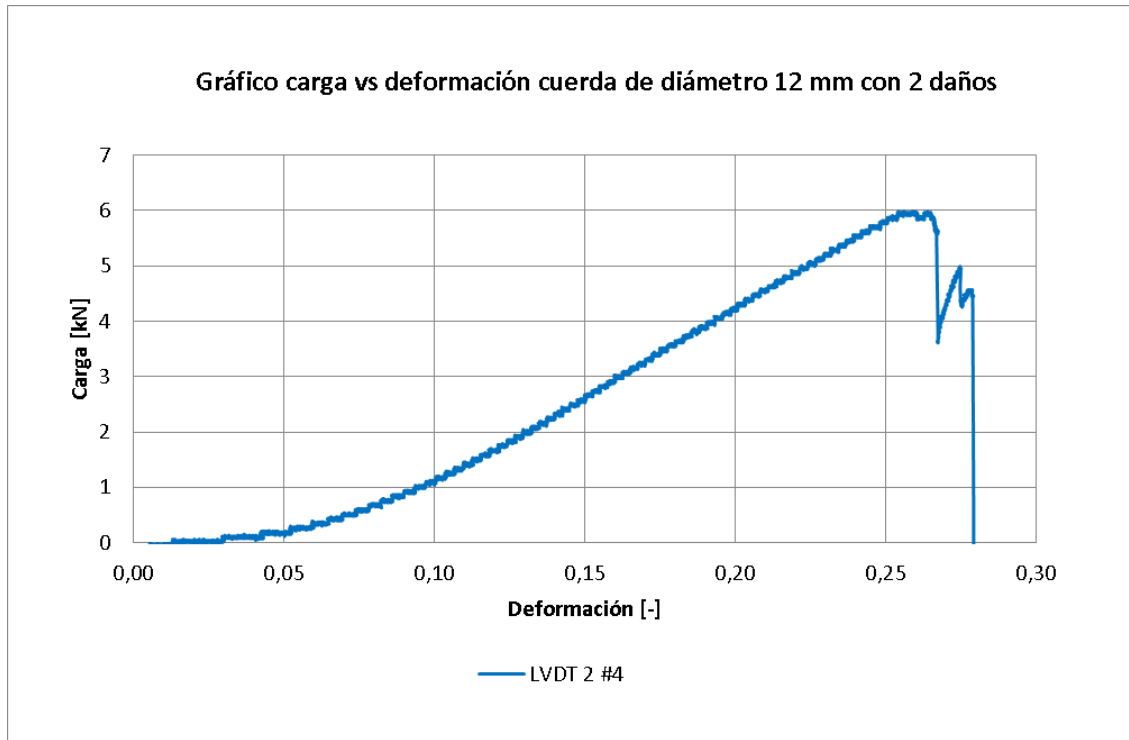


Figura 56: Gráfico completo carga vs deformación cuerda de diámetro 12 mm con 2 daños ensayo numero 4

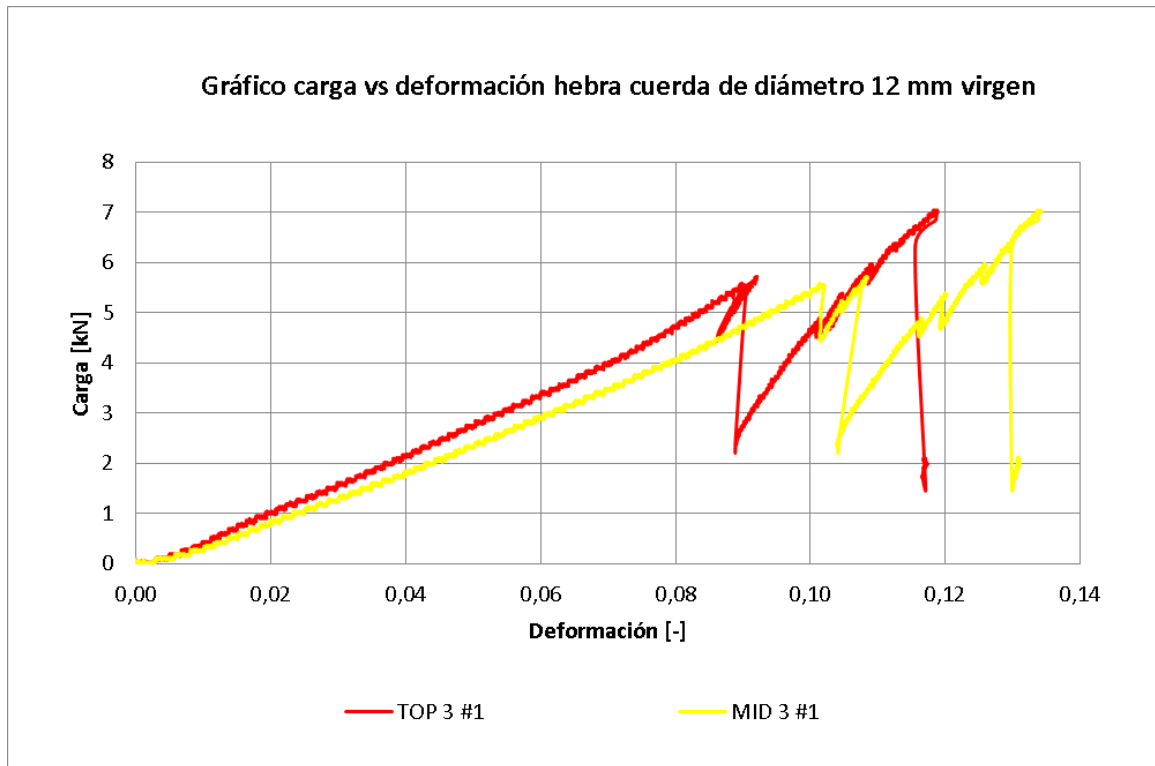


Figura 57: Gráfico completo carga vs deformación hebra cuerda de diámetro 12 mm virgen ensayo numero 1

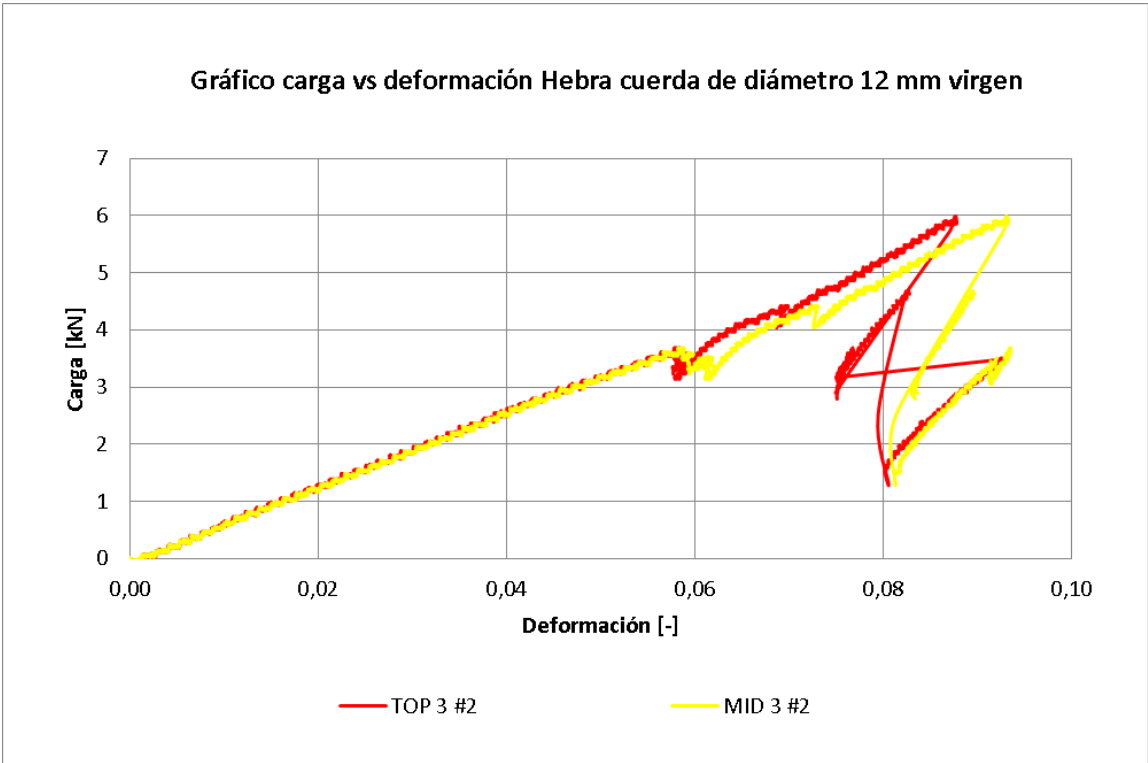


Figura 58: Gráfico completo carga vs deformación hebra cuerda de diámetro 12 mm virgen ensayo numero 2

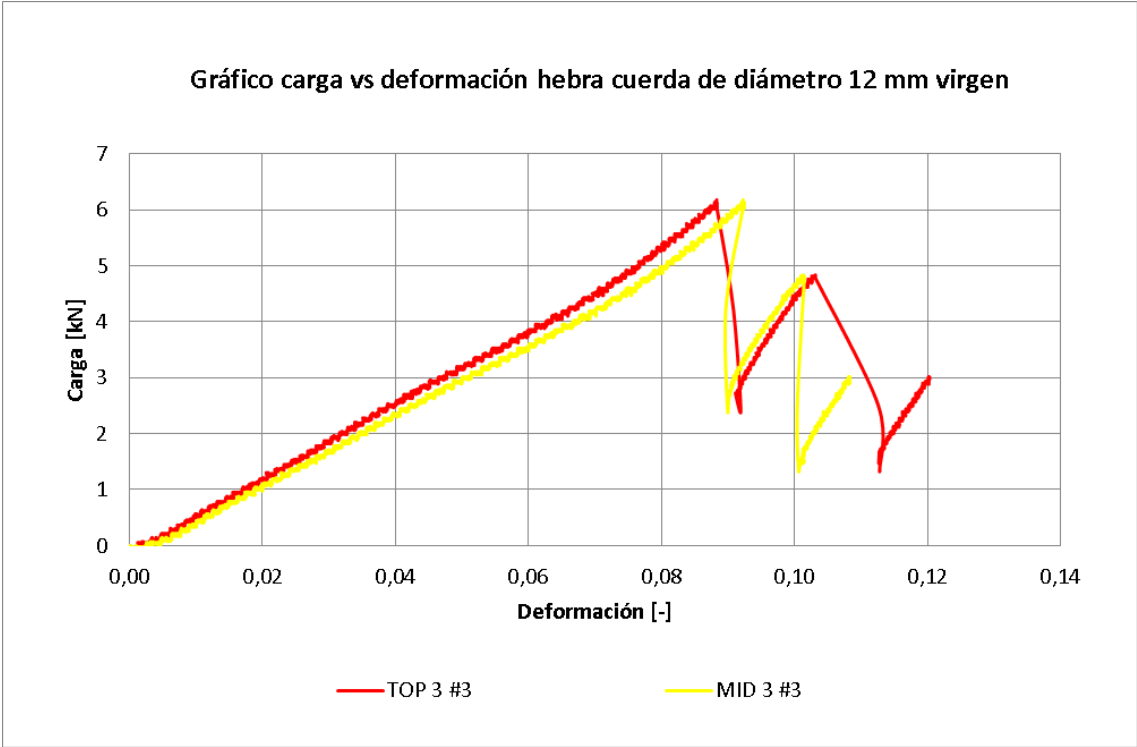


Figura 59: Gráfico completo carga vs deformación hebra cuerda de diámetro 12 mm virgen ensayo numero 3

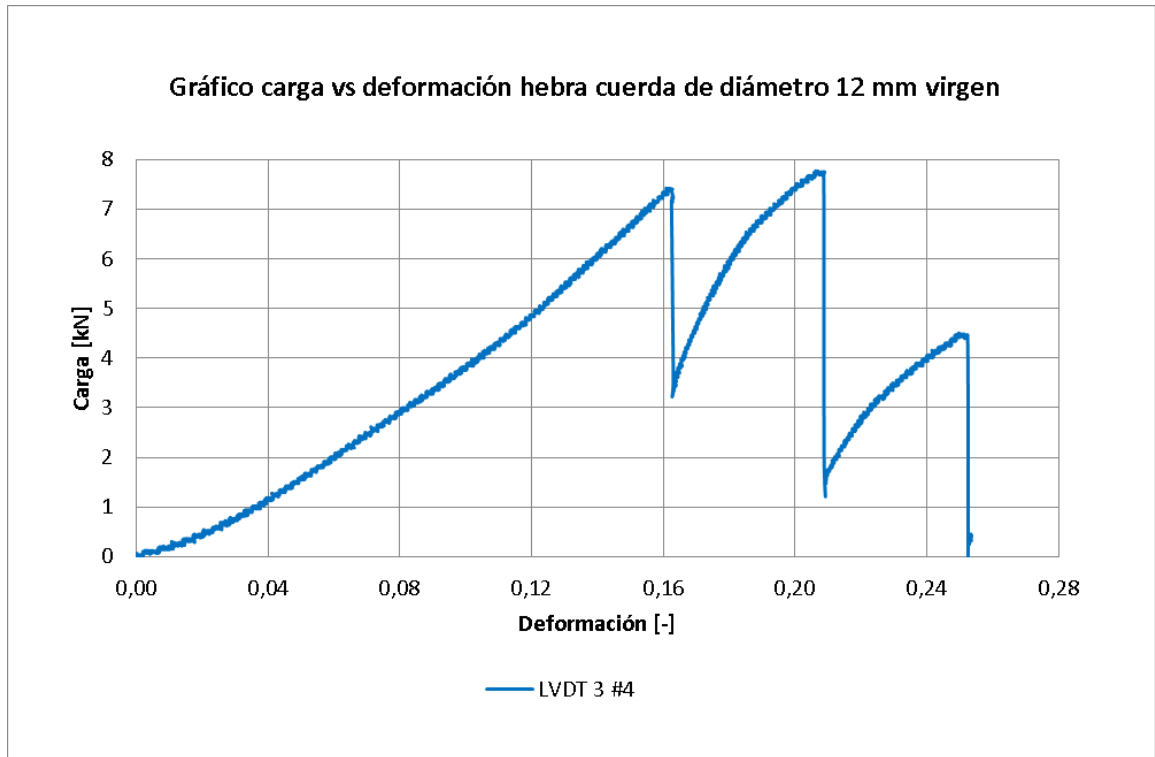


Figura 60: Gráfico completo carga vs deformación hebra cuerda de diámetro 12 mm virgen ensayo numero 4

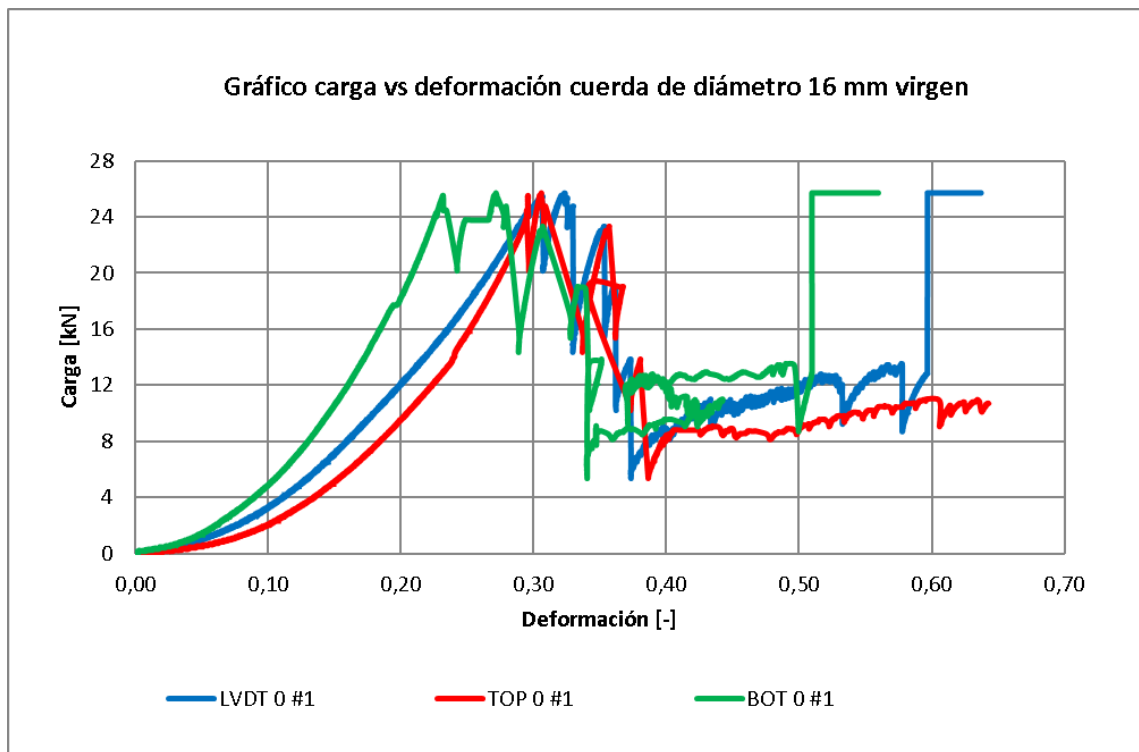


Figura 61: Gráfico completo carga vs deformación cuerda de diámetro 16 mm virgen ensayo numero 1

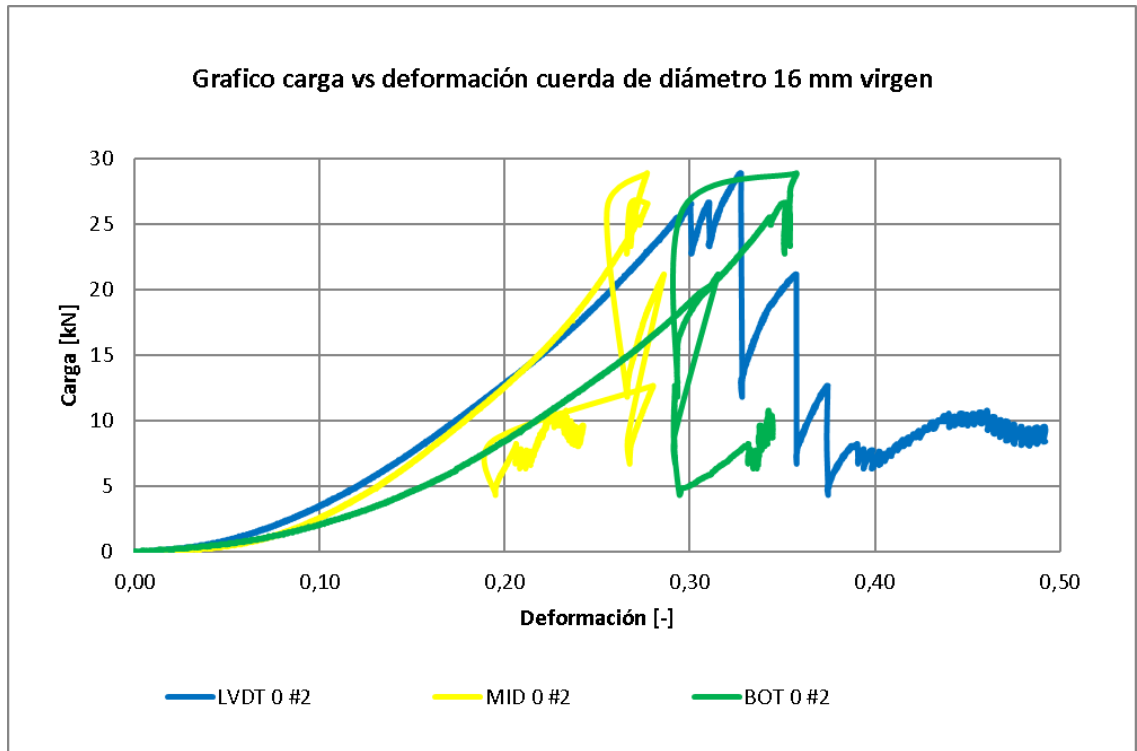


Figura 62: Gráfico completo carga vs deformación cuerda de diámetro 16 mm virgen ensayo numero 2

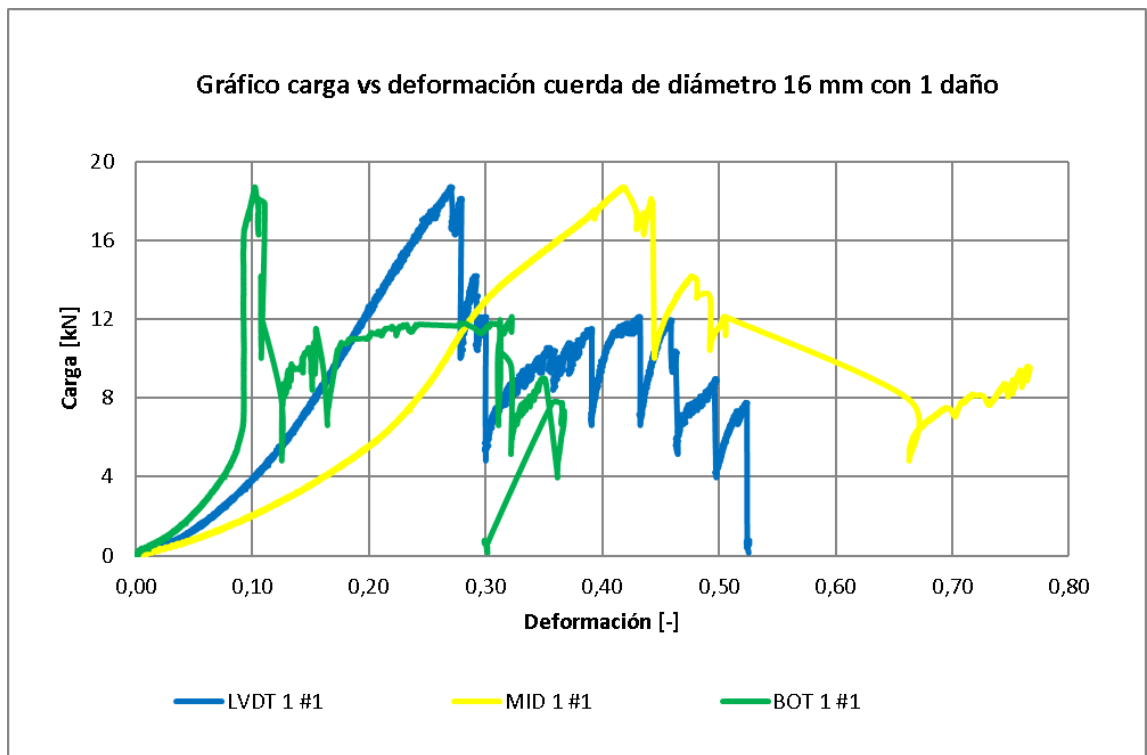


Figura 63: Gráfico completo carga vs deformación cuerda de diámetro 16 mm con 1 daño ensayo numero 1

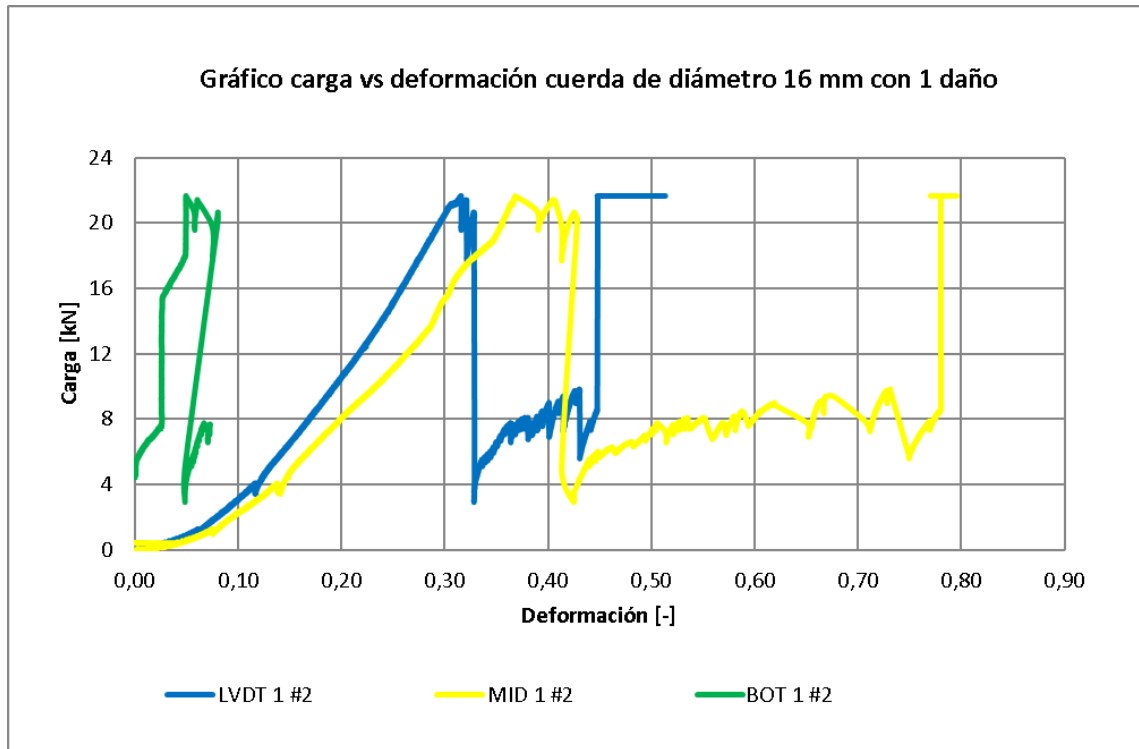


Figura 64: Gráfico completo carga vs deformación cuerda de diámetro 16 mm con 1 daño ensayo numero 2



Figura 65: Gráfico completo carga vs deformación cuerda de diámetro 16 mm con 1 daño ensayo numero 3

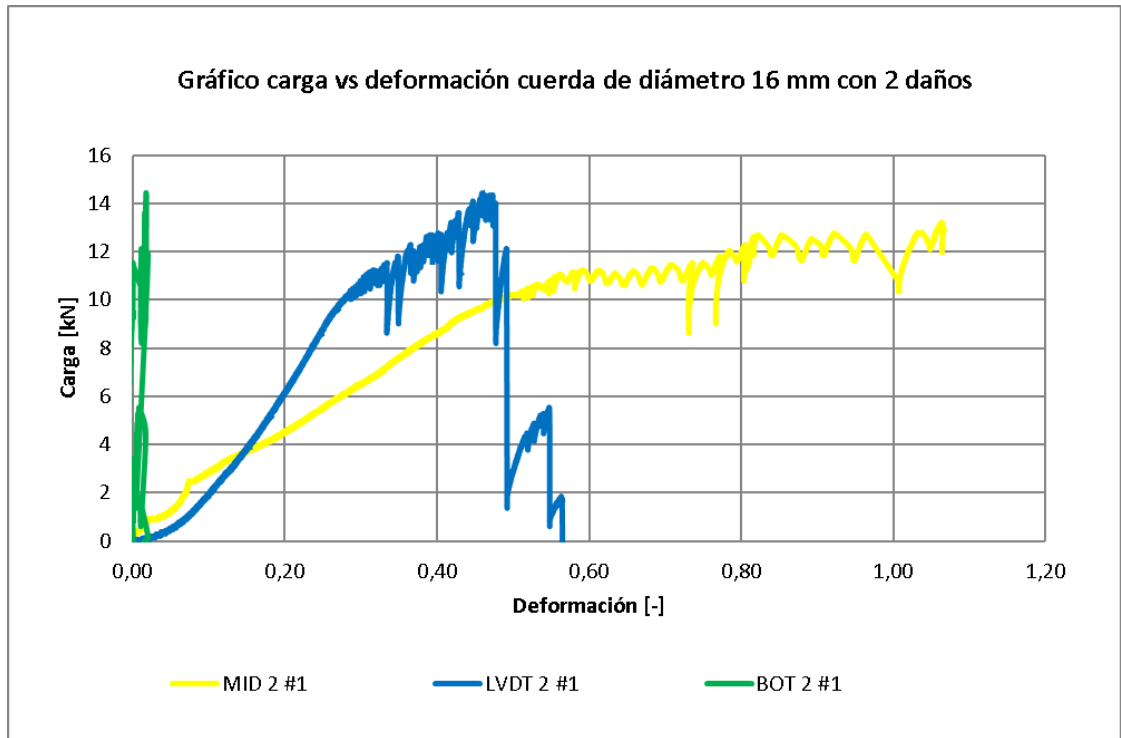


Figura 66: Gráfico completo carga vs deformación cuerda de diámetro 16 mm con 2 daños ensayo numero 1

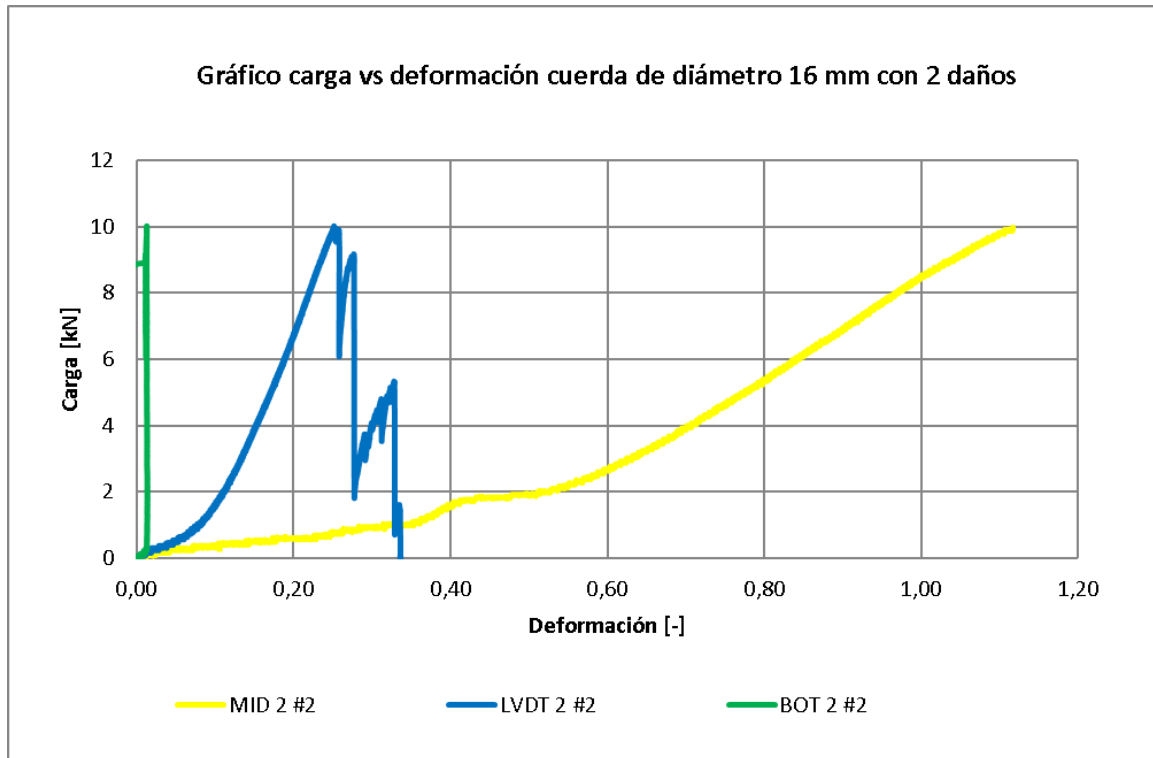


Figura 67: Gráfico completo carga vs deformación cuerda de diámetro 16 mm con 2 daños ensayo numero 2

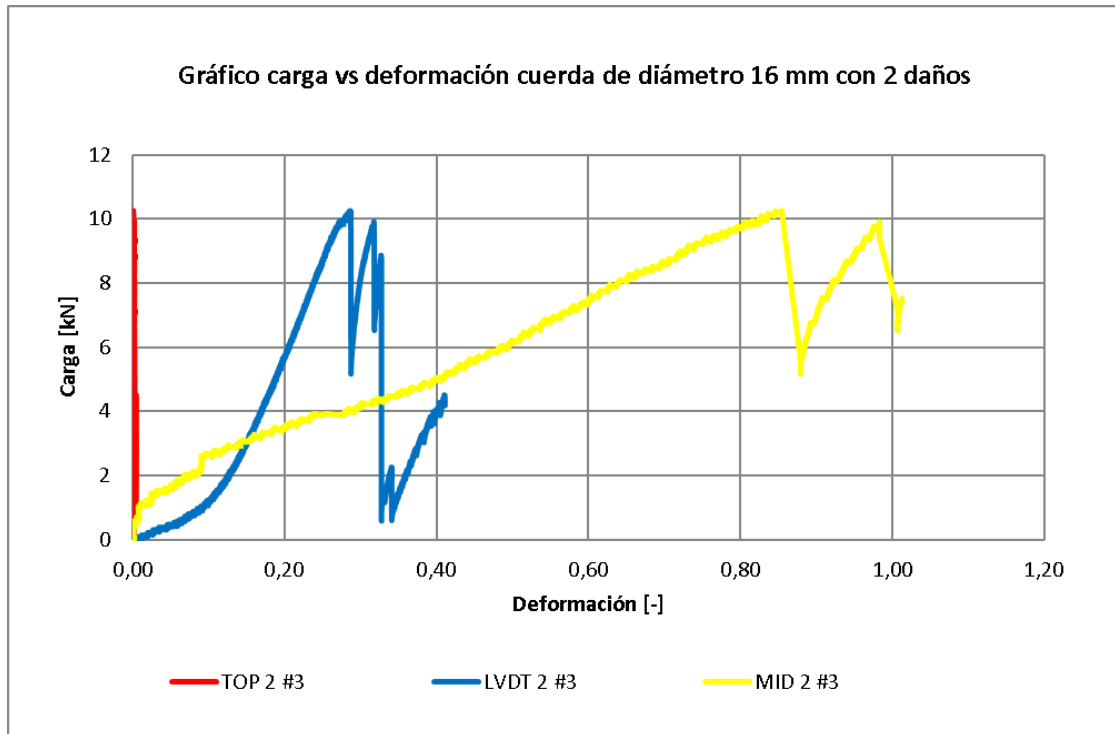


Figura 68: Gráfico completo carga vs deformación cuerda de diámetro 16 mm con 2 daños ensayo numero 3

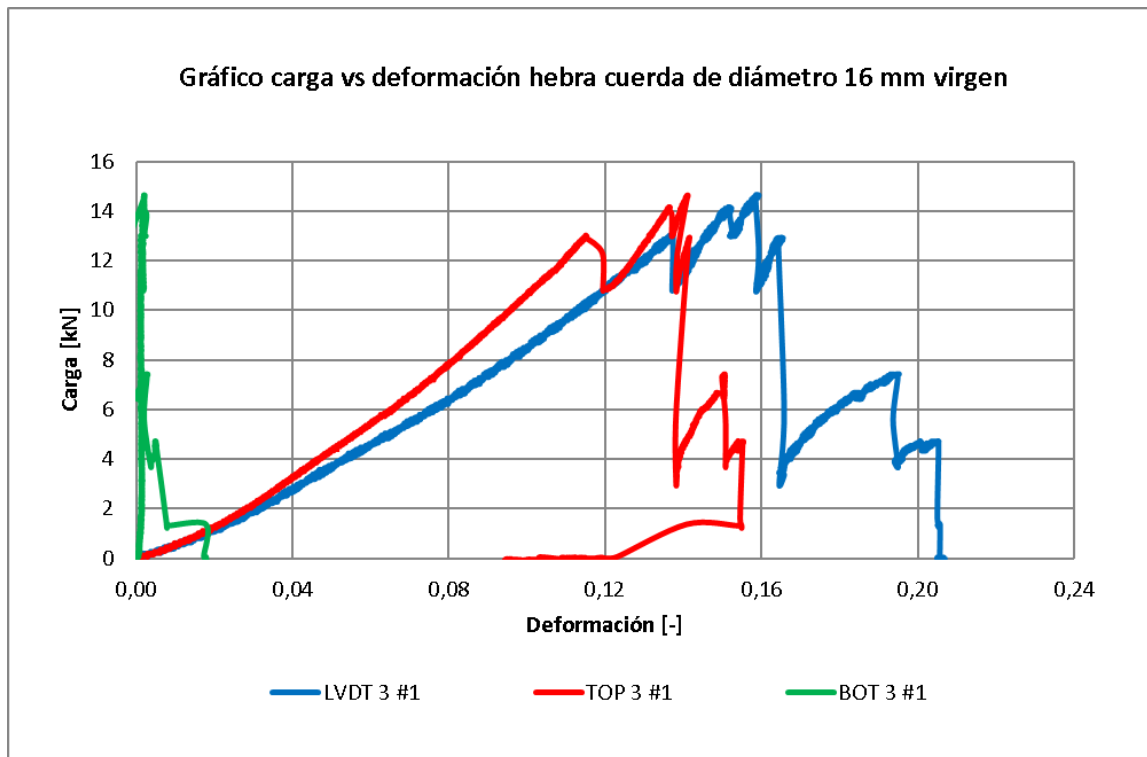


Figura 69: Gráfico completo carga vs deformación hebra cuerda de diámetro 16 mm virgen ensayo numero 1