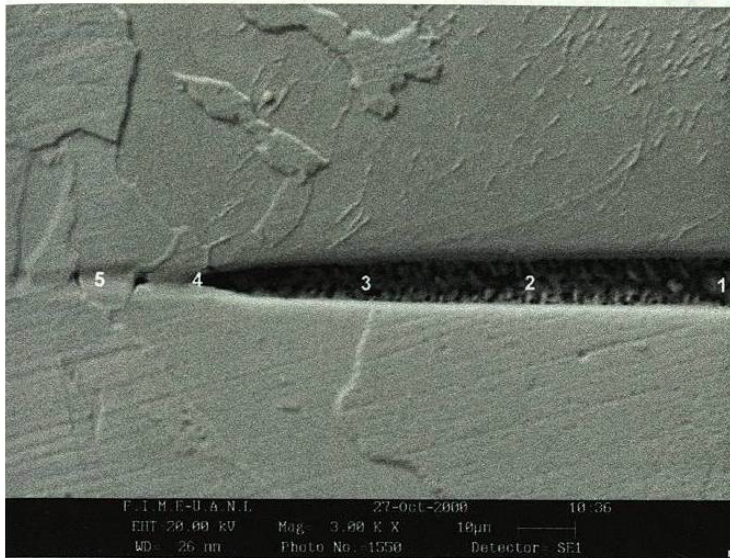


Se decidió analizar semicuantitativamente los espectros puntuales de rayos X realizados en algunas zonas de la Figura 5.50a, los resultados se muestran en la Tabla 5.7 y la localización de los muestreos se indica en la Figura 5.51.



Lugar	% Elemento		
	Fe	Zn	Al
1	89.65	9.54	0.80
2	88.93	10.17	0.89
3	92.13	7.52	0.35
4	94.77	5.06	0.17
5	97.73	2.27	-
60 µm del punto 4	99.59	0.41	-
120 µm del punto 4	100	-	-

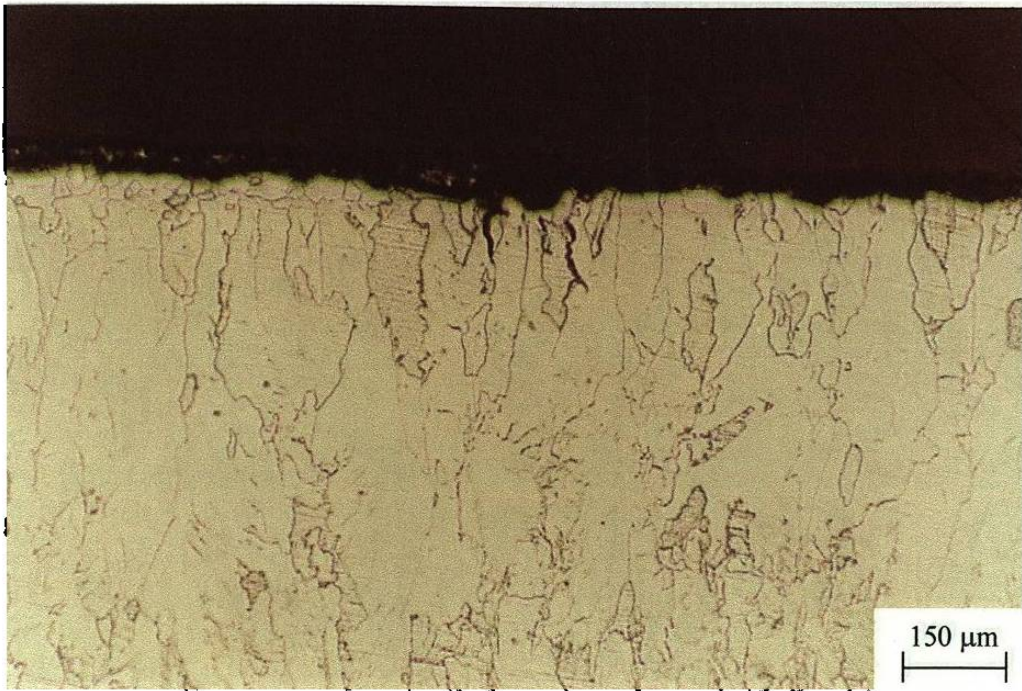
**Tabla 5.7.-** Resultados de los análisis de la Figura 5.51.

**Figura 5.51.-** Localización de análisis puntuales realizados en la muestra.

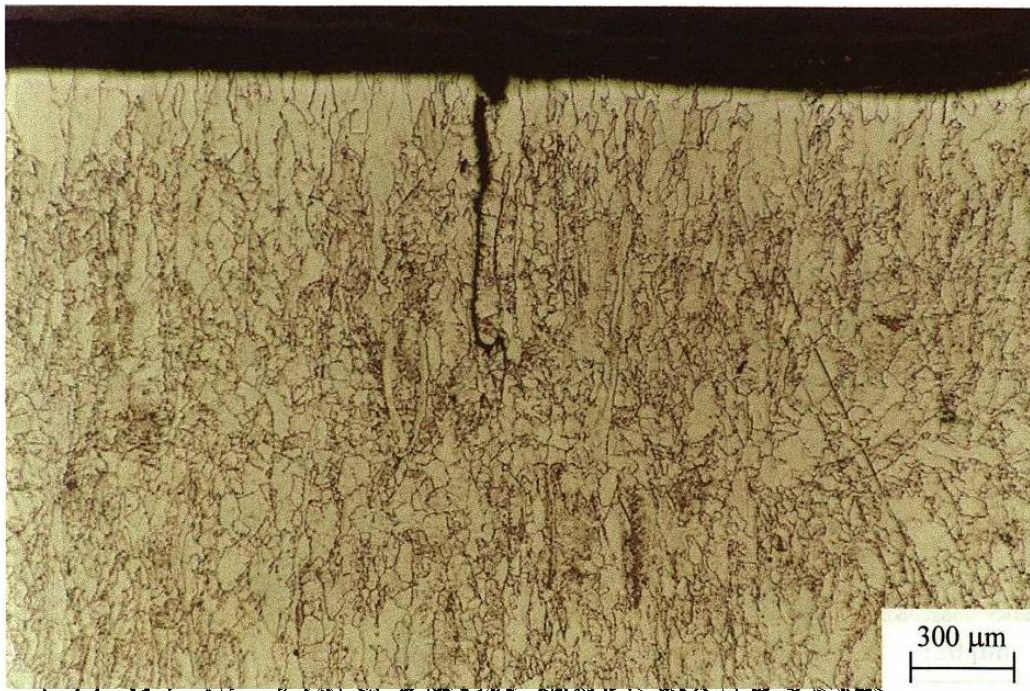
## 5.8 GRIETAS EN LA SOLDADURA.

Se pudo observar por medio de microscopio óptico la presencia de grietas en la zona soldada en todas las muestras ensayadas a alta corriente, superior a 12.9 kA para las recubiertas y 11.3 kA las decapadas. Las grietas aparecían principalmente en el área que se encontraba en contacto con el electrodo inferior y su propagación es de la superficie al centro de la pieza. Además las grietas aumentaban en tamaño conforme se incrementaba la corriente de soldadura. En la Figuras 5.52 a la 5.55 se pueden observar las grietas que aparecieron en las muestras examinadas por medios ópticos.

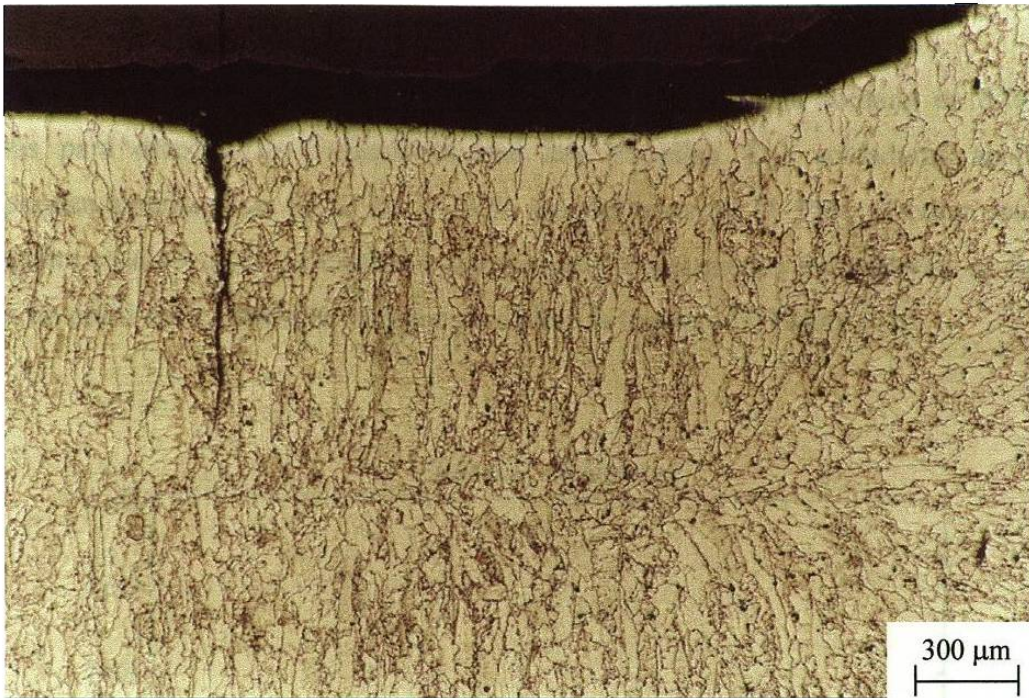
En el Anexo 3, se indica a que corrientes de soldadura aparecieron las grietas en la zona soldada en las muestras después de ser examinadas por medios ópticos.



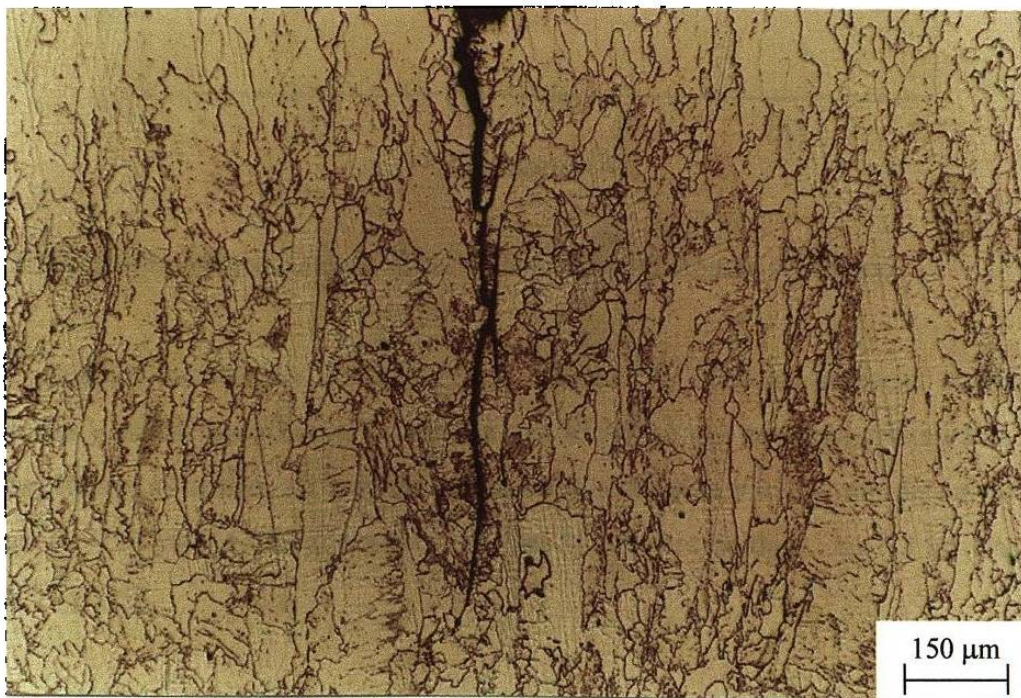
**Figura 5.52.-** Grietas pequeñas en la cara que se encontraba en contacto con el electrodo inferior, soldadura con 11.6 kA de la muestra decapada.



**Figura 5.53.-** Grieta en la cara que se encontraba en contacto con el electrodo inferior, soldadura con 13.68 kA de la muestra D.

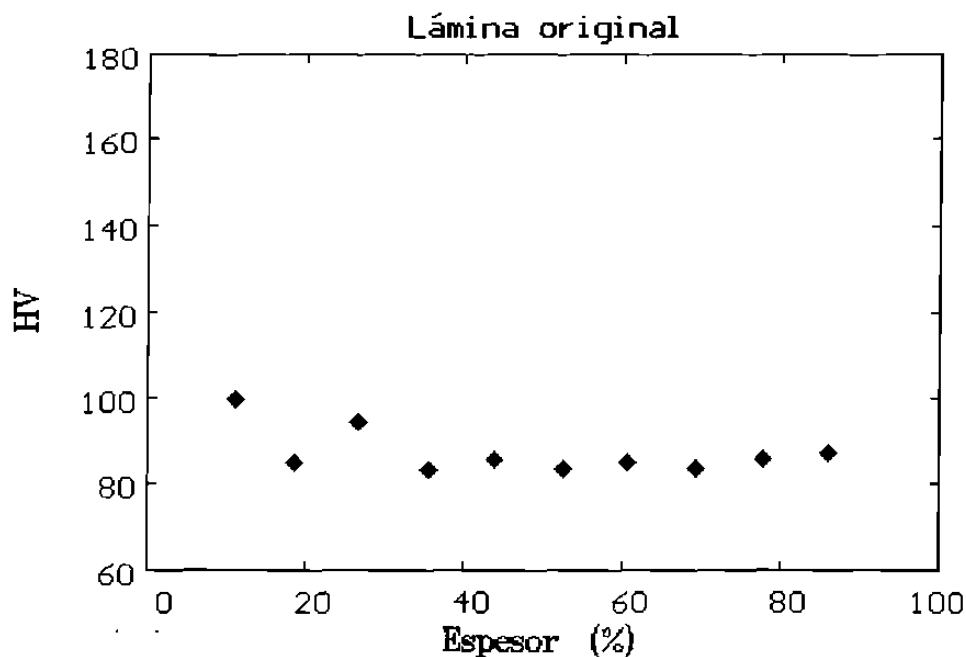


**Figura 5.54.-** Grieta en la cara que se encontraba en contacto con el electrodo inferior, soldadura con 13.96 kA de la muestra D.



**Figura 5.55.-** Grieta de la Figura 5.54 vista a mayor aumentos.

Se decidió obtener un perfil de dureza a través de la zona soldada en diferentes muestras para detectar las variaciones que hay en ellas. Las soldaduras analizadas corresponden aquellas con 12.32 kA y 13.96 kA del material D. Para eliminar cualquier interrogante relativo a las condiciones previas de procesamiento del material se decidió obtener un perfil en la condición con que se recibió la muestra D, Figura 5.56.



**Figura 5.56.-** Perfil de durezas de la muestra D en la condición de recepción.

Se decidió analizar la soldadura con 12.32 kA, la cual presenta condiciones satisfactorias y así compararla con la soldada con 13.96 kA que presenta grietas. Las zonas analizadas fueron al centro, a 1 mm del inicio de la soldadura y a 1.9 mm del inicio de la soldadura (a 0.25 mm de la grieta existente en la muestra soldada con 13.96 kA). Ver Figura 5.57 y 5.58.

En las Figuras 5.59, 5.60 y 5.61 se presenta una comparación del perfil de durezas de las muestras 12 y 19 soldadas a 12.32 y 13.96 kA respectivamente, para diferentes distancias de la soldadura.

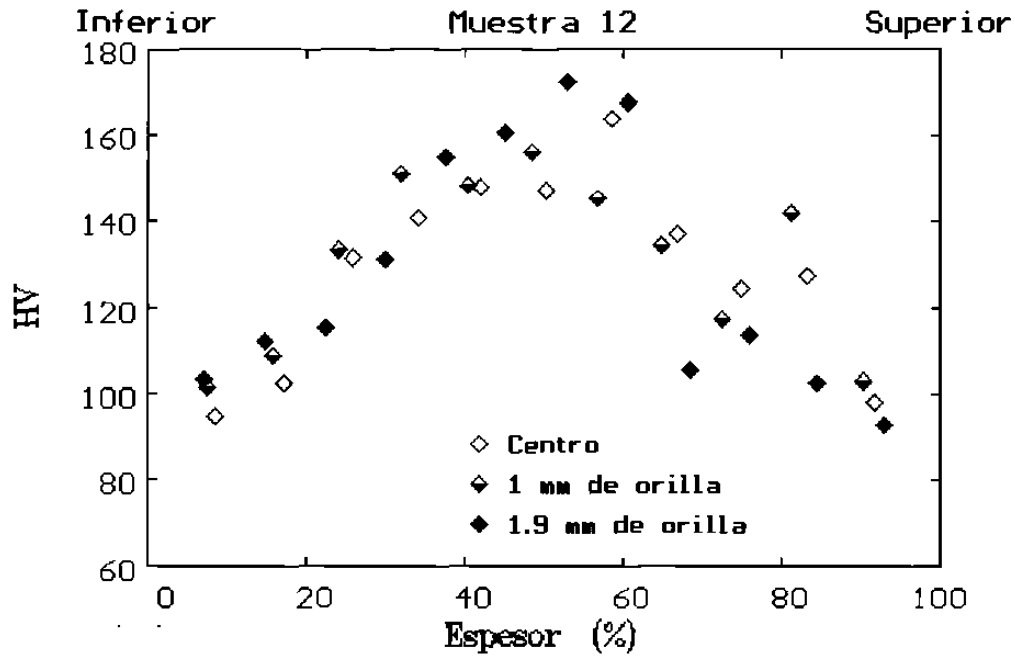


Figura 5.57.- Perfil de durezas de la muestra D soldada con 12.32 kA.

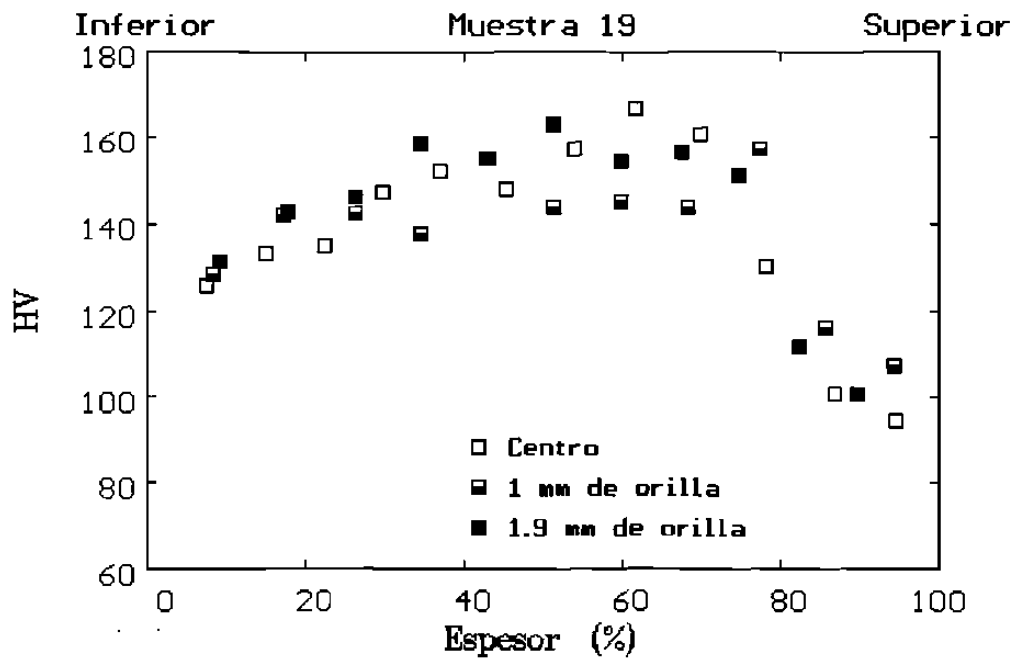
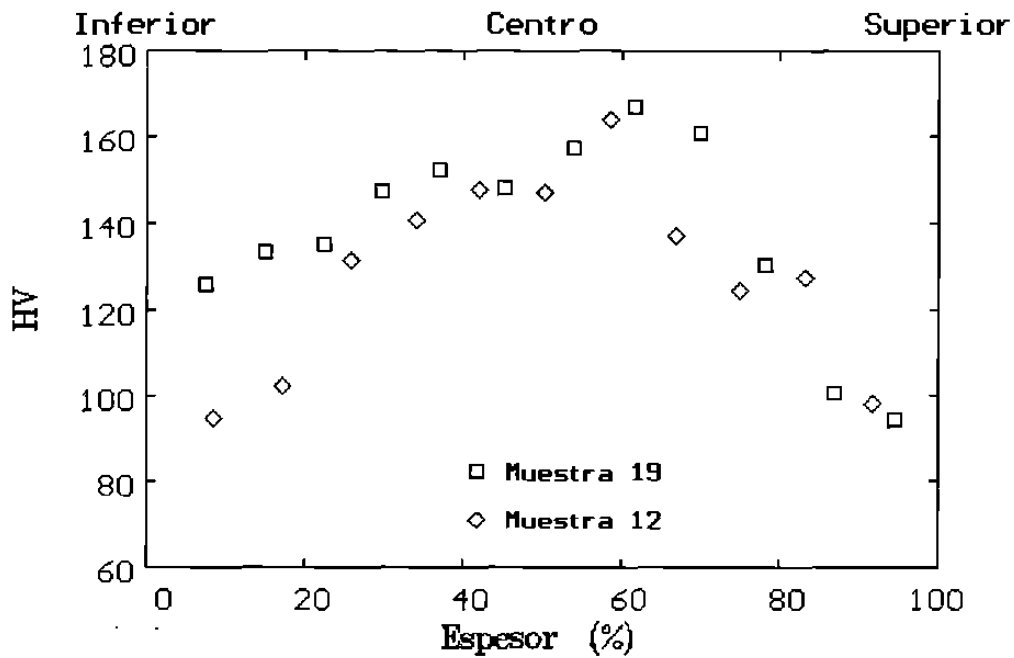
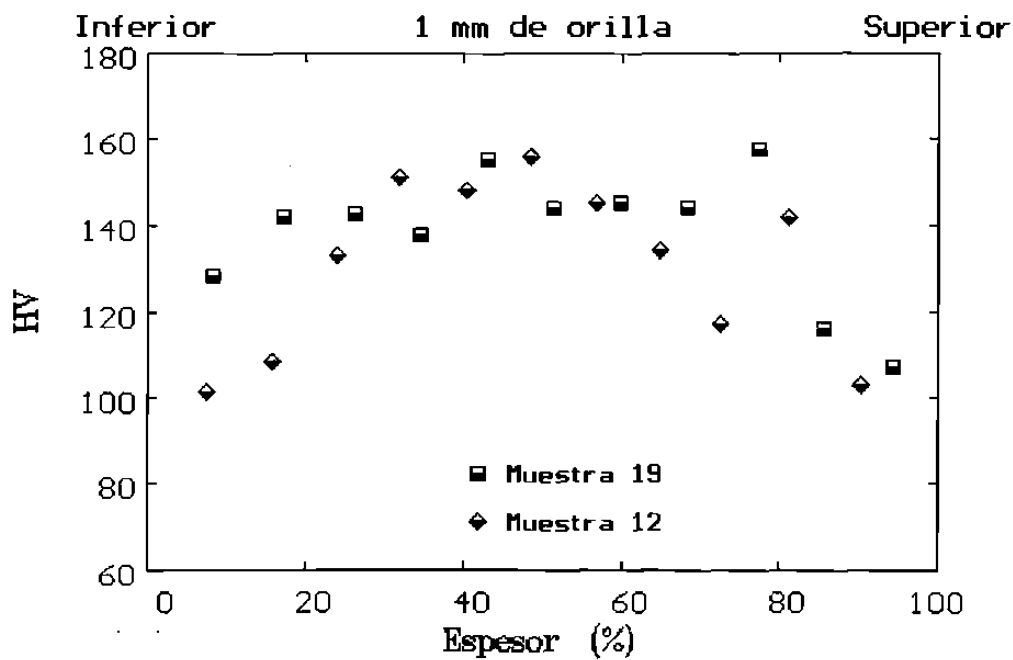


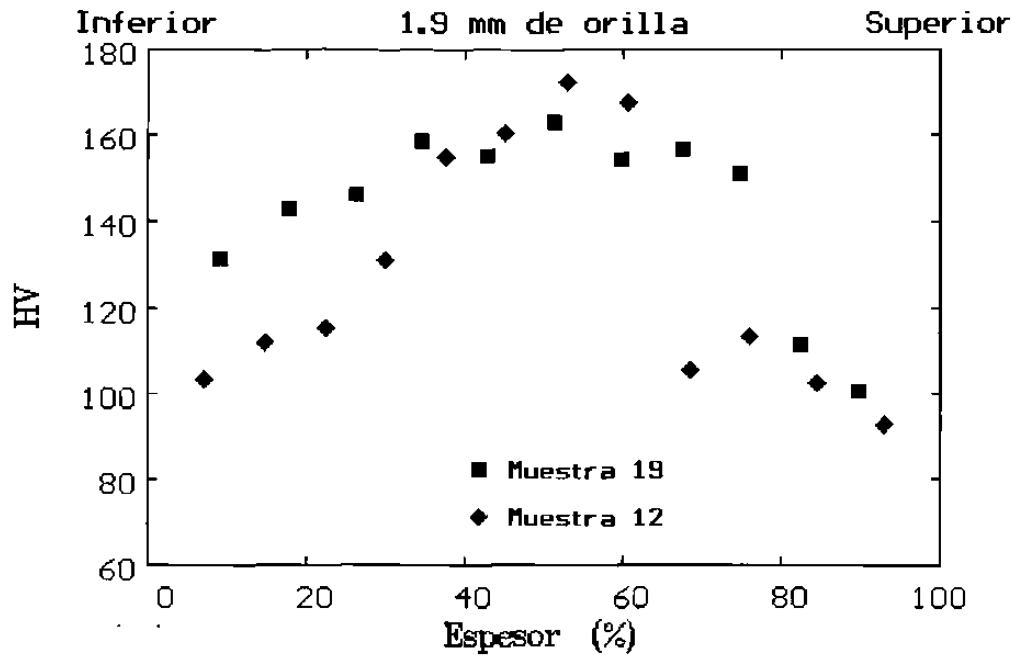
Figura 5.58.- Perfil de durezas de la muestra D soldada con 13.96 kA.



**Figura 5.59.-** Comparación del perfil de durezas de la soldadura 12 (12.32 kA) y 19 (13.96 kA) de la muestra D en la zona centro.



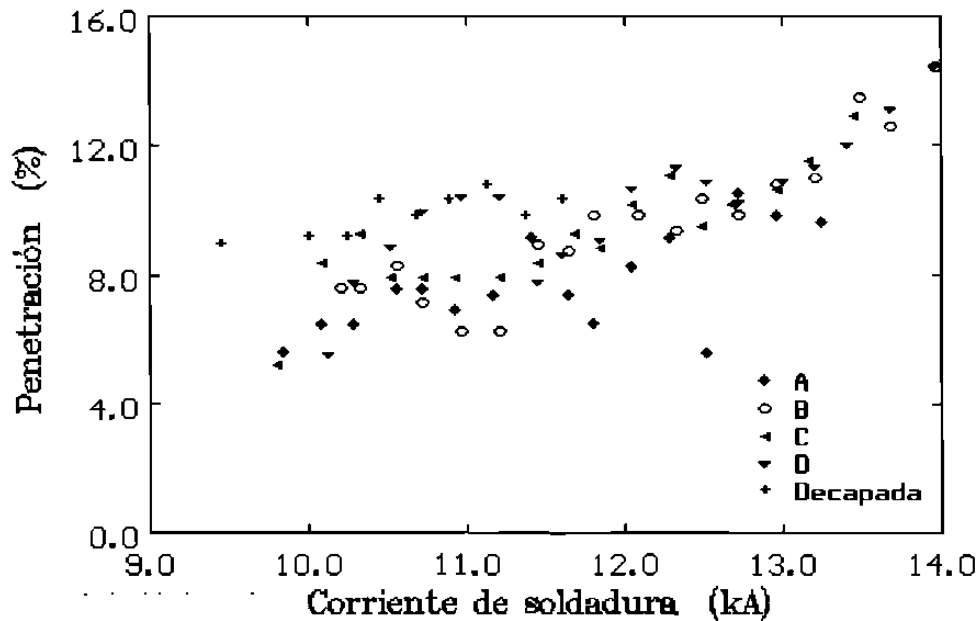
**Figura 5.60.-** Comparación del perfil de durezas de la soldadura 12 (12.32 kA) y 19 (13.96 kA) de la muestra D a la distancia de 1 mm del inicio de la soldadura.



**Figura 5.61.-** Comparación del perfil de durezas de la soldadura 12 (12.32 kA) y 19 (13.96 kA) de la muestra D a la distancia de 1.9 mm del inicio de la soldadura.

## 5.9 PENETRACIÓN DE LOS ELECTRODOS.

La penetración de los electrodos en las láminas a soldar también fue determinada de acuerdo a la corriente de soldadura aplicada durante los ensayos. La penetración de los electrodos es considerada, en algunos casos, como una variable que determina que tan buena es la soldadura. En la Figura 5.62 se muestra la penetración del electrodo en la lámina de acuerdo a la corriente de soldadura para cada muestra. Según el standard de Chrysler <sup>(38)</sup> la penetración de los electrodos no deberá ser mayor de un 20 % del espesor original de la lámina.



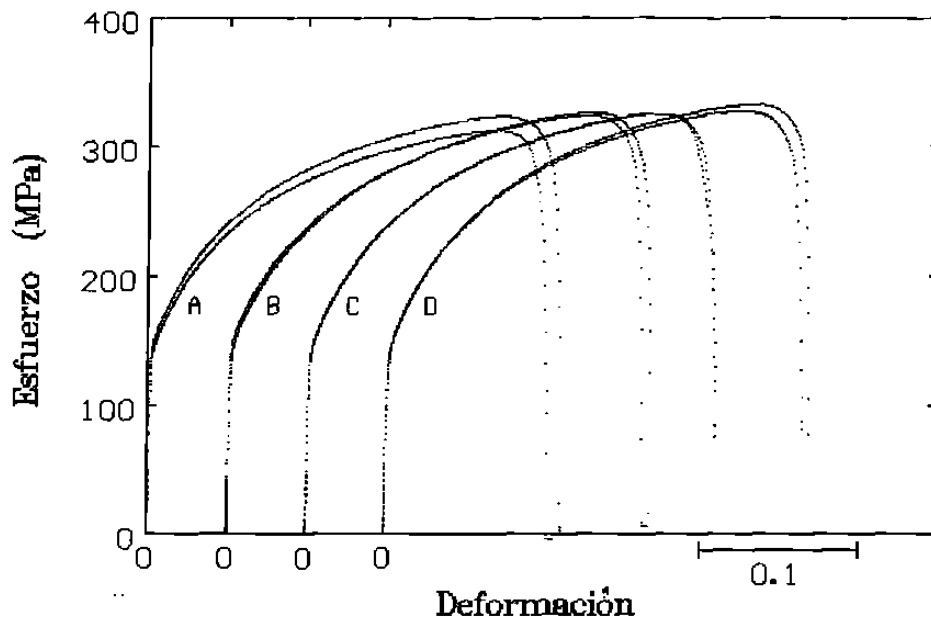
**Figura 5.62.-** Penetración del electrodo en la lámina en función de la corriente de soldadura.



## 5.10 RESISTENCIA MECÁNICA.

La variable más importante para evaluar la calidad de la soldadura es la resistencia mecánica de la misma. Por tal motivo, se decidió evaluar probetas ASTM E8 de las muestras del material, para así obtener la resistencia mecánica de las mismas y compararlas con las probetas soldadas en el presente estudio.

En la Figura 5.63, se presentan las curvas de esfuerzo contra deformación de las probetas del material ensayado en la condición de recepción. Además, en la Tabla 5.8, se muestran algunas propiedades del material.



**Figura 5.63.-** Curva esfuerzo contra deformación para cada una de las muestras ensayadas.

Los resultados de la Figura 5.63 y los presentados en la Tabla 5.8, servirán como referencia para poder evaluar la calidad de la soldadura de las probetas ensayadas. En la Tabla 5.9 se presentan las propiedades registradas por la empresa fabricante.

Muestra	$\sigma_y$ (MPa)	$\epsilon_u$ (mm)	$\sigma_u$ (MPa)	$\eta$	k	% Red. Área	Carga max. (kN)	HV
A-1	137.0	0.2190	314.0	0.2350	470.0	42.24	3.861	
A-2	140.0	0.2240	323.0	0.2360	483.0	41.40	3.961	
<b>A*</b>	<b>138.5</b>	<b>0.2215</b>	<b>318.5</b>	<b>0.2355</b>	<b>476.5</b>	<b>41.82</b>	<b>3.911</b>	<b>86.31</b>
B-1	142.0	0.2330	324.0	0.2280	471.0	40.94	3.911	
B-2	138.0	0.2340	326.0	0.2460	489.0	41.72	3.916	
<b>B*</b>	<b>140.0</b>	<b>0.2335</b>	<b>325.0</b>	<b>0.2370</b>	<b>480.0</b>	<b>41.33</b>	<b>3.914</b>	<b>88.47</b>
C-1	136.0	0.2230	326.0	0.2410	480.0	41.80	4.002	
C-2	135.0	0.2240	325.0	0.2390	485.0	43.51	3.967	
<b>C*</b>	<b>135.5</b>	<b>0.2235</b>	<b>325.5</b>	<b>0.2400</b>	<b>482.5</b>	<b>42.66</b>	<b>3.985</b>	<b>86.21</b>
D-1	133.0	0.2250	328.0	0.2390	488.0	45.00	4.093	
D-2	131.0	0.2320	333.0	0.2370	485.0	46.95	4.108	
<b>D*</b>	<b>132.0</b>	<b>0.2285</b>	<b>330.5</b>	<b>0.2380</b>	<b>486.5</b>	<b>45.98</b>	<b>4.101</b>	<b>84.07</b>

\* valor promedio

**Tabla 5.8.-** Propiedades mecánicas de las muestras ensayadas en el estudio.

**Donde:**

$\sigma_y$  = Esfuerzo real de cedencia.

$\epsilon_y$  = Deformación última.

$\sigma_u$  = Esfuerzo real máximo o último.

$\eta$  = Coeficiente de endurecimiento.

k = Coeficiente de la Ec. de Ludwik.

$$\sigma = k\epsilon^\eta$$

**Ec. 5.1**

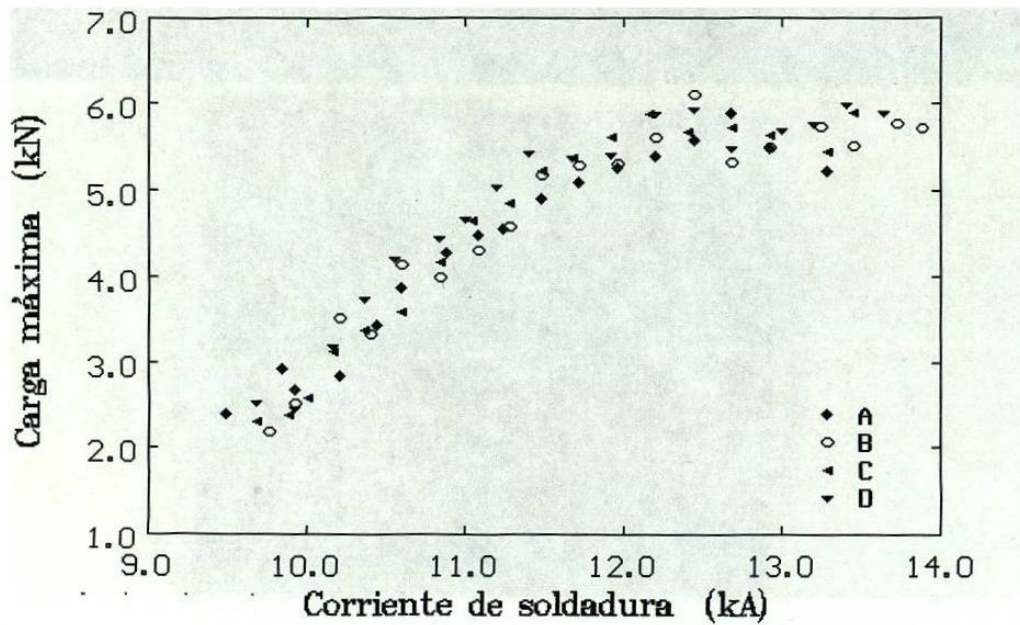
Muestra	Espesor(mm)	$\sigma_y$ (MPa)	$\sigma_u$ (MPa)	% Elong.
<b>A</b>	1.155	114.69	289.38	42
<b>B</b>	1.148	137.80	296.27	41
<b>C</b>	1.143	124.02	296.27	41
<b>D</b>	1.155	124.02	303.16	43

\* No son esfuerzos reales

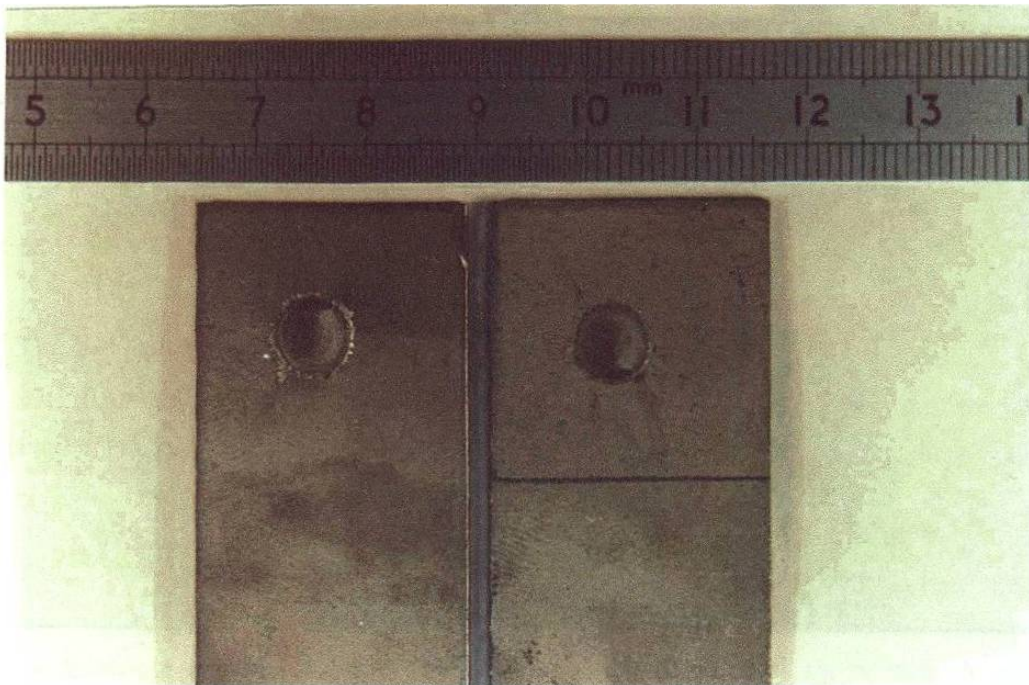
**Tabla 5.9.-** Propiedades mecánicas suministradas por el fabricante de las láminas recubiertas.

Los valores de la carga máxima registrada durante los ensayos de tensión efectuados en probetas soldadas se muestran en función de la corriente de soldadura en la Figura 5.64.

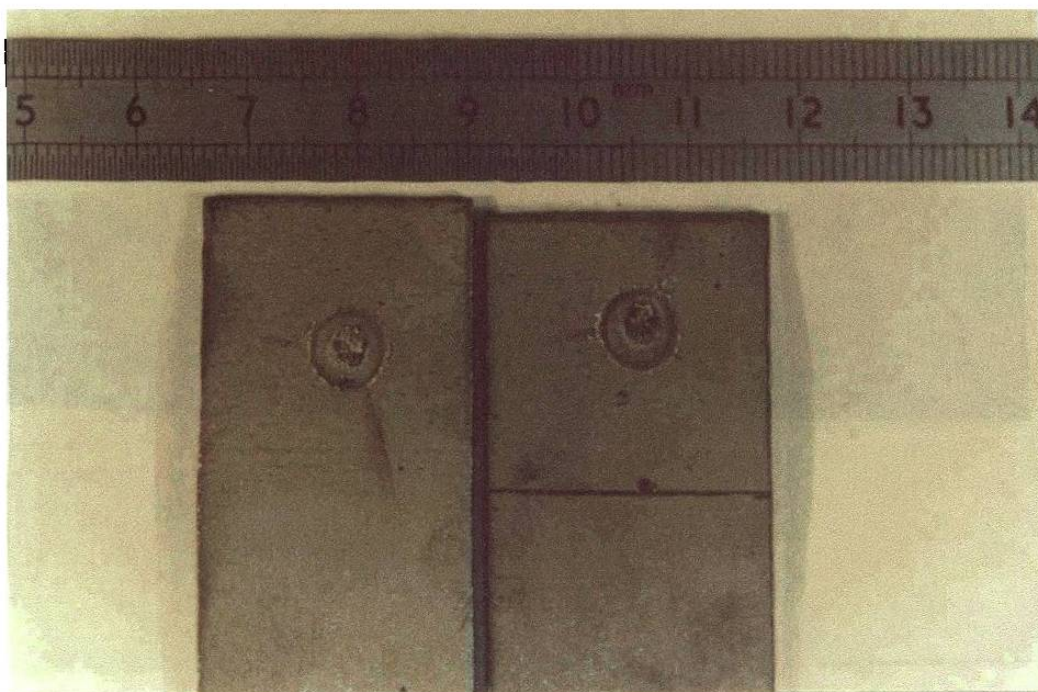
En las Figuras 5.65 a la 5.69 se puede observar algunos aspectos relacionados con la evolución de la zona soldada en las probetas de tensión.



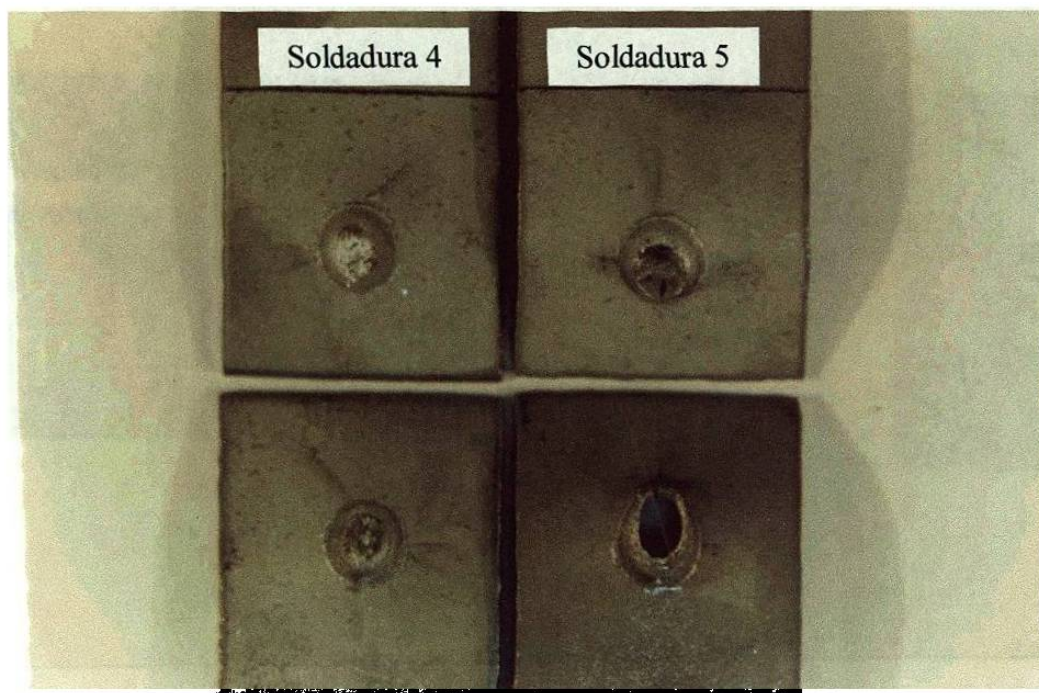
**Figura 5.64.-** Carga máxima soportada por la probeta en función de la corriente de soldadura.



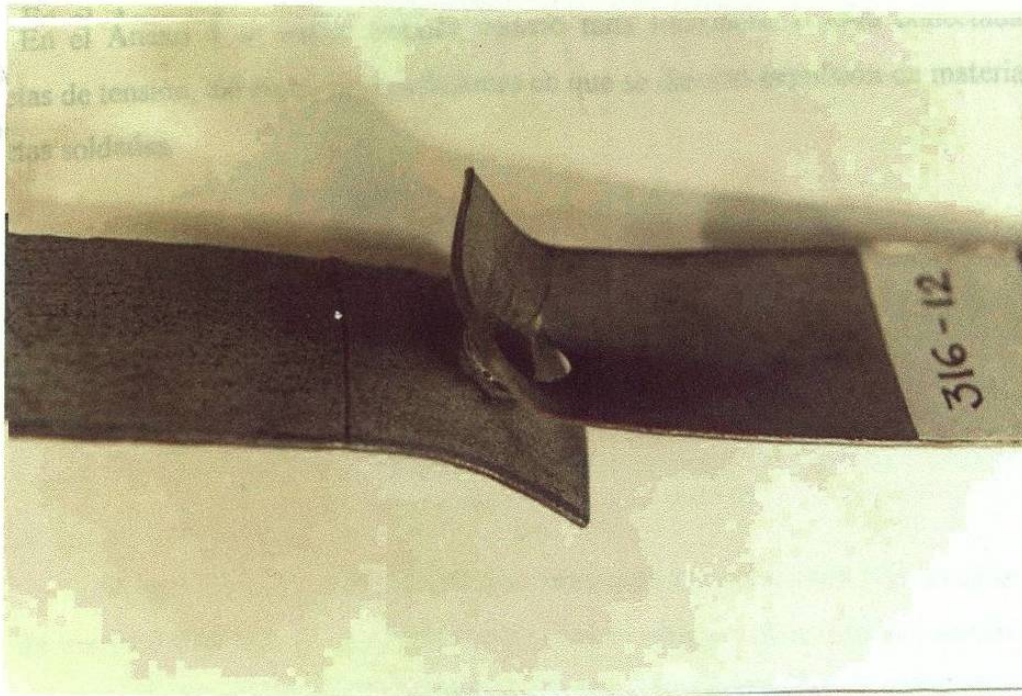
**Figura 5.65.-** Probeta de tensión de la muestra A soldada con 9.84 kA.



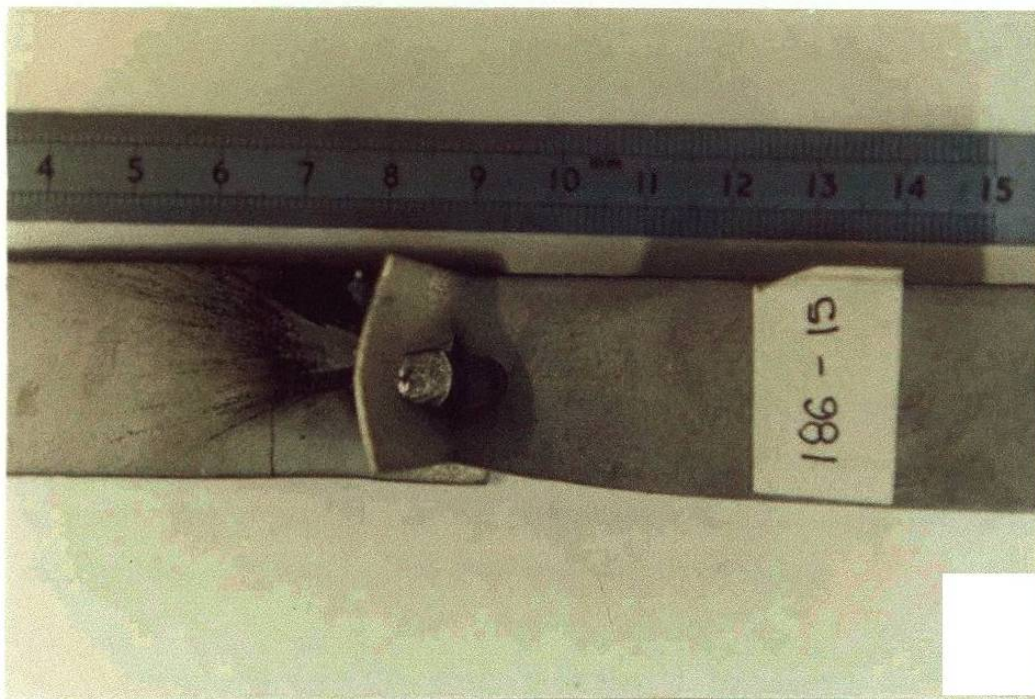
**Figura 5.66.-** Probeta de tensión de la muestra A soldada con 10.28 kA.



**Figura 5.67.-** Probetas de tensión de la muestra A soldada con 10.56 kA (soldadura 4) y 10.72 kA (soldadura 5).



**Figura 5.68.-** Aspecto de la falla de la muestra C soldada con 12.28 kA.



**Figura 5.69.-** Aspecto de la muestra A soldada a 12.96 kA, en la que se aprecia la expulsión de material en la interfase lámina/lámina.

En el Anexo 3 se indica cuando ocurrió falla interfacial o falla conectada en las probetas de tensión, así como las condiciones en que se detectó expulsión de material en las probetas soldadas.