

## SERIE DE ENSAYOS CARBONO TRI-UNIÓN A 45°

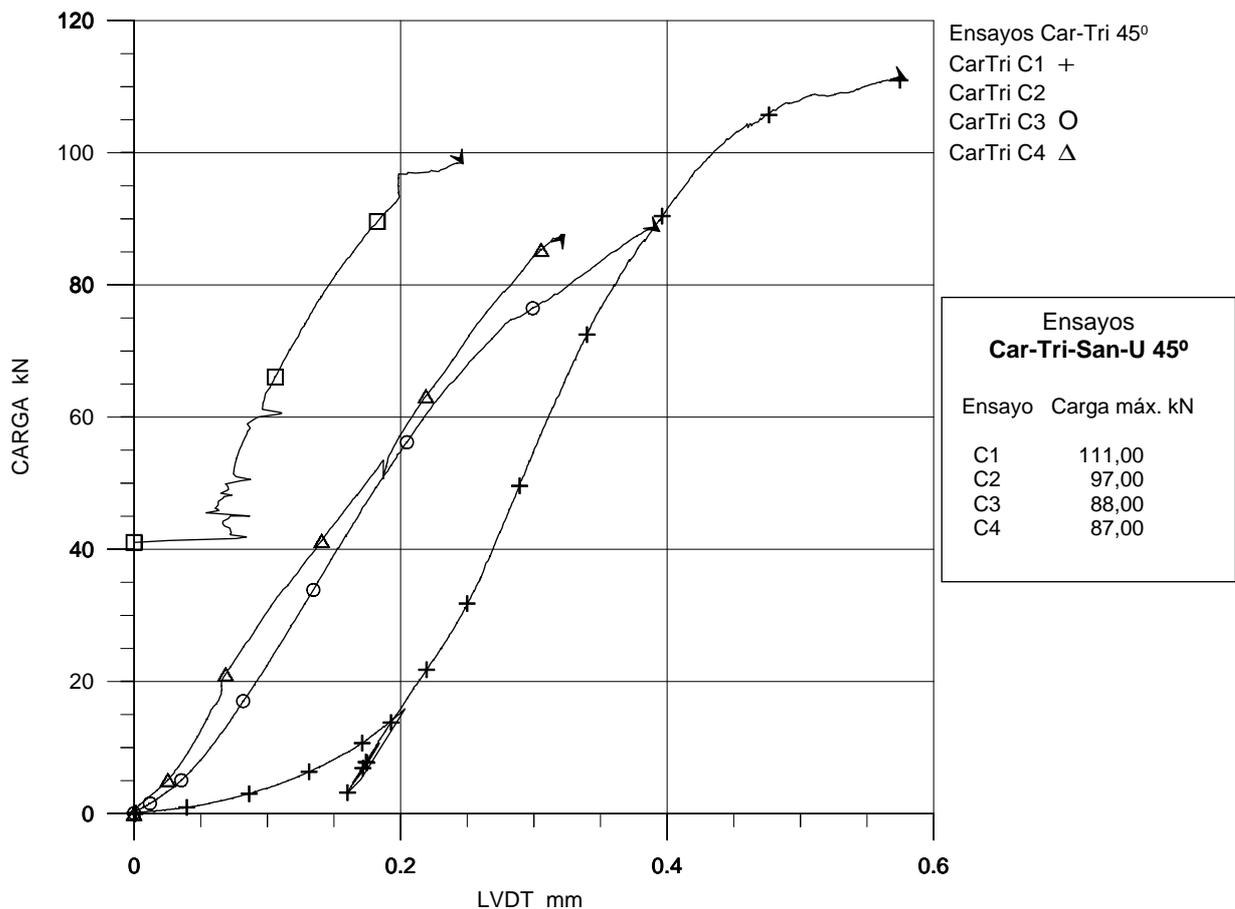
Esta familia de ensayos se dividió en dos series de probetas por cuestiones prácticas de preparación del volumen de cada amasada de hormigón. La primera serie de probetas constó de cuatro probetas C1, C2, C3 y C4 y la segunda serie de ensayos por las probetas V6, V7, V8 y V9

El gráfico siguiente, está compuesto por la primeraserie de ensayos donde se muestran las gráficas Carga ( $kN$ ) vs. Desplazamiento LVDT ( $mm$ ) de los cuatro ensayos a cortante en probetas compuestas por tres elementos, unidos mediante láminas de carbono, adheridas con la trama principal de la fibra a 45° de inclinación.

Familia 1 Ensayos C1, C2, C3 y C4

**GRÁFICO B14 ENSAYOS CAR-TRI-UNIÓN 45°**

GRAFICO DE ENSAYOS A CORTANTE EN ESPECIMENES DE HORMIGON TRI UNION CON LAMINAS DE CARBONO ADHERIDAS A 45°  
DOSIFICACION 01/JUN/99



Para determinar la pendiente "K" carga  $kN$  VS deformación  $mm$  en las gráficas donde se presentó un trazo cóncavo, se tomó la recta secante que une el origen y fin de la curva. En las gráficas donde se presentó un trazo donde se tienen dos puntos de inflexión se consideró como pendiente la recta que une los dos puntos de inflexión.

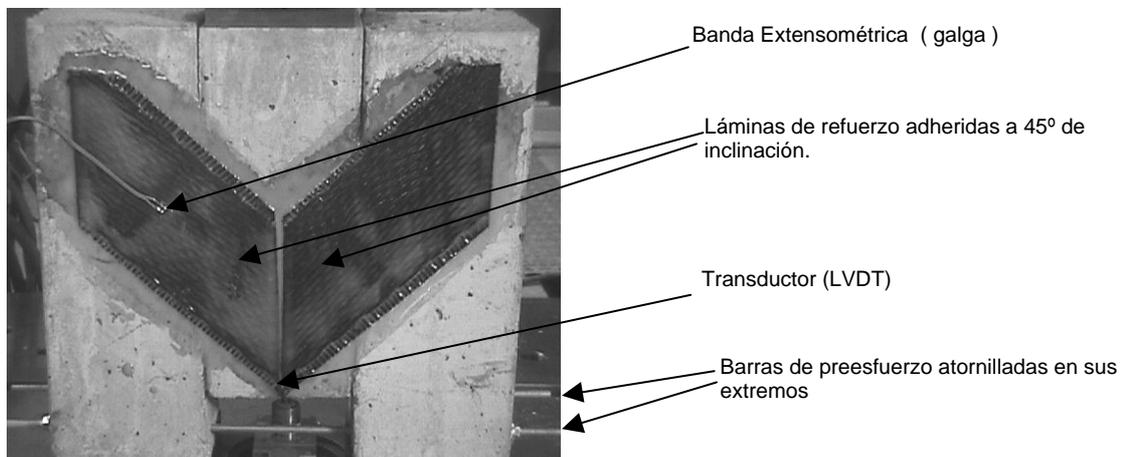
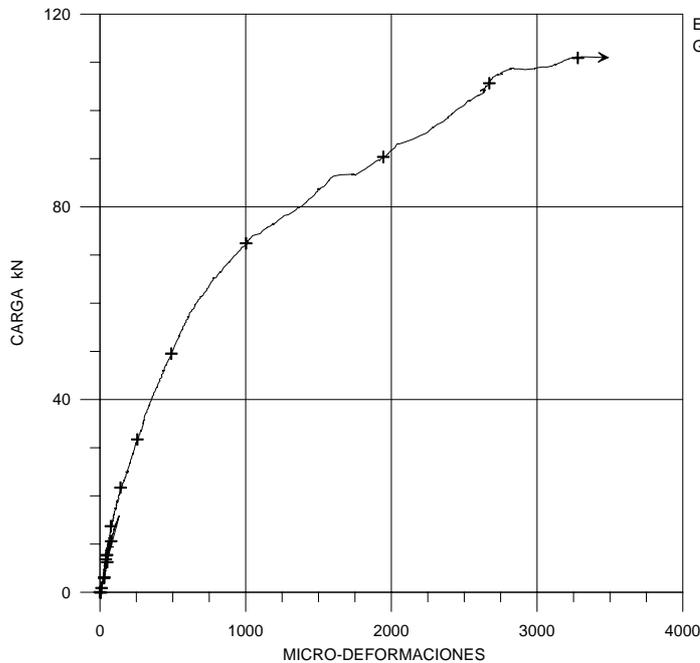
**FOTO DE PROBETA TIPO DE SERIE CAR-TRI-UNIÓN 45°**

Fig. B39 Esta foto muestra la probeta tipo de la familia de ensayos TRI Unión con láminas de Carbono a 45° de inclinación del eje principal de las fibras longitudinales.

Gráficas “Carga (kN) VS Deformación (micro-deformaciones)”; ensayos c1, c2, c3 y c4

### GRÁFICO B15 ENSAYO CAR-TRI-U 45° No. C1

GRAFICA CARGA VS MICRODEFORMACION No. 1  
ENSAYO A CORTANTE EN ESPECIMEN DE HORMIGON SIN FRICCIÓN  
UNIDO CON LAMINAS DE CARBONO A 45°. DOSIFICACION 01/JUN/99



#### Ensayo CAR-TRI-U 45° C1

Carga máxima 111,00 kN

Deformaciones  $\mu\epsilon$   
Máximas obtenidas

Galga	Micro-Def.
1	3476 $\mu\epsilon$

#### Descripción global del Ensayo CAR-TRI-U 45° C1

Este ensayo se instrumentó con dos galgas pero durante el ensayo solo una de las dos galgas pudo registrar las deformaciones sobre el material compuesto.

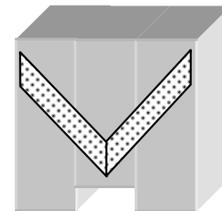
En esta probeta, la falla se presentó en el bloque central desprendiéndose las láminas de un mismo extremo tanto frontal como posterior tal como muestra la figura B41.

En el gráfico B14 “Carga vs. LVDT” se puede determinar la linealidad hasta el 80% de la carga máxima.

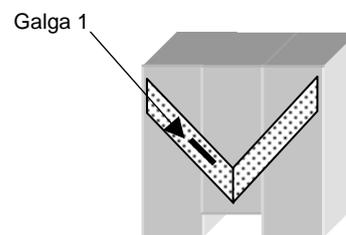
El gráfico anterior “Carga vs. Deformación” tiene una linealidad hasta el 55% de la carga.

A partir del 90% de la carga máxima el sistema de refuerzo empezó a plastificar en la lámina que quedó adherida que en este caso es el extremo derecho situando de frente al lado “A”

Lado A



Lado B



Esquemas de ubicación de las galgas de deformación sobre las láminas de Carbono

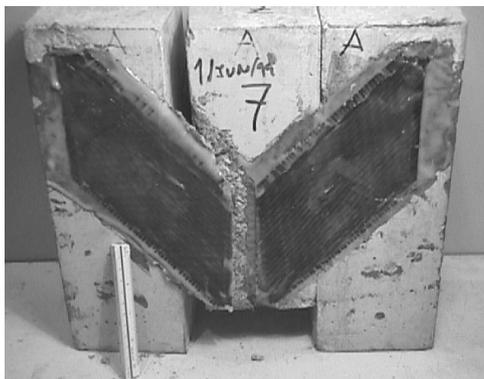
**FOTOS DE ENSAYO CARBONO-TRI-UNIÓN 45° C1**

Fig. B40 En esta foto se colocó una regla de 12cm como punto de apreciación de las dimensiones de la probeta y las láminas de carbono.

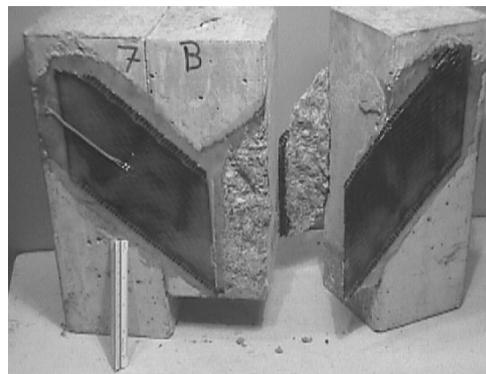


Fig. B41 Las figuras A y B muestran como se desprendió el bloque central. Parte del hormigón adherido a la lámina fue desgarrado, quedando adherido al material compuesto, lo cual es signo de que la resina trabaja eficientemente con una resistencia superficial mayor que la del hormigón en la zona de adherencia.

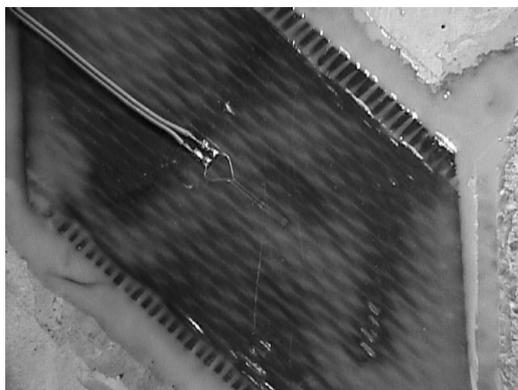
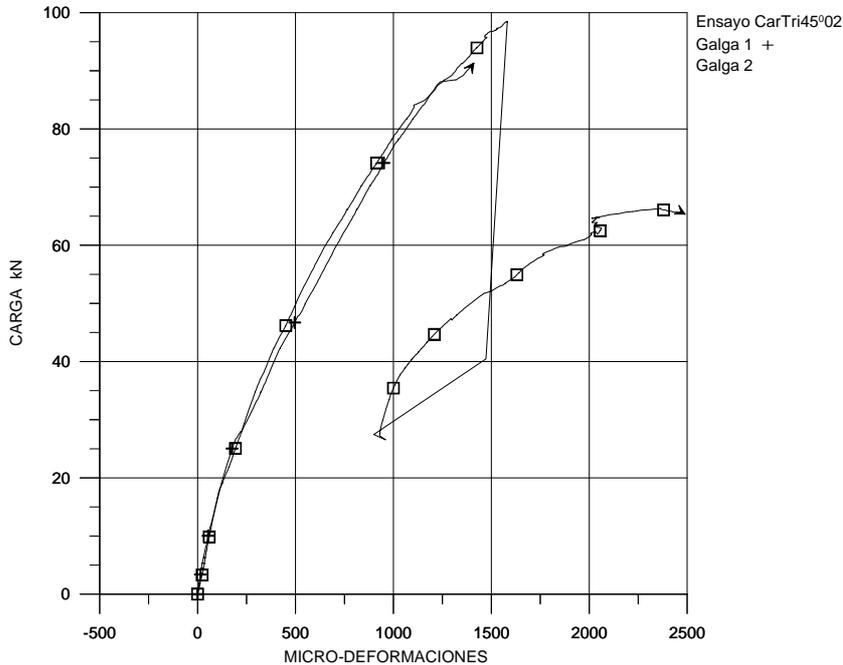


Fig. B42 En esta foto se puede ver la banda extensométrica (galgas) embebida en la resina, la cual esta midiendo las deformaciones sobre el material compuesto Resina-Fibra.

**GRÁFICO B16 ENSAYO CAR-TRI-U 45° No. C2**

GRAFICA CARGA VS MICRODEFORMACION No. 2  
 ENSAYO A CORTANTE EN ESPECIMEN DE HORMIGON SIN FRICCION  
 UNIDO CON LAMINAS DE CARBONO A 45°. DOSIFICACION 01/JUN/99

**Ensayo CAR-TRI-U 45°  
C2**

Carga Máx. 97,00 kN

Deformaciones  $\mu\epsilon$   
 Máximas obtenidas

Galga	Micro-def.
1	1410
2	2490

Micro-def. media = 1950

**Descripción global del ensayo CAR-TRI-U 45° C2**

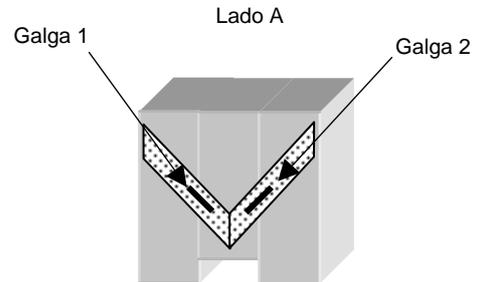
En este ensayo a pesar de que no se pudo registrar desde un principio las lecturas del LVDT, se hizo la corrección, pudiendo registrar más de la mitad de las lecturas.

Este ensayo presentó una gran uniformidad en la lectura de sus galgas, tal como lo muestra el gráfico anterior.

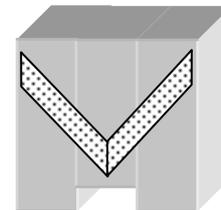
De la misma forma el gráfico Carga VS LVDT presentó una linealidad muy aceptable casi del 90% de la carga máxima.

La galga No. 1 dejó de registrar deformaciones cuando la lámina se desprendió en el momento en que el ensayo registro aproximadamente los 90kN

La lámina de la galga 2 siguió deformándose aun después de la carga máxima pero con una velocidad de deformación mayor. Esto puede verse en el gráfico anterior donde la pendiente "Carga vs. Micro-Def." disminuyó. Dicho incremento en las deformaciones fue debido a que la carga aplicada sobre la probeta de transmitió prácticamente en su totalidad sobre el extremo derecho en la figura B43.



Lado B



Esquemas de ubicación de las galgas de deformación sobre las láminas de Carbono

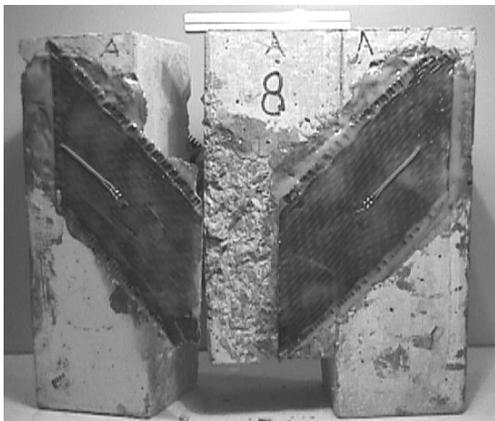
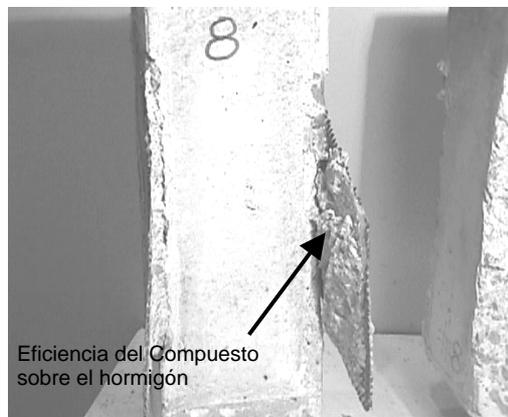
**FOTOS DE ENSAYO CARBONO-TRI-UNIÓN 45° No. C2**

Fig. B43 En este ensayo la lámina del lado izquierdo se desprendió totalmente, desgarrando el hormigón en contacto con la lámina.

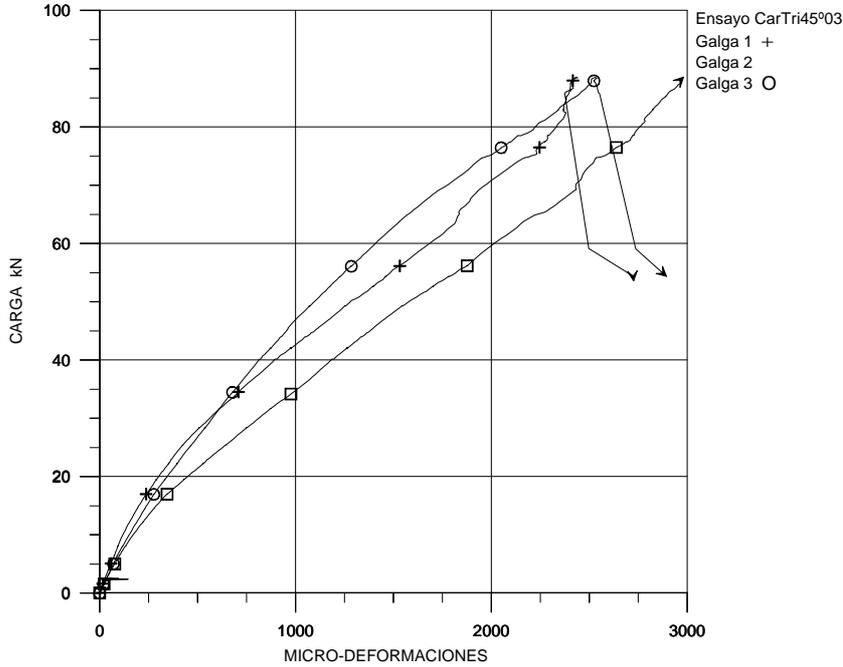


Eficiencia del Compuesto sobre el hormigón

Fig. B44 En la foto se indica mediante una flecha el hormigón desgarrado en conjunto con el compuesto de la lámina de Carbono. De tal forma que se puede determinar la buena eficiencia del compuesto resina-fibra

**GRÁFICO B17 ENSAYO CAR-TRI-U 45° No. C3**

GRAFICA CARGA VS MICRODEFORMACIONES No. 3  
 ENSAYO A CORTANTE EN ESPECIMEN DE HORMIGON SIN FRICCION  
 UNIDO CON LAMINAS DE CARBONO A 45°. DOSIFICACION 01/JUN/99



Ensayo CAR-TRI-U 45° C3	
Carga Máx. 88,00 kN	
Deformaciones $\mu\epsilon$ Máximas obtenidas	
Galga	Micro-def.
1	2725
2	2889
3	3000

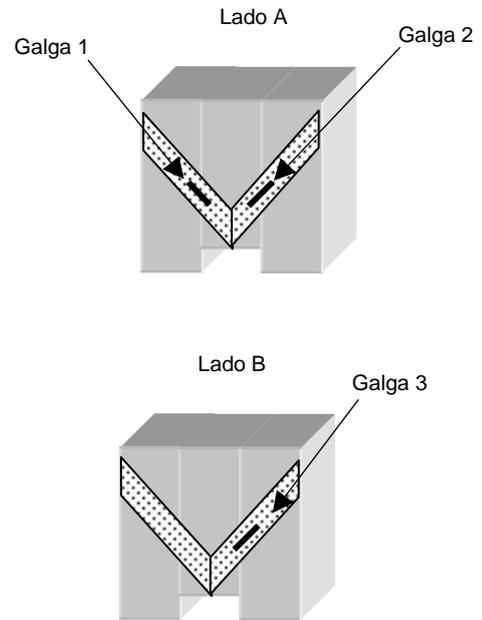
**Descripción global del Ensayo Car-Tri-U 45° C3**

En forma similar al ensayo C2, este ensayo presenta en el gráfico B14 una deformación lineal hasta el 85% en su pendiente "Carga vs. Desplazamiento"

El ensayo ha presentado una adherencia deficiente de las láminas de Carbono sobre la superficie de hormigón en el bloque central de la probeta.

En términos generales las tres galgas presentaron deformaciones muy semejantes.

Las galgas No. 1 y No.3 midieron las deformaciones de las láminas adheridas en el mismo extremo dejando de registrar deformaciones en el momento en que prácticamente todas las láminas se desprendieron del bloque central en forma simultanea.



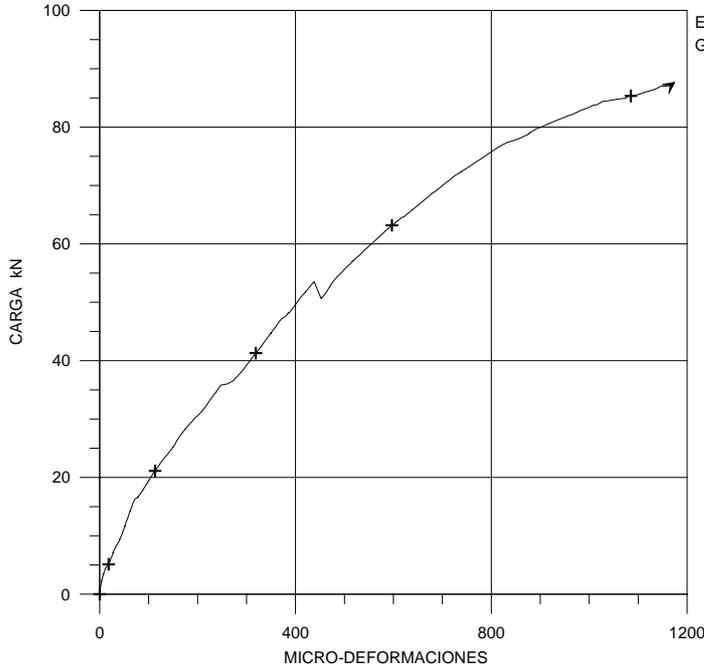
Esquemas de ubicación de las galgas de deformación sobre las láminas de Carbono

**FOTO DE ENSAYO CARBONO-TRI-UNIÓN 45° No. C3**

Fig. B45 La foto muestra la deficiencia del ensayo, ya que la fibra no presenta una buena adherencia con la resina. Se puede observar en el elemento central de hormigón, la resina aún sobre la superficie.

**GRÁFICO B18 ENSAYO CAR-TRI-U 45° No. C4**

GRAFICA CARGA / MICRO-DEFORMACIONES No. 4  
 ENSAYO A CORTANTE EN ESPECIMEN DE HORMIGON SIN FRICCION  
 UNIDO CON LAMINAS DE CARBONO A 45°. DOSIFICACION 01/JUN/99



Ensayo CarTri45°04  
 Galga 1 +

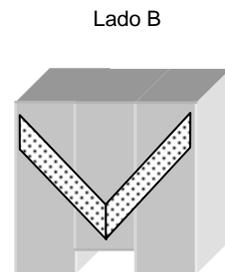
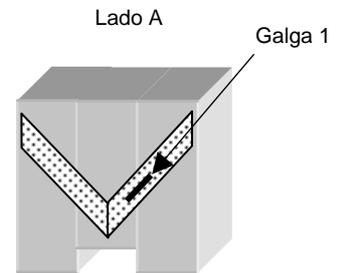
<b>Ensayo CAR-TRI-U 45° C4</b>	
Deformaciones $\mu\epsilon$ Máximas obtenidas	
Galga	Micro-Def.
1	1182

**Descripción global del Ensayo CAR-TRI-U 45° C4**

En este ensayo se presentó una mejor linealidad "Carga VS LVDT" lo cual se observa en el gráfico ARA-TRI-U 45° -1 presentando un comportamiento lineal prácticamente en el 100% de la carga.

Este ensayo sólo dispuso de una galga la cual registró deformaciones casi sin ningún sobresalto. La galga se comportó linealmente solo hasta el 62% de la carga máxima.

Este ensayo presentó la menor magnitud de deformación registradas en las galgas, muy probablemente, debido a la presencia de material contaminante en el hormigón, bajo una de las láminas, tal como se observa en la figura B47.



Esquemas de ubicación de las galgas de deformación sobre las láminas de Carbono

### FOTOS DE ENSAYO CAR-TRI-U 45° No. C4

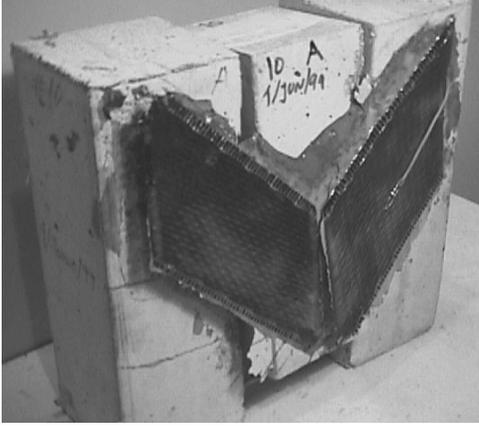


Fig. B46 La lámina izquierda del lado "A" fue la primera en desprenderse durante el ensayo.

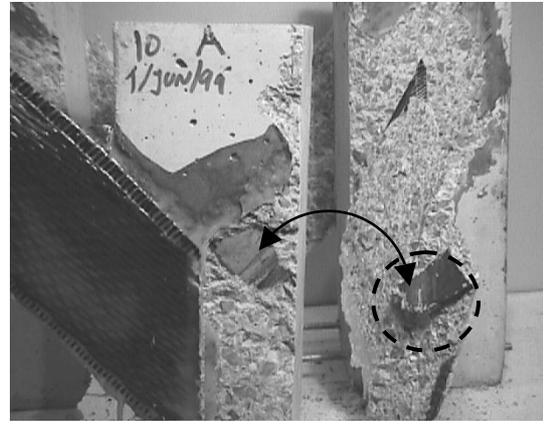


Fig. B47 La foto muestra en la parte encerrada por un círculo un trozo de plástico desprendido junto con una capa de hormigón sobre una de las láminas de refuerzo desprendida. EL trozo de plástico es un material contaminante que afectó parcialmente la correcta adherencia entre el hormigón y el compuesto.

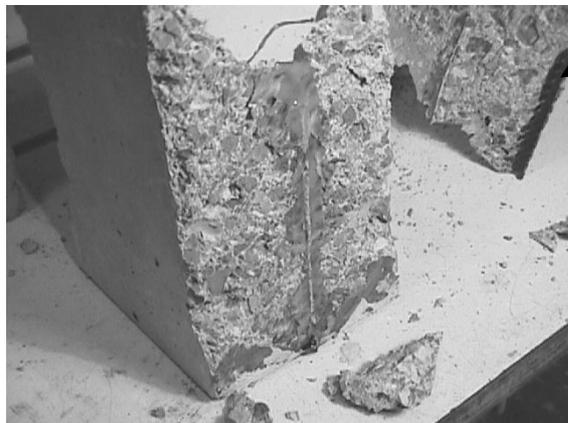


Fig. B48 Esta foto muestra el lado "B" de la probeta, donde se muestra la superficie de hormigón del bloque central con desprendimiento poco profundo del agregado a causa del efecto del desgarre durante el ensayo. Al lado derecho del bloque se puede ver señalada una porción de la lámina de refuerzo mostrando una delgada capa de hormigón adherida a la lámina, lo cual muestra la eficiencia de la adherencia hormigón resina-fibra.

**Familia 2, ensayos V6, V7, V8 y V9**  
**Gráfica "Carga (kN) VS Desplazamiento LVDT (mm)"**

**GRÁFICO B19 ENSAYOS CAR-TRI-U 45°**

GRAFICO DE ENSAYOS A CORTANTE EN ESPECIMENES DE HORMIGON V6 - V9 UNIDOS CON LAMINAS DE CARBONO ADHERIDAS A 45° DOSIFICACION 01/JUN/99

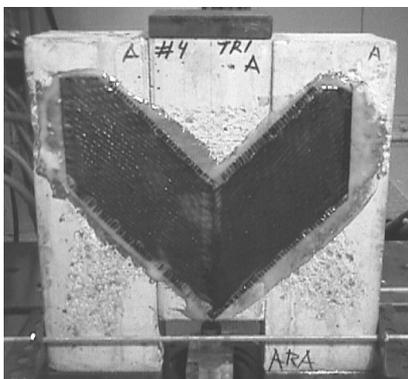
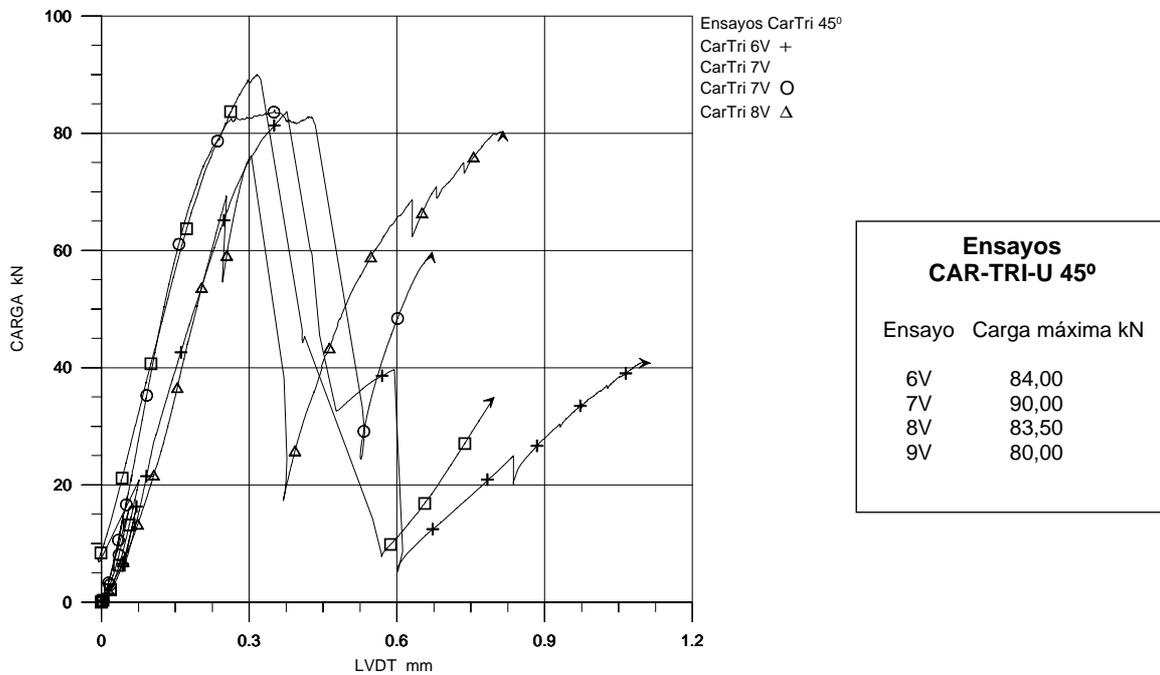


Fig. B49 CAR-TRI-U 45° V6

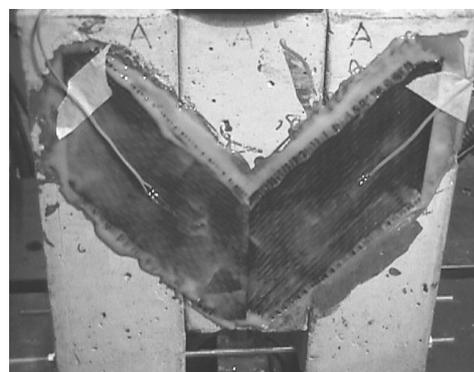


Fig. B50 CAR-TRI-U 45° V7

**FOTO DE PROBETAS  
 PREVIAMENTE A SU  
 ENSAYO**

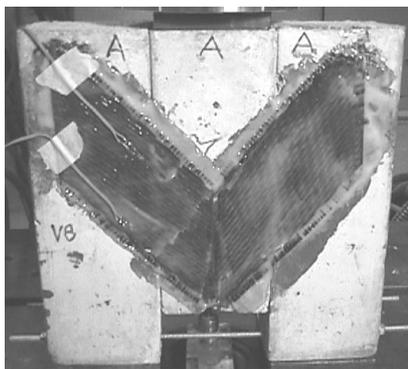


Fig. B51 CAR-TRI-U 45° V8

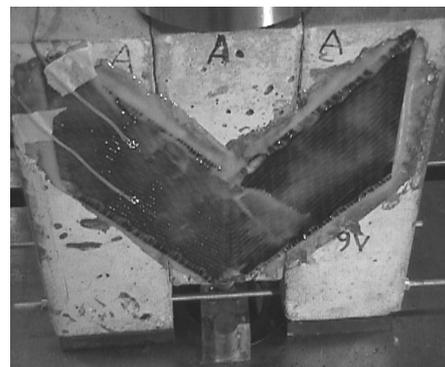


Fig. B52 CAR-TRI-U 45° V9

### FOTOS DE ENSAYO CARBONO-TRI-UNIÓN 45° No. V6

La probeta TRI-U 45° V6 no fue instrumentada con galgas. Únicamente se dispuso de un LVDT para medir el desplazamiento de la sección central de la Probeta.

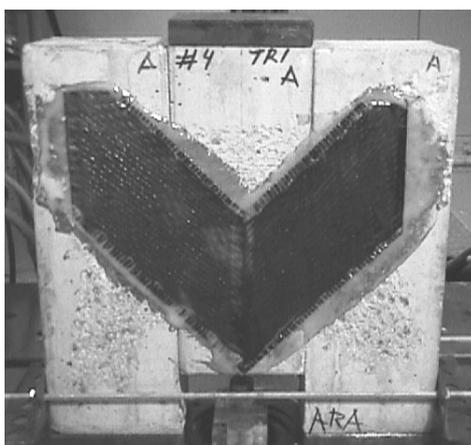


Fig. B53 Esta foto muestra la probeta previa al ensayo

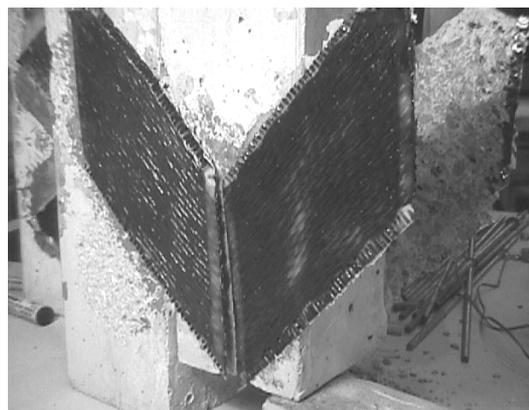


Fig. B54 Por medio de esta foto se puede observar que la falla se dio en uno de los bloques laterales y también se puede observar que tuvo una buena adherencia entre el hormigón y el compuesto fibra-resina

Zona de unión entre bloques

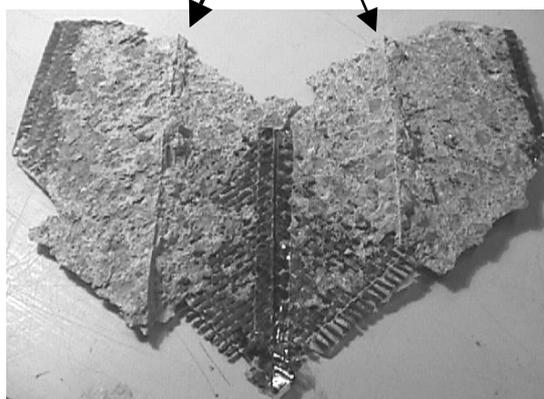
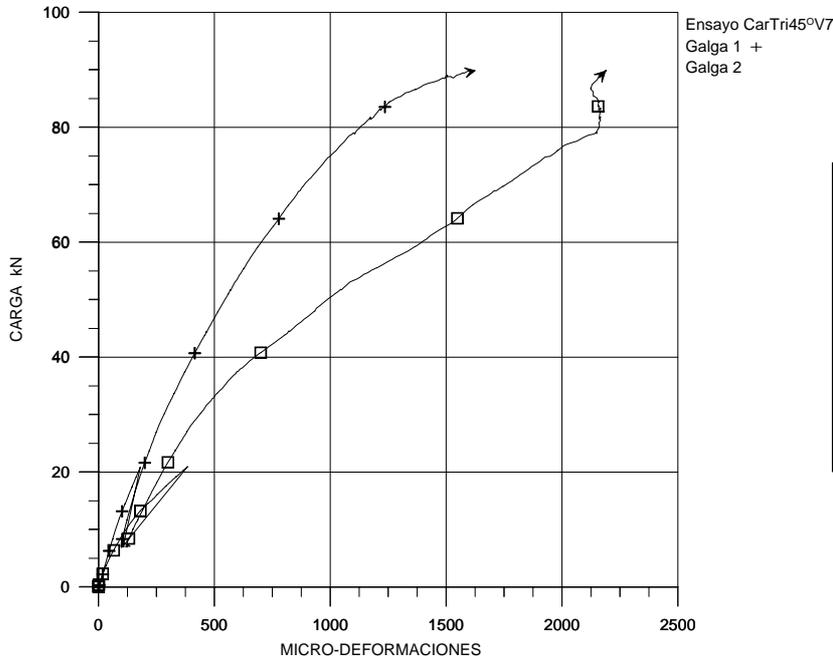


Fig. B55 Una vez terminado el ensayo se procedió a retirar las láminas de refuerzo y se pudo deducir como se muestra en la foto, que la mayor concentración de esfuerzos se presentó en la zona de unión entre los bloques donde la capa de hormigón desgarrada es mas profunda. Las flechas indican la zona donde se presentó la mayor concentración de esfuerzos en la superficie de contacto Hormigón-lámina.

## Gráficas “Carga (kN) VS Desplazamiento LVDT (mm)”;

## GRÁFICO B20 ENSAYO CAR-TRI-U 45° No. V7

GRAFICA CARGA VS MICRO-DEFORMACIONES No. V7  
 ENSAYO A CORTANTE EN ESPECIMEN DE HORMIGON SIN FRICCIÓN  
 UNIDO CON LAMINAS DE CARBONO A 45°. DOSIFICACION 01/JUN/99


**Ensayo CAR-TRI-U 45°  
 V7**

Carga máxima 90,00 kN  
 Deformaciones  $\mu\epsilon$  máximas  
 obtenidas

Galga	Micro-def.
1	1743
2	2160

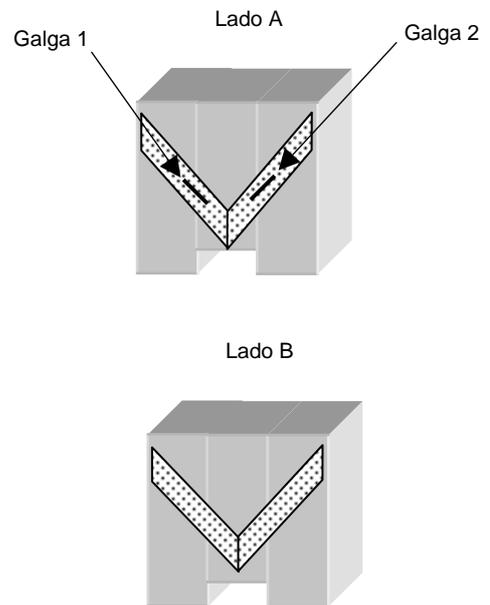
**Descripción global del Ensayo CAR-TRI-U 45° V7**

En este ensayo se tuvo un comportamiento lineal hasta el 78% de su carga máxima tal como lo muestra el gráfico B19 donde se grafica Carga VS LVDT

Las dos galgas registraron lecturas durante todo el ensayo hasta la falla, siguiendo un comportamiento similar en las deformaciones de las láminas.

La lámina de la galga No.2 tuvo un comportamiento más ineficiente en el refuerzo ya que no se le pudo transmitir los esfuerzos a lo largo de toda lámina por no tener una buena adherencia con el hormigón como lo muestra la Fig. B57.

Si la lámina hubiera tenido una buena adherencia, el valor medio de las Micro-Deformaciones sería superior a las 2100  $\mu\epsilon$



Esquemas de ubicación de las galgas de deformación sobre las láminas de Carbono

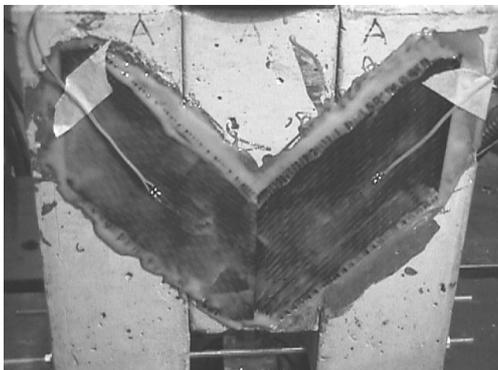
**FOTOS DE ENSAYO CARBONO-TRI-UNIÓN 45° No. V7**

Fig. B56 Aspecto inicial de la probeta antes de aplicar la carga a cortante

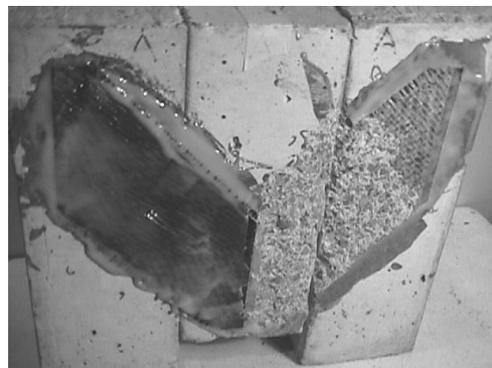


Fig. B57 En esta foto se muestra una clara deficiencia de la adherencia del compuesto en el extremo superior derecho del área de adherencia.



Fig. B58 La lámina desprendida del lado "B" muestra un desprendimiento y desgarre mucho más parejo y uniforme ya que la lámina se desprendió junto con el hormigón adherido.

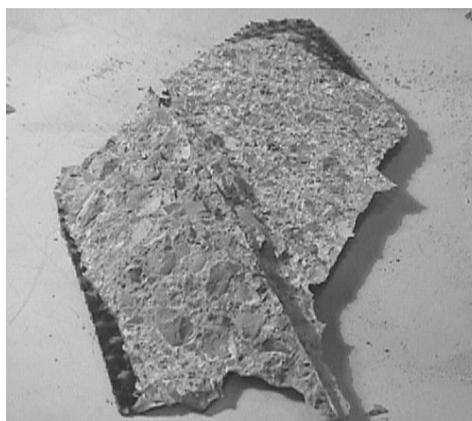
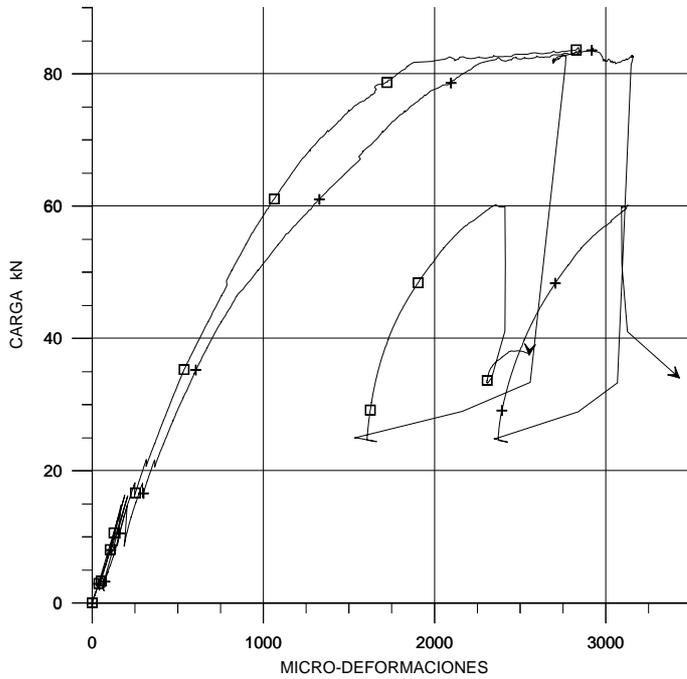


Fig. B59 Nuevamente en esta foto se puede observar en la lámina la zona de unión entre los bloques de hormigón donde se presentó un mayor desprendimiento de los agregados. En la foto se puede ver claramente como se fracturó también el agregado grueso.

**GRÁFICO B21 ENSAYO CAR-TRI-U 45° No. V8**

GRAFICA CARGA VS MICRO-DEFORMACIONES No. 8V  
 ENSAYO A CORTANTE EN ESPECIMEN DE HORMIGON SIN FRICCION UNIDO CON LAMINAS DE CARBONO A 45°. DOSIFICACION 01/JUN/99



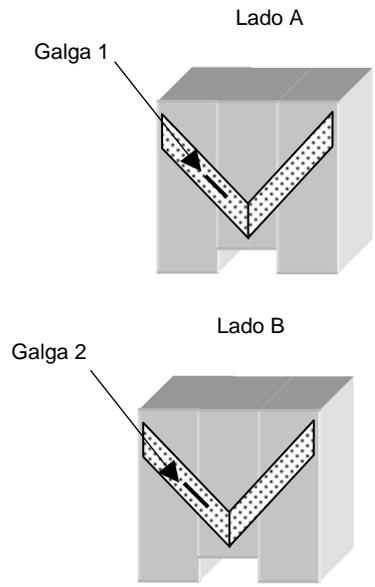
Ensayo CarTri45°V8  
 Galga 1 +  
 Galga 2

Ensayo CAR-TRI-U 45° V8	
Carga máxima 83,50 kN	
Deformaciones $\mu\epsilon$ máximas obtenidas	
Galga	Micro-Def.
1	3152
2	2853
Micro-def. media = 3003	

**Descripción global del Ensayo CAR-TRI-U 45° V8**

Este ensayo tuvo un comportamiento muy similar al V7 hasta su carga máxima, a partir de este punto tuvo una plastificación donde se mantuvo constante la carga y se deformaron las láminas bajo tensión a tracción hasta que las láminas tuvieron un desprendimiento parcial y posteriormente se desprendieron totalmente del bloque central, desgarrando el hormigón.

Las láminas instrumentadas con las galgas se deformaron linealmente hasta el 72% de la carga máxima aproximadamente 60kN. Posteriormente se tuvo un comportamiento plástico y después fluyó el material de refuerzo y al final tomo carga nuevamente pero sin pasar del punto máximo de carga elástica.



Esquemas de ubicación de las galgas de deformación sobre las láminas de Carbono

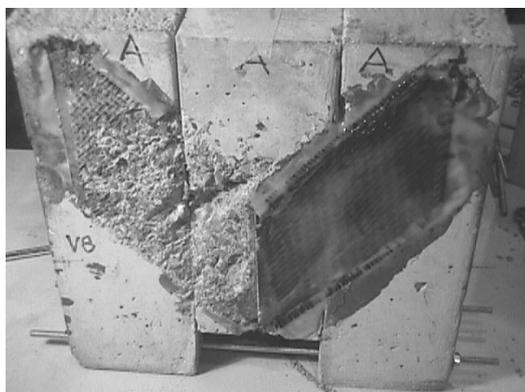
**FOTOS DE ENSAYO CARBONO-TRI-UNIÓN 45° No. V8**

Fig. B60 En este ensayo la lámina de refuerzo se desprendió y se desgarró una mayor cantidad de hormigón. De la misma forma que en ensayos anteriores la fibra se desprendió del bloque central de la probeta.

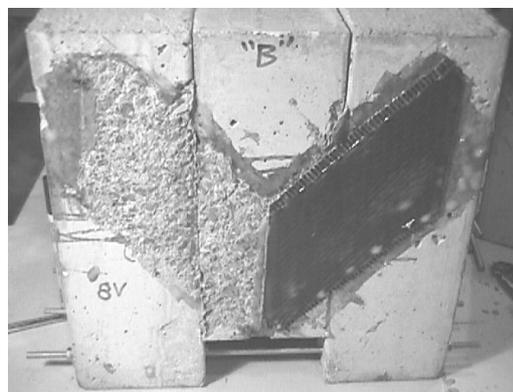


Fig. B61 Desprendimiento de la lámina del extremo opuesto del lado "B"

Fricción despreciable  
entre bloques

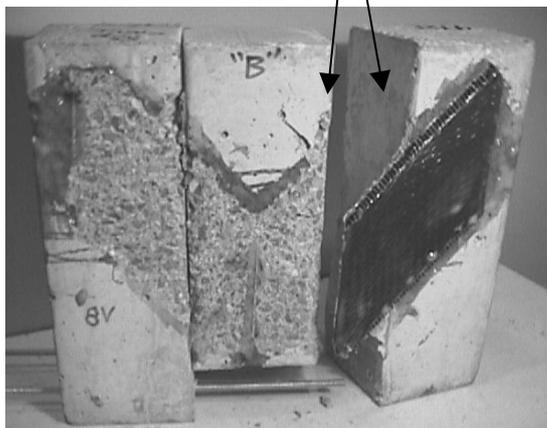
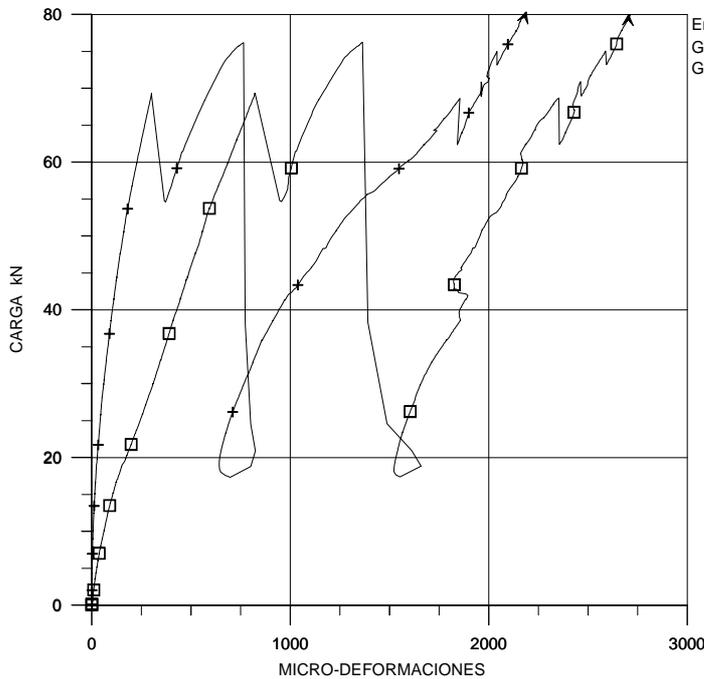


Fig. B62 Con esta foto se recuerda que el cortante es transmitido del bloque central a los bloques laterales únicamente a través de las láminas de refuerzo, despreciando la fricción que existe entre los bloques.

**GRÁFICO B22 CAR-TRI-U 45° No. V9**

GRAFICA CARGA VS MICRO-DEFORMACIONES No. 9V  
 ENSAYO A CORTANTE EN ESPECIMEN DE HORMIGON SIN FRICCIÓN  
 UNIDO CON LAMINAS DE CARBONO A 45°. DOSIFICACION 01/JUN/99



Ensayo CarTri45°V9  
 Galga 1 +  
 Galga 2 □

**Ensayo CAR-TRI-U 45° V9**

Carga máxima 80,00 kN

Deformaciones  $\mu\epsilon$  máximas obtenidas

Galga	Micro-def.
1	2256
2	2718

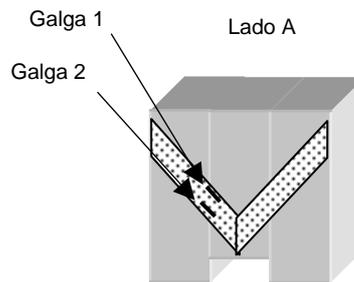
Micro-def. media = 2487

**Descripción global del Ensayo CAR-TRI-U 45° V9**

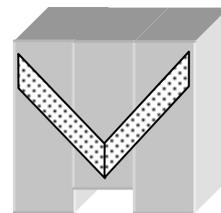
Este ensayo se instrumentó con dos galgas alineadas verticalmente en una de sus láminas, tal como se observa en la figura B63. La finalidad es determinar si existe diferencia entre la lectura de la galga superior e inferior cuando la probeta es ensayada.

En forma semejante a los ensayos con las láminas de Aramida se pudo ver que las galgas colocadas en las fibras inferiores tienen una mayor deformación longitudinal que las galgas colocadas en el extremo superior. En el caso de este ensayo la galga superior deformó a 2256 $\mu\epsilon$  y la galga inferior 2718 $\mu\epsilon$ .

La forma en que se fueron registrando las Micro-Deformaciones de ambas galgas se puede observar en el gráfico B22.



Lado B



Esquemas de ubicación de las galgas de deformación sobre las láminas de Carbono

### FOTOS DE ENSAYO CAR-TRI-U 45° No. V9

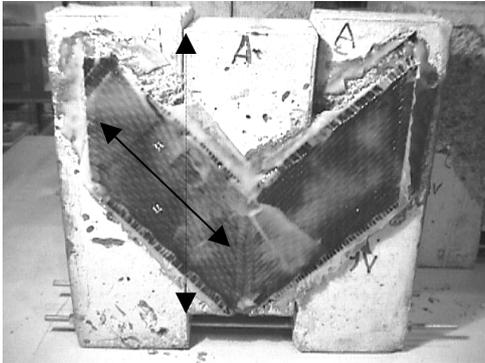


Fig. B63 En esta foto la línea intermitente muestra el eje vertical por el que pasan las dos galgas orientadas con las fibras longitudinales.

La línea continua indica la orientación de las fibras longitudinales y las galgas

En este ensayo a diferencia de los anteriores, las láminas se desprendieron de los bloques extremos del lado "A" pero en el lado "B" se desprendieron las láminas del bloque central.



Fig. B64 En esta foto se puede ver que la cantidad de hormigón desgarrado de los bloques fue mínima y esto confirma la baja resistencia obtenida ya que este ensayo fue el que presentó la carga más baja de toda la serie de ensayos Carbono TRI-U 45°.

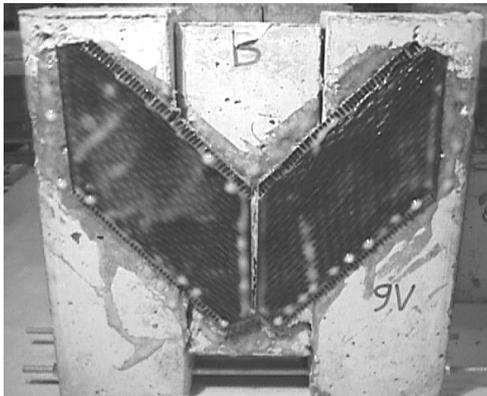


Fig. B65 Vista de frente del lado "B" El bloque central se desprendió de las láminas manteniéndose fijas sin ningún cambio en su posición u orientación.

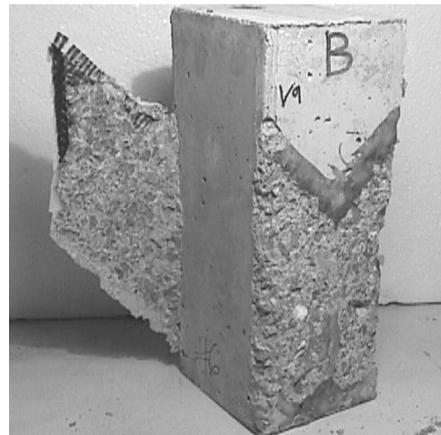


Fig. B66 Nuevamente en esta foto se puede ver como la mayor cantidad de hormigón desprendido se encuentra en la zona de unión entre bloques y en los extremos opuestos de las láminas. Prácticamente no se desprendió hormigón.