

# ESTUDIO MECANICO-METALURGICO DE ROTURAS ORIGINADAS EN ELEMENTOS DE CONSTRUCCION

Por José M.<sup>a</sup> CORTES DIAZ  
Perito industrial metalúrgico  
e ingeniero técnico en mecánica, y

Emilio PARTIDA PERDIGONES  
Ingeniero industrial

El presente trabajo, presentado bajo el título de "Estudio de fallos de fabricación en un montacargas y en un andamio" como Comunicación a las III Jornadas Nacionales de Seguridad en la Construcción, analiza, desde el punto de vista mecánico-metalúrgico, las posibles causas de algunos accidentes en un montacargas y en los elementos de sustentación de una grúa.

Se ha de hacer hincapié en que las conclusiones que exponemos están basadas, única y exclusivamente, en observaciones y ensayos realizados en el laboratorio de ensayos mecánicos del Centro Nacional de Homologación, sobre los elementos materiales relacionados directamente con el accidente, y prescindiendo, por tanto, de cualquier otra circunstancia o análisis "in situ" que entrase dentro del campo de un técnico o departamento de seguridad.

Para la realización del primer estudio nos fue suministrado para su análisis dos pletinas de acero de 60 por 85 milímetros y 6 milímetros de espesor, y un casquillo de acero de 100 milímetros de diámetro exterior y 60 milímetros de diámetro interior, provisto de chavetero de unos 7 milímetros de profundidad y 95 milímetros de longitud, igual a la del casquillo.

El casquillo había estado soldado directamente al tambor de un montacargas, desoldándose y originando la caída del mismo, actuando entonces el sistema de frenado, del que formaban parte las pletinas que no pudieron frenar su marcha, debido a las deficiencias tanto en las dimensiones de las mismas como en la realización del cordón de soldadura.

Previamente a la realización de los primeros análisis se procedió al examen visual de ambas piezas.

En las pletinas se observaron signos de corrosión en determinadas zonas donde no penetró el cordón de soldadura, que era poco uniforme y que había sido realizado con poca profundidad, sin llegar a penetrar a la cara opuesta a la realización del cordón.

En el casquillo, provisto de un cordón circular de 109 milímetros de diámetro, éste se presentó de forma mucho más uniforme en toda su longitud, si bien de las muestras extraídas mediante cortes transversales, para el análisis macroscópico, se pudo observar cómo la garganta del cordón, en principio, parecía insuficiente para el tipo de esfuerzos a que se encontró sometida.

A la vista del examen ocular efectuado en ambas

piezas se orientaron los estudios, tendentes a determinar por un lado las características de la soldadura y del metal base de ambas piezas y, por otro, a realizar el cálculo de las dimensiones del cordón de soldadura del casquillo, para lo que se requirió nos fuese facilitado el momento torsor a que se encontraba sometido el casquillo durante el funcionamiento del tambor, así como el diámetro de éste y la carga máxima transportada por el montacargas.

## A) OBSERVACION MACROSCOPICA

Se tomaron de ambas pletinas y del casquillo diferentes muestras conteniendo la sección transversal del cordón de soldadura.

El ataque con Nital 1, sobre las muestras extraídas de los distintos puntos del extremo de ambas pletinas con signos de corrosión, mostró la existencia de un ligero chaflán.

En el examen visual de dos muestras extraídas del cordón circular del casquillo, atacadas con Nital 1, no se observó ninguna preparación previa en la pieza a la realización de la soldadura.

## B) OBSERVACION MICROSCOPICA

### *Cordón de las pletinas.*

Sobre las muestras extraídas de las pletinas, conteniendo la sección transversal del cordón de soldadura, examinadas al microscopio a 250 aumentos, se observaron tres zonas perfectamente diferenciadas:

a) Una zona externa a la soldadura, próxima a ella, constituida por el material base de la pletina, no afectado, compuesta por granos de perlita inmersos en el constituyente matriz de ferrita, característico de un acero de bajo contenido en carbono (0,3 por 100 C, aproximadamente).

b) Una zona de transición metal-soldadura con estructura grosera de la zona de recalentamiento, con agregado fino, posiblemente de troostita.

c) Una tercera zona correspondiente al cordón de soldadura, constituida por una estructura basáltica, formada por agujas de ferrita proeutectoide depositadas

en forma de láminas entrecruzadas en el interior de los granos de austenita grosera, estructuras Widmanstaetten, características de los aceros hipoeutectoides, sobrecalentados y enfriados rápidamente.

#### Cordón circular del casquillo.

Sobre dos muestras extraídas del casquillo conteniendo la sección transversal del cordón de soldadura, examinadas al microscopio a 250 aumentos, se observaron las mismas zonas que en las pletinas:

a) Una zona externa a la soldadura, próxima a ella, constituida por el material base del casquillo, no afectado, compuesta por granos de perlita inmersos en el constituyente matriz de ferrita, característico de un acero semiduro (0,5 por 100 C, aproximadamente).

b) Una zona de transición metal-soldadura con estructura grosera de la zona de recalentamiento, con agregado fino, posiblemente de troostita.

c) Una tercera zona correspondiente al cordón de soldadura, constituida por una estructura similar a la del cordón de las pletinas, en la que se observa cierta cantidad de escorias.

### C) CALCULO DEL CORDON CIRCULAR

Para el cálculo del cordón se tomó como punto de partida el momento torsor a que se encontró sometido durante el funcionamiento del tambor,  $M_t$ , incrementándose este valor con la aplicación del "coeficiente de importancia vital" 1,5, a aplicar en el cálculo de máquinas cuando de la rotura de un elemento se desprenda peligro para la vida de las personas o avería de la máquina.

Considerando la garganta del cordón,  $a$ , y en el supuesto de que la unión soldada se encontrase sometida, única y exclusivamente, a un esfuerzo de torsión (cortadura), debido al momento torsor  $M_t$ , la máxima tensión de cortadura se calculó a partir de la expresión:

$$T_{max} = \frac{M_t}{W_t} = \frac{M_t}{\frac{1}{R+a} \left[ (D+2a)^4 \frac{\pi}{32} - \frac{\pi}{32} D^4 \right]}$$

$$= \frac{M_t (R+a) 32}{\pi [(D+2a)^4 - D^4]}, \text{ de donde,}$$

$$M_{tmax} = \frac{\pi [(D+2a)^4 - D^4] \cdot T_{max}}{32 (R+a)}$$

Considerando  $T_{max}$  conocido, adoptado de la tabla 20 de "Proyecto y Cálculo de las Construcciones Soldadas", que si bien es de aplicación al cálculo de vigas sometidas a cargas estáticas, se ha adoptado como valor aproximado para el cálculo.

La comparación del  $M_{tmax}$  admisible, con el que soportaba en el momento del accidente, puso de manifiesto la insuficiente dimensión de la garganta del cordón,  $a$ .

A la vista de los análisis efectuados se establecieron las siguientes CONCLUSIONES:

De la inspección ocular efectuada se dedujo la falta de penetración y de uniformidad en los cordones de am-

bas pletinas, con la consiguiente disminución de sus características mecánicas.

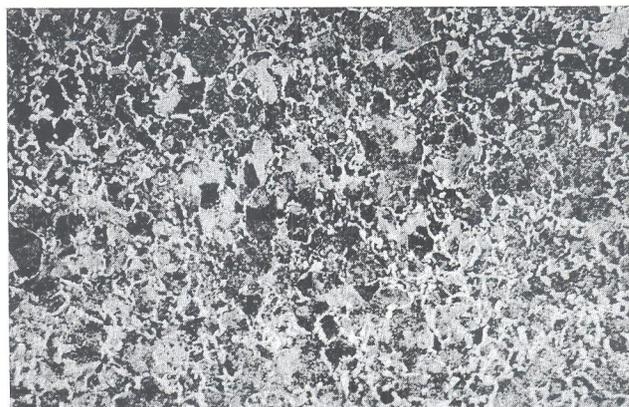


Probeta número 2 (atacada con Nital 1)  $\times 100$ .

De la observación macroscópica se dedujo la poca o nula preparación de ambas piezas anterior a la realización de la soldadura, más acusada en el casquillo, donde el material base es menos soldable y el espesor de las piezas mayor.

De la observación metalográfica efectuada sobre el metal base de ambas piezas se dedujo que en ambos tipos de aceros la soldabilidad es aceptable, máxime si se tiene en cuenta que la soldabilidad con soldadura eléctrica por arco, al estar las transformaciones más localizadas, amplían el dominio de los aceros soldables.

Del estudio del material del cordón de soldadura y de la zona de transición metal-soldadura, se dedujo que los constituyentes estructurales en ambas zonas se co-



Probeta número 2 (atacada con Nital 1)  $\times 100$ .

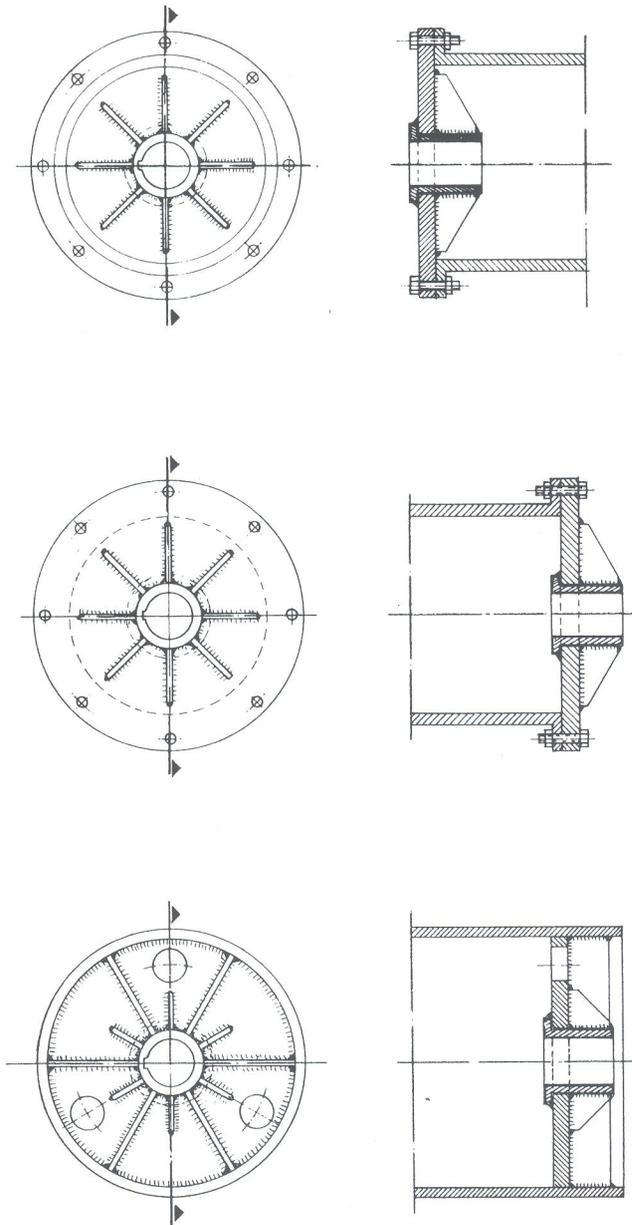
NOTA.—El desigual calentamiento y tiempo de permanencia a distintas temperaturas queda de manifiesto por el tamaño de grano en la misma probeta.

respondían con los de una soldadura eléctrica por arco, realizada en un acero soldable.

De los cálculos efectuados se dedujo que el espesor del cordón del casquillo es insuficiente para el tipo de sollicitación a que estuvo sometido, debiendo aumentarse el espesor del cordón de soldadura y reforzar la unión del casquillo al tambor mediante la aplicación de cartelas soldadas. Los esquemas que se adjuntan indican diversas formas de realizar la unión de un casquillo o cubo a un tambor mediante soldaduras, si bien pueden emplearse otras soluciones en las que puede prescindirse de éstas.

Para la realización del segundo estudio nos fue suministrado para su análisis un gancho de acero, fabricado con redondo de construcción de 20 milímetros de diámetro, que se había roto cuando sustentaba una guindola en la que se encontraban dos operarios, ocasionando el accidente.

Previamente a la realización de los primeros análisis, se procedió al examen visual de los trozos del gancho.



SOLDADURA DE UN CUBO A UN TAMBOR DE UN MONTACARGA

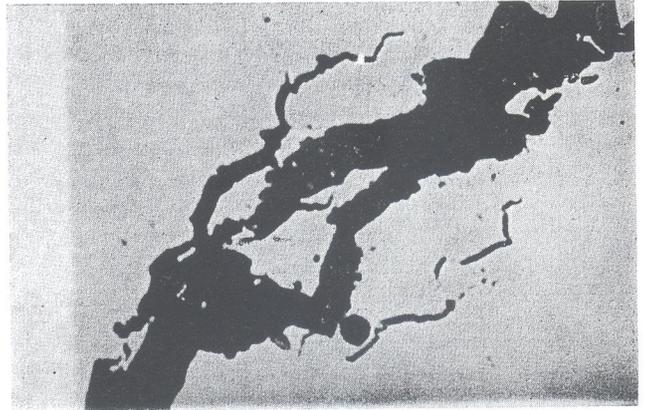
Se observó que el gancho presentaba diferente curvatura en ambos lados, acusada mayormente en el extremo en que se originó la rotura.

Exteriormente, se observó en las zonas curvas un color azulado, posiblemente originado por un calentamiento con soplete, cosa bastante probable si observamos que los extremos del gancho presentan síntomas de haber sido cortados por soplete.

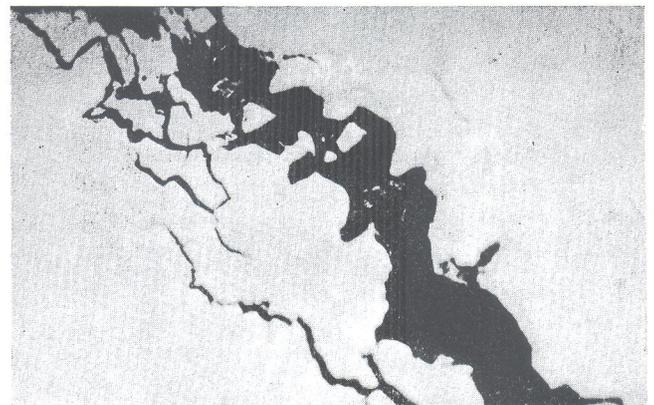
En el lado donde se originó la rotura se observó exteriormente una grieta longitudinal de unos 80 mm., que une ambas zonas de fractura.

Un corte transversal pone de manifiesto la profundidad de la grieta, unos 11 mm., así como la existencia de otra pequeña grieta de 1,5 mm. de profundidad.

A la vista del examen ocular efectuado en las distintas piezas que componen el gancho, se orientaron los estudios, tendentes a determinar por un lado la resistencia a la tracción del trozo de gancho en el que no se originó rotura y, por otro, conocer las características estructurales del material del mismo y la posible variación de la dureza en distintas zonas.



Probeta número 3 (sin ataque)  $\times 100$ .



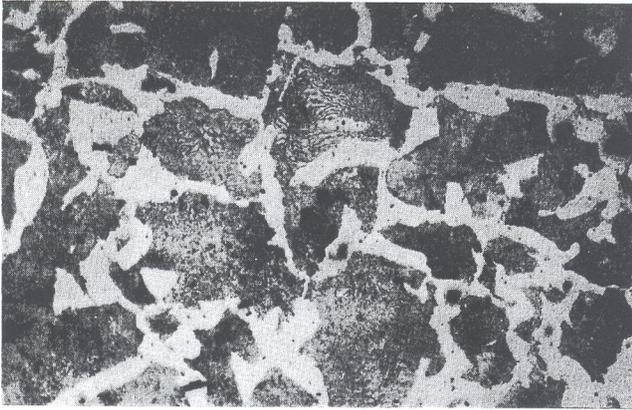
Probeta número 3 (sin ataque)  $\times 100$ .



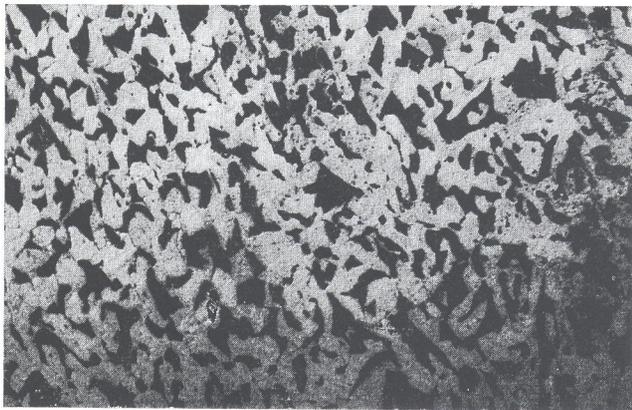
Probeta número 3 (atacada con Picral 4)  $\times 350$ .

#### A) RESISTENCIA A LA TRACCION DEL GANCHO

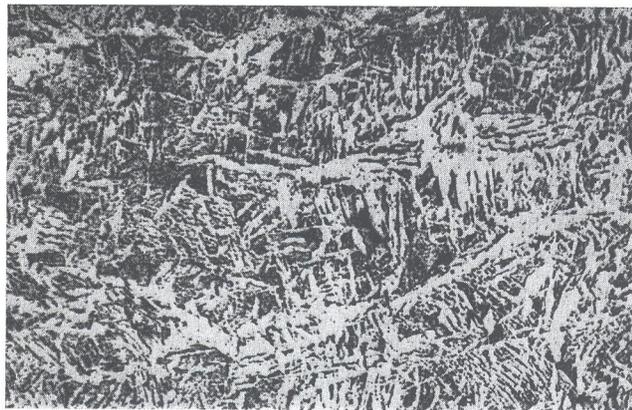
Se ha tomado el tercer trozo del gancho y se le han soldado en el extremo más largo dos varillas de acero en forma de lazo, al objeto de poder introducir en él un pasador de 30 mm. de diámetro.



Material base del casquillo  $\times 250$ , atacado con Nital 1.



Material base de la pletina  $\times 250$ , atacado con Nital 1.



Cordón de soldadura, estructura basáltica,  $\times 250$ , atacado con Nital 1.



Zona de transición metal-soldadura, con estructura gruesa de la zona de recalentamiento y agregado fino de tipo troostítico,  $\times 250$ , atacada con Nital 1.

Preparado de esta forma, se ha colocado con la zona curva sujeta a la mordaza fija de una máquina de tracción, mediante una cuerda de trevira de 10 mm. de diámetro y con el lazo superior sujeta a la mordaza móvil de la máquina mediante un pasador.

El ensayo se efectuó con un fondo escala de 2.000 kgf. y utilizando velocidades de 20, 10 y 5 mm/minuto, decreciendo conforme fue disminuyendo el alargamiento de la cuerda de fijación.

La rotura tuvo lugar para una carga de 1.300 kgf. y sobrevino sin ninguna deformación aparente, dando lugar a una fractura frágil, idéntica a la del lado opuesto.

La observación de la zona de fractura puso de manifiesto la existencia de una grieta interna de sentido transversal de 4 mm. de profundidad y unos 12 mm. de longitud.

## B) ESTUDIO METALOGRAFICO

Para la observación de la microestructura del acero se cortó, en sentido transversal, de las zonas indicadas en el esquema adjunto, tres trozos de unos 5 mm. de longitud.

Una vez pulidas las probetas, la observación sin ataque a 100 aumentos puso de manifiesto la existencia de inclusiones de óxidos, tipo globular.

Mientras en las probetas 1 y 2 se observaron grandes colonias de inclusiones del número 5 de la serie D gruesa, de la norma ASTM E-45-60 T, más dispersos en la probeta 1, en la 3 las inclusiones se encontraron más dispersas y más finas, del número 2,5 de la serie D delgado.

La observación de las probetas 1 y 2, a 250 aumentos, después de haber sido atacadas con Nital 1, mostraron una estructura perlítica, característica de un acero de alto contenido en carbono.

La observación de la probeta 3, a 1.000 aumentos, después de haber sido atacada con Picral 4, mostró una estructura totalmente distinta, formada por agujas de martensita.

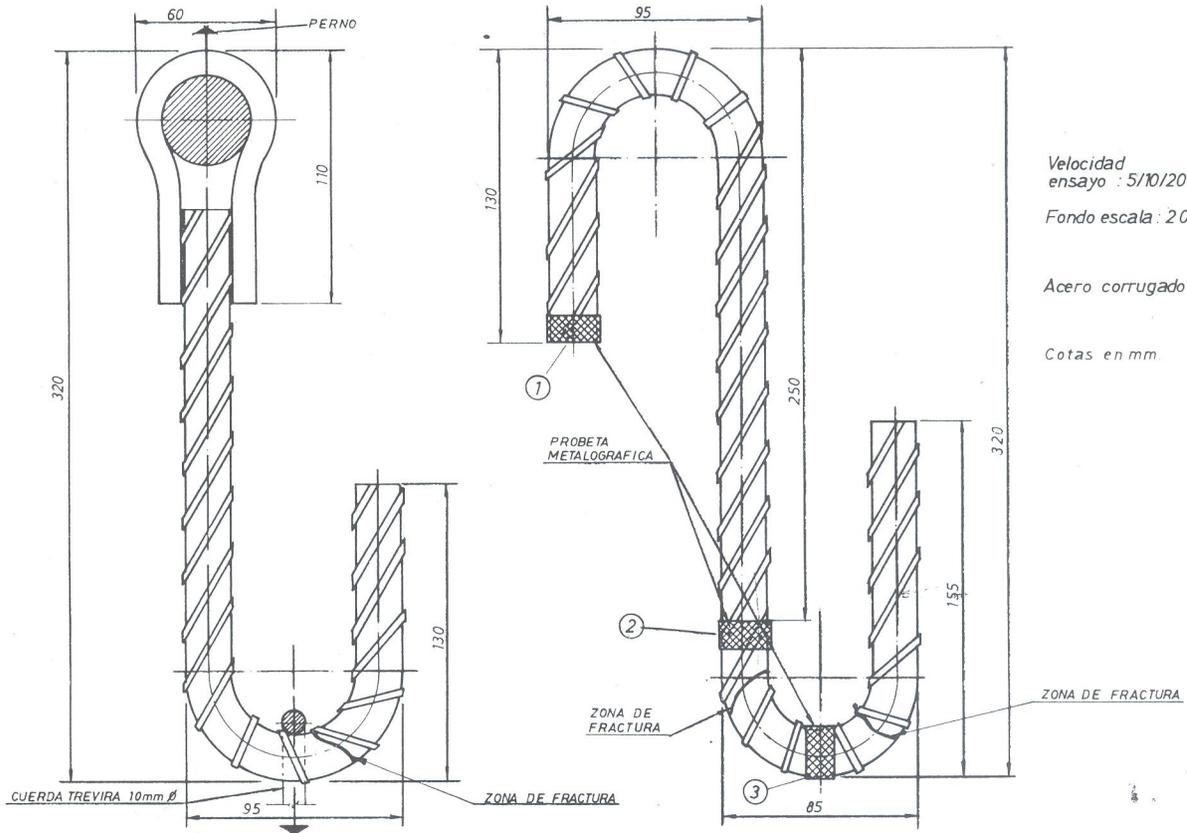
## C) DETERMINACION DE LA DUREZA

Se realizaron sobre la sección transversal de cada una de las tres probetas anteriores cinco determinaciones, obteniéndose los siguientes resultados:

	H R C	Valor medio HRC
Probeta núm. 3 ...	60 - 55 - 59 - 60 - 60	59
Probeta núm. 2 ...	16 - 18 - 16 - 17 - 16	17
Probeta núm. 1 ...	17 - 17 - 15 - 17 - 15	16

A la vista de los análisis efectuados se establecieron las siguientes CONCLUSIONES:

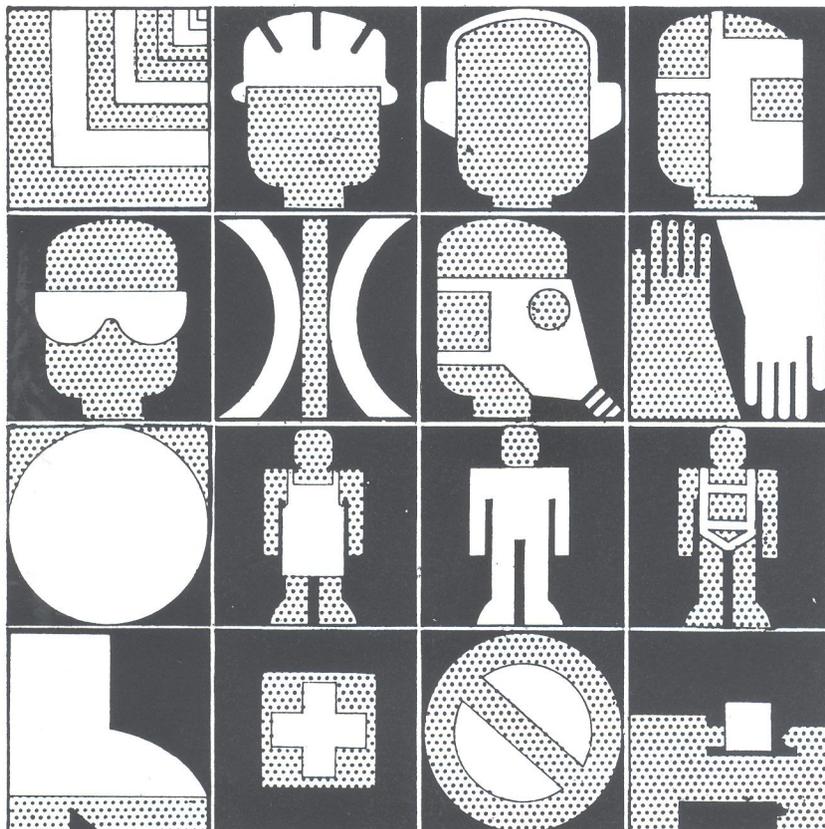
Según las instrucciones contenidas en el artículo 12



de la Norma E. H. 73 del Instituto Eduardo Torroja, se recomienda el doblado en frío de los redondos de acero para construcción y que el radio de curvatura más pequeño sea, al menos, de cinco veces el diámetro si la barra es lisa, y siete veces el diámetro si la barra es corrugada, por lo que se estima que en la confección del gancho se han realizado curvaturas excesivas en el doblado, más acentuadas en el extremo en que sobrevino la rotura, sin duda la de mayor estado de tensión.

Los constituyentes estructurales de la zona curvada son distintos a los del resto del elemento, como se deduce de la observación microscópica efectuada y de la dureza de ambas zonas.

La aparición de grietas en las dos zonas curvadas del gancho inducen a pensar en el desigual calentamiento a que fueron sometidas dichas zonas, originándose fuertes tensiones por la desigual velocidad de transformación de los constituyentes estructurales.



# MAPE



## MATERIALES DE SEGURIDAD PARA LA PREVENCIÓN DE ACCIDENTES

MEDICIÓN Y DETECCIÓN.  
 PROTECCIÓN CRÁNEO.  
 PROTECCIÓN ACÚSTICA.  
 PROTECCIÓN FACIAL.  
 PROTECCIÓN OCULAR.  
 CRISTALES DE PROTECCIÓN.  
 PROTECCIÓN VÍAS RESPIRATORIAS.  
 PROTECCIÓN EXTREMIDADES SUPERIORES.  
 PROTECCIÓN DE LA PIEL.  
 PROTECCIÓN TRONCO.  
 PROTECCIÓN CUERPO (ROPA).  
 PROTECCIÓN TRABAJOS EN ALTURA.  
 PROTECCIÓN EXTREMIDADES INFERIORES.  
 PROTECCIÓN DE EMERGENCIA.  
 SEÑALIZACIÓN DE SEGURIDAD.  
 PROTECCIÓN MAQUINAS.

la más extensa gama de materiales de seguridad

# MAPE

Fontecha Salazar, 1 y 3  
 Campo de Volantín, 29  
 Tel. 445 19 00 (4 líneas)  
 BILBAO (7)