

CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LOS ENSAYOS DE ARRANCAMIENTO

4.1.- Introducción:

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en cada ensayo y un análisis posterior de estos.

Los ensayos se han ordenado según el tipo de probeta ensayada para poder comparar ensayos similares con mayor facilidad.

En la tabla 4.1 se recoge la fecha de realización de cada ensayo.

<i>Nº Ensayo</i>	<i>Tipo de Probeta</i>	<i>Fecha de realización del Ensayo</i>
1	ALCAS Tipo 2	20/11/2012
2	ALCAS Tipo 1	03/12/2012
3	ALCAS Tipo 1	10/12/2012
4	ALCAS Tipo 1	20/12/2012
5	ALCAS Tipo 2	21/12/2012
6	ALCAS Tipo 2	02/01/2013
7	GERM Tipo 1	07/02/2013
8	GERM Tipo 2	07/02/2013
9	GERM Tipo 1	07/02/2013
10	GERM Tipo 2	07/02/2013

Tabla 4.1.Fecha de realización de cada Ensayo.

4.2.- Ensayos de probetas tipo ALCAS:

4.2.1.-Ensayo de probeta ALCAS A1-A (Ensayo 3):

En la figura 4.1 se puede ver la evolución de la carga a lo largo del ensayo.

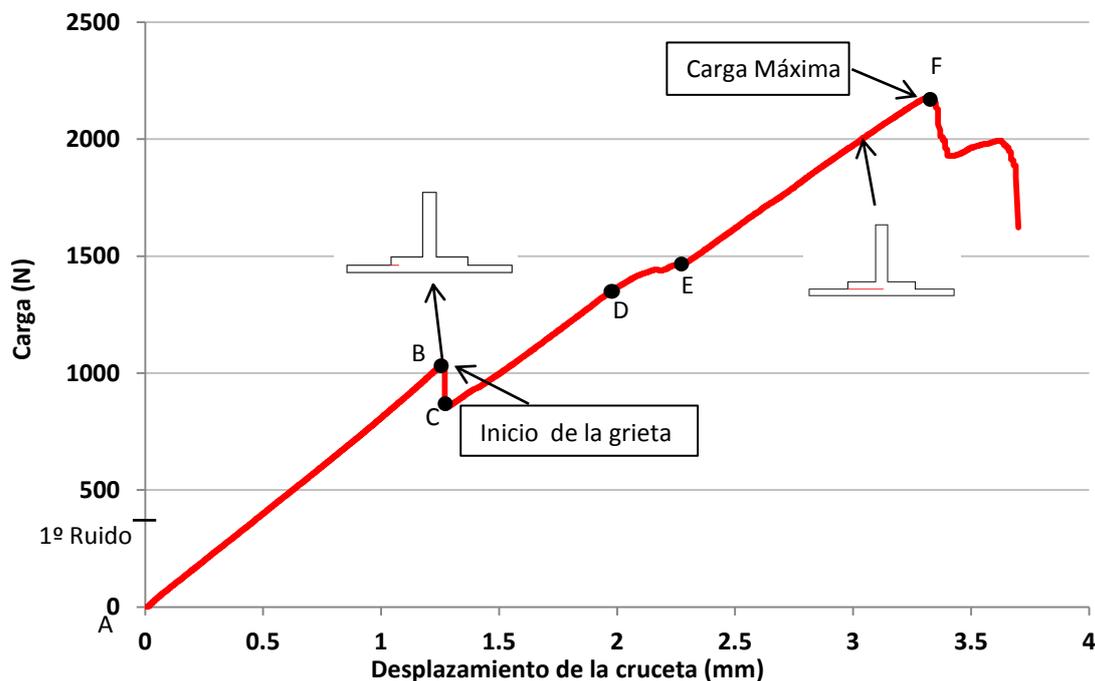


Fig.4.1.Evolución de la carga durante el Ensayo 3.

En la figura 4.1 se observa que la carga creció durante todo el ensayo. Entre los puntos A y B se observa que la rigidez es constante, lo que se asocia a que aún no había aparecido el daño en la probeta. En B, para una carga de 1043 N, aparece la grieta. Entre B y C se produjo una bajada de la carga que se asoció a un avance de la grieta. Después, entre C y D y entre E y F se vuelve a observar rigidez constante. Entre D y E se observa un cambio de rigidez que puede ser asociado a la propagación de la grieta. La carga máxima registrada fue 2176 N (punto F).

La evolución del ensayo fue la siguiente:

1. 400 N: Se escuchó el primer ruido. No se detectó grieta mediante inspección visual.

2. Se continuaron escuchando ruidos sin detectarse grieta mediante inspección visual.
3. 1043 N: Se detectó una grieta en el lado de las bandas 1 y 2. La grieta avanzó en la dirección del eje x (figura 3.6) hacia el centro de la probeta.
4. 2000 N: El frente de grieta alcanzó la zona central de la probeta.
5. 2176 N: Se produjo el fallo de la probeta.

En la figura 4.2 se puede ver un esquema del avance de la grieta.

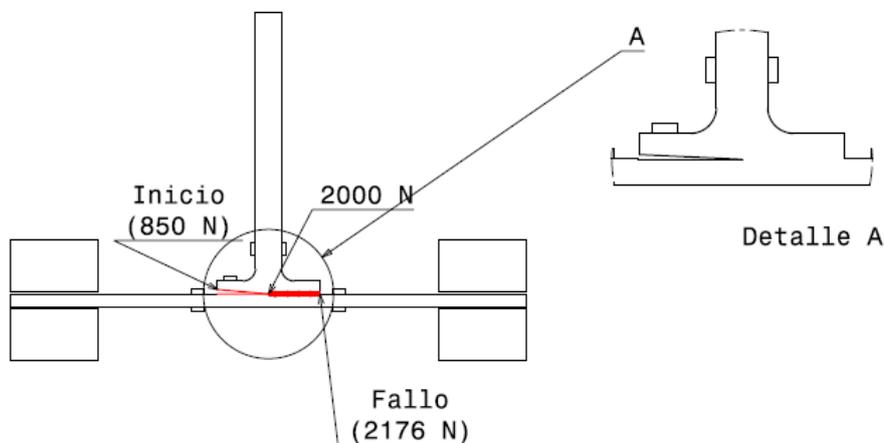


Fig. 4.2. Esquema del avance de la grieta en la probeta A1-A.

En este ensayo no se tomaron datos sobre la evolución de la grieta.

Una vez finalizado el ensayo, se estudió el aspecto de la zona de rotura que se presenta en las figuras 4.3, 4.4 y 4.5.

En la figura 4.3 se observa que existen dos zonas diferenciadas en la probeta. La zona central (1) presenta delaminaciones y en algunas zonas (A) falta parte de la última capa de la piel, que fue arrancada y quedó pegada al rigidizador.

Sin embargo, las zonas laterales (2) presentan fallo del adhesivo. En la figura 4.3 se observa que el tamaño de las áreas laterales no es el mismo, siendo aproximadamente 0,5 cm más ancho el lado de las bandas 4 y 5. Esta zona es mayor que la otra debido a que ese ala del rigidizador es algo mayor que la otra, figura 4.4, debido al desplazamiento del “roving” durante el curado.

También se puede ver que el frente de grieta avanzó de forma paralela a la dirección del eje y (figura 3.6) ya que las líneas que delimitan las dos zonas del área de rotura son aproximadamente paralelas al borde de la probeta.

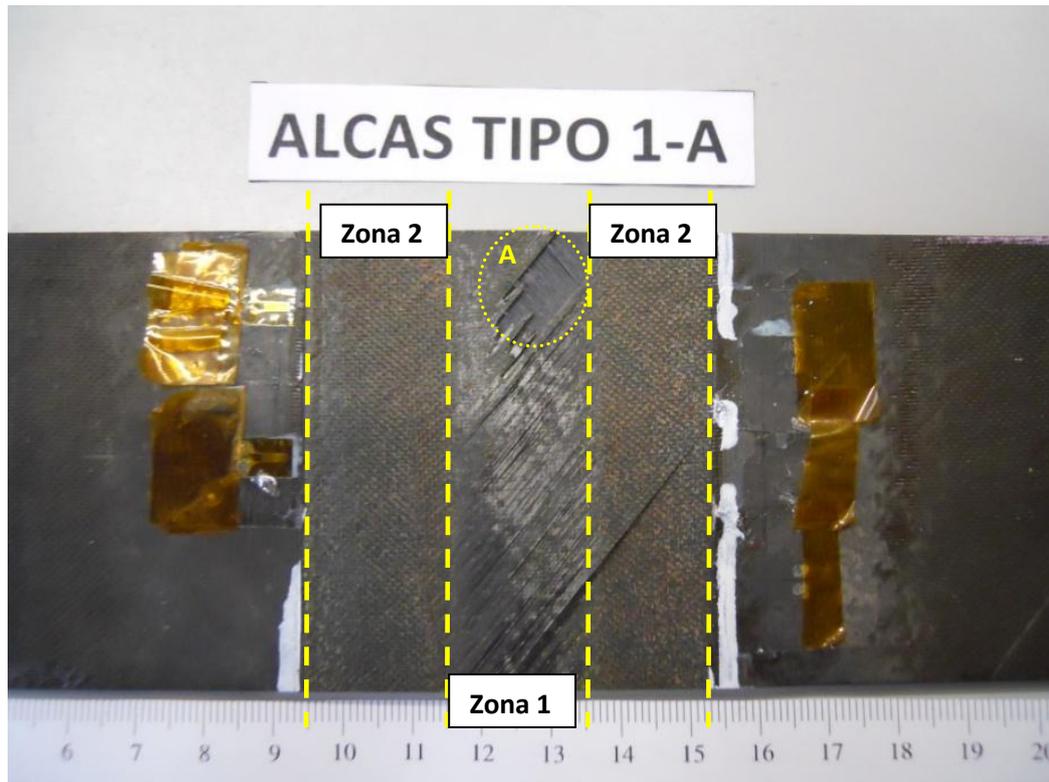


Fig.4.3 Vista de la zona de unión de la piel tras la rotura

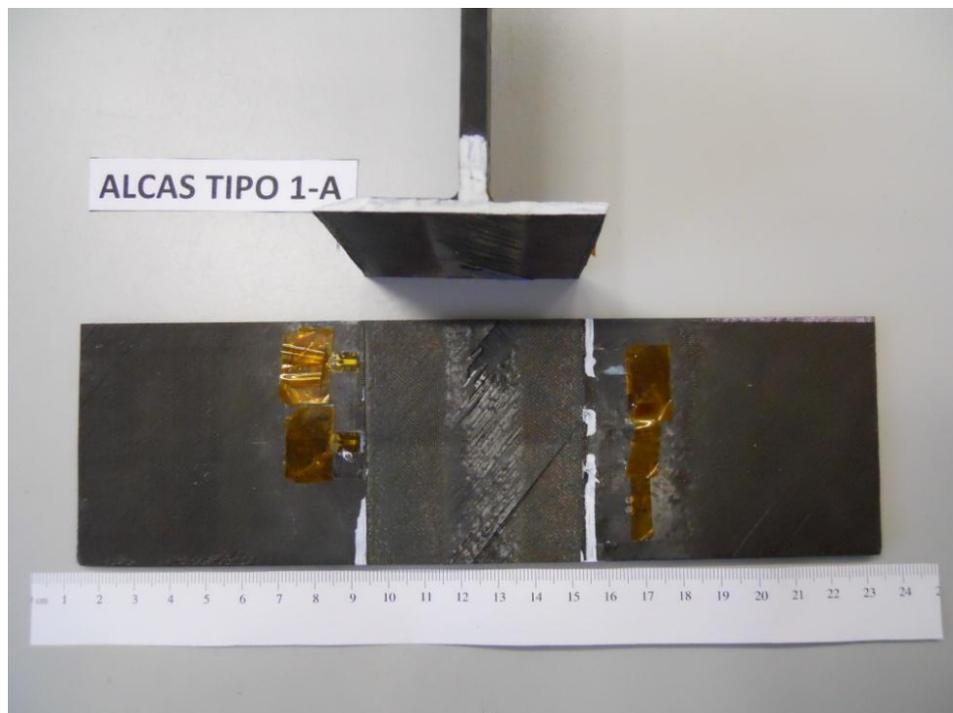


Fig.4.4. Vista general de la probeta tras el Ensayo.

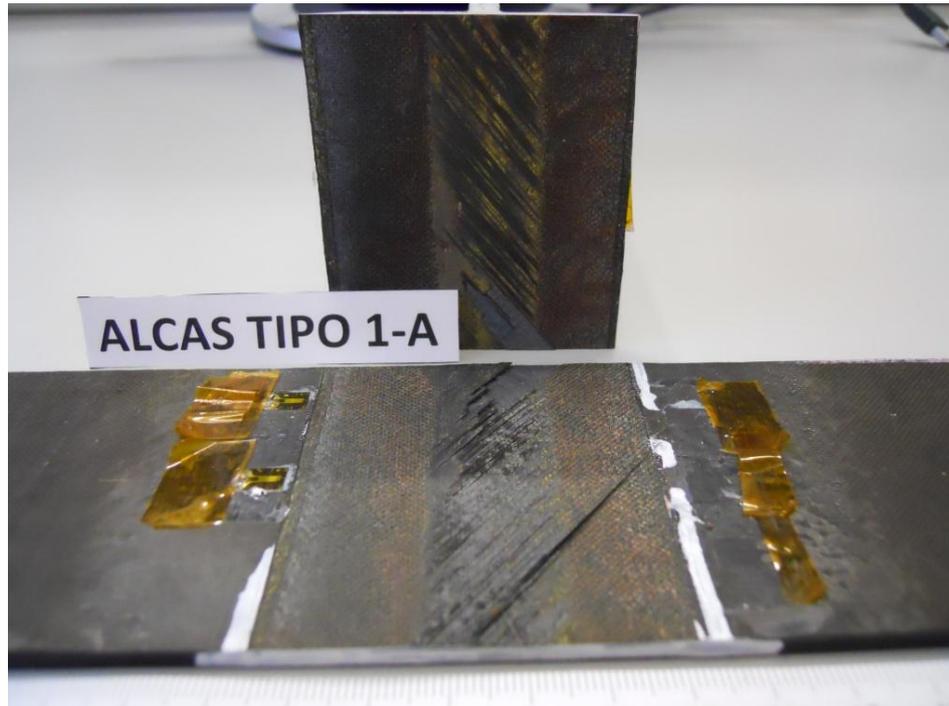


Fig. 4.5 Vista de la piel y el rigidizador tras la rotura.

Esta probeta estaba monitorizada con todas las bandas extensométricas presentes en la figura 3.6 aunque después, en el análisis posterior se detectó que la banda 1 no funcionó bien.

En las figuras 4.6 y 4.7 se presentan los registros de las bandas extensométricas 6 y 7 y las deformaciones de flexión de éstas.

Nótese que se ha representado en el eje de ordenadas la carga por unidad de ancho expresado en N/mm para facilitar la comparación entre diferentes probetas. El ancho de esta probeta en concreto era 60,96 mm.

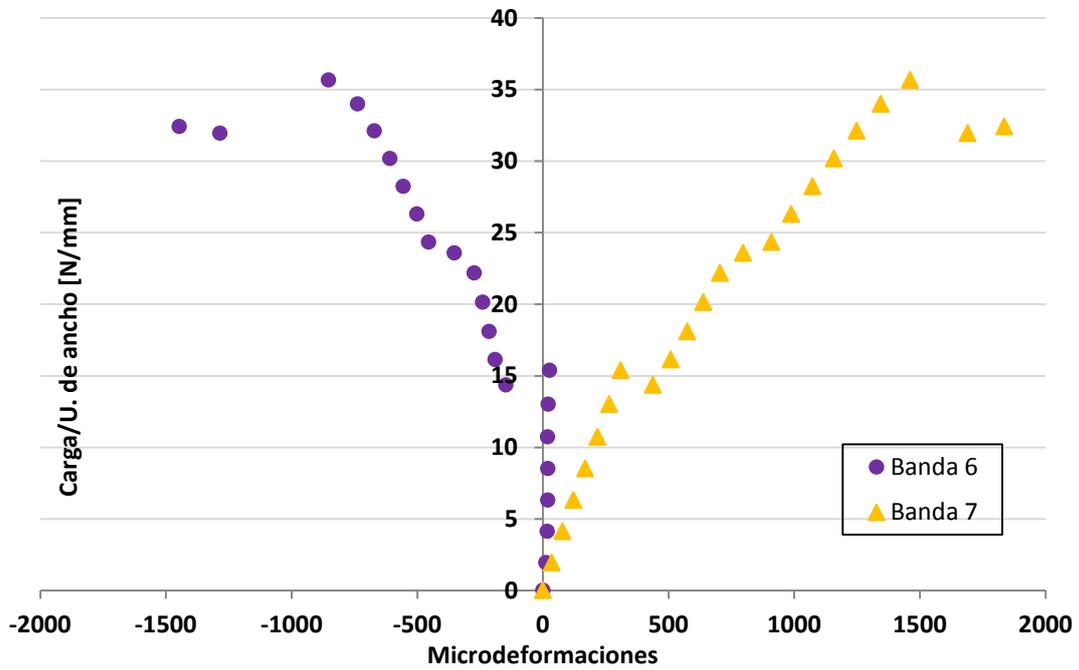


Fig.4.6. Medidas de las Bandas Extensométricas 6 y 7 durante el Ensayo 3.

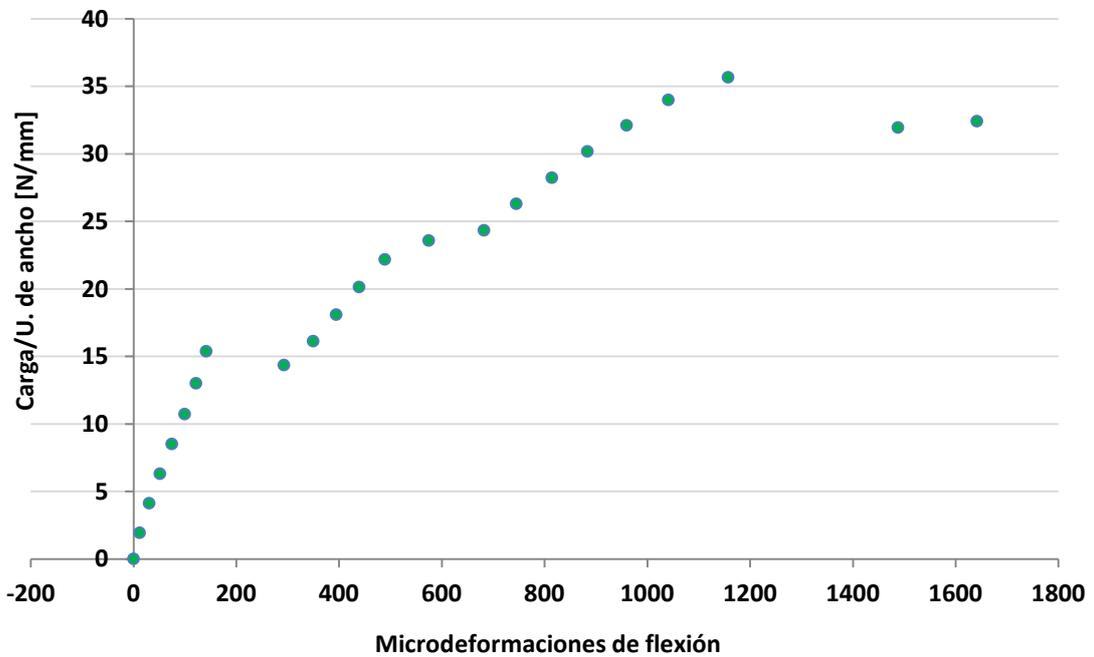


Fig.4.7. Deformaciones de flexión de las Bandas Extensométricas 6 y 7 durante el Ensayo 3.

La figura 4.6 muestra las medidas tomadas por las bandas extensométricas situadas en el alma del rigidizador. En ella se observa que antes de la aparición de la grieta, las dos bandas estaban en tracción y después de la aparición de ésta, una de ellas pasó a compresión y la otra continuó en tracción. También se observa que antes de la aparición de la grieta las dos bandas mostraban valores similares de deformación aunque no iguales. Esta pequeña diferencia de valores se debe a que el “roving” no estaba centrado en la probeta ya que durante el curado se desplazó hacia uno de los lados de la probeta. Esto se pudo observar tras comprobar que unos de las alas del rigidizador era más larga que la otra.

En la figura 4.7 se observa que las deformaciones a flexión fueron muy pequeñas hasta el momento de la aparición de la grieta. Después de este momento, las deformaciones a flexión crecieron debido al efecto de la grieta.

En las figuras 4.8 y 4.9 se presentan los registros de las demás bandas extensométricas presentes en el ensayo y las deformaciones de flexión de éstas.

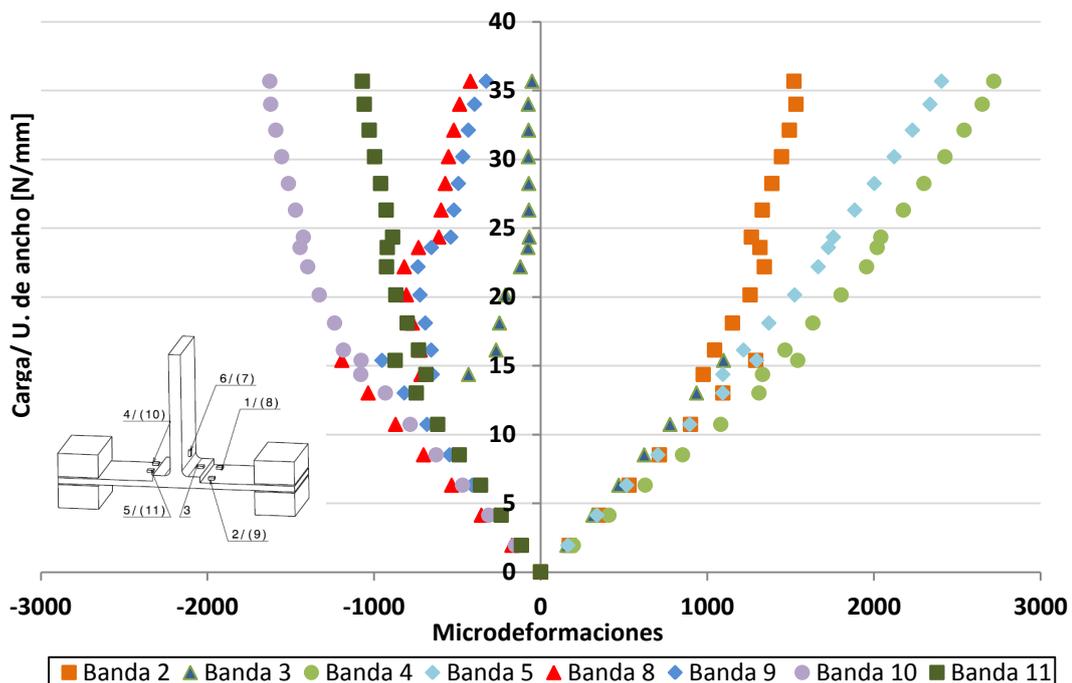


Fig.4.8. Medidas de las Bandas Extensométricas 2, 3, 4, 5, 8, 9,10 y 11 durante el Ensayo 3.

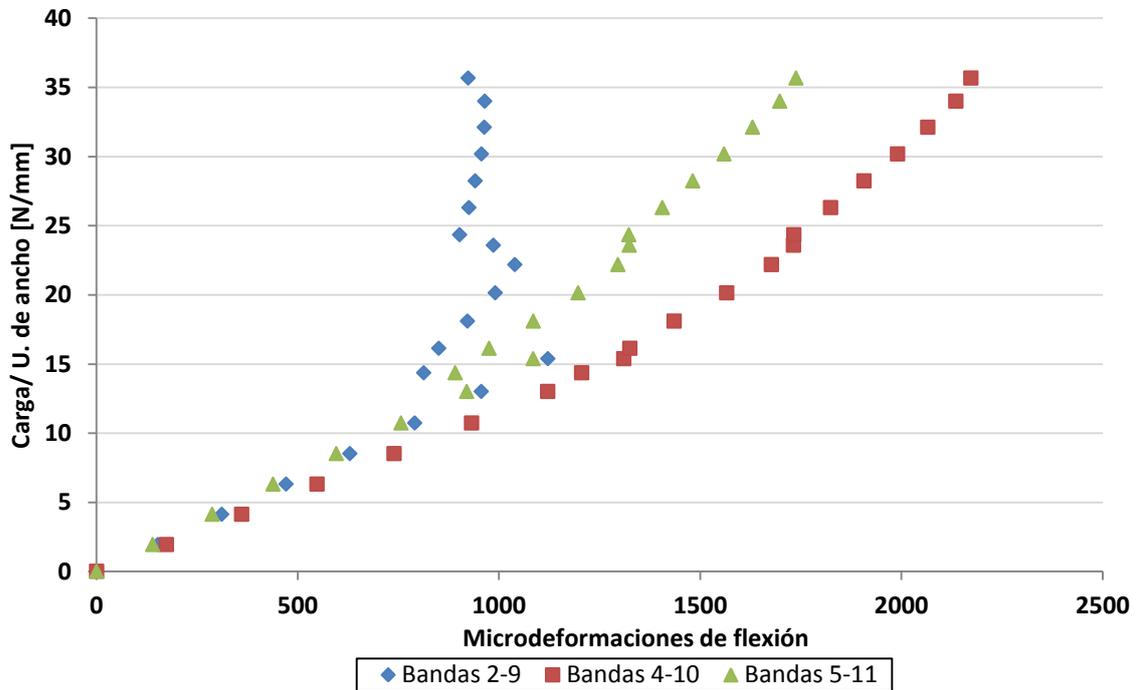


Fig. 4.9. Deformaciones de flexión de los pares de Bandas Extensométricas 2-9, 4-10 y 5-11 durante el Ensayo 3.

En la figura 4.8 se aprecia cierta simetría entre los registros tomados por la banda extensométrica en la parte superior de la probeta (tracción) y los registros tomados por la banda extensométrica en la parte inferior (compresión) aunque siempre los registros de tracción fueron mayores que los de compresión.

También se puede observar que las medidas de las bandas en tracción fueron similares entre sí hasta el inicio de propagación de la grieta. Esto también ocurrió en el caso de las bandas en compresión.

En la figura 4.9 se observa que las deformaciones a flexión fueron muy similares en todos los pares de bandas hasta que apareció la grieta. A partir de este momento, las deformaciones a flexión tuvieron comportamientos diferentes. En concreto, las deformaciones a flexión de las bandas 4-10 continuaron creciendo mientras que las otras bandas tuvieron tramos de crecimiento y decrecimiento.

4.2.2.-Ensayo de probeta ALCAS A1-B (Ensayo 4):

En la figura 4.10 se puede ver la evolución de la carga a lo largo del ensayo.

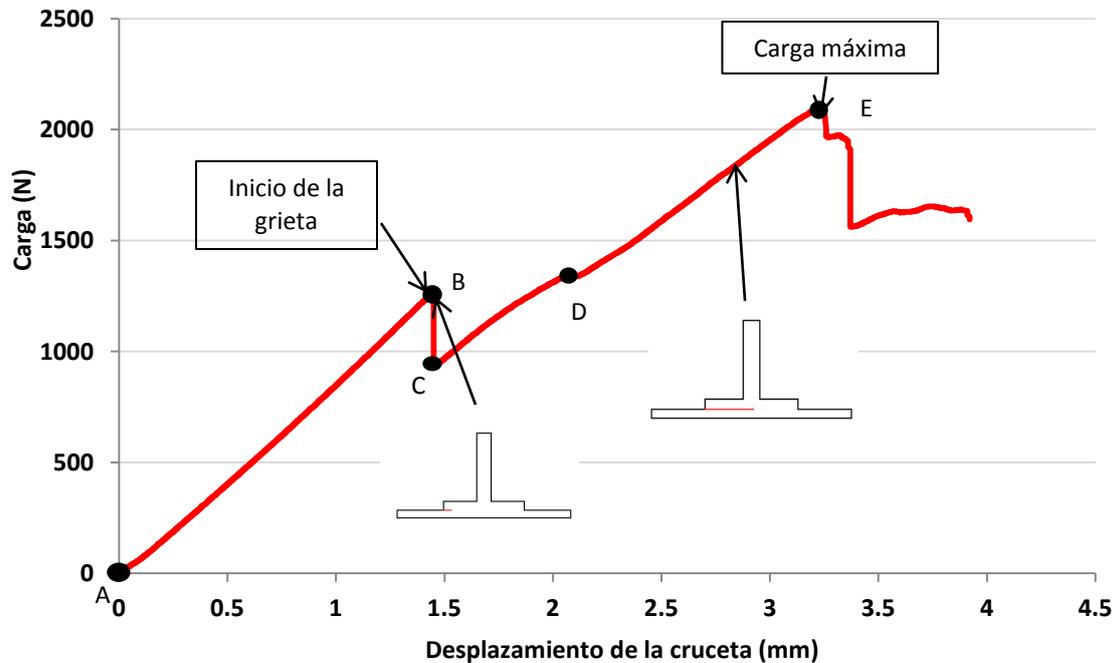


Fig.4.10.Evolución de la carga durante el Ensayo 4.

En la figura 4.10 se observa que la carga del ensayo creció uniformemente hasta 1200 N manteniéndose la rigidez constante (tramo A-B). A los 1200 N (punto B) apareció la grieta y se produjo una bajada de la carga que se puede asociar a la propagación de la grieta (tramo B-C). Después se observan dos tramos de rigidez constante aunque diferente (tramos C-D y D-E). El cambio de rigidez entre estos tramos se puede asociar a un avance de la grieta. La carga máxima registrada fue 2100 N (punto F).

La evolución del ensayo fue la siguiente:

1. 1200 N: Se detectó una grieta en el lado de las bandas 1 y 2. La grieta avanzó en la dirección del eje x (figura 3.6) hacia el centro de la probeta.
2. 1800 N: El frente de grieta alcanzó la zona central de la probeta.
3. 2100 N: Se produjo el fallo de la probeta.

En la figura 4.11 se puede ver un esquema del avance de la grieta.

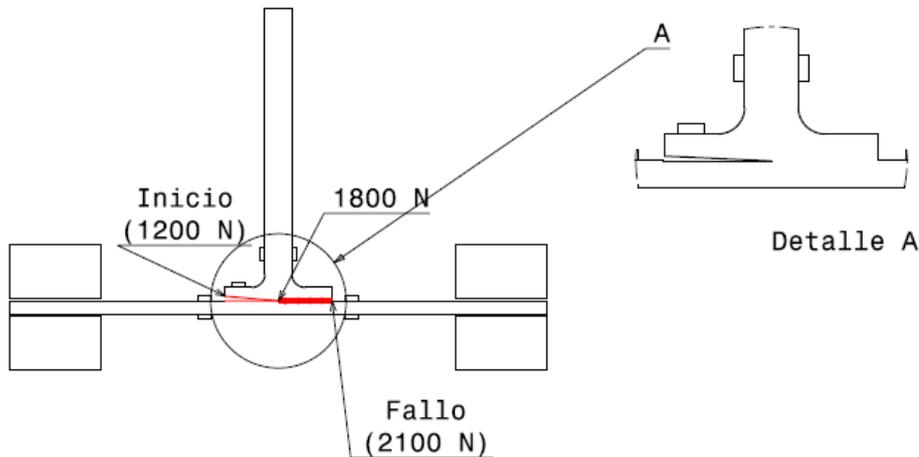


Fig.4.11 .Esquema del avance de la grieta.

En la tabla 4.2 se recoge la evolución de la grieta durante el ensayo.

Carga (N)	Tamaño de la grieta (medida desde su inicio)
1200	Inicio (<i>Banda 1</i>)
1300	7,36 mm
1100	11,15 mm (<i>Mitad pie probeta</i>)
1350	14,4 mm
1560	17,27 mm
1960	23 mm (<i>Aprox. Centro de la probeta</i>)
1540	31,40 mm (<i>Mitad 2º pie probeta</i>)

Tabla.4.2. Evolución de la grieta durante el Ensayo 4.

Una vez finalizado el ensayo, se estudió el aspecto de la zona de rotura que se presenta en las figuras 4.12, 4.13 y 4.14.

En la figura 4.13 se observa que existen dos zonas diferenciadas en la probeta. La zona central (1) presenta delaminaciones. Sin embargo, las zonas laterales (2) presentan fallo del adhesivo.

En la figura 4.13 se observa que el tamaño de las áreas laterales no es el mismo, siendo aproximadamente 0,25 cm más ancho el lado de las bandas 4 y 5. Esta zona es mayor que la otra debido a que ese ala del rigidizador es algo mayor que la otra, figura 4.14, debido al desplazamiento del “roving” durante el curado.

También se puede ver que el frente de grieta avanzó de forma paralela a la dirección del eje y (figura 3.6) ya que las líneas que delimitan las dos zonas del área de rotura son aproximadamente paralelas al borde de la probeta.

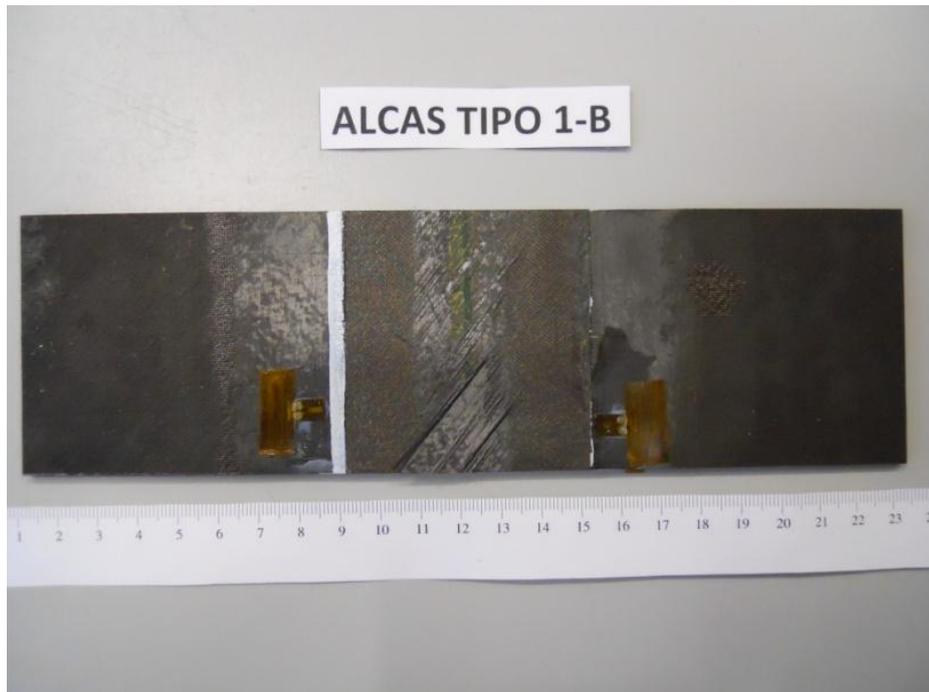


Fig.4.12. Vista general de la piel tras la rotura.

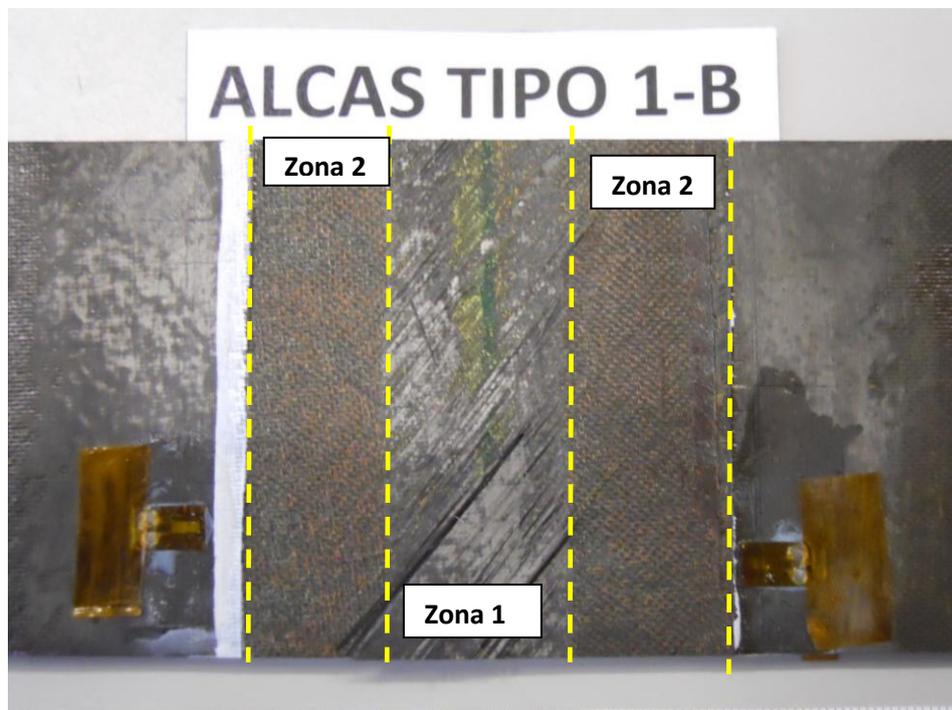


Fig.4.13 Vista de la zona de unión de la piel tras la rotura.

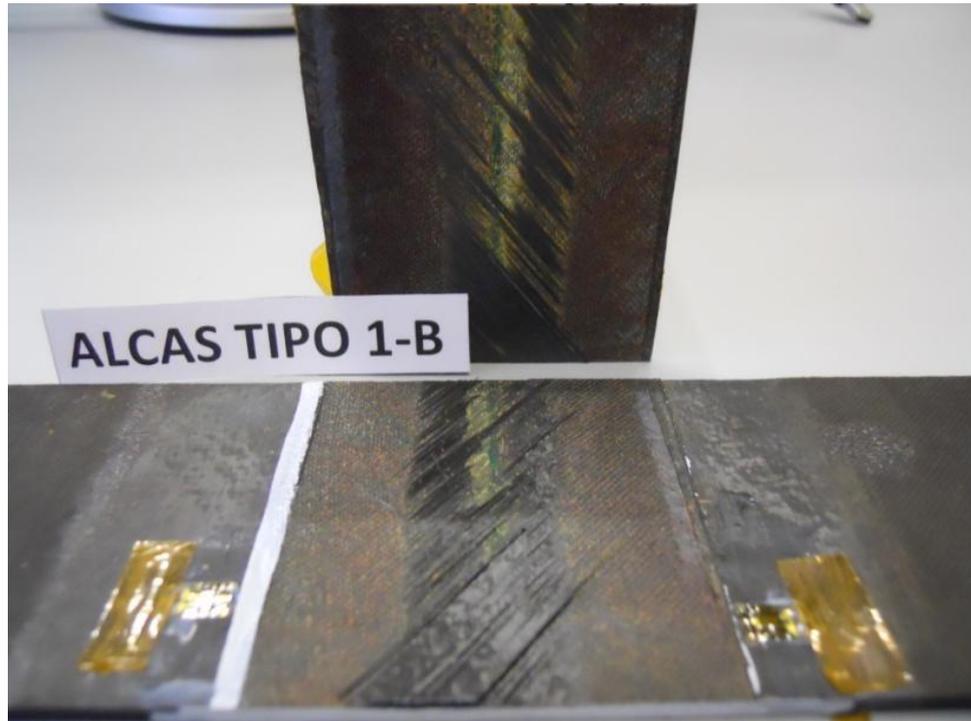


Fig.4.14. Vista de la piel y el rigidizador tras la rotura.

Esta probeta estaba monitorizada con las bandas extensométricas 1, 4, 6, 7, 8 y 10 presentes en la figura 3.6.

En las figuras 4.15 y 4.16 se presentan los registros de las bandas extensométricas 6 y 7 y las deformaciones de flexión de éstas.

Nótese que se ha representado en el eje de ordenadas la carga por unidad de ancho expresado en N/mm para facilitar la comparación entre diferentes probetas. El ancho de esta probeta en concreto era 59,01 mm.

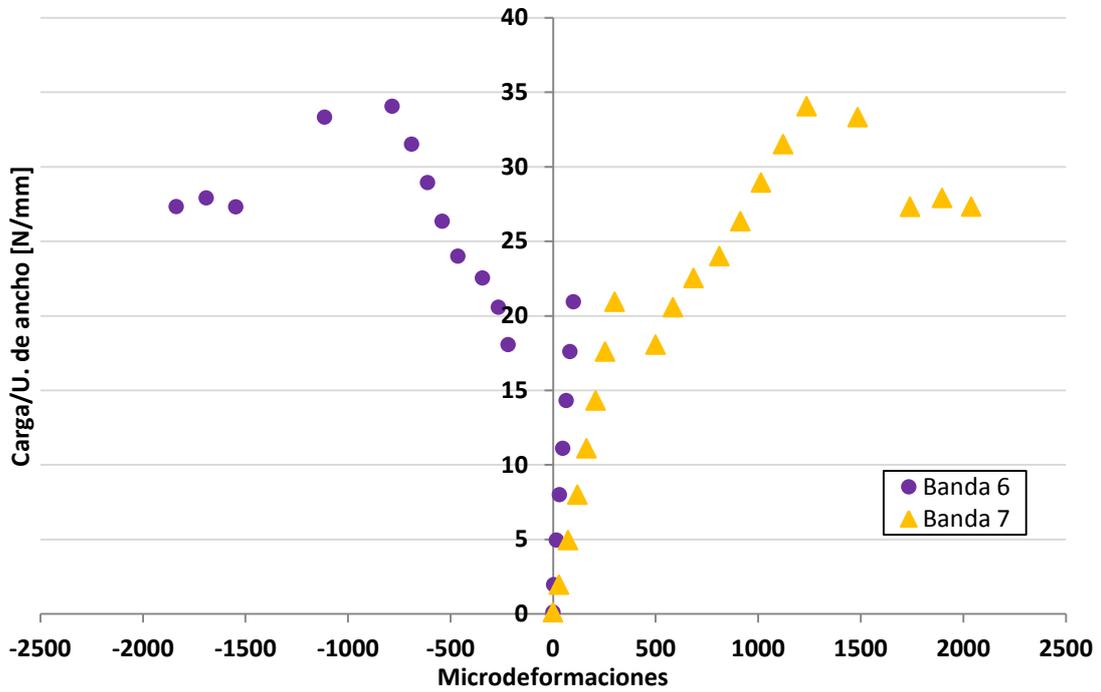


Fig.4.15.Medidas de las Bandas Extensométricas 6 y 7 durante el Ensayo 4.

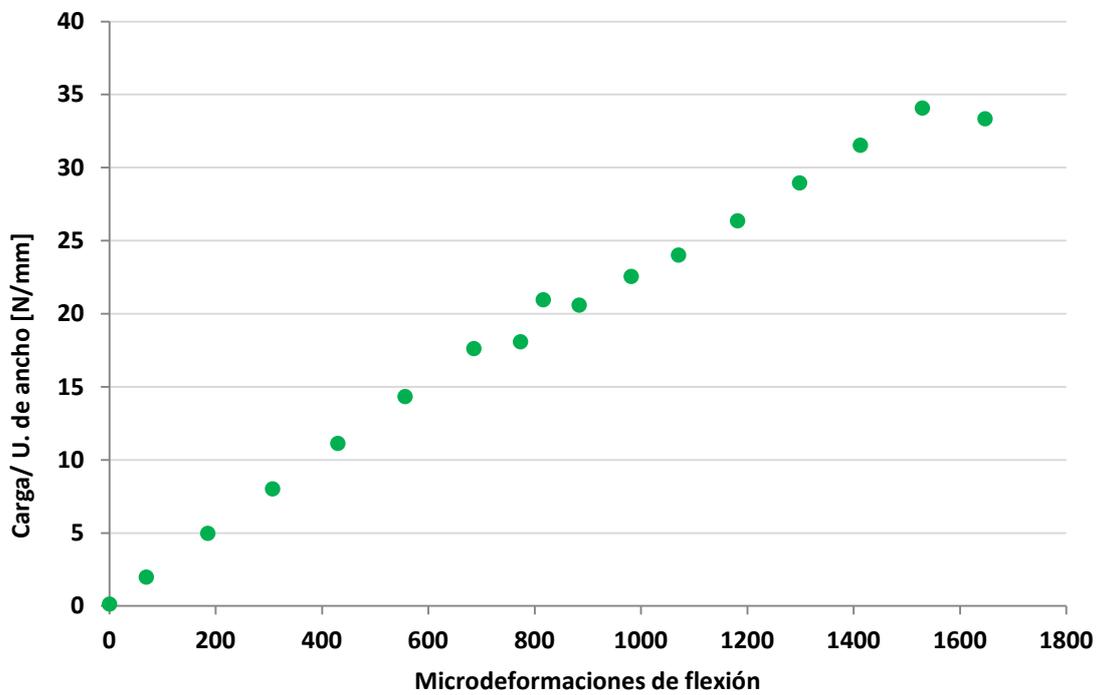


Fig.4.16.Deformaciones de flexión de las Bandas Extensométricas 6 y 7 durante el Ensayo 4.

En la figura 4.15 se muestran las mediciones tomadas por las bandas situadas en el alma del rigidizador. Se observa que las deformaciones registradas hasta el inicio de la grieta fueron muy pequeñas y parecidas, por lo que se puede deducir que en este caso el “roving” estaba más centrado que en la probeta anterior.

En esta misma figura se observa que cuando la grieta comenzó a propagarse las medidas de las bandas extensométricas comenzaron a separarse.

En la figura 4.16, se observa que las deformaciones a flexión son muy pequeñas hasta que comienza la propagación de la grieta.

En las figuras 4.17 y 4.18 se presentan los registros de las demás bandas extensométricas presentes en el ensayo y las deformaciones de flexión de éstas.

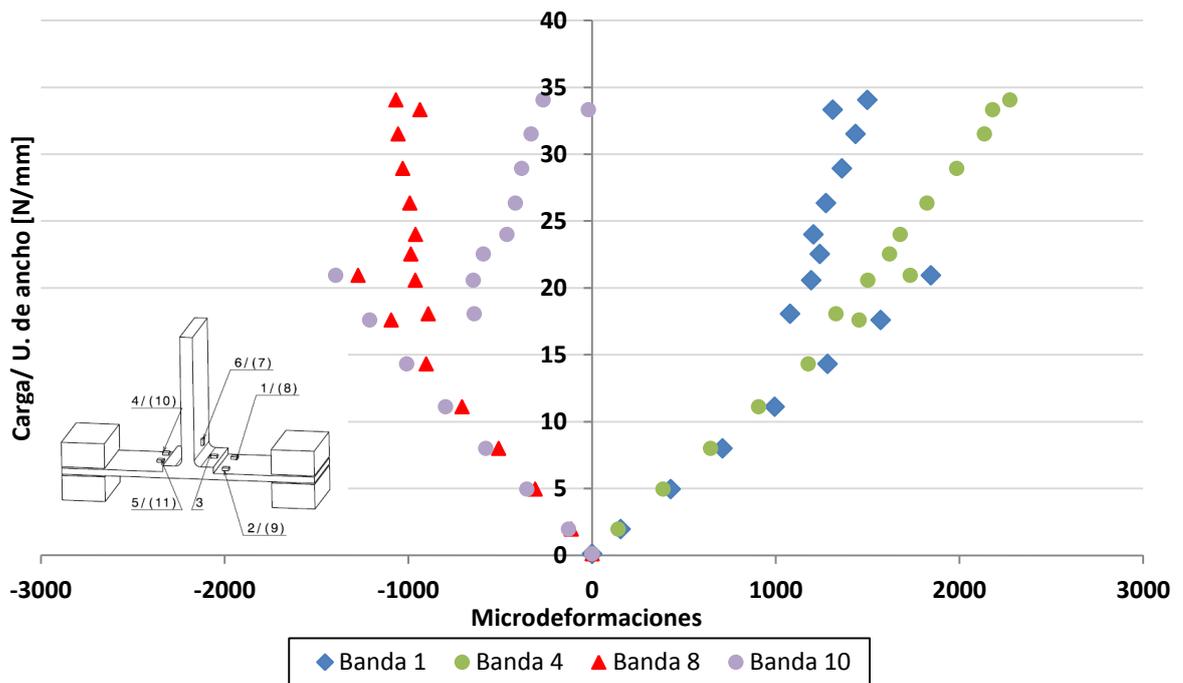


Fig.4.17. Medidas de las Bandas Extensométricas 1, 4, 8, y 10 durante el Ensayo 4.

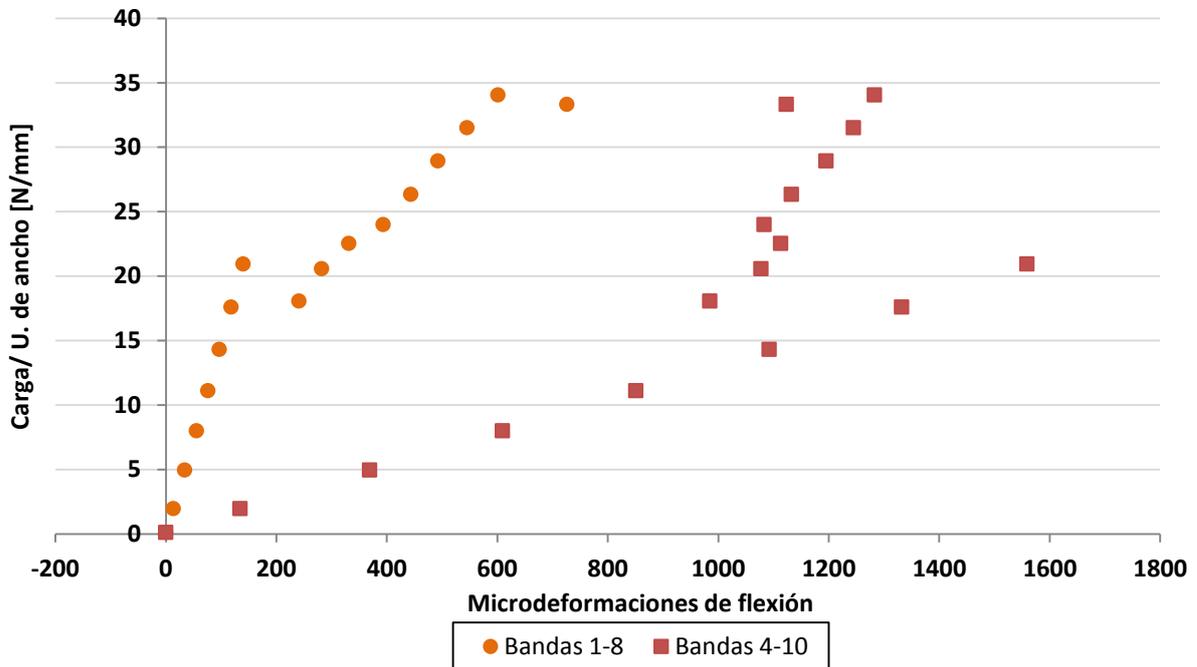


Fig.4.18. Deformaciones de flexión de los pares de Bandas Extensométricas 1-8 y 4-10 durante el Ensayo 4.

En la figura 4.17 se observa que las medidas de las bandas extensométricas crecen linealmente hasta la aparición de la grieta. También se aprecia cierta simetría entre los registros tomados por la banda extensométrica en la parte superior de la probeta (tracción) y los registros tomados por la banda extensométrica en la parte inferior (compresión) aunque siempre los registros de tracción fueron mayores que los de compresión, como en la probeta anterior.

También se puede observar que las medidas de las bandas en tracción fueron similares entre sí hasta el inicio de propagación de la grieta. Esto también ocurrió en el caso de las bandas en compresión.

En esta misma figura se puede ver que el máximo de microdeformaciones se alcanzó en el inicio de la grieta para las bandas 1 y 8, y al final del ensayo para las bandas 4 y 10.

En la figura 4.18 se observa que las deformaciones a flexión fueron muy diferentes desde el inicio del ensayo.

4.2.3.- Ensayo de probeta ALCAS A1-C (Ensayo 2):

En la figura 4.19 se puede ver la evolución de la carga a lo largo del ensayo.

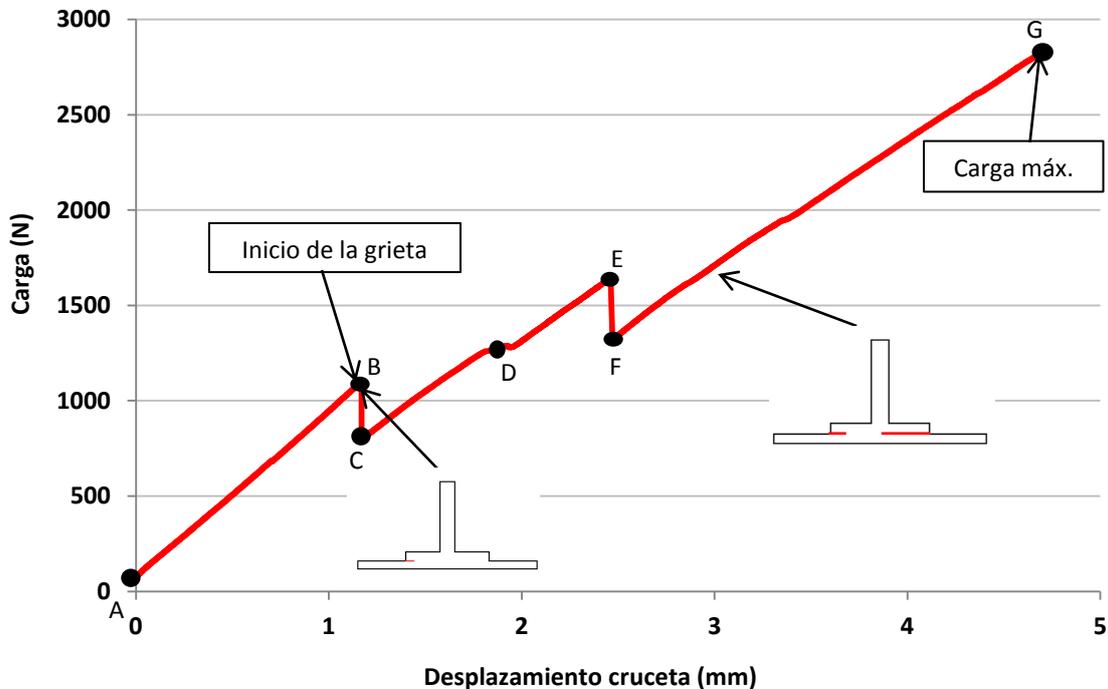


Fig.4.19.Evolución de la carga durante el Ensayo 2.

En la figura 4.19 se observa que la carga alcanzada durante el ensayo fue mayor que en otras ocasiones. En la gráfica se pueden apreciar varios tramos (A-B, C-D, F-G) en los que la rigidez se mantiene aproximadamente constante. También se observan varios descensos de la carga (tramos B-C y E-F), a los 1000 N y 1600 N asociados a un avance de la grieta. Estos descensos fueron asociados a la propagación de la grieta. La carga máxima registrada fueron 2800 N (punto G).

La evolución del ensayo fue la siguiente:

1. 1100 N: Se detectó una grieta en el lado de las bandas 1 y 2. La grieta avanzó en la dirección del eje x (figura 3.6) hacia el centro de la probeta.
2. 1600 N: El frente de grieta alcanzó la zona central de la probeta y la grieta saltó al otro extremo y comenzó a propagarse en la dirección del eje x hacia el centro de la probeta.
3. 2800 N: Se produjo el fallo de la probeta.

En la figura 4.20 se puede ver un esquema del avance de la grieta.

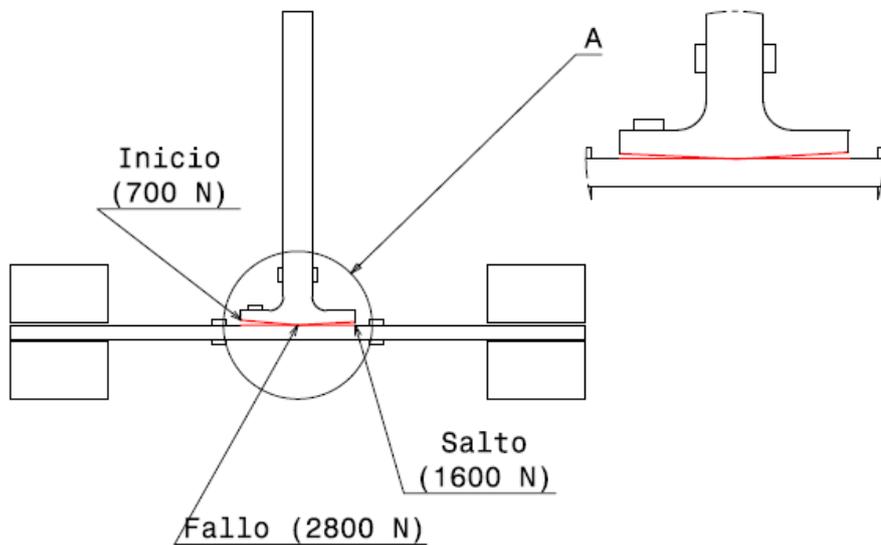


Fig.4.20. Esquema del avance de la grieta

En este ensayo no se tomaron datos sobre la evolución de la grieta.

Una vez finalizado el ensayo, se estudió el aspecto de la zona de rotura que se presenta en las figuras 4.21, 4.22 y 4.23.

En la figura 4.22 se observa que existen dos zonas diferenciadas en la probeta. La zona central (1) presenta delaminaciones. Sin embargo, las zonas laterales (2) presentan fallo del adhesivo.

En la figura 4.22 se observa que el tamaño de las áreas laterales no es el mismo, siendo aproximadamente 0,5 cm más ancho el lado de las bandas 4 y 5. Esta zona es mayor que la otra debido a que ese ala del rigidizador es algo mayor que la otra, figura 4.23, debido al desplazamiento del “roving” durante el curado.

También se puede ver que el frente de grieta avanzó de forma aproximadamente paralela a la dirección del eje y (figura 3.6) ya que las líneas que delimitan las dos zonas del área de rotura son aproximadamente paralelas al borde de la probeta.

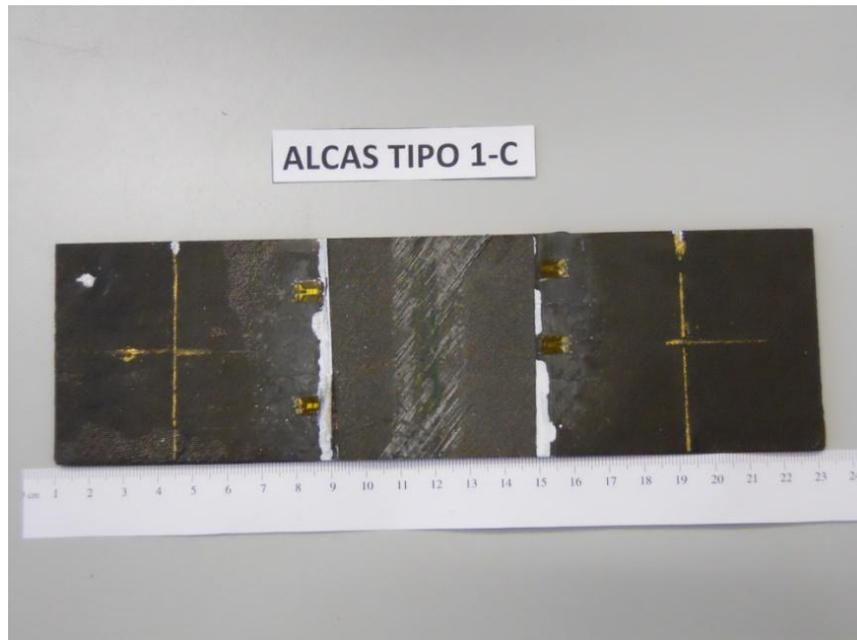


Fig.4.21. Vista general de la piel tras la rotura

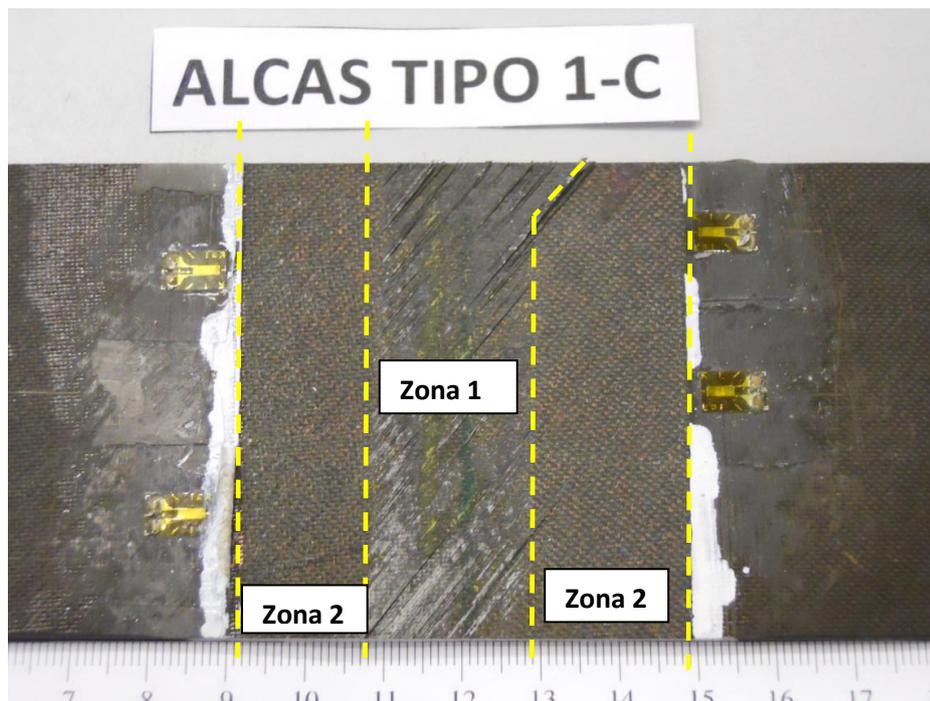


Fig.4.22. Vista de la zona de unión de la piel tras la rotura.

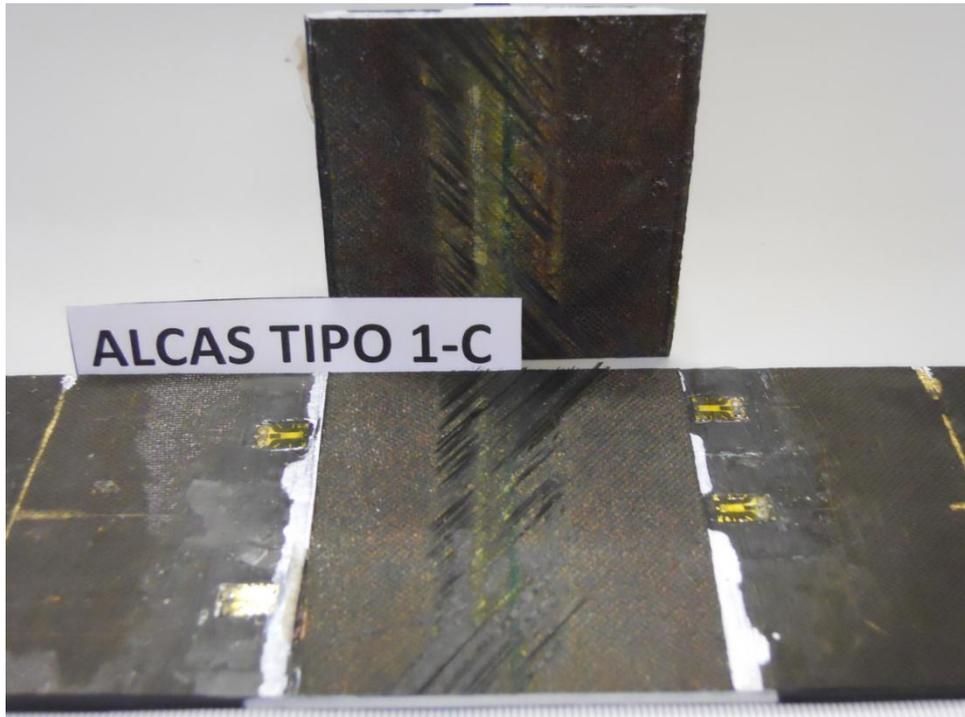


Fig.4.23. Vista de la piel y el rigidizador tras la rotura.

Esta probeta estaba monitorizada con todas las bandas extensométricas presentes en la figura 3.6. Sin embargo, no fue posible recuperar los registros de las bandas extensométricas debido a un problema en el sistema de adquisición de datos.

4.2.4.-Ensayo de probeta ALCAS A2-A (Ensayo 5):

En la figura 4.24 se puede ver la evolución de la carga a lo largo del ensayo.

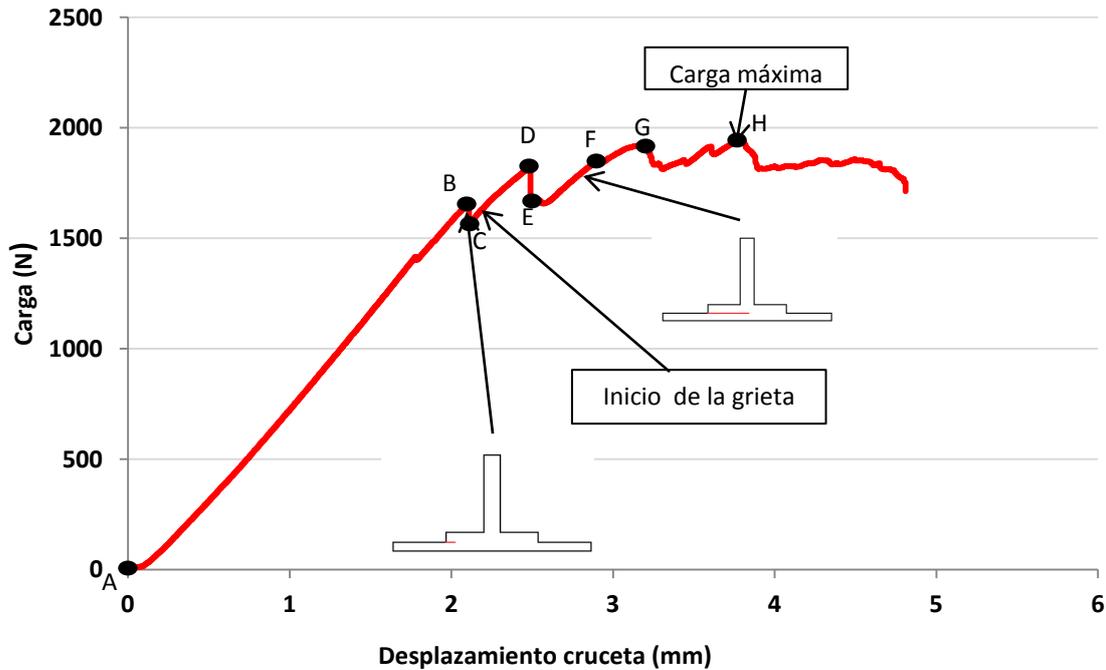


Fig.4.24.Evolución de la carga durante el Ensayo 5.

En la figura 4.24 se observa que la carga creció hasta 1600 N manteniéndose la rigidez constante (tramo A-B). Después, a los 1600 N (punto B) apareció la grieta y la carga tuvo un leve descenso (tramo B-C) asociado a la propagación de la grieta. Luego se aprecian dos tramos de rigidez constante (tramos C-D y E-F) separados por un tramo, el D-e, en el que se observa una bajada de la carga asociado a un avance de la grieta. A partir de 1800 N (punto F), se empezaron a producir oscilaciones con algunos descensos más destacables asociables a la propagación de la grieta.

La evolución del ensayo fue la siguiente:

1. 1600 N: Se detectó una grieta en el lado de las bandas 1 y 2. La grieta avanzó en la dirección del eje x (figura 3.6) hacia el centro de la probeta.
2. 1800 N: El frente de grieta alcanzó la zona central de la probeta.
3. 1830 N: Se produjo el fallo de la probeta.

En la figura 4.25 se puede ver un esquema del avance de la grieta.

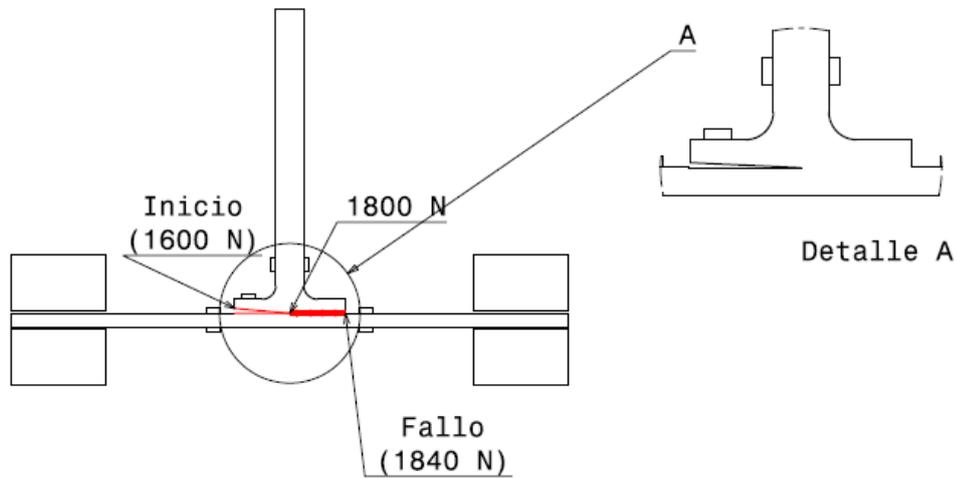


Fig.4.25. Esquema del avance de la grieta.

En la tabla 4.3 se recoge la evolución de la grieta durante el ensayo.

Carga (N)	Tamaño de la grieta (medida desde su inicio)
1600	Inicio (<i>Banda 1</i>)
1668	7,87 mm
1777	10,43 mm
1920	12,43 mm
1836	17,06 mm
1840	19,61 mm
1928	21,02 mm (<i>Centro de la probeta</i>)
1818	28,15 mm
1834	30,28 mm
1813	40,10 mm

Tabla. 4.3. Evolución de la grieta durante el Ensayo 5.

Una vez finalizado el ensayo, se estudió el aspecto de la zona de rotura que se presenta en las figuras 4.26, 4.27 y 4.28.

En la figura 4.27 se observa que el aspecto de la zona de rotura de esta probeta es diferente a las anteriores probetas ya que, aunque aparecen zonas donde la rotura es adhesiva (2) y otras con delaminaciones (1), como en el caso anterior, lo más destacable es que se produce una rotura en diagonal de la capa superior de la piel.

Además se observa que hay un trozo de la última capa de la piel que queda adherido al rigidizador.

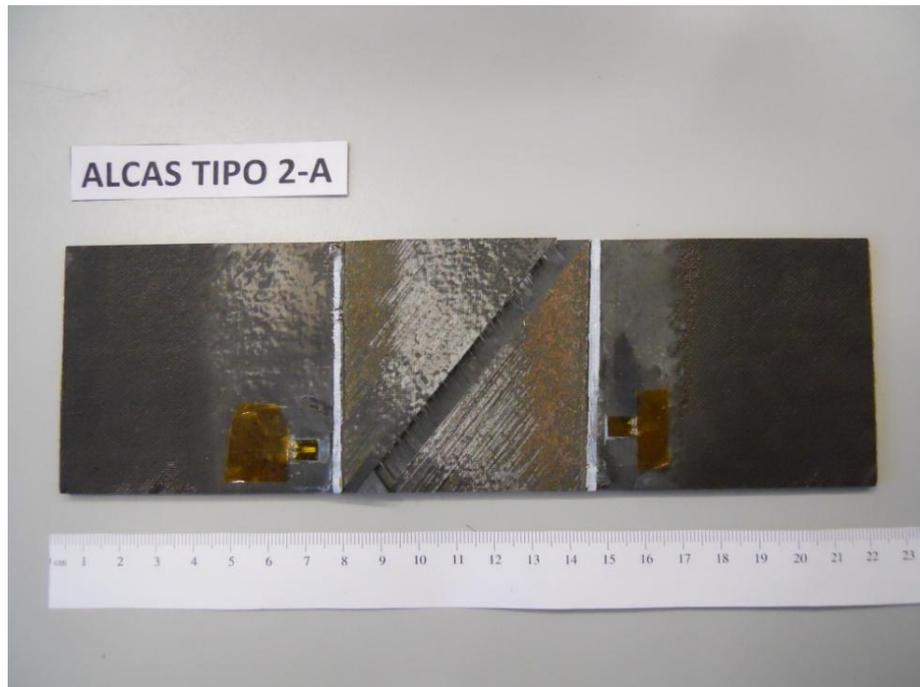


Fig.4.26. Vista general de la piel tras la rotura

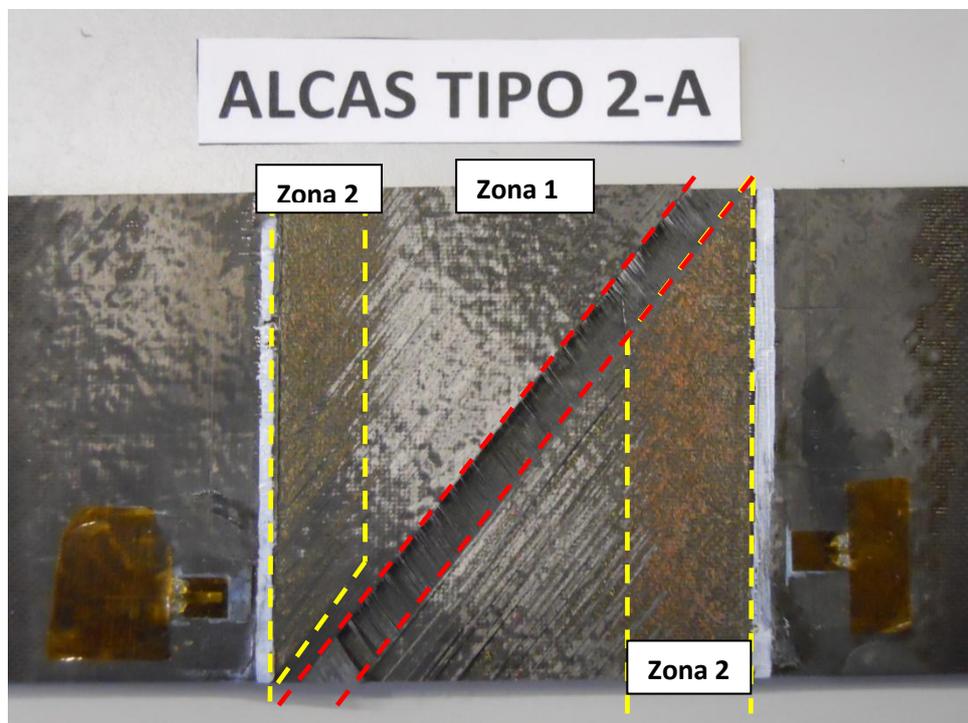


Fig.4.27. Vista de la zona de unión de la piel tras la rotura

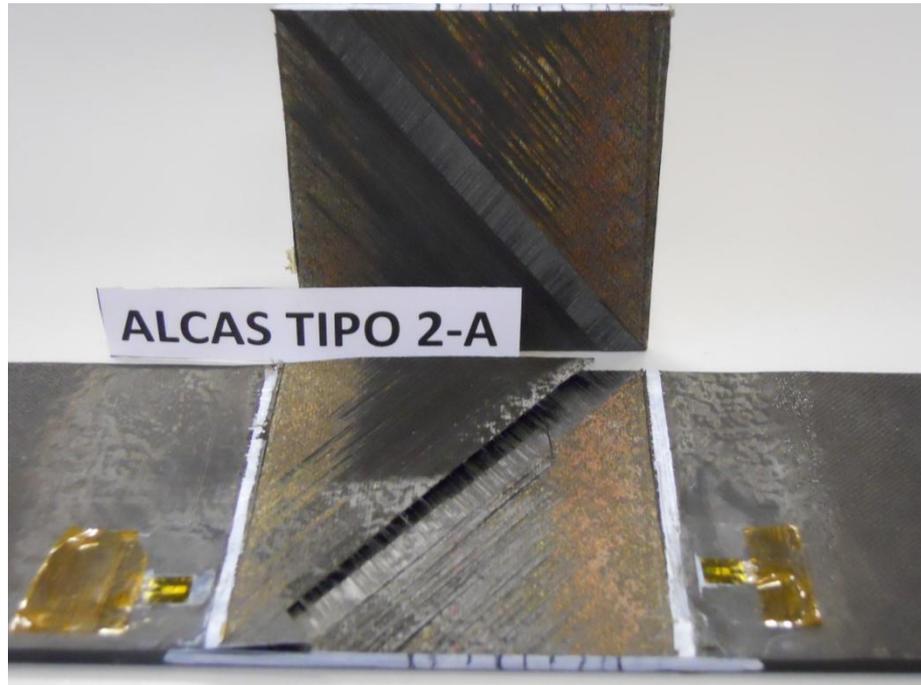


Fig.4.28.Vista general de la probeta tras la rotura

Esta probeta estaba monitorizada con las bandas extensométricas 2, 5, 6, 7, 9 y 11 presentes en la figura 3.6.

En las figuras 4.29 y 4.30 se presentan los registros de las bandas extensométricas 6 y 7 y las deformaciones de flexión de éstas.

Nótese que se ha representado en el eje de ordenadas la carga por unidad de ancho expresado en N/mm para facilitar la comparación entre diferentes probetas. El ancho de esta probeta en concreto era 61,19 mm.

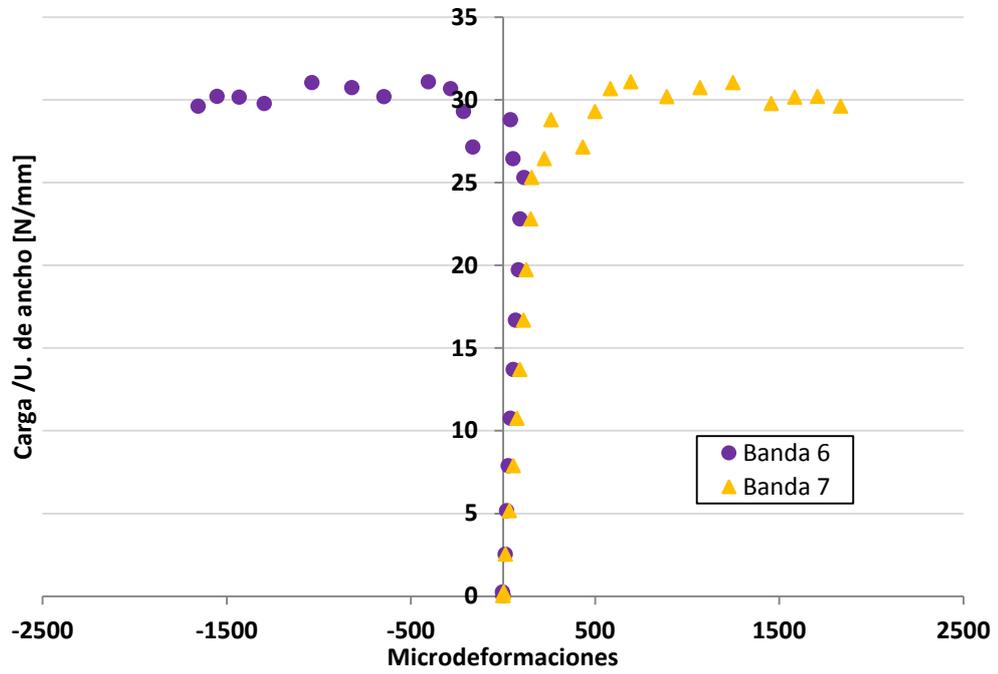


Fig.4.29.Medidas de las Bandas Extensométricas 6 y 7 durante el Ensayo 5.

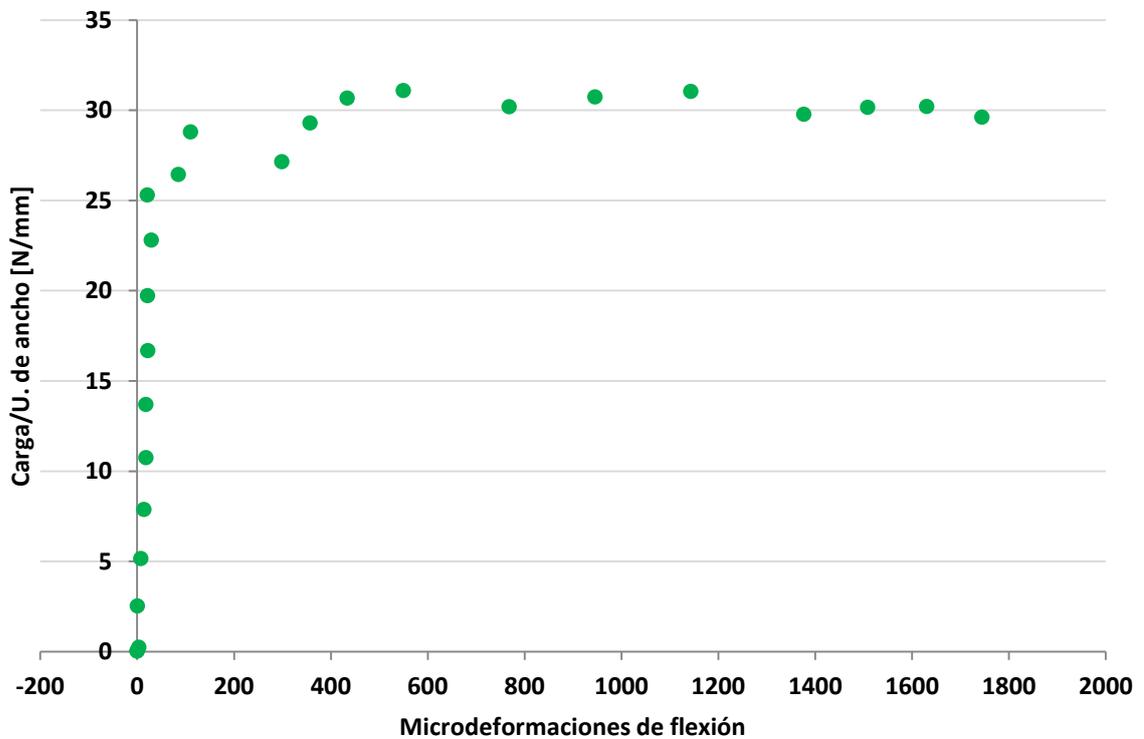


Fig.4.30.Deformaciones de flexión de las Bandas Extensométricas 6 y 7 durante el Ensayo 5.

La figura 4.29 muestra la evolución de las deformaciones registradas por las bandas 6 y 7, situadas en el alma del rigidizador. En ella se observa que las deformaciones registradas fueron muy parecidas hasta la llegada de la grieta al centro de la probeta. Este hecho denota un buen centrado del “roving” en este caso.

Consecuentemente, en la figura 4.30 se observa que las deformaciones de flexión son muy pequeñas hasta la llegada de la grieta al centro de la probeta aunque luego crecen más debido a que los registros de las bandas 6 y 7 crecen y se separan.

En las figuras 4.31 y 4.32 se presentan los registros de las demás bandas extensométricas presentes en el ensayo y las deformaciones de flexión de éstas.

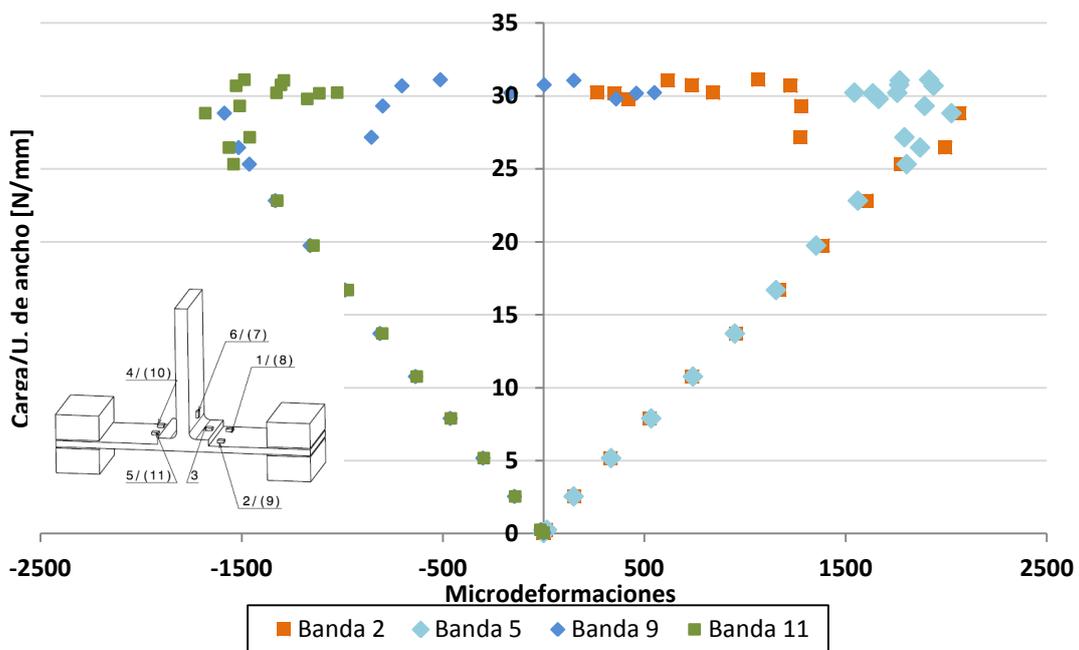


Fig. 4.31. Medidas de las Bandas Extensométricas 2, 5, 9 y 11 durante el Ensayo 5.

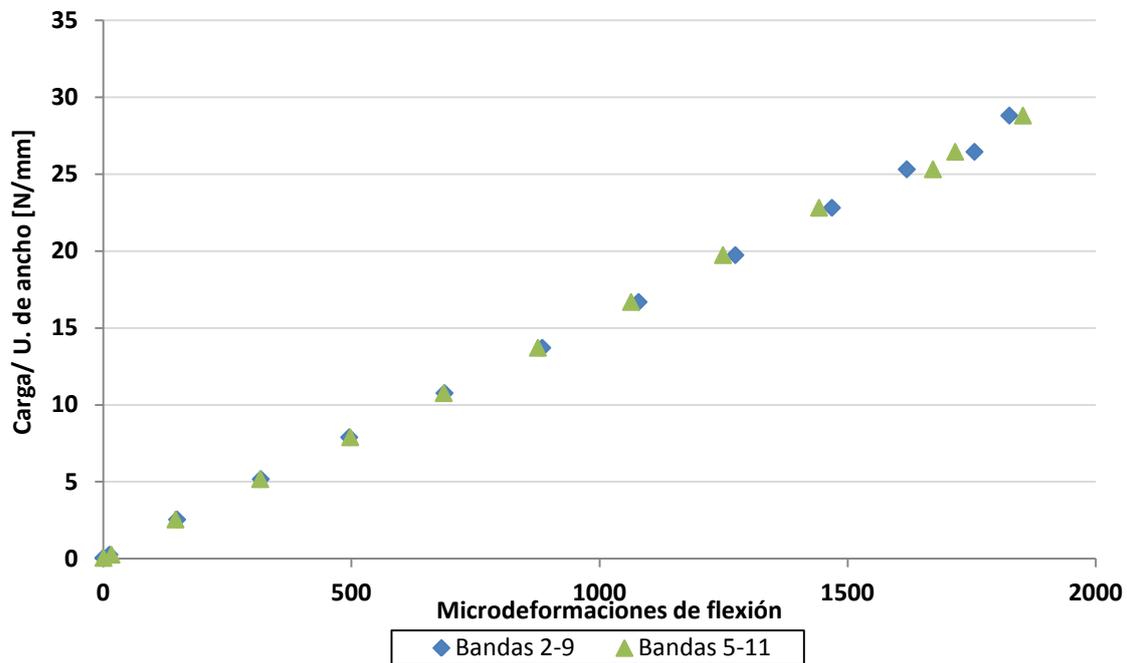


Fig.4.32.Deformaciones de flexión de los pares de Bandas Extensométricas 2-9 y 5-11 durante el Ensayo 5.

En la figura 4.31 se vuelve a apreciar cierta simetría entre los registros tomados por la banda extensométrica en la parte superior de la probeta (tracción) y los registros tomados por la banda extensométrica en la parte inferior (compresión) aunque siempre los registros de tracción fueron mayores que los de compresión.

También se puede observar que las medidas de las bandas en tracción fueron similares entre sí hasta la fase final del ensayo. Esto también ocurrió en el caso de las bandas en compresión.

En todos los casos se observa que el máximo de microdeformaciones se alcanzó al final del ensayo en todas las bandas.

En la figura 4.32 se observa que las deformaciones a flexión fueron muy similares en los dos pares de bandas durante todo el ensayo.

4.2.5.-Ensayo de probeta ALCAS A2-B (Ensayo 6):

En la figura 4.33 se puede ver la evolución de la carga a lo largo del ensayo.

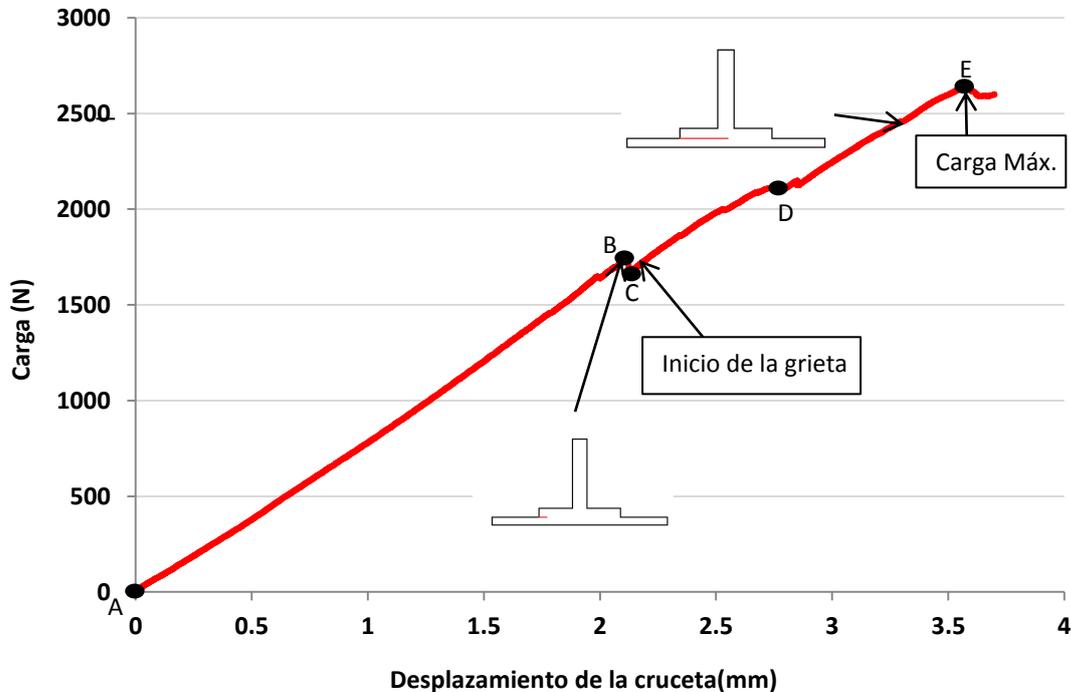


Fig.4.33.Evolución de la carga durante el Ensayo 6.

En la figura 4.33 se observa que en el ensayo 6 la carga creció de forma casi uniforme hasta el final del ensayo que se produjo para una carga de 2614 N. Al principio del ensayo, en el tramo A-B se observa que la rigidez permanece constante debido a que aún no ha aparecido el daño. Después, se produce una bajada de la carga (tramo B-C) asociado al avance de la grieta. También aparecen dos tramos de rigidez constante (C-D y D-E).

La evolución del ensayo fue la siguiente:

1. 1500 N: Se escuchó el primer ruido. No se detectó grieta mediante inspección visual.
2. 1700 N: Se detectó una grieta en el lado de las bandas 1 y 2. La grieta avanzó en la dirección del eje x (figura 3.6) hacia el centro de la probeta.
3. 2500 N: El frente de grieta alcanzó la zona central de la probeta.
4. 2600 N: Se produjo el fallo de la probeta.

En la figura 4.34 se puede ver un esquema del avance de la grieta.

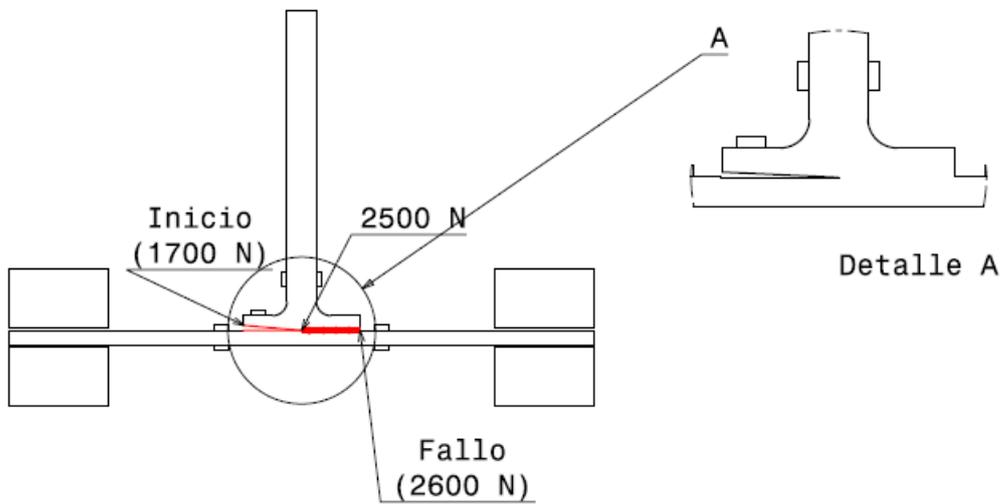


Fig.4.34. Esquema del avance de la grieta

En la tabla 4.4 se recoge la evolución de la grieta durante el ensayo.

Carga (N)	Tamaño de la grieta (medida desde su inicio)
1600	Inicio (Banda 1)
1700	4,24
1900	8,09
2150	12,43
2500	18,54
2600	22

Tabla 4.4. Evolución de la grieta durante el Ensayo 6.

Una vez finalizado el ensayo, se estudió el aspecto de la zona de rotura que se presenta en las figuras 4.35, 4.36 y 4.37.

En la figura 4.36 se observa que el aspecto de la zona de rotura de esta probeta es similar al de la probeta anterior ya que, aunque también aparecen zonas donde la rotura es adhesiva (2) y otras con delaminaciones (1), lo más destacable es que se produce una rotura en diagonal de la capa superior de la piel.

Además se observa que hay un trozo de la última capa de la piel que queda adherido al rigidizador.

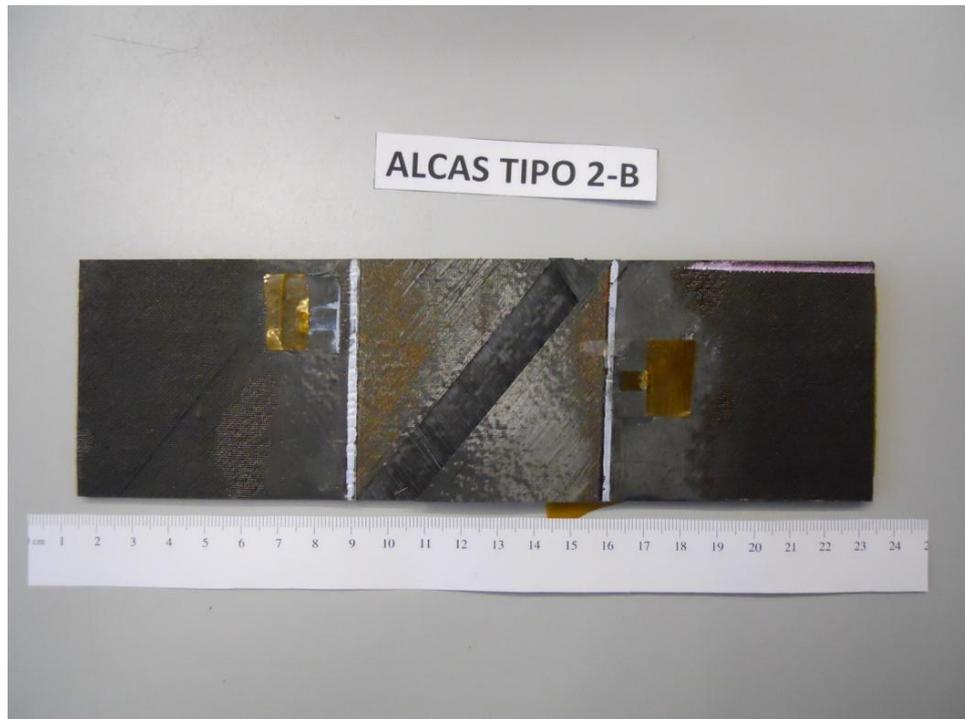


Fig.4.35. Vista general de la piel tras la rotura

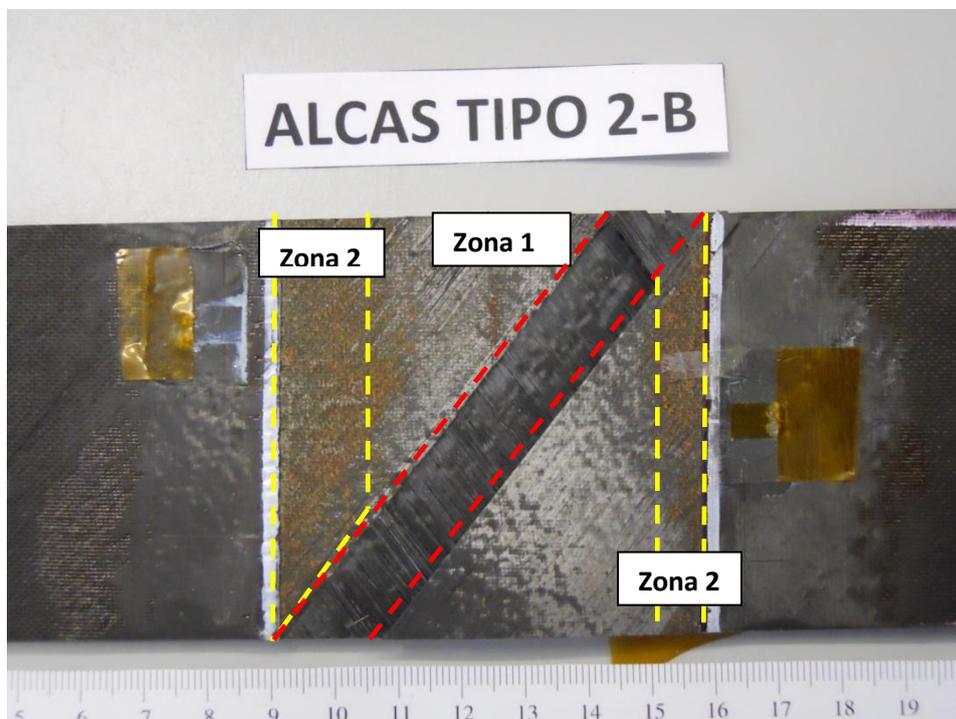


Fig.4.36. Vista de la zona de unión de la piel tras la rotura.

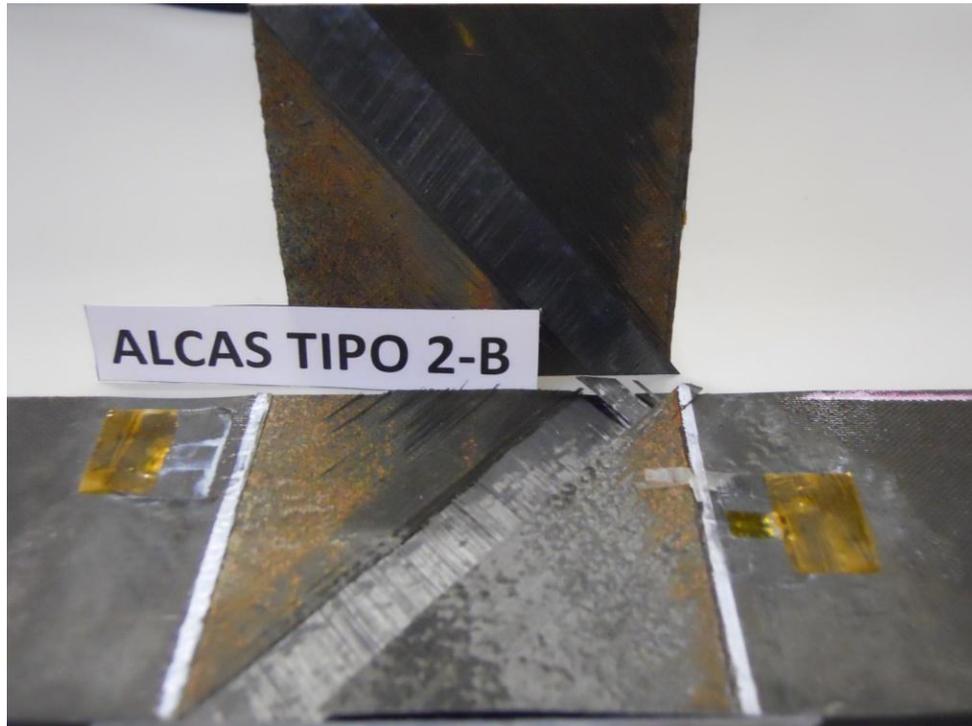


Fig.4.37.Vista general de la piel y el rigidizador tras la rotura

Esta probeta estaba monitorizada con las bandas extensométricas 1, 4, 6, 7, 8 y 10 presentes en la figura 3.6. Después del ensayo se comprobó que las bandas 6 y 7 no funcionaron bien y por tanto, no se presentan mediciones de estas bandas.

En las figuras 4.38 y 4.39 se presentan los registros de las demás bandas extensométricas presentes en el ensayo y las deformaciones de flexión de éstas.

Nótese que se ha representado en el eje de ordenadas la carga por unidad de ancho expresado en N/mm para facilitar la comparación entre diferentes probetas. El ancho de esta probeta en concreto era 60,08 mm.

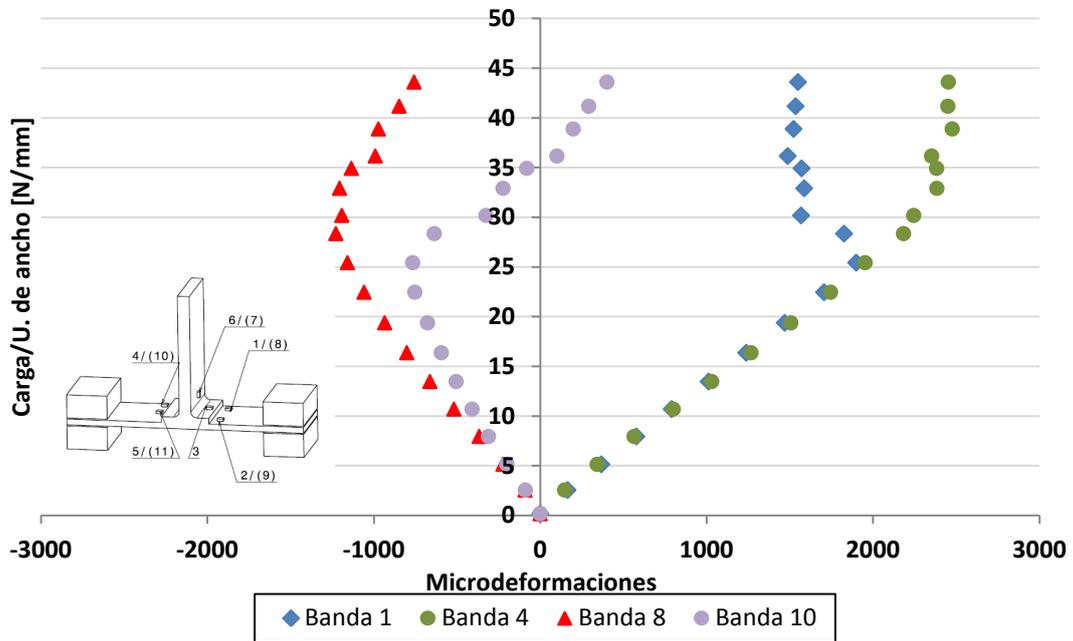


Fig.4.38.Medidas de las Bandas Extensométricas 1, 4, 8 y 10 durante el Ensayo 6.

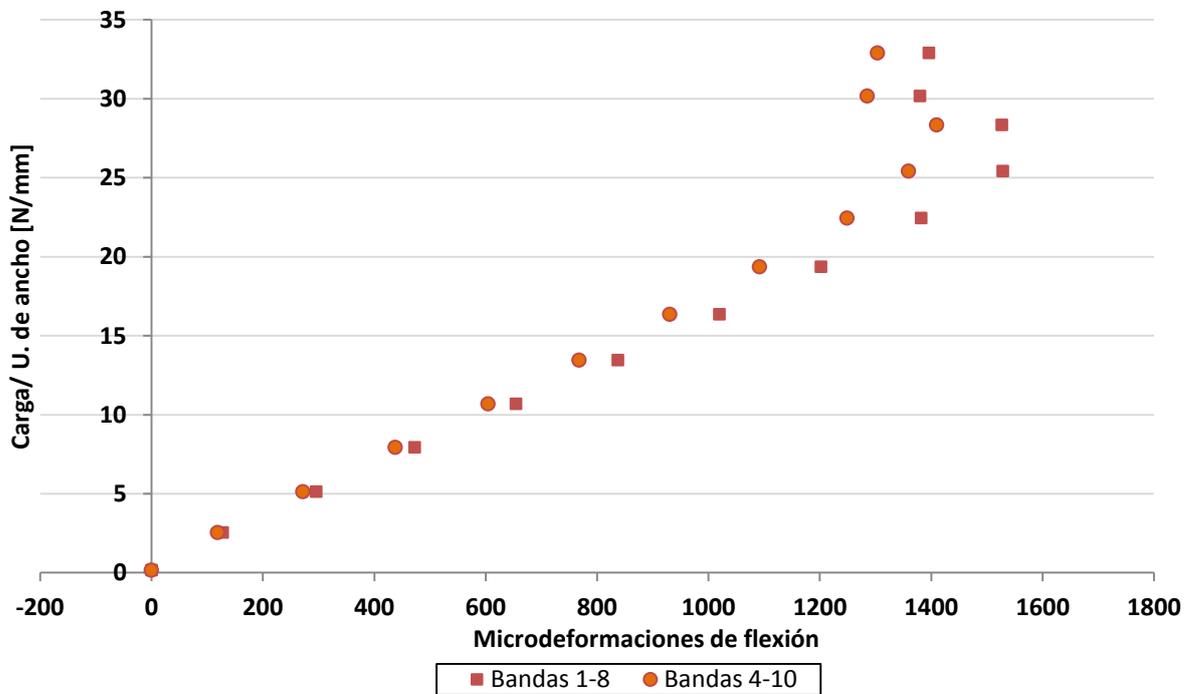


Fig.4.39.Deformaciones de flexión de los pares de Bandas Extensométricas 1-8 y 4-10 durante el Ensayo 6.

En la figura 4.38 se aprecia cierta simetría entre los registros tomados por la banda extensométrica en la parte superior de la probeta (tracción) y los registros tomados por la banda extensométrica en la parte inferior (compresión) aunque siempre los registros de tracción fueron mayores que los de compresión.

También se puede observar que las medidas de las bandas en tracción fueron similares entre sí al principio del ensayo. En el caso de las bandas en compresión, los registros son similares pero difieren algo más.

En todos los casos se observa que el máximo de microdeformaciones se alcanzó en el momento del inicio de la propagación de la grieta

En la figura 4.39 se observa que las deformaciones de flexión registraron valores similares a lo largo de todo el ensayo.

4.2.6.-Ensayo de probeta ALCAS A2-C (Ensayo 1):

En la figura 4.40 se puede ver la evolución de la carga a lo largo del ensayo.

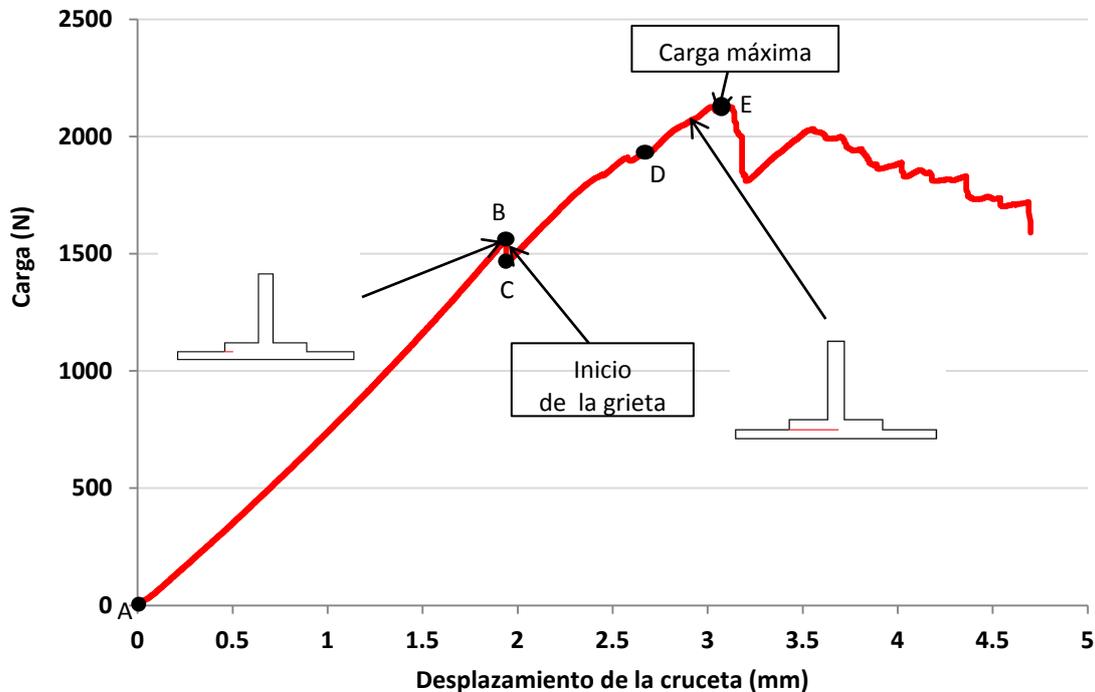


Fig.4.40.Evolución de la carga durante el Ensayo 1.

En la figura 4.40 se observa que al principio del ensayo (tramo A-B) la carga fue aumentando manteniéndose constante la rigidez. Después, a los 1555 N (punto B) apareció la grieta y se produjo un descenso de la carga (tramo C-D) asociado a un avance de la grieta. En el siguiente tramo, el D-E, la rigidez permaneció constante y a partir del punto D, ésta fue muy variable debido al avance de la grieta. La carga máxima alcanzada fue 2200 N (punto E).

La evolución del ensayo fue la siguiente:

1. 1555 N: Se detectó una grieta en el lado de las bandas 1 y 2. La grieta avanzó en la dirección del eje x (figura 3.6) hacia el centro de la probeta.
2. 2155 N: El frente de grieta alcanzó la zona central de la probeta.
3. 1700 N: Se produjo el fallo de la probeta.

En la figura 4.41 se puede ver un esquema del avance de la grieta.

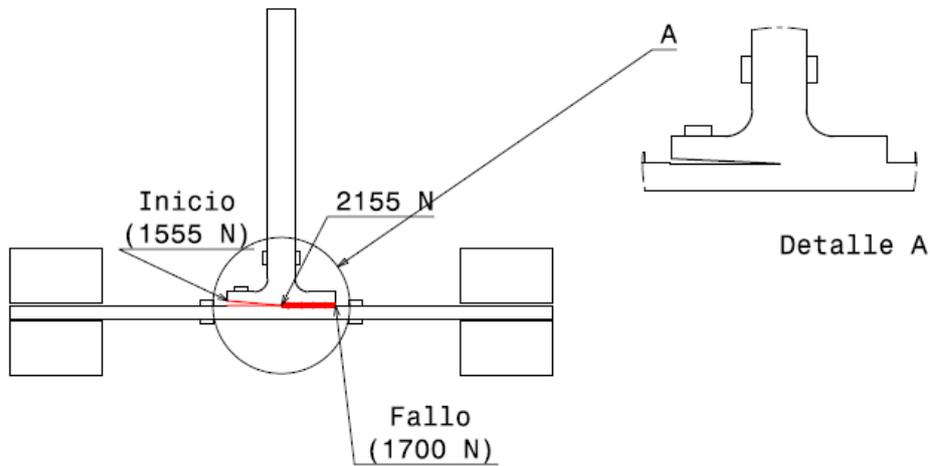


Fig.4.41. Esquema del avance de la grieta

En este ensayo no se tomaron datos sobre la evolución de la grieta.

Una vez finalizado el ensayo, se estudió el aspecto de la zona de rotura que se presenta en las figuras 4.42, 4.43 y 4.44.

En la figura 4.42 se observa que el aspecto de la zona de rotura de esta probeta es igual a las probetas anteriores. Se observan zonas donde la rotura es adhesiva (2) y otras con delaminaciones (1), como en el caso anterior. También se produce una rotura en diagonal de la capa superior de la piel.

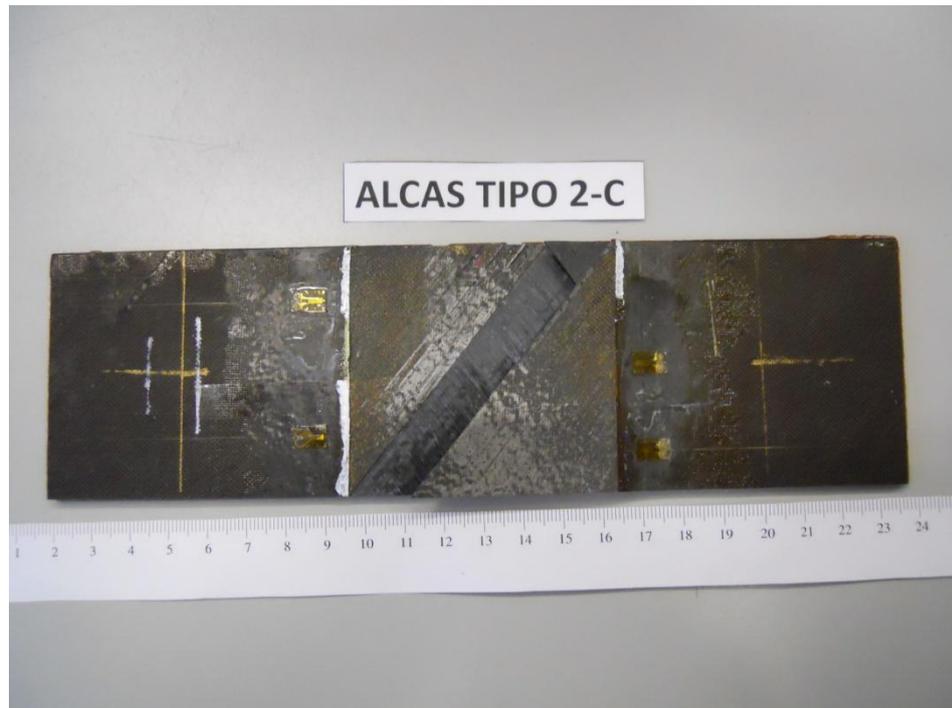


Fig.4.42. Vista general de la piel tras la rotura

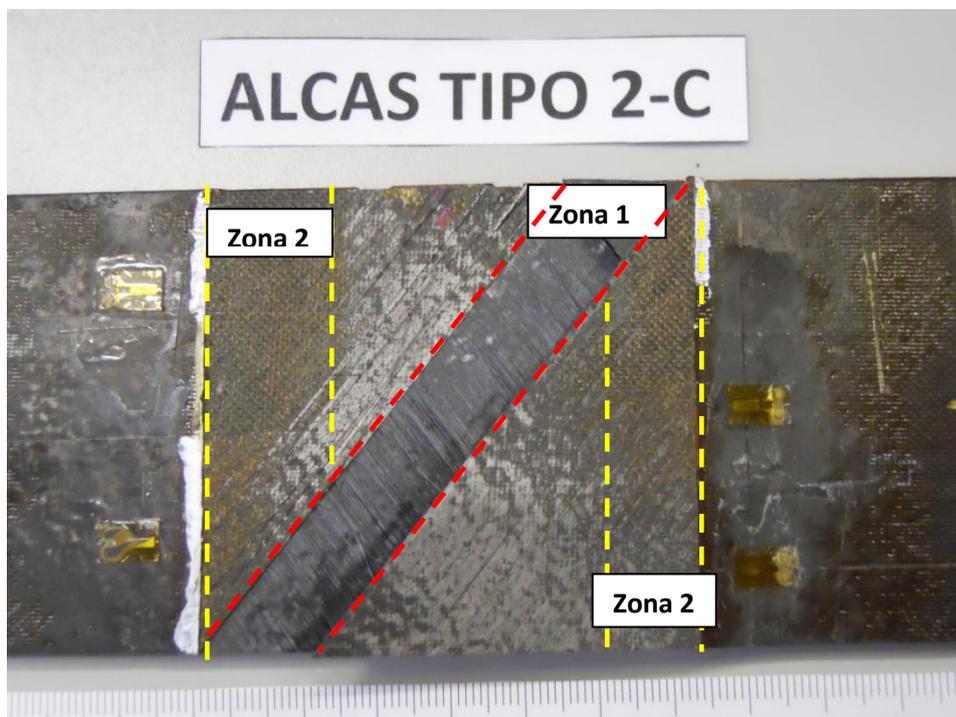


Fig.4.43. Vista de la zona de unión de la piel tras la rotura.

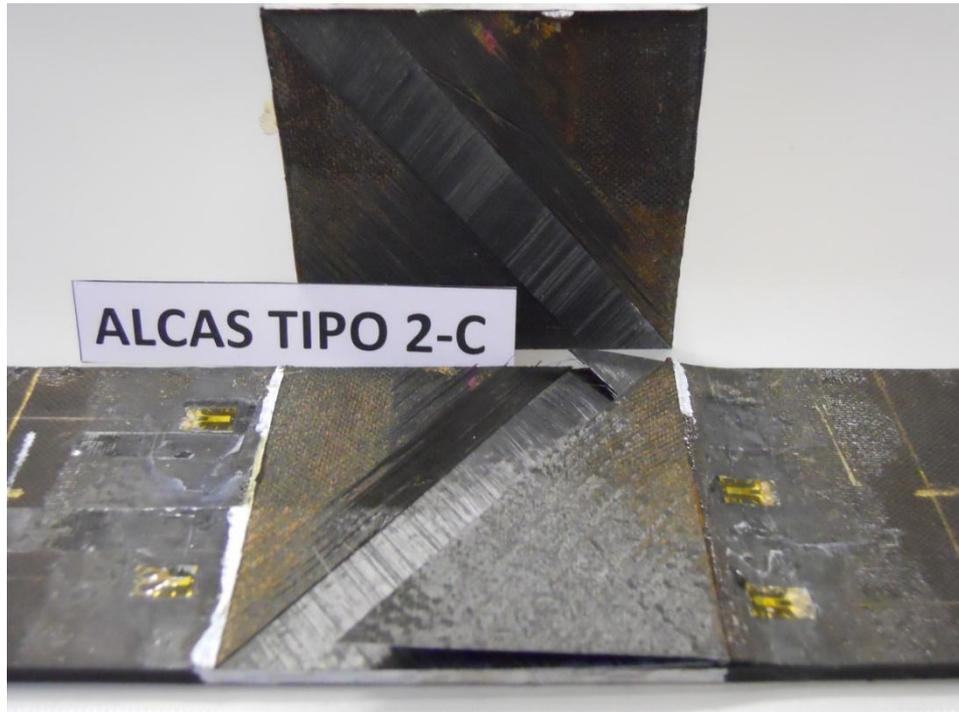


Fig.4.44.Vista general de la probeta tras la rotura

Esta probeta estaba monitorizada con todas las bandas extensométricas presentes en la figura 3.6.

En las figuras 4.45 y 4.46 se presentan los registros de las bandas extensométricas 6 y 7 y las deformaciones de flexión de éstas.

Nótese que se ha representado en el eje de ordenadas la carga por unidad de ancho expresado en N/mm para facilitar la comparación entre diferentes probetas. El ancho de esta probeta en concreto era 57,99 mm.

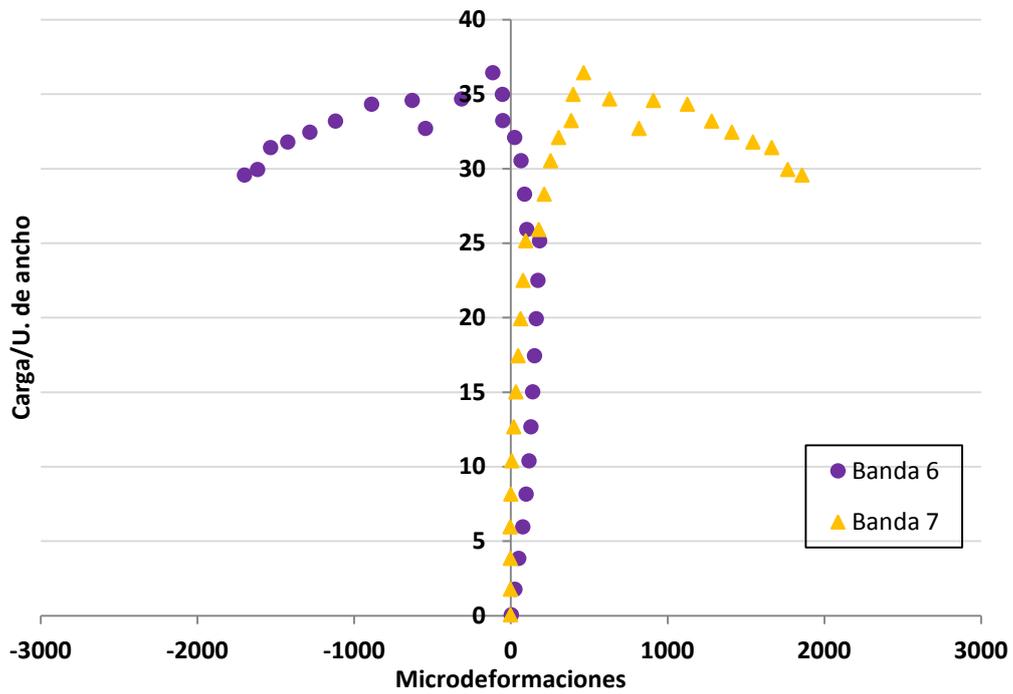


Fig.4.45. Medidas de las Bandas Extensométricas 6 y 7 durante el Ensayo 1.

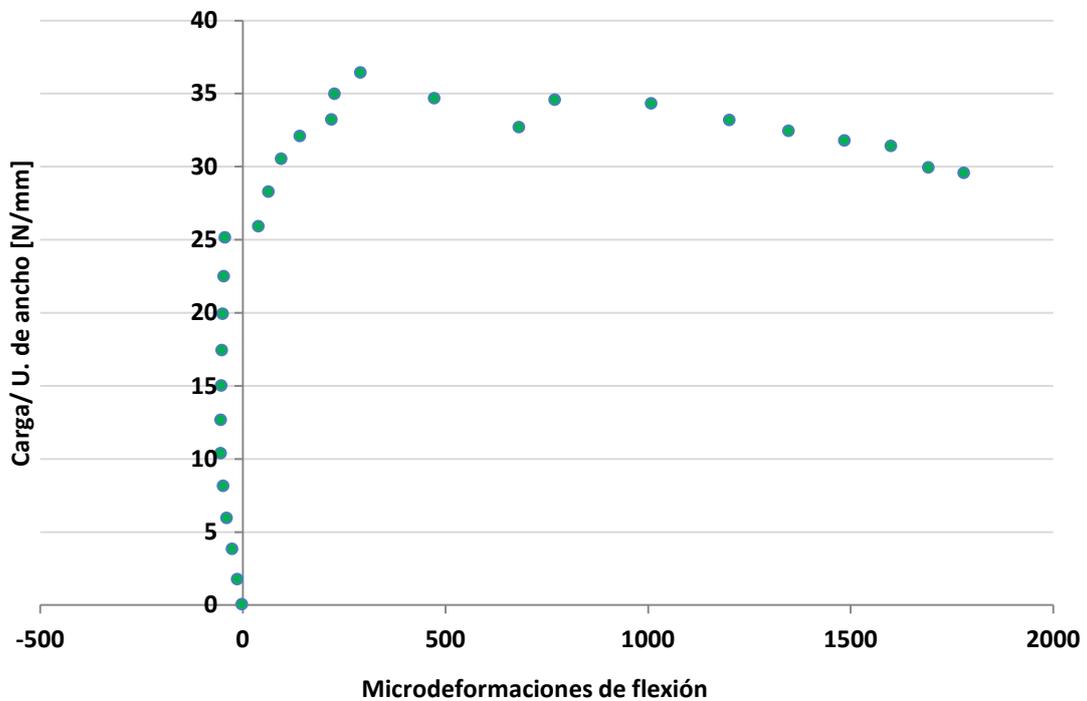


Fig.4.46. Deformaciones de flexión de las Bandas Extensométricas 6 y 7 durante el Ensayo 1.

La figura 4.45 muestra la evolución de las deformaciones registradas por las bandas 6 y 7, situadas en el alma del rigidizador. En ella se observa que las deformaciones fueron muy parecidas hasta la aparición de la grieta. Además hubo poca diferencia entre los registros de las bandas 6 y 7 y por tanto, un buen centrado del “roving” en esta probeta.

En la figura 4.46 se observa que las deformaciones de flexión fueron muy pequeñas hasta la aparición de la grieta en la probeta y luego crecieron debido a que los registros de las bandas 6 y 7 se separaron.

En las figuras 4.47 y 4.48 se presentan los registros de las demás bandas extensométricas presentes en el ensayo y las deformaciones de flexión de éstas.

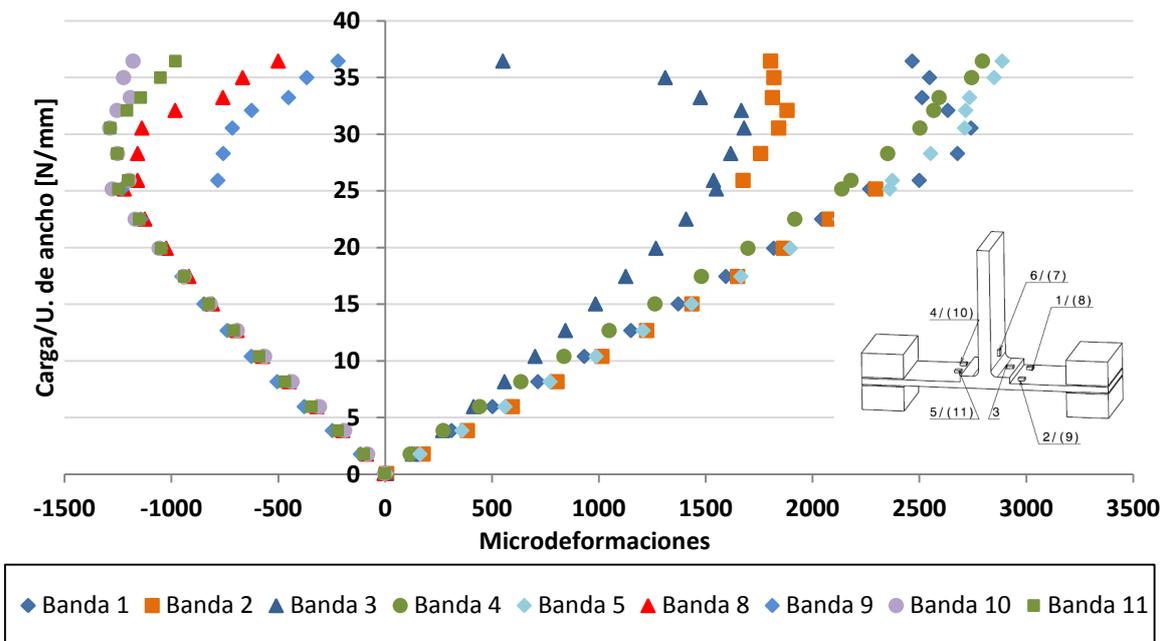


Fig.4.47. Medidas de las Bandas Extensométricas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 11 durante el Ensayo 1.

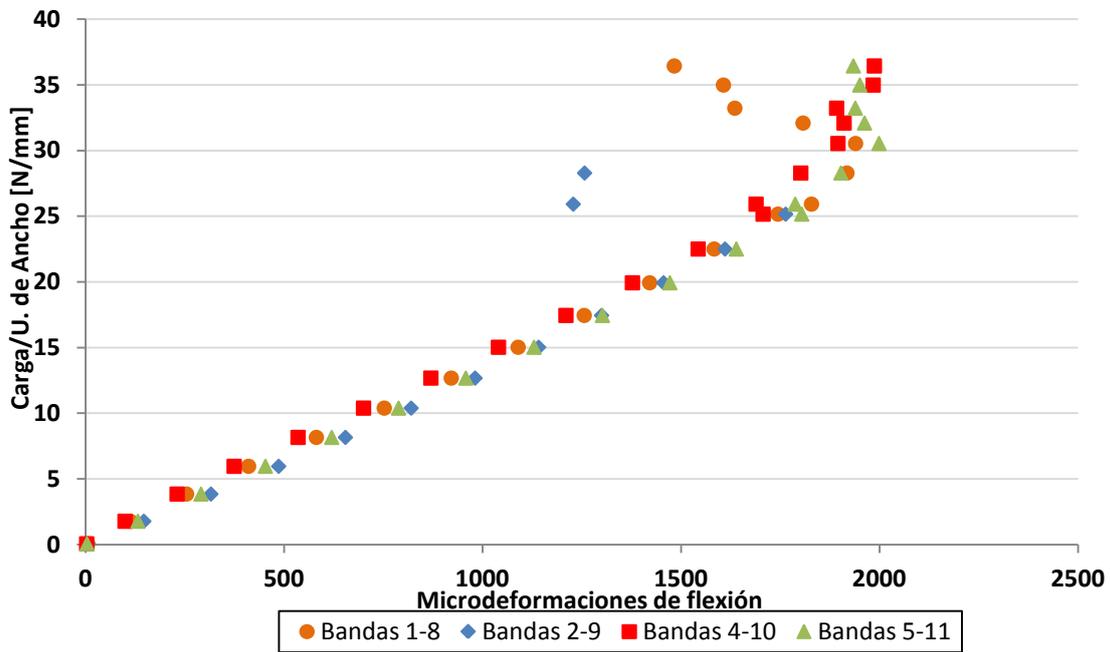


Fig.4.48. Deformaciones de flexión de los pares de Bandas Extensométricas 1-8, 2-9, 4-10 y 5-11 durante el Ensayo 1.

En la figura 4.47 se aprecia cierta simetría entre los registros tomados por la banda extensométrica en la parte superior de la probeta (tracción) y los registros tomados por la banda extensométrica en la parte inferior (compresión) aunque siempre los registros de tracción fueron mayores que los de compresión.

También se puede observar que las medidas de las bandas 1, 2, 4 y 5 fueron similares entre sí. Este parecido se repite para el caso de las bandas 8, 9, 10 y 11.

En la figura 4.48 se observa que las deformaciones a flexión fueron muy similares en todos los pares de bandas durante casi todo el ensayo.

4.3.- Ensayos de probetas tipo GERM:

4.3.1.-Ensayo de probeta GERM G1-A (Ensayo 9):

En la figura 4.49 se puede ver la evolución de la carga a lo largo del ensayo.

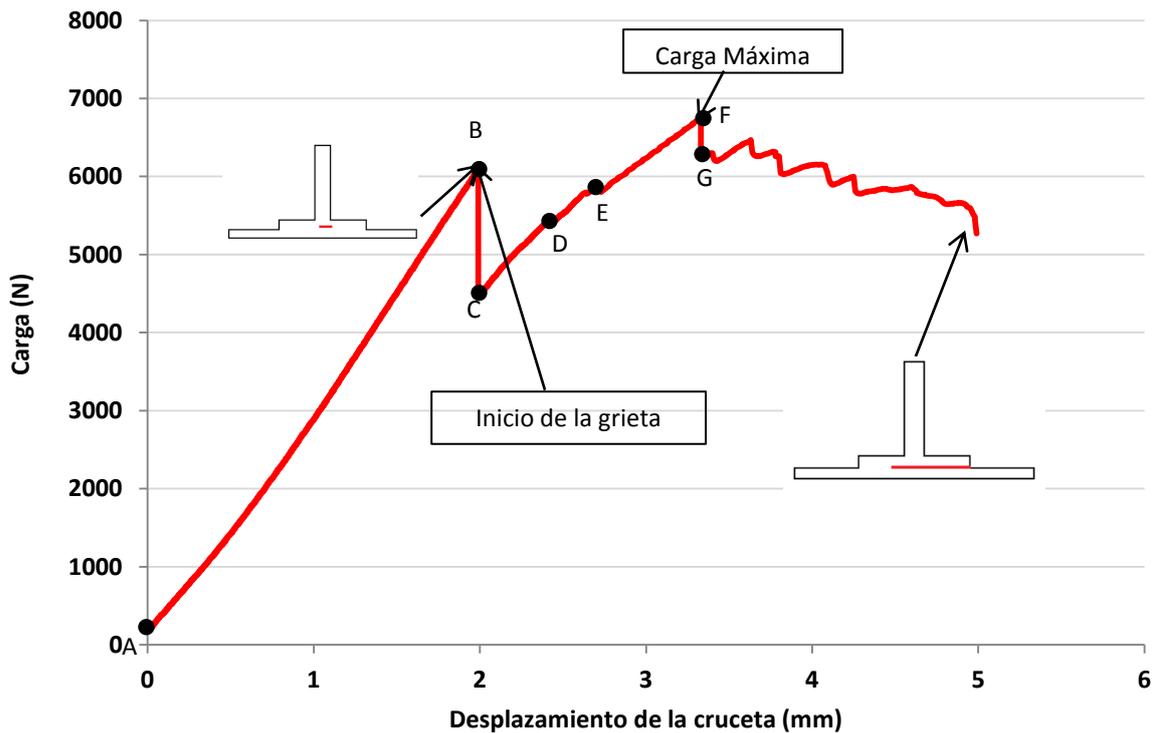


Fig.4.49.Evolución de la carga durante el Ensayo 9.

En la figura 4.49 se observa que la carga creció de forma uniforme manteniéndose la rigidez constante (tramo A-B) hasta que apareció la grieta en la parte central de la probeta (punto B). Después, la carga disminuyó (tramo B-C), lo que se asoció a la propagación de la grieta. Después se observan tres tramos de rigidez constante (C-D, D-E y E-F) en los que la carga sigue aumentando. La diferencia de rigidez entre estos tramos se debe a la propagación del daño. En F se llega a la carga máxima (6740 N) y después se produce una bajada de ésta (tramo F-G) asociada a una nueva propagación del daño. A partir del punto G, la carga muestra oscilaciones hasta el fallo.

La evolución del ensayo fue la siguiente:

1. 6000 N: Se detectó una grieta en el centro de la probeta. La grieta avanzó en la dirección del eje y (figura 3.7) hacia los dos lados de la

probeta aunque la propagación fue más rápida por el lado de las bandas 1 y 2.

2. 5270 N: Se produjo el fallo de la probeta.

En la figura 4.50 se puede ver un esquema del avance de la grieta.

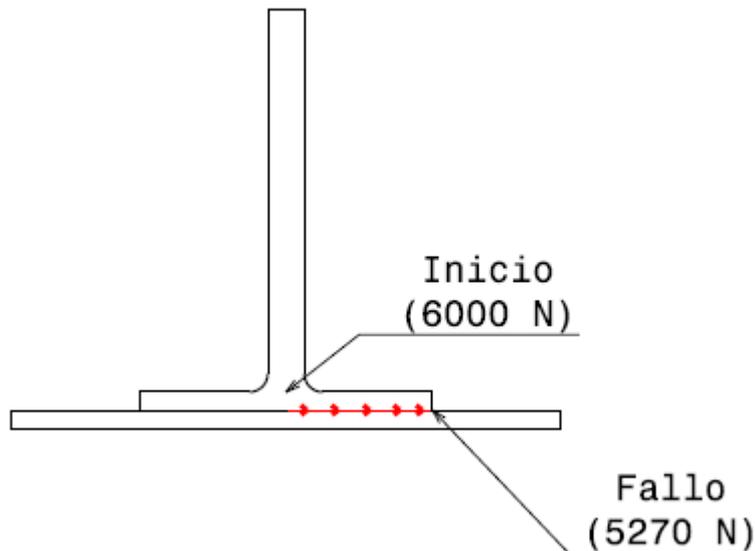


Fig.4.50. Esquema del avance de la grieta.

En este ensayo no se tomaron datos sobre la evolución de la grieta.

Una vez finalizado el ensayo, se estudió el aspecto de la zona de rotura que se presenta en las figuras 4.51, 4.52 y 4.53.

En la figura 4.52 se observa que no existen zonas con diferentes modos de fallo en la probeta como en el caso de las probetas tipo ALCAS. En este caso aparecen delaminaciones por toda la zona de unión de piel y rigidizador aunque son más numerosas en los laterales de la zona de unión que en la parte central.

También se puede ver que una esquina de la última capa de la piel se ha despegado y ha quedado adherida al rigidizador (A).



Fig. 4.51. Vista de la piel tras la rotura.

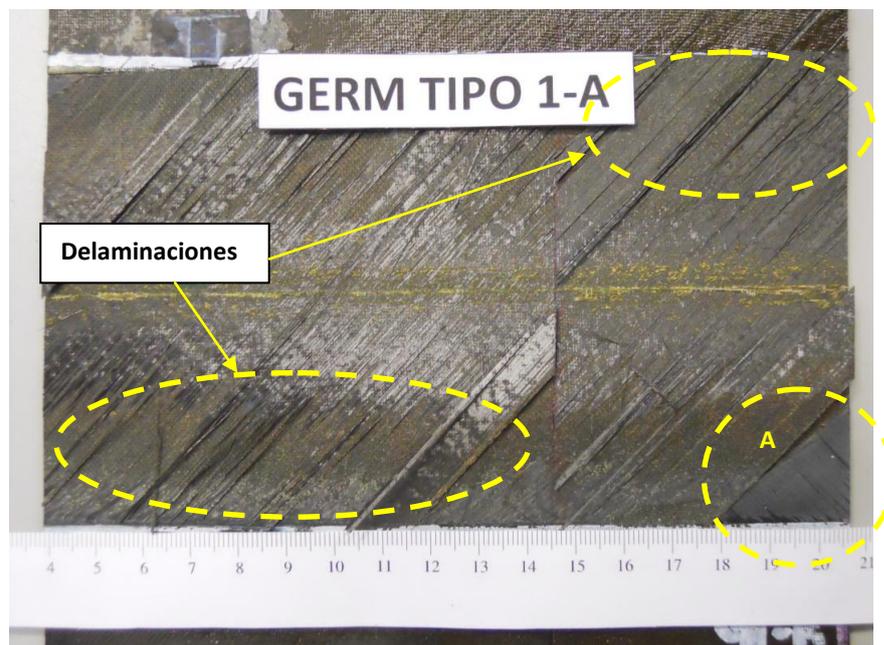


Fig.4.52. Vista de la zona de unión de la probeta tras la rotura.

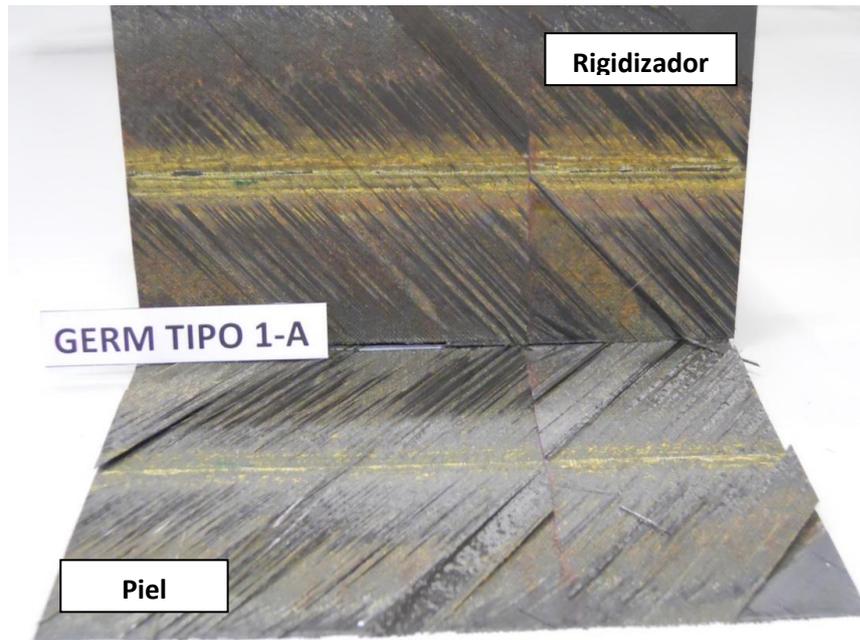


Fig.4.53. Vista de la piel y el rigidizador tras la rotura.

Esta probeta estaba monitorizada con las bandas extensométricas 1, 4, 6, 7,8 y 10 presentes en la figura 3.7 aunque después, en el análisis posterior se detectó que la banda 10 no funcionó bien.

En las figuras 4.54 y 4.55 se presentan los registros de las bandas extensométricas 6 y 7 y las deformaciones de flexión de éstas.

Nótese que se ha representado en el eje de ordenadas la carga por unidad de ancho expresado en N/mm para facilitar la comparación entre diferentes probetas. El ancho de esta probeta en concreto era 152,94 mm.

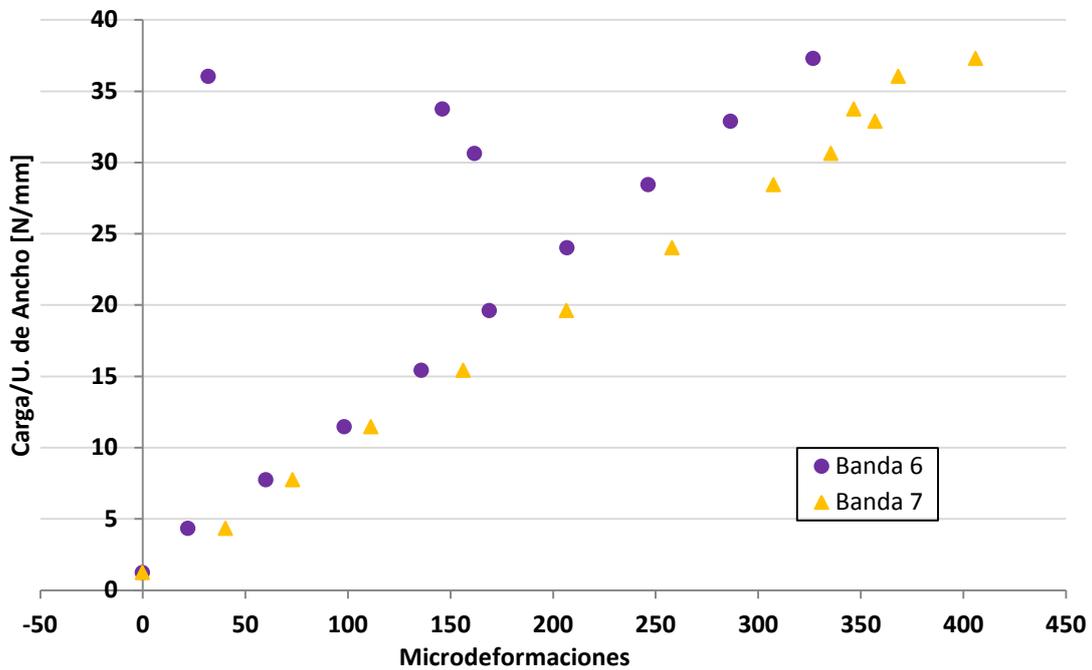


Fig.4.54. Medidas de las Bandas Extensométricas 6 y 7 durante el Ensayo 9.

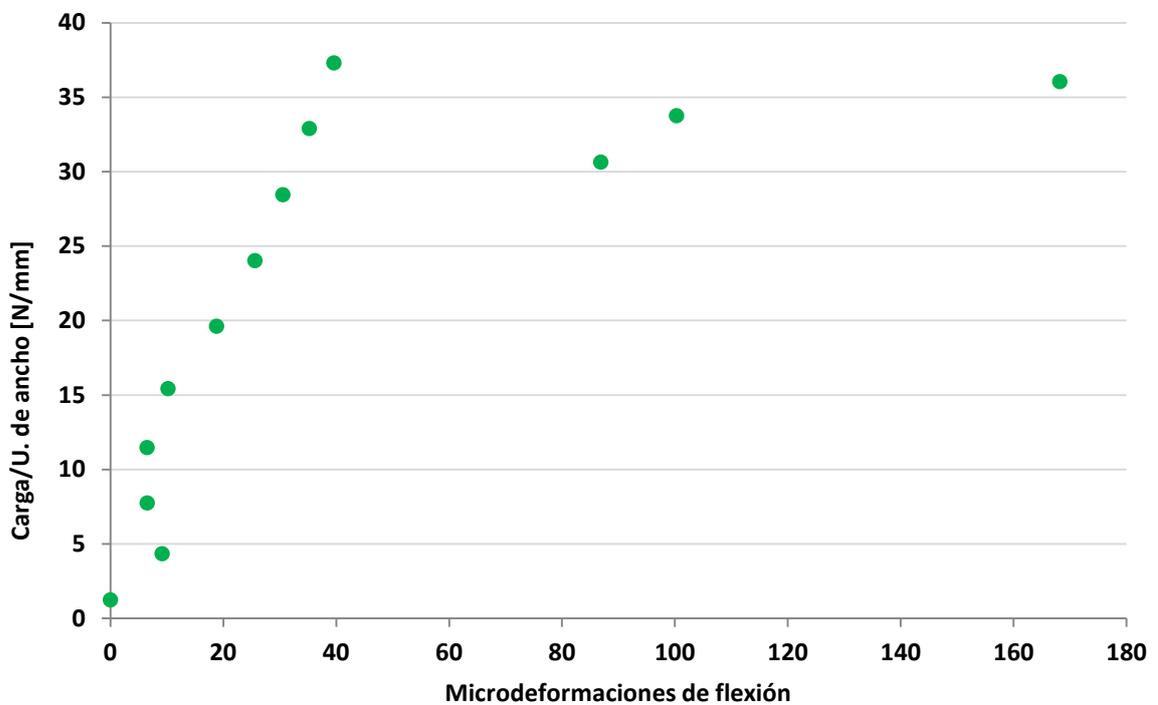


Fig.4.55. Deformaciones de flexión de las Bandas Extensométricas 6 y 7 durante el Ensayo 9.

La figura 4.54 muestra la evolución de las deformaciones registradas por las bandas 6 y 7, situadas en el alma del rigidizador. En ella se observa que las medidas tomadas por estas bandas son similares durante todo el ensayo a excepción de la fase final de éste.

Consecuentemente, en la figura 4.55 se observa que las deformaciones de flexión fueron muy pequeñas salvo en la última parte del ensayo como se ha comentado anteriormente.

En las figuras 4.56 y 4.57 se presentan los registros de las demás bandas extensométricas presentes en el ensayo y las deformaciones de flexión de éstas.

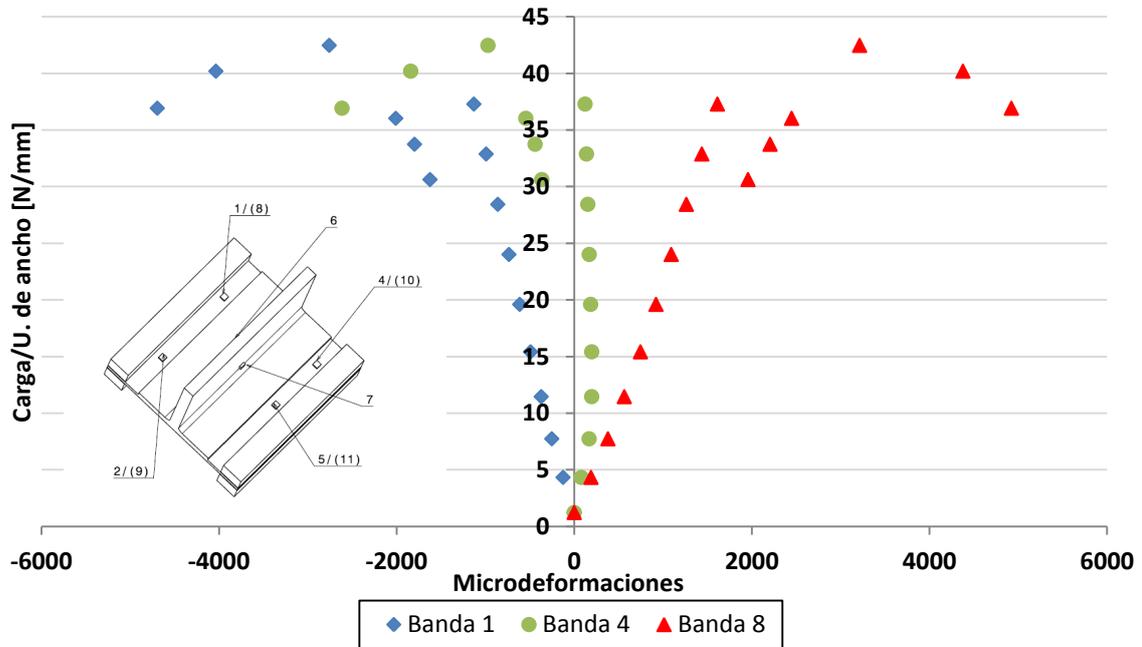


Fig.4.56. Medidas de las Bandas Extensométricas 1, 4 y 8 durante el Ensayo 9.

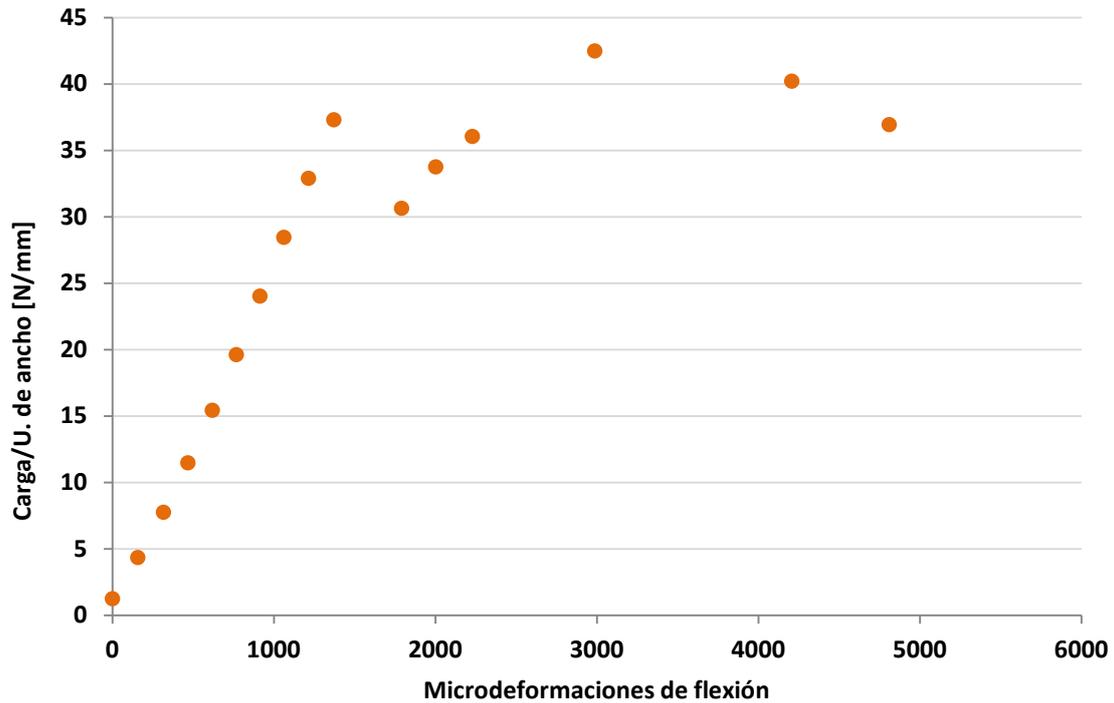


Fig.4.57.Deformaciones de flexión de los pares de Bandas Extensométricas 1-8 durante el Ensayo 9.

En la figura 4.56 se aprecia cierta simetría entre los registros tomados por la banda extensométrica en la parte superior de la probeta (tracción) y los registros tomados por la banda extensométrica en la parte inferior (compresión) aunque siempre los registros de tracción fueron mayores que los de compresión.

En este caso se puede ver que el máximo de microdeformaciones se alcanza al final del ensayo para todas las bandas.

En la figura 4.57 se observa que las deformaciones a flexión crecieron de forma lineal durante casi todo el ensayo. El comportamiento lineal se perdió al final del ensayo, antes de la rotura.

4.3.2.-Ensayo de probeta GERM G1-B (Ensayo 7):

En la figura 4.58 se puede ver la evolución de la carga a lo largo del ensayo.

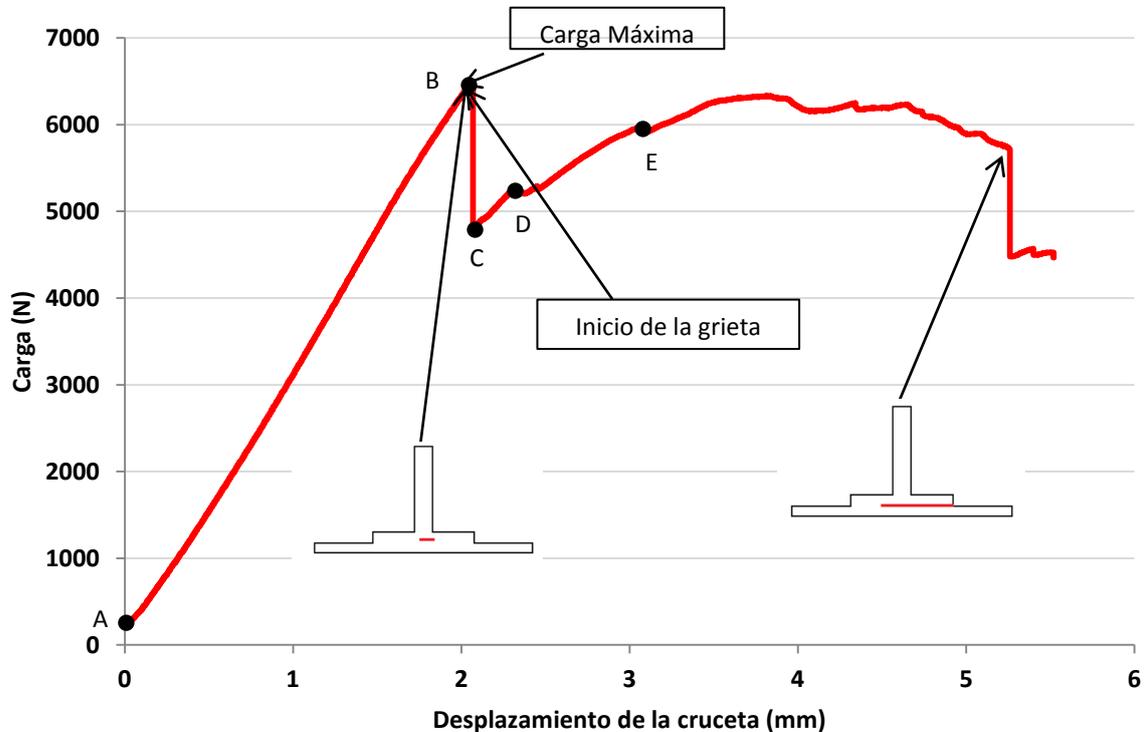


Fig.4.58.Evolución de la carga durante el Ensayo 7.

En la figura 4.58 se observa que la carga creció manteniéndose la rigidez constante hasta la aparición de la grieta (tramo A-B) a los 6500 N (punto B). Después la carga disminuyó (tramo B-C) debido a la propagación de la grieta. Se observan luego dos tramos de rigidez constante (C-D y D-E). A partir del punto E se producen más variaciones de la rigidez debido a la propagación de la grieta. El fallo se produjo para 5720N.

La evolución del ensayo fue la siguiente:

1. 6500 N: Se detectó una grieta en el centro de la probeta. La grieta avanzó en la dirección del eje y (figura 3.7) hacia los dos lados de la probeta aunque la propagación fue más rápida por el lado de las bandas 1 y 2.
2. 5720 N: Se produjo el fallo de la probeta.

En la figura 4.59 se puede ver un esquema del avance de la grieta.

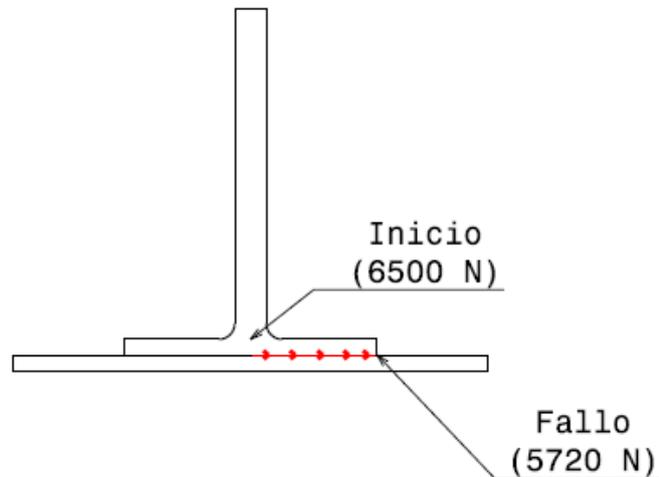


Fig.4.59. Esquema del avance de la grieta.

En este ensayo no se tomaron datos sobre la evolución de la grieta.

Una vez finalizado el ensayo, se estudió el aspecto de la zona de rotura que se presenta en las figuras 4.60, 4.61 y 4.62.

En la figura 4.61 se observa que el aspecto de la zona de rotura fue muy similar a la probeta anterior ya que en la zona de unión vuelven a coexistir fallos adhesivos con delaminaciones de forma uniforme.

Sin embargo, se observa que en el caso de esta probeta las delaminaciones fueron más numerosas especialmente en el lado de la banda extensométrica 2 (parte izquierda de la foto). En esa misma zona se pueden ver áreas donde la última capa de la piel ha sido arrancada y ha quedado adherida al rigidizador.



Fig. 4.60 .Vista general de la piel tras la rotura

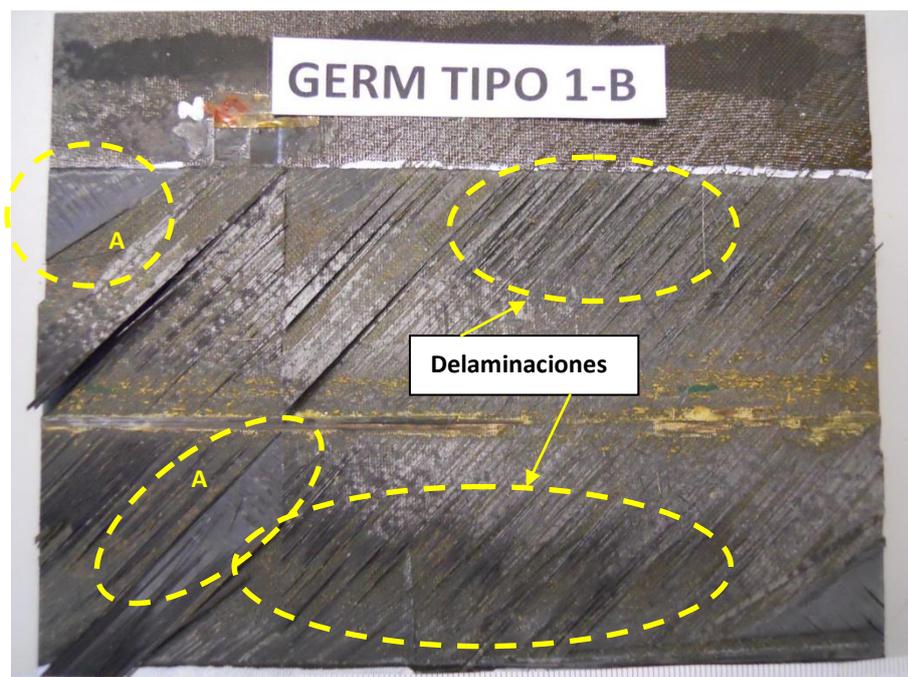


Fig.4.61.Vista de la zona de unión de la piel tras la rotura

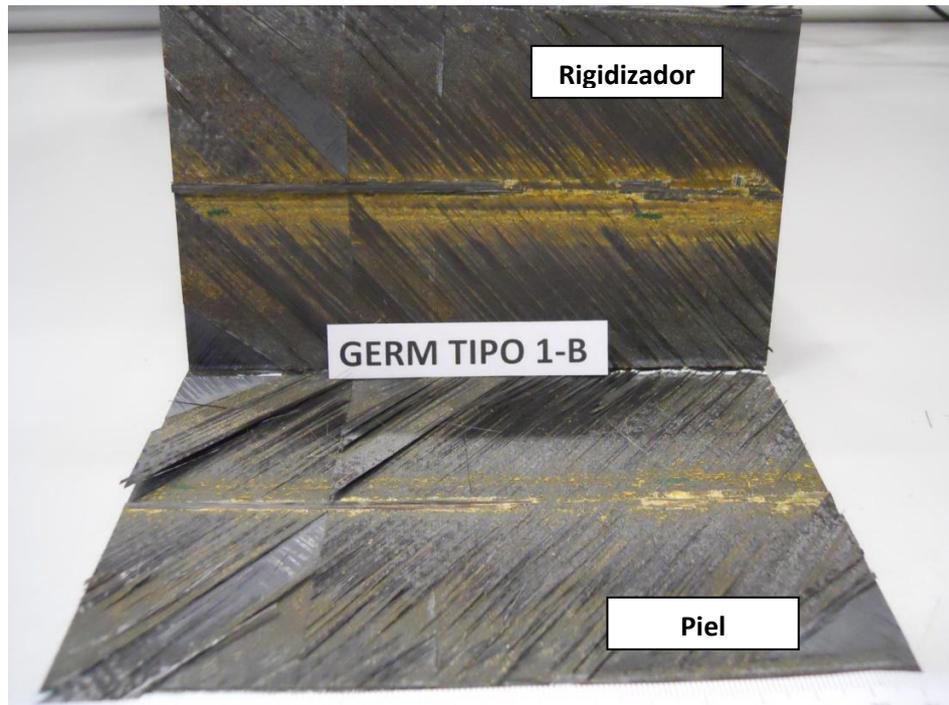


Fig.4.62. Vista de la piel y el rigidizador tras la rotura

Esta probeta estaba monitorizada con las bandas extensométricas 2, 5, 6, 7,9 y 11 presentes en la figura 3.7.

En las figuras 4.63 y 4.64 se presentan los registros de las bandas extensométricas 6 y 7 y las deformaciones de flexión de éstas.

Nótese que se ha representado en el eje de ordenadas la carga por unidad de ancho expresado en N/mm para facilitar la comparación entre diferentes probetas. El ancho de esta probeta en concreto era 148,87 mm.

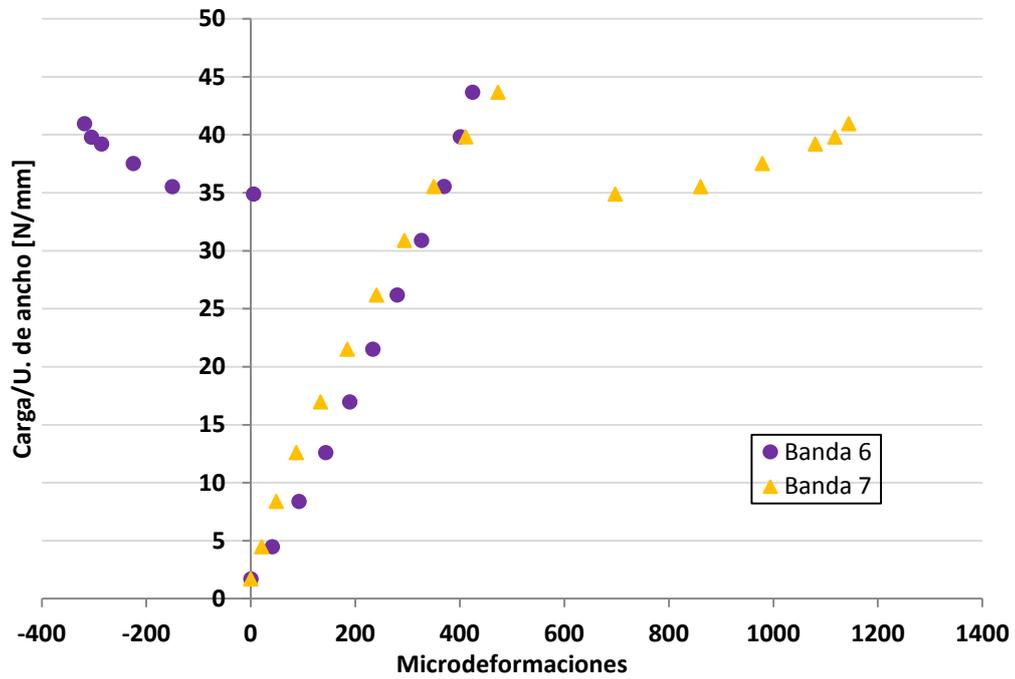


Fig.4.63. Medidas de las Bandas Extensométricas 6 y 7 durante el Ensayo 7.

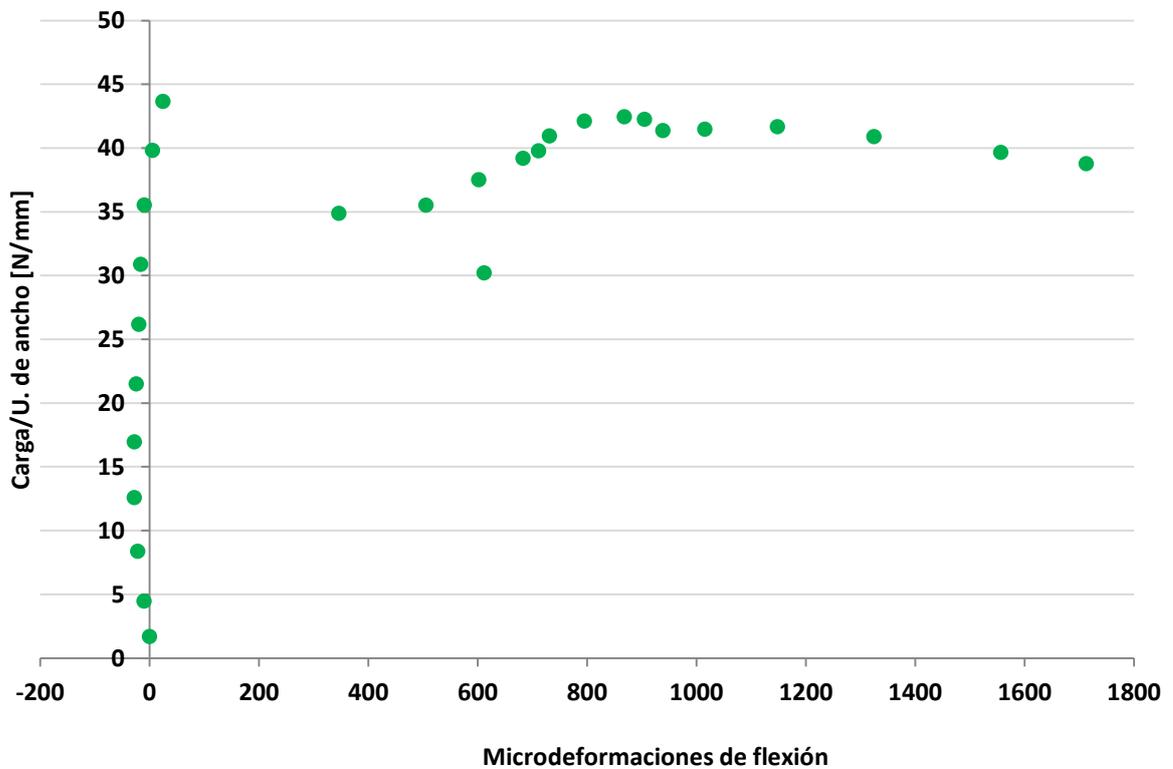


Fig.4.64. Deformaciones de flexión de las Bandas Extensométricas 6 y 7 durante el Ensayo 7.

En la figura 4.63 se observa que los registros de las bandas extensométricas fueron muy parecidos durante casi todo el ensayo. Sólo al final del ensayo se observaron diferencias entre las dos bandas. Este hecho se asocia a un buen centrado del “roving” en esta probeta.

En la figura 4.64, se observa que las deformaciones de flexión son muy pequeñas durante todo el ensayo menos en el final cuando la rotura está muy próxima.

En las figuras 4.65 y 4.66 se presentan los registros de las demás bandas extensométricas presentes en el ensayo y las deformaciones de flexión de éstas.

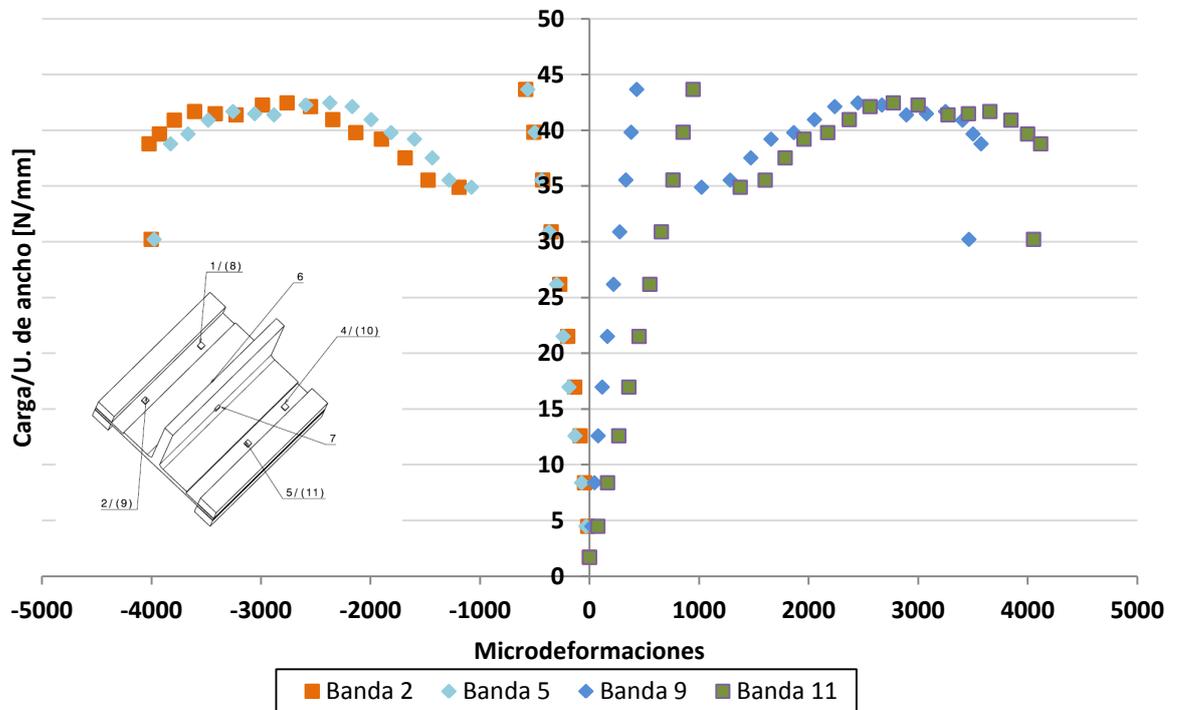


Fig.4.65.Medidas de las Bandas Extensométricas 2, 5, 9 y 11 durante el Ensayo 7.

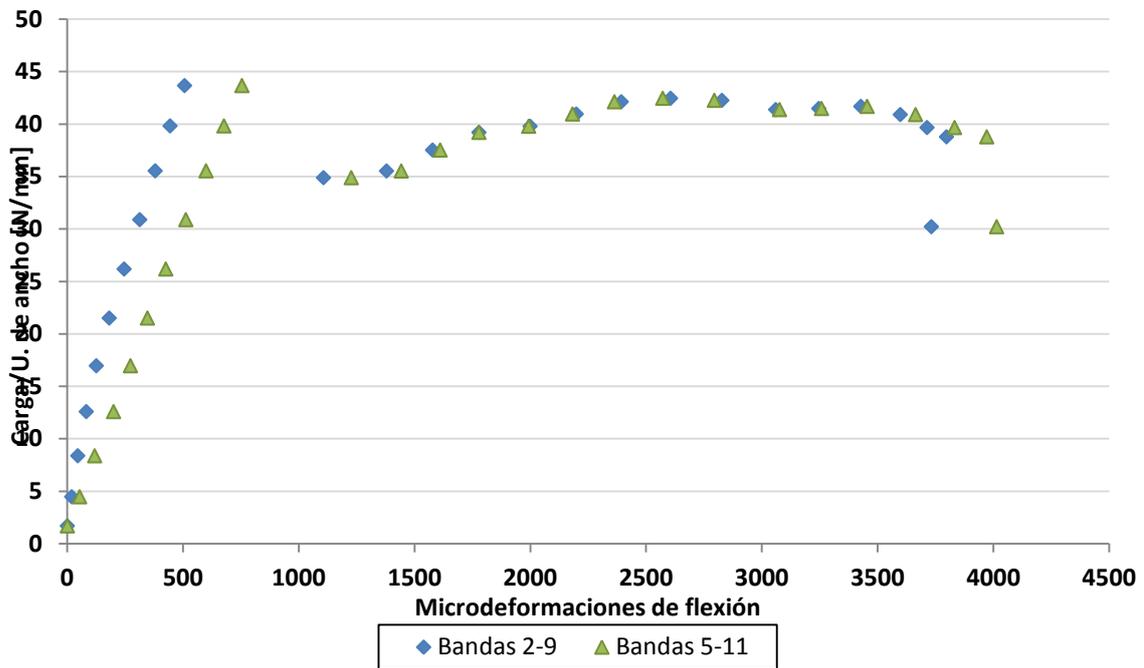


Fig.4.66. Deformaciones de flexión de los pares de Bandas Extensométricas 2-9 y 5-11 durante el Ensayo 7.

En la figura 4.65 se aprecia cierta simetría entre los registros tomados por la banda extensométrica en la parte superior de la probeta (tracción) y los registros tomados por la banda extensométrica en la parte inferior (compresión) aunque siempre los registros de tracción fueron mayores que los de compresión.

En este caso se puede ver que el máximo de microdeformaciones se alcanzó al final del ensayo para todas las bandas. También se observa que los registros de las bandas en tracción fueron muy parecidos entre sí al igual que las bandas en compresión.

En la figura 4.66 se observa que las deformaciones a flexión crecieron de forma lineal hasta el momento de aparición de la grieta. También se observa que los valores registrados por los dos pares de bandas fueron muy similares durante todo el ensayo.

4.3.3.-Ensayo de probeta GERM G2-A (Ensayo 10):

En la figura 4.67 se puede ver la evolución de la carga a lo largo del ensayo.

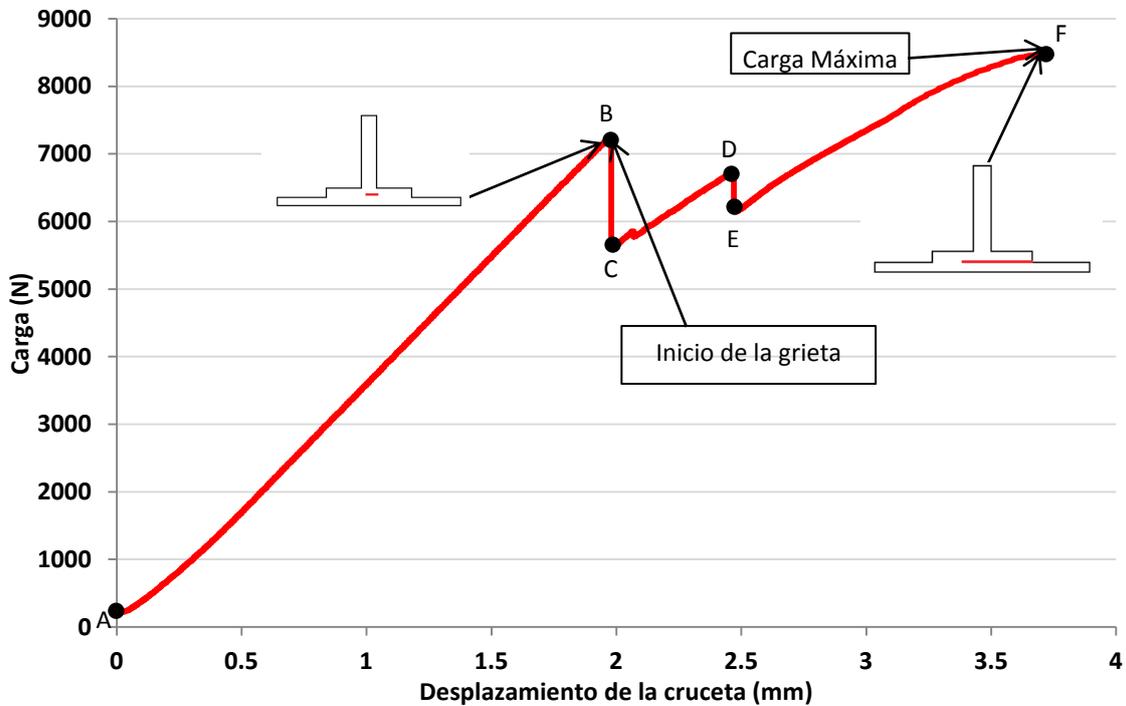


Fig.4.67. Evolución de la carga durante el Ensayo 10.

En la figura 4.67 se muestra la evolución de la carga durante el ensayo y en ella se ve que la carga creció hasta el momento en el que apareció la grieta (7250 N) manteniéndose la rigidez constante (tramo A-B). Después de la aparición de la grieta (punto B) se produjo un descenso de la carga (tramo B-C) asociado a la propagación de ésta. Después de esta propagación aparece otro tramo de rigidez constante (C-D) y luego otra bajada de la carga (tramo D-E) asociada de nuevo a un avance de la grieta. A partir del punto E la carga siguió creciendo hasta que se produjo el fallo en F.

La evolución del ensayo fue la siguiente:

1. 7250 N: Se detectó una grieta en el centro de la probeta. La grieta avanzó en la dirección del eje y (figura 3.7) hacia los dos lados de la probeta aunque la propagación fue más rápida por el lado de las bandas 1 y 2.
2. 8480 N: Se produjo el fallo de la probeta.

En la figura 4.68 se puede ver un esquema del avance de la grieta.

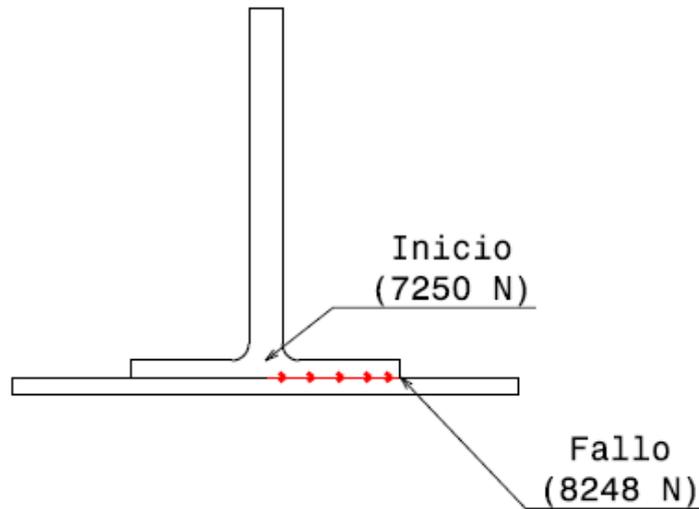


Fig.4.68. Esquema del avance de la grieta.

En este ensayo no se tomaron datos sobre la evolución de la grieta.

Una vez finalizado el ensayo, se estudió el aspecto de la zona de rotura que se presenta en las figuras 4.69, 4.70 y 4.71.

En la figura 4.70 se observa que en esta probeta si se aprecian áreas en las que predominó más un tipo de fallo frente al otro. En concreto, en las siguientes imágenes se observa que en la zona central aparecieron delaminaciones (1) mientras que en las zonas laterales apareció el fallo del adhesivo (2).

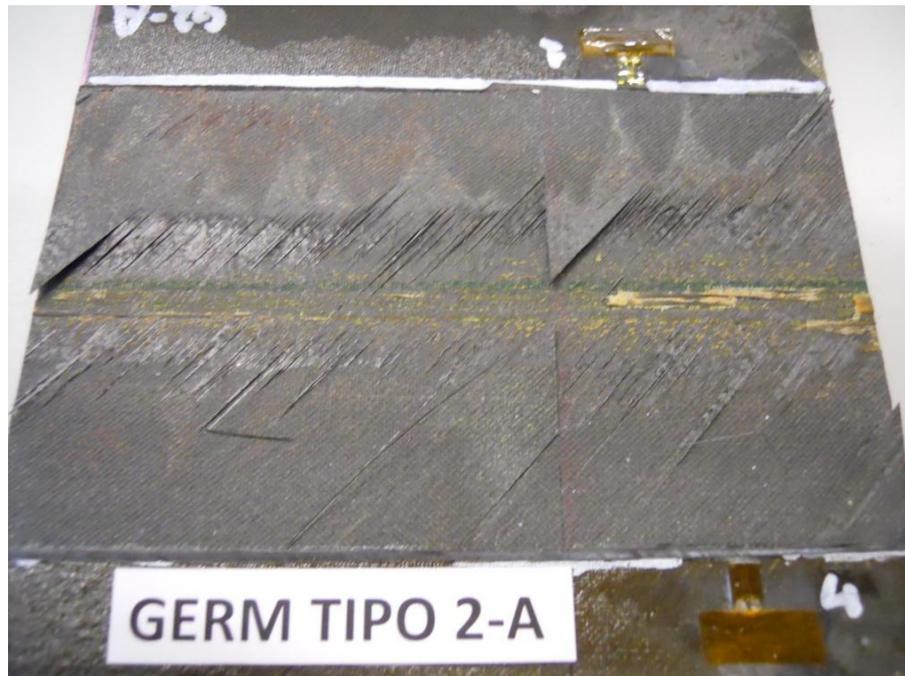


Fig.4.69. Vista general de la piel tras la rotura

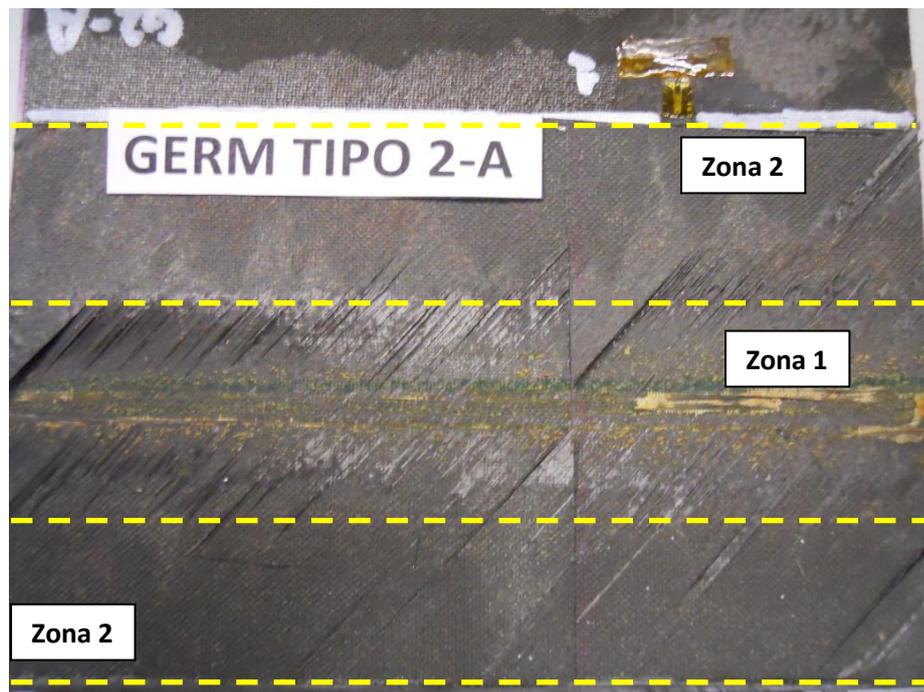


Fig.4.70. Vista de la zona de unión de la piel tras la rotura

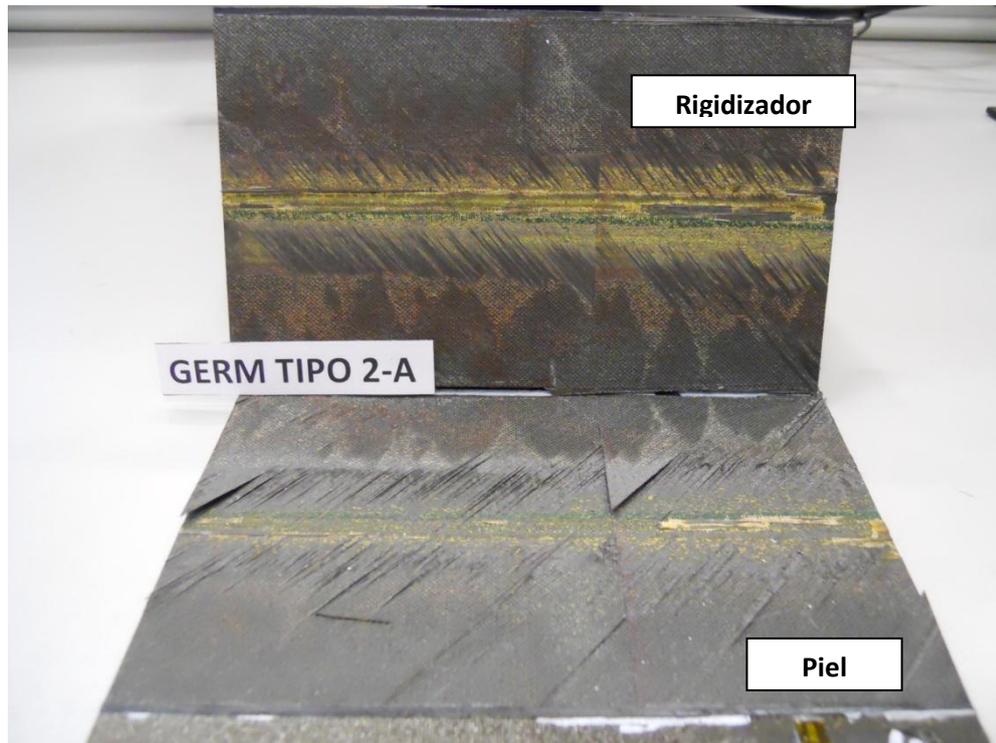


Fig.4.71.Vista de la piel y el rigidizador tras la rotura

Esta probeta estaba monitorizada con las bandas extensométricas 1, 4, 6, 7,8 y 10 presentes en la figura 3.7.

En las figuras 4.72 y 4.73 se presentan los registros de las bandas extensométricas 6 y 7 y las deformaciones de flexión de éstas.

Nótese que se ha representado en el eje de ordenadas la carga por unidad de ancho expresado en N/mm para facilitar la comparación entre diferentes probetas. El ancho de esta probeta en concreto era 148,54 mm.

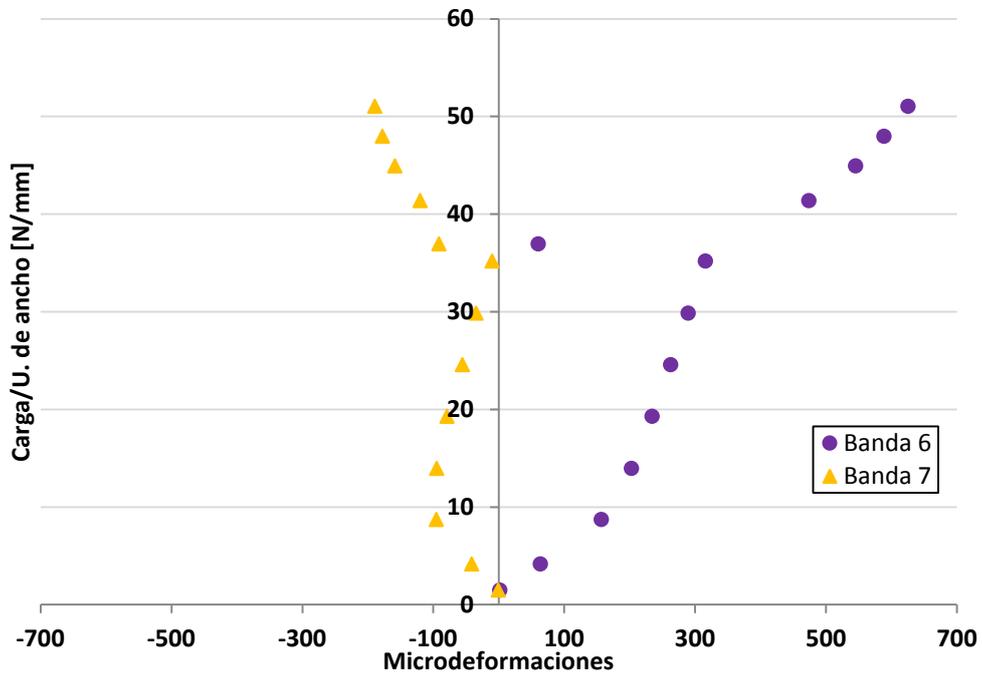


Fig.4.72. Medidas de las Bandas Extensométricas 6 y 7 durante el Ensayo 10

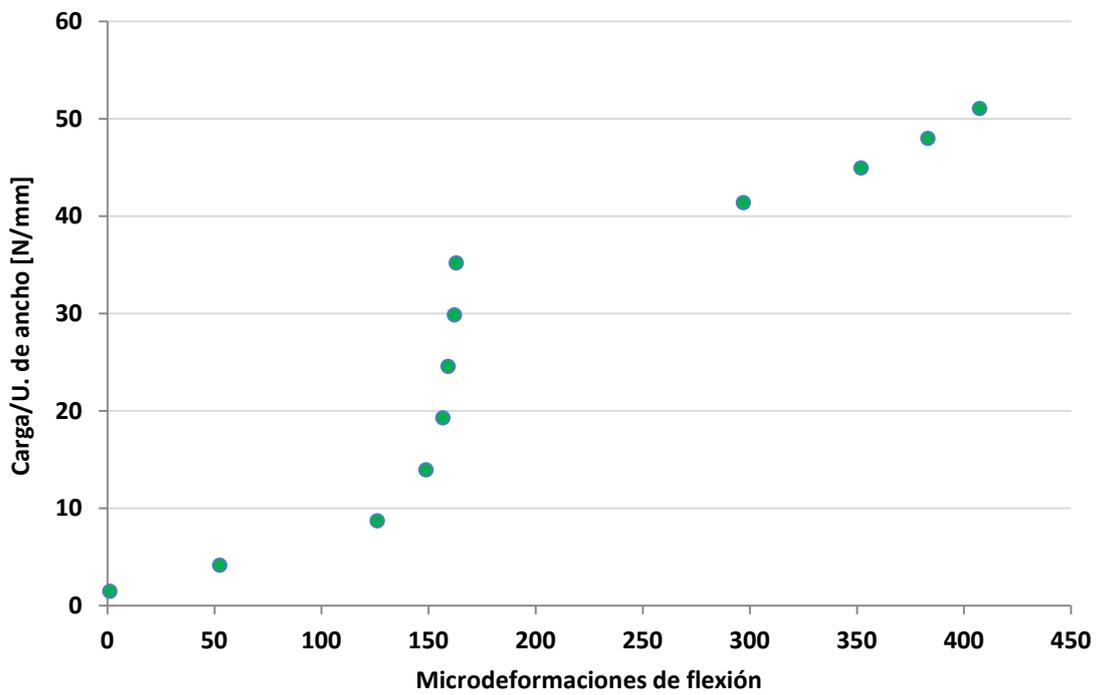


Fig.4.73. Deformaciones de flexión de las Bandas Extensométricas 6 y 7 durante el Ensayo 10.

En la figura 4.72 se pueden leer los registros tomados por las bandas situadas en el alma del rigidizador y en ella se observa que desde el principio del ensayo aparecieron diferencias entre las medidas tomadas por las bandas 6 y 7 lo cual denota un problema de centrado del “roving”.

En la figura 4.73, se observa que las deformaciones de flexión crecieron durante todo el ensayo debido al problema de centrado del “roving” anteriormente mencionado.

En las figuras 4.74 y 4.75 se presentan los registros de las demás bandas extensométricas presentes en el ensayo y las deformaciones de flexión de éstas.

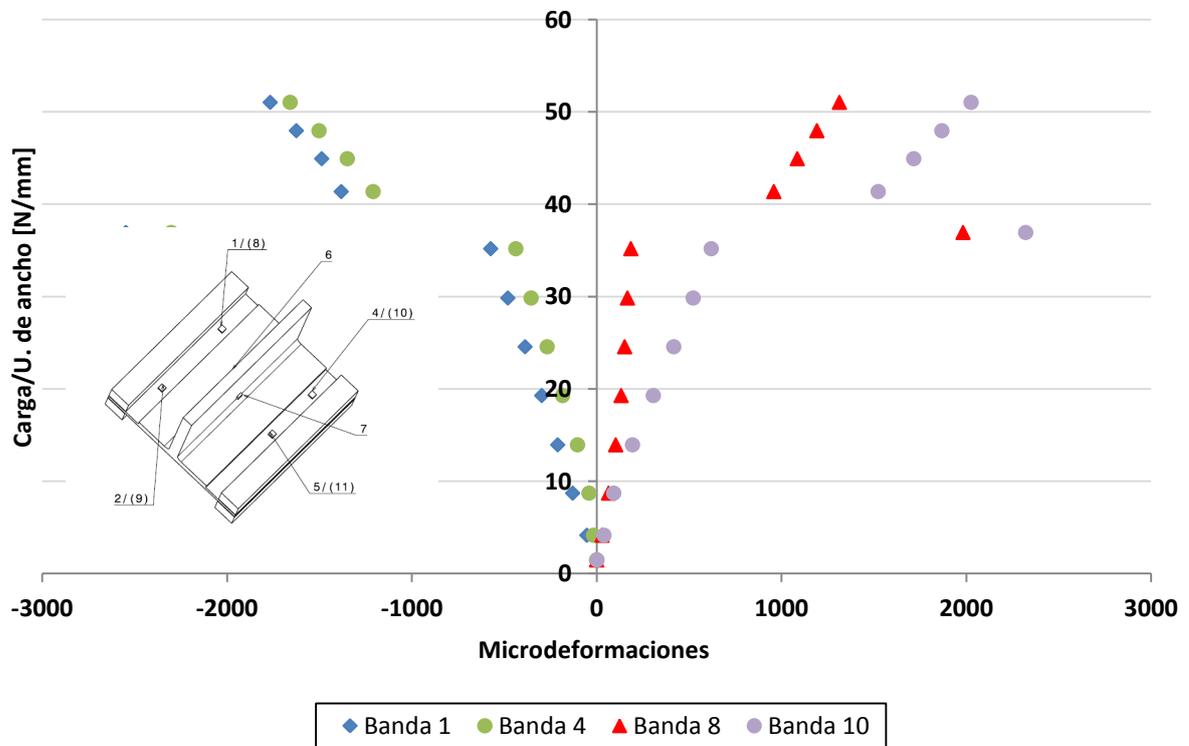


Fig.4.74. Medidas de las Bandas Extensométricas 1, 4, 8 y 10 durante el Ensayo 10

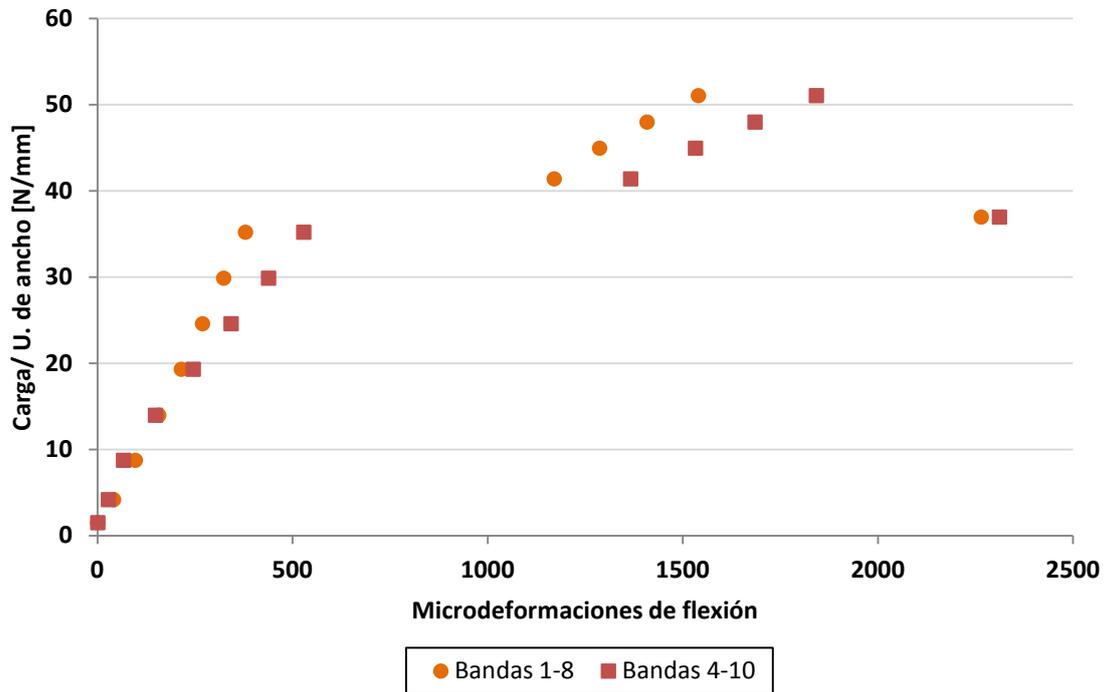


Fig.4.75. Deformaciones de flexión de los pares de Bandas Extensométricas 1-8 y 4-10 durante el Ensayo 10.

En la figura 4.74 se aprecia cierta simetría entre los registros tomados por la banda extensométrica en la parte superior de la probeta (tracción) y los registros tomados por la banda extensométrica en la parte inferior (compresión) aunque siempre los registros de tracción fueron mayores que los de compresión.

En este caso se puede ver que el máximo de microdeformaciones se alcanzó al inicio de propagación de la grieta para todas las bandas. También se observa que los registros de las bandas en tracción fueron similares entre sí al igual que las bandas en compresión.

En la figura 4.75 se observa que las deformaciones a flexión crecieron de forma lineal hasta el momento de aparición de la grieta. También se observa que los valores registrados por los dos pares de bandas fueron muy similares durante todo el ensayo.

4.3.4.-Ensayo de probeta GERM G2-B (Ensayo 8):

En la figura 4.76 se puede ver la evolución de la carga a lo largo del ensayo.

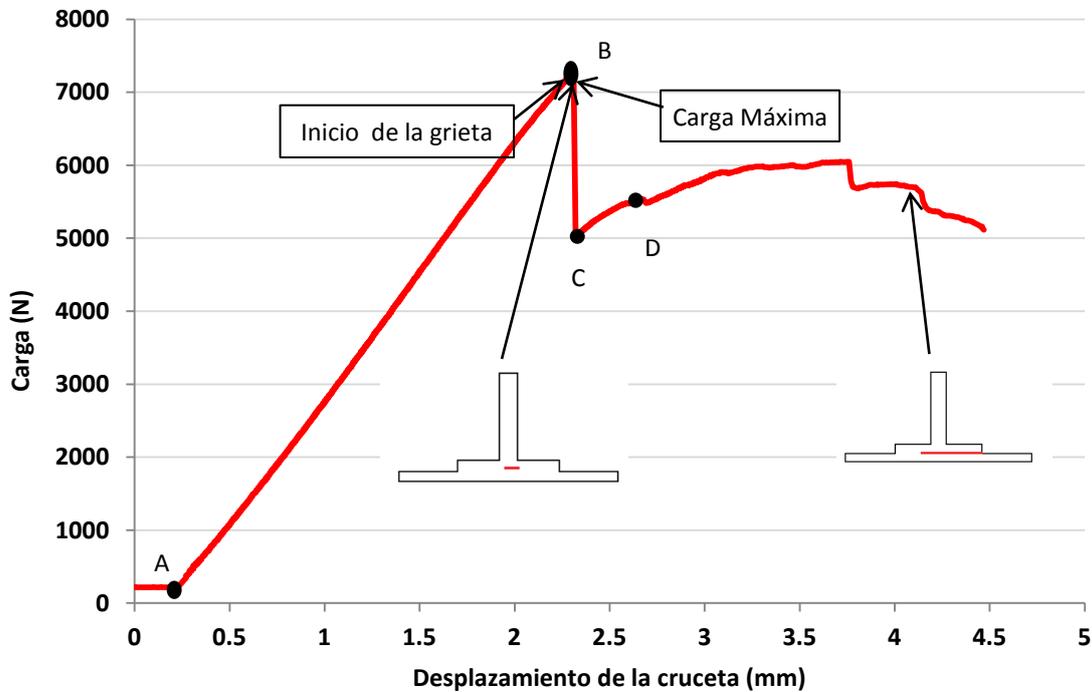


Fig.4.76.Evolución de la carga durante el Ensayo 8.

En la figura 4.76 se observa que al principio del ensayo, cuando no existe daño en la probeta, la carga crece manteniéndose la rigidez constante (tramo A-B). Cuando aparece la grieta (punto B) se produce un gran descenso de la carga (tramo B-C) ya que ésta descendió desde 7275 N a 6000 N. Después de este descenso aparece otro pequeño tramo de rigidez constante (tramo C-D) y a partir del punto D la carga oscila hasta el momento del fallo que se produjo para 5620 N.

La evolución del ensayo fue la siguiente:

1. 7275 N: Se detectó una grieta en el centro de la probeta. La grieta avanzó en la dirección del eje y (figura 3.7) hacia los dos lados de la probeta aunque la propagación fue más rápida por el lado de las bandas 1 y 2.
2. 5620 N: Se produjo el fallo de la probeta.

En la figura 4.77 se puede ver un esquema del avance de la grieta.

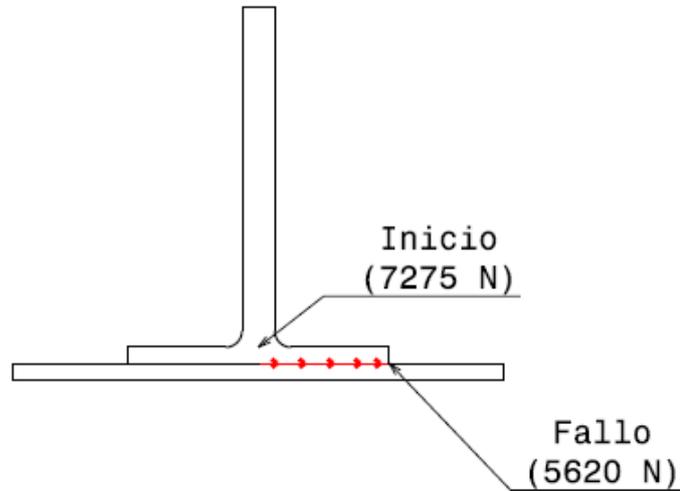


Fig.4.77. Esquema del avance de la grieta

En este ensayo no se tomaron datos sobre la evolución de la grieta.

Una vez finalizado el ensayo, se estudió el aspecto de la zona de rotura que se presenta en las figuras 4.78, 4.79 y 4.80.

En la figura 4.78 se observa que en esta probeta se aprecian zonas en las que predominó más un tipo de fallo frente al otro aunque este caso fue algo diferente al anterior ya que la zona en la que aparecieron delaminaciones (1) llegó hasta un lateral de la zona de unión.



Fig.4.78. Vista general de la piel tras la rotura.

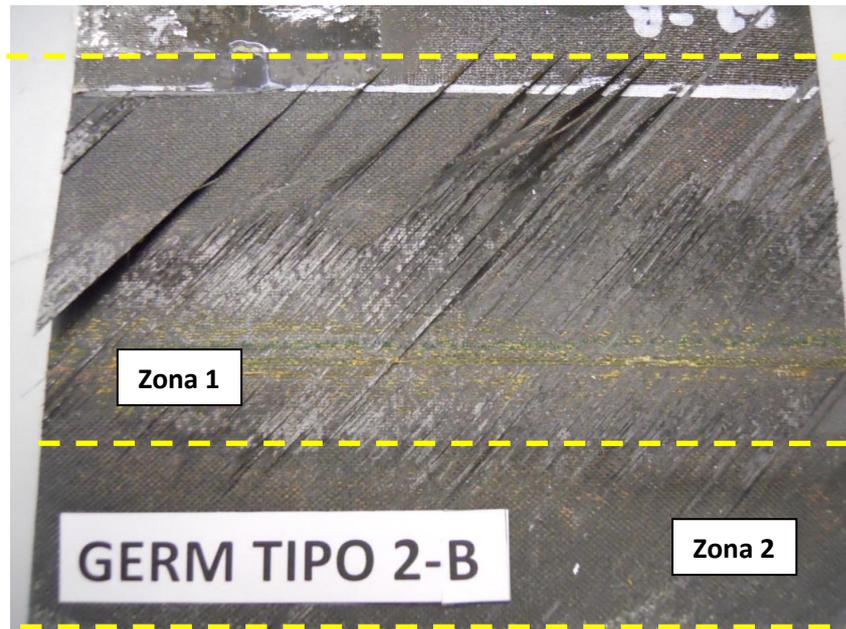


Fig.4.79. Vista de la zona de unión de la piel tras la rotura

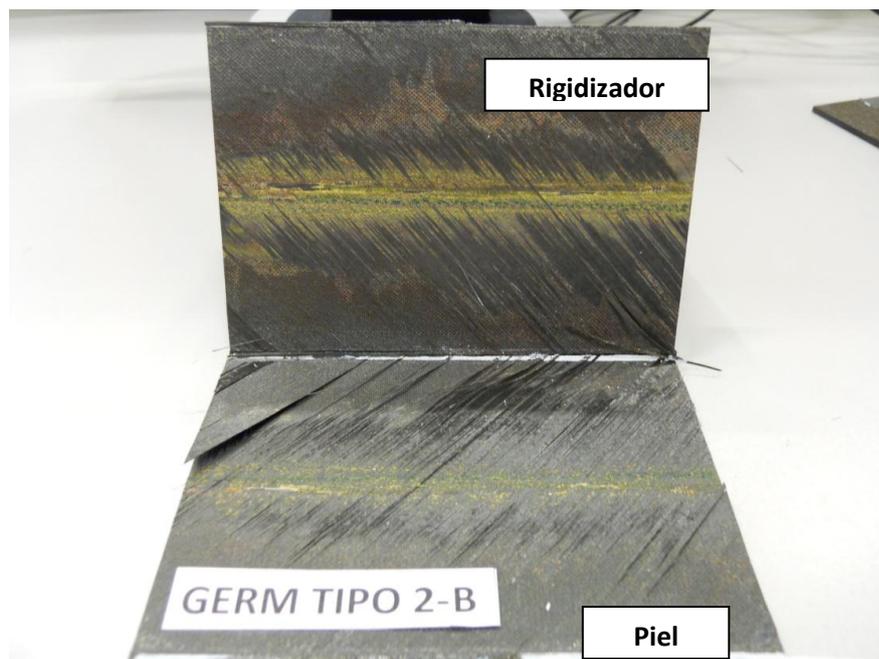


Fig.4.80. Vista de la piel y el rigidizador tras la rotura

Esta probeta estaba monitorizada con las bandas extensométricas 2, 5, 6, 7,9 y 11 presentes en la figura 3.7.

En las figuras 4.81 y 4.82 se presentan los registros de las bandas extensométricas 6 y 7 y las deformaciones de flexión de éstas.

Nótese que se ha representado en el eje de ordenadas la carga por unidad de ancho expresado en N/mm para facilitar la comparación entre diferentes probetas. El ancho de esta probeta en concreto era 133,34 mm.

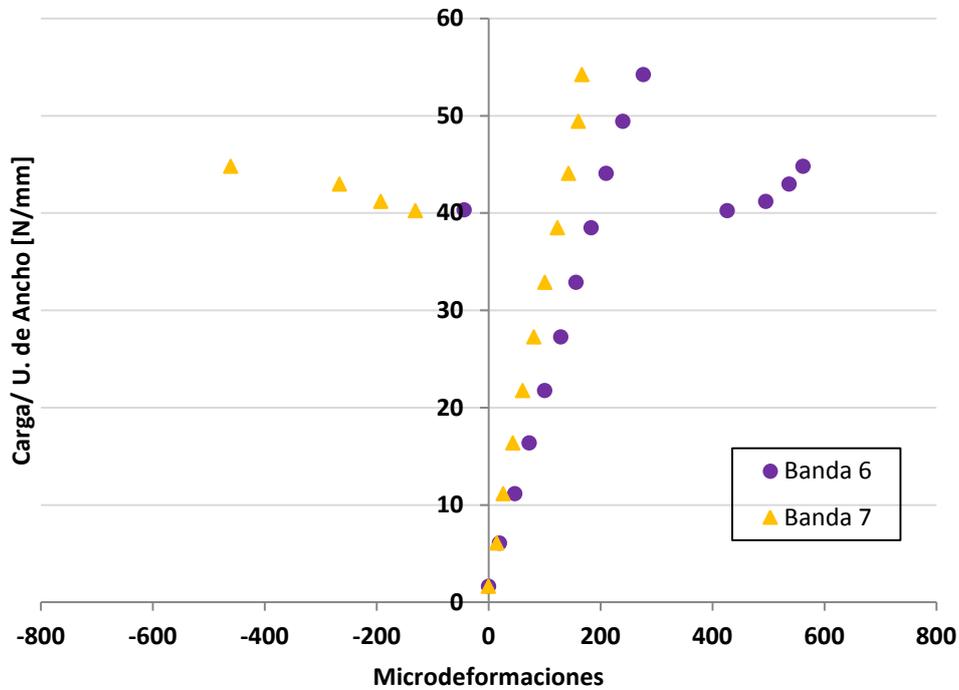


Fig.4.81. Medidas de las Bandas Extensométricas 6 y 7 durante el Ensayo 8.

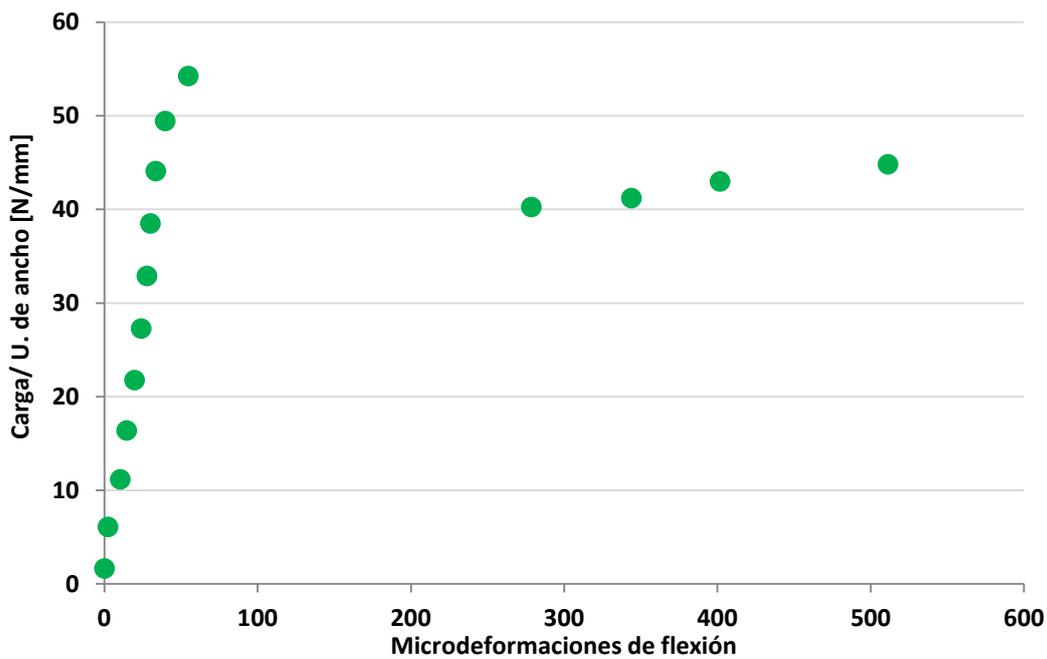


Fig.4.82. Deformaciones de flexión de las Bandas Extensométricas 6 y 7 durante el Ensayo 8.

En la figura 4.81 se observa que los valores registrados por las bandas 6 y 7 se mantienen bastante parecidos a lo largo del ensayo. Este hecho denota un buen centrado del “roving”.

En la figura 4.82, se observa que las deformaciones de flexión crecieron durante todo el ensayo aunque lo hicieron de forma más brusca al final del ensayo.

En las figuras 4.83 y 4.84 se presentan los registros de las demás bandas extensométricas presentes en el ensayo y las deformaciones de flexión de éstas.

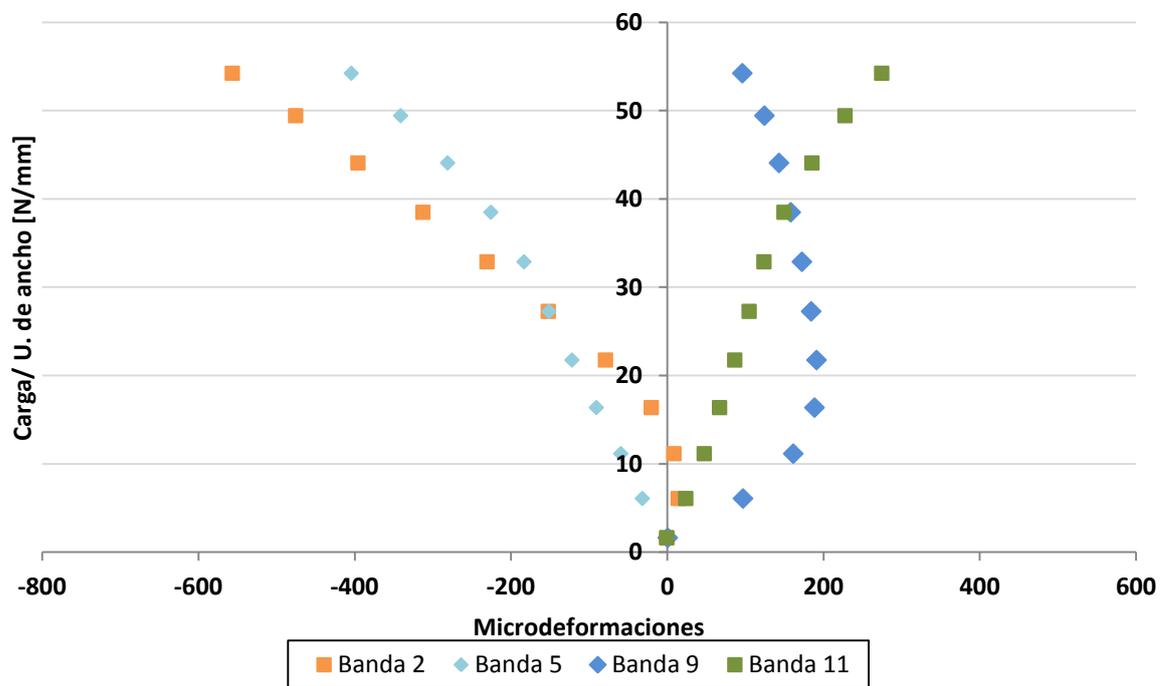


Fig.4.83. Medidas de las Bandas Extensométricas 2, 5, 9 y 11 durante el Ensayo 8.

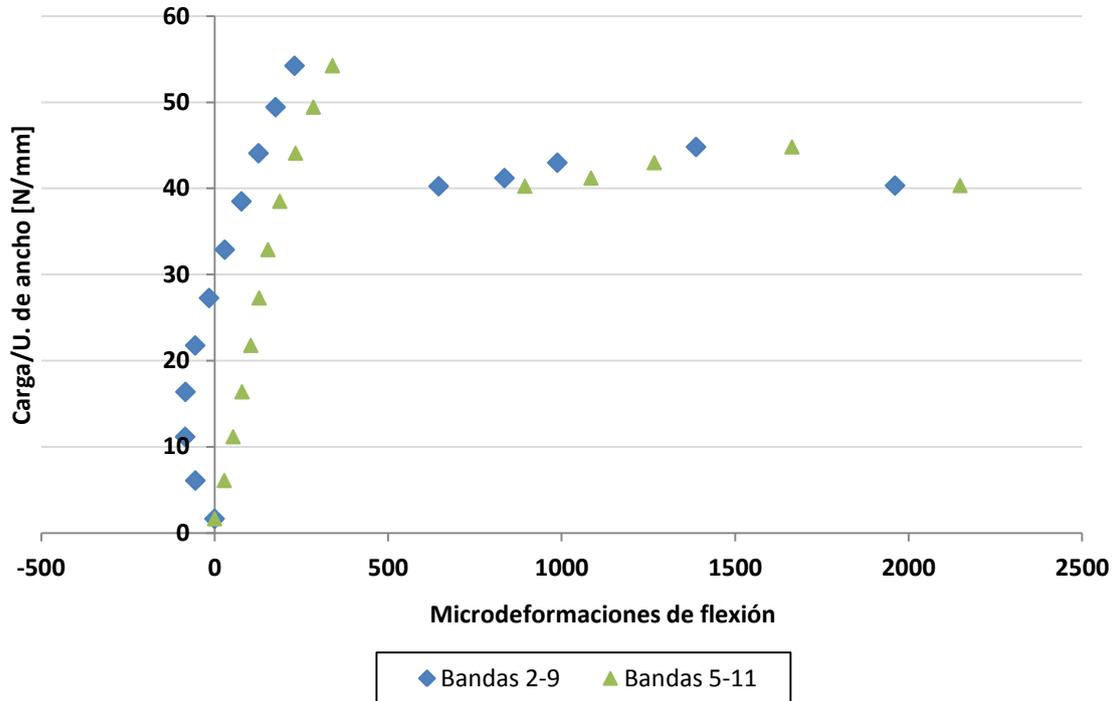


Fig.4.84. Deformaciones de flexión de los pares de Bandas Extensométricas 2-9 y 5-11 durante el Ensayo 8.

En la figura 4.83 se aprecia cierta simetría entre los registros tomados por la banda extensométrica en la parte superior de la probeta (tracción) y los registros tomados por la banda extensométrica en la parte inferior (compresión) menos en el caso de la banda 9.

En este caso se puede ver que el máximo de microdeformaciones se alcanzó al final del ensayo menos para la banda 9 que se alcanzó en el momento del inicio de la grieta. También se observa que los registros de las bandas en compresión fueron similares entre sí.

En la figura 4.84 se observa que los valores registrados por los dos pares de bandas fueron muy similares durante todo el ensayo.

4.4.- Análisis comparativo de resultados:

En la Tabla 4.5 se recoge un resumen de los datos más importantes recogidos en cada ensayo.

Probeta	Carga Inicio grieta (N)	Carga final (N)	Evolución de la grieta
A1-A	1043	2176	Desde el lado bandas 1 y 2.
A1-B	1200	2100	Desde el lado bandas 1 y 2.
A1-C	1100	2800	Desde el lado bandas 1 y 2 y salto.
A2-A	1600	1830	Desde el lado bandas 1 y 2.
A2-B	1700	2100	Desde el lado bandas 1 y 2.
A2-C	1555	1700	Desde el lado bandas 1 y 2.
G1-A	6000	5270	Desde el centro.
G1-B	6500	5720	Desde el centro.
G2-A	7250	8480	Desde el centro.
G2-B	7275	5620	Desde el centro.

Tabla 4.5. Resumen de los datos recogidos en el Ensayo.

4.4.1.- Comparación de resultados en probetas ALCAS:

Comparación de resultados de probetas ALCAS Tipo 1

En general, se puede decir que todas las probetas de tipo ALCAS 1 tuvieron un comportamiento bastante similar salvo el caso de la probeta A1-C.

El aspecto de la superficie de rotura fue muy parecido en los tres casos, apareciendo delaminaciones en la zona central y en el resto, fallo adhesivo. También se observa en los tres casos, que el tamaño de las zonas laterales, que presentaban fallo adhesivo, no era igual en las dos alas del rigidizador.

Además en las probetas A y B se produjo el fallo para una carga máxima muy similar en ambos casos, 2176 y 2100 N, mientras que para la tercera probeta el fallo se produjo para una carga algo mayor, 2800 N.

En cuanto al comportamiento y registro de las bandas extensométricas se obtuvieron también resultados similares. En concreto, se observó simetría entre el comportamiento a tracción y el comportamiento a compresión aunque los valores que se obtuvieron en el caso de compresión fueron algo menores.

Comparación de resultados de probetas ALCAS Tipo 2

En el caso de las probetas ALCAS tipo 2 también se puede decir que todas las probetas tuvieron un comportamiento similar aunque en este caso el comportamiento difirió un poco más que en la tanda de ensayos anteriores.

El aspecto de la superficie de unión de la piel tras la rotura fue muy parecido en los tres casos ya que siempre se observó un despegue diagonal de la última capa de la cara superior de la piel.

Respecto al fallo final y evolución de la carga se observa que en todas las probetas la carga máxima se obtuvo cuando la grieta llegaba al centro de la probeta. Después de llegar a esta carga máxima, la grieta avanzó más rápido hacia el otro lado de la probeta que en el tipo de probetas anterior y se llegó a la rotura para una carga menor que la máxima registrada.

En cuanto al comportamiento y registro de las bandas extensométricas se obtuvieron también resultados similares. En concreto, se volvió a observar simetría entre el comportamiento a tracción y el comportamiento a compresión aunque los valores que se obtienen en el caso de compresión fueron menores.

Si se comparan los dos tipos de probetas del mismo tamaño, ALCAS tipo 1 y tipo 2, se observa que la diferencia más destacable fue el aspecto de la zona de unión tras la rotura. Mientras que en el primer tipo de probeta se observaron pequeñas delaminaciones en la parte central y rotura adhesiva en el resto, en el segundo caso se produjo un despegue de la capa superior de la piel apareciendo una marca diagonal a lo largo de toda la zona de unión. Esta diferencia se puede deber principalmente al distinto orden de apilado de los dos tipos de probetas.

Comparación de resultados de probetas ALCAS Tipo 1 y ALCAS Tipo 2

También se pudieron apreciar diferencias en la carga máxima obtenida ya que en el primer caso la carga máxima se alcanzó al final del ensayo, con un valor medio de 2100 N, y en el segundo caso, el valor máximo se alcanzó cuando la grieta alcanzó la parte central de la probeta, con un valor medio de unos 2300 N.

En cuanto a los registros de las bandas extensométricas, en todos los casos se obtuvo un comportamiento similar en el sentido de que siempre aparecieron patrones de medición simétricos con menores valores en compresión que en tracción. Los valores concretos obtenidos difirieron poco en los dos tipos de probeta aunque, generalmente, fueron un poco mayores en el caso del segundo tipo de probeta.

4.4.2.- Comparación de resultados en probetas GERM:

Comparación de resultados de probetas GERM Tipo 1

En el caso de las probetas GERM tipo 1 se apreciaron bastantes aspectos similares en el comportamiento de estas dos probetas. En primer lugar, el aspecto de la superficie de unión de la piel fue muy similar en los dos casos ya que en ninguna de las dos probetas se distinguieron zonas con un tipo de fallo predominante sobre el otro.

Además la forma de propagación de la grieta fue igual en ambos casos ya que la grieta apareció en el centro de la probeta y luego fue propagándose más rápido hacia el lado de la banda 1 y 2 hasta que se despegó por esa zona y se produjo el fallo total.

En cuanto al valor de la carga en los momentos de aparición de la grieta y fallo hubo 500 N de diferencia entre una probeta y otra ya que en la primera probeta la grieta comenzó a propagarse a los 6000 N y en el segundo caso a los 6500 N y lo mismo ocurrió para el fallo, que se produjo para 5270 N en el primer caso y 5720 en el segundo.

Respecto a los datos registrados por las bandas extensométricas también se obtuvieron resultados similares, apreciándose simetría entre el comportamiento a tracción y compresión.

Comparación de resultados de probetas GERM Tipo 2

En el caso de las probetas GERM tipo 2 también hubo aspectos similares entre las dos probetas. En primer lugar, el aspecto de la superficie de unión de la piel fue similar en los dos casos ya que en ambas probetas se apreció una zona donde el fallo preferente fue el adhesivo, zonas exteriores, y otra donde aparecieron delaminaciones, zona central, aunque esta última zona fue mayor en la segunda probeta que en la primera. La forma de propagación de la grieta también fue igual en ambos casos.

En cuanto al valor de la carga en los momentos de aparición de la grieta, fue bastante similar, 7250 N en el primer caso y 7275 N en el segundo. En el momento del fallo sí se apreciaron diferencias ya que en la primera probeta, la carga continuó creciendo hasta 8480 N y en el segundo, una vez que apareció la grieta, la carga empezó a decrecer.

Comparación de resultados de probetas GERM Tipo 1 y Tipo 2

En primer lugar hay que destacar los parecidos en el aspecto de la zona de rotura ya que en ambos casos se observaron delaminaciones en toda la superficie aunque en el segundo tipo de probetas se apreciaron también zonas donde este fallo predomina más sobre el otro, el del adhesivo.

En cuanto a las cargas se puede concluir que las probetas del segundo tipo resistieron más que las del primer tipo porque la grieta no apareció hasta los 7200 N en el segundo caso mientras que para el primero apareció a los 6000 N.

En referencia a los registros de las bandas extensométricas, en todos los casos se obtuvo un comportamiento similar en el sentido de que siempre aparecieron patrones de medición simétricos.

4.4.2.- Comparación de resultados entre probetas ALCAS y GERM:

En general, no se apreciaron aspectos similares en el comportamiento de los dos tipos de probetas durante el ensayo.

En primer lugar, el aspecto de la unión entre la piel y el rigidizador tras la rotura fue diferente en los dos casos ya que en las probetas GERM se observó una distribución más homogénea de los dos tipos de fallo que en las probetas ALCAS.

Tampoco se pudo observar un modo de propagación de la grieta similar ya que mientras que en el caso de las probetas ALCAS la grieta se detectó siempre en un ala del rigidizador y desde allí se propagó hacia el centro y luego hacia el otro ala, en el caso de las probetas GERM la grieta se detectó siempre en el centro de la probeta y desde allí se propagó hacia las alas del rigidizador.

La carga por unidad de ancho resistida por las probetas también ha sido diferente. En el caso de las probetas ALCAS se alcanzó una carga máxima media de 35 N/mm mientras que en el caso de las probetas GERM se alcanzaron los 45 N/mm.

El único aspecto similar encontrado entre los dos tipos de probetas ha sido la existencia de simetría entre los valores de tracción y compresión registrados por las bandas extensométricas en los distintos ensayos.