

INFLUENCIA DE LOS PARAMETROS FUNDAMENTALES DE ROTURA FRAGIL SOBRE EL ENSAYO NIBLINK Y SU COMPARACION CON EL ENSAYO CHARPY - V •

A. BELLO * y J. DURAN **

RESUMEN - Se trata del estudio experimental de un nuevo ensayo de rotura frágil, cuyas peculiares características suponen un avance en las técnicas de estudio de ese tipo de roturas. La investigación se lleva a cabo sobre chapas soldadas de construcción naval, de 28 mm de espesor, para los procedimientos de soldeo por arco eléctrico manual, soldeo semiautomático bajo CO₂ y arco sumergido por una sola cara. El artículo comienza con una revisión general de los fundamentos de los numerosos ensayos de rotura frágil existentes, describiendo y comentando después el ensayo Niblink. A continuación, se exponen los objetivos de la investigación y los datos de base y normas comunes a los diversos ensayos, para pasar después a la parte experimental, donde se estudia la influencia sobre el ensayo Niblink de la velocidad y la energía de impacto en función de la temperatura, así como las posibilidades de reducción del tamaño de la probeta. Paralelamente se hace una comparación con el ensayo Charpy-V, comentando, por último, los resultados y sacando unas conclusiones finales sobre el ensayo en cuestión.

1. Consideraciones generales

Desde el origen de las grandes construcciones soldadas se ha registrado una serie de roturas de tipo frágil o semifrágil, muchas de ellas con carácter catastrófico, que de forma alarmante se han ido sucediendo con mayor o menor frecuencia hasta fechas muy recientes. Estas roturas han afectado principalmente a estructuras de tanta responsabilidad como barcos, puentes, recipientes a presión, etcétera.

• Programa de Investigación llevado a cabo por el CENIM.

* Ingeniero Metalúrgico. Universidad Técnica del Estado. Chile.

** Ingeniero Industrial. Departamento de Soldadura. CENIM.

Las investigaciones a escala mundial de este agobiante problema han señalado tres factores fundamentales para la seguridad de las construcciones soldadas: diseño, ejecución y materiales. Es esencial, en efecto, la supresión en el diseño de entallas y la búsqueda de formas continuas, así como también que en la ejecución de las soldaduras se elimine toda posibilidad de defectos o la mala disposición de las uniones. Con relación a los materiales, es evidente que las condiciones anteriores serán menos críticas si el acero utilizado y el metal de aportación tienen un nivel de resistencia aceptable a la iniciación y propagación de fisuras a la temperatura de servicio de la construcción interesada.

El método de determinación de este nivel de resistencia a las entallas es uno de los problemas más complejos con que actualmente se enfrentan los in-

investigadores, por la dificultad de encontrar un ensayo cómodo y sencillo que refleje el comportamiento en servicio de la estructura real y cuyo coste sea razonable.

Los intentos han sido numerosos y, en general, todos los ensayos concebidos toman como nivel de resistencia crítico la zona de transición o zona de temperaturas en la que el comportamiento del material pasa de dúctil a frágil. A temperaturas inferiores a dicha zona, la resistencia del acero, a la iniciación de una grieta, es prácticamente nula, propagándose las roturas de forma explosiva a velocidades superiores a 1.000 m/s.

Para su determinación, los diversos tipos de ensayos utilizan como criterio ciertas propiedades que, paralelamente al comportamiento dúctil o frágil del material, manifiestan una transición más o menos acusada en su valor al descender la temperatura. Hasta hoy, y a este respecto, las propiedades más generalizadas son: energía absorbida en el impacto (ensayos Charpy, Schanadt, etc.), aspecto de la superficie de rotura (ensayos Tipper, N. R. L., Van der Veen, Charpy, etc.), contracción lateral de una entalla (ensayos Kinzel, Tipper, Charpy, etc.) y temperatura de detección de una grieta (ensayos Robertson, Pellini, etc.). A temperaturas inferiores a la zona de transición, la energía absorbida por choque es pequeña, la superficie de rotura totalmente granular, la estricción del material nula y las grietas se propagan con suma facilidad. A temperaturas superiores se producen los fenómenos inversos, mientras que en la propia zona de transición los resultados frágiles y dúctiles se distribuyen al azar.

No obstante, hemos de señalar que no siempre la transición de las propiedades anteriores es lo suficientemente brusca como para definir con precisión una temperatura de transición. El procedimiento más usual para determinar esta temperatura consiste en representar las propiedades en cuestión, en función de las temperaturas, tomando para la zona de transición los valores medios de los resultados obtenidos en ella. Por la intersección de la curva resultante con una línea horizontal, trazada por un valor convencional de referencia de la propiedad considerada, se obtiene la temperatura de transición. Así, por ejemplo, son frecuentes las siguientes cifras de referencia: 3,5 kgm/cm² para el ensayo Charpy-V, 1% de contracción lateral de la entalla para el Kinzel, o bien 50% de cristalinidad si se trata del aspecto de la fractura. Los ensayos basados en la detención de grietas, como el Robertson y el Pellini, son superiores en este aspecto, pues su referencia no es convencional, va implícita en la propia filosofía del ensayo.

En general, los ensayos actuales de rotura frágil, a excepción de algunos de ellos, como el Charpy, Schanadt, Izod, son más o menos complicados, tanto en su realización como en su interpretación. Son más bien ensayos de laboratorio difíciles de llevar a cabo en talleres normales. De aquí, que el más extendido y utilizado sea el ensayo Charpy, con sus diversas modalidades de probeta (entallas en U,

en V, Mesnager, DVM, etc.) y bajo los criterios de energía de choque o de resiliencia. En estas condiciones, dicho ensayo es muy simple y cómodo en su realización y de fácil interpretación por la gran cantidad de información y experiencia que actualmente existe sobre él. No obstante, el tamaño de su probeta (10 × 10 × 55 mm) la hace poco representativa de las condiciones reales de trabajo, y la dispersión de sus resultados exige un número elevado de probetas (del orden de 50) para obtener una definición precisa de la curva de transición. Por todos los inconvenientes señalados, la búsqueda de un ensayo apropiado que permita la correcta calificación de los aceros respecto a la rotura frágil hace que los trabajos continúen en este terreno.

2. Ensayo Niblink

Es un intento más de control sobre la resistencia de los aceros a la rotura frágil.

2.1. Descripción

Una probeta soldada (figura 1-a), entallada en su parte inferior se coloca centrada sobre dos apo-

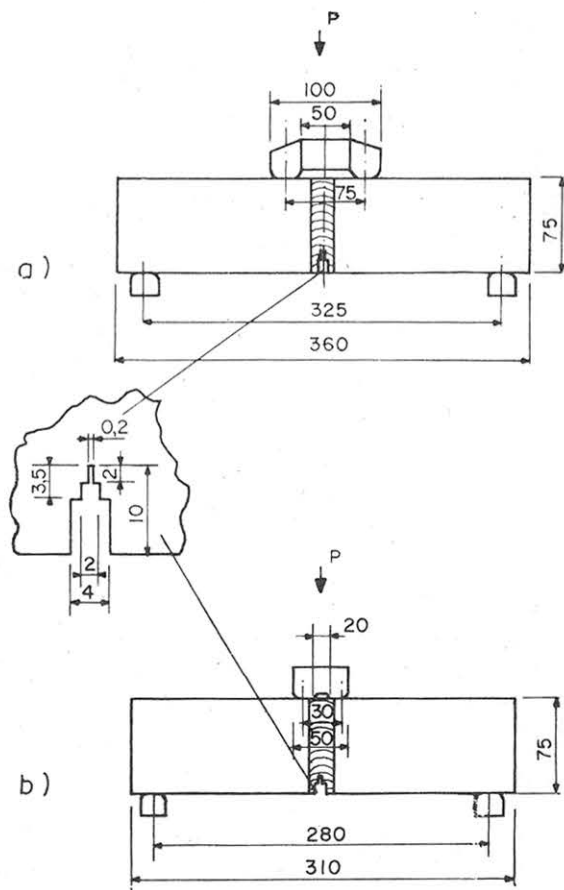


Fig. 1.—a) Probeta Niblink T de 360 mm. Espesor igual al de la chapa ensayada. Sobrecordón eliminado por mecanizado. b) Probeta Niblink T de 310 mm. Espesor igual al de la chapa ensayada. Sobrecordón eliminado por mecanizado.

yos y se somete a una sucesión de golpes de altura creciente, mediante un martillo que cae por el interior de un tubo vertical, hasta que se produce la iniciación de una grieta en la raíz de la entalla. El martillo golpea directamente sobre una pieza en forma de puente, situada encima de la probeta, en su centro. De esta forma, la probeta queda sometida en cada impacto a un plegado instantáneo sobre cuatro puntos (1). Las dimensiones normales de probeta y entalla, como rigen actualmente (2), así como la distancia entre apoyos de la probeta y la luz de la pieza puente, se dan en la figura 1-a. La secuencia de alturas de caída del martillo, según las últimas modificaciones del ensayo (2), son las siguientes: la altura del primer golpe en decímetros es igual a la cifra de las decenas del límite elástico del material base de la unión aumentada en una unidad; las alturas de los golpes siguientes aumentan de 100 en 100 mm hasta llegar a 1.000, y de 200 en 200, de 1.000 en adelante. Para el martillo se establece un peso en kg igual al espesor ensayado en mm $\pm 10\%$.

Antes de producirse el primer golpe la entalla tiene una abertura determinada a la que se denomina C. O. D. (Crack Opening Displacement *) inicial. Después de cada golpe se produce un aumento de esta abertura, cuya dimensión total recibe el nombre de C. O. D. total. La diferencia entre C. O. D. total y el C. O. D. inicial nos da el C. O. D. residual o incremento sufrido por la abertura de la entalla. El C. O. D. residual obtenido en el golpe anterior al que se inicia la grieta en el extremo de la entalla es el C. O. D. de rotura, que coincide, por tanto, con la máxima deformación permisible por el material de la soldadura.

El desarrollo del ensayo es como sigue: se estiman varias temperaturas de ensayo según el tipo de soldadura considerado y se rompen de 1 a 3 probetas a cada una de estas temperaturas, determinando las respectivas C. O. D. de rotura. La media de los C. O. D. de rotura obtenidos a cada temperatura se representa en función de éstas, resultando así la curva de transición.

Para determinar la temperatura de transición se utiliza como referencia el denominado C. O. D. crítico, que es el C. O. D. residual que se obtiene en un ensayo de plegado lento sobre cuatro puntos (figura 1-a) de una probeta Niblink de material base (conocida como probeta tipo P), cuando la tensión en la raíz de la entalla es igual al límite elástico del acero de base utilizado. La carga de plegado que produce aquella tensión viene dada en kg por la expresión:

$$P = 11 \times \sigma_y \times t$$

donde σ_y es el límite elástico del acero base en kg/mm² y t el espesor ensayado en mm. Experimentalmente se demuestra (1) que el C. O. D. crítico es prácticamente independiente de la temperatura, por lo que este ensayo suele hacerse a temperatura ambiente.

(*) Desplazamiento de la abertura de la entalla.

Conocido el C. O. D. crítico, la intersección con la curva de transición, de una horizontal trazada por la ordenada de este valor, nos determina la temperatura de transición del ensayo.

2.2. Comentarios

Como puede deducirse de la descripción anterior, se trata de un ensayo de choque bajo entalla basado en una propiedad hasta ahora no utilizada directamente en este tipo de ensayos: ductilidad del metal de soldadura en la raíz de una entalla aguda.

Por su propia concepción resulta de naturaleza intermedia entre los ensayos que aportan a la probeta toda la energía de un solo golpe, como Charpy o Pellini, y los de plegado lento, como Kinzel o Van der Veen. Esta particularidad es interesante por representar más propiamente a la realidad, pues rara vez una estructura soldada se rompe de un golpe único, siendo normalmente producida la rotura por la acumulación de deformaciones y tensiones consecuencia de acciones anteriores.

La referencia que se utiliza en este ensayo para determinar la temperatura de transición es más racional que la cifra convencional que rige en otros ensayos. En efecto, aquí se compara la capacidad de deformación del material soldado con la del material base sin soldadura, aproximándose más a la cualidad que debe pedirse a toda buena soldadura: continuidad físico-química de la unión.

Por último, las dimensiones de la probeta, con su espesor igual al de la chapa ensayada, permiten estimar la influencia sobre la rotura frágil de defectos tales como falta de penetración, mordeduras, porosidad, etc.

Estas particularidades pueden calificarse de ventajosas sobre los ensayos vigentes en la actualidad, por lo que el Instituto Internacional de la Soldadura ha recomendado el estudio del ensayo Niblink, considerándolo de interés para el conocimiento más preciso de los aceros de construcción.

3. Objetivos

El programa de investigación llevado a cabo por el Departamento de Soldadura del CENIM se orientó hacia el estudio particular del comportamiento del ensayo Niblink aplicado a chapas soldadas de los tipos empleados en construcción naval, considerando las posibles influencias que sobre sus resultados podrían tener las variaciones de la velocidad de impacto a energía constante aportada a la probeta, e inversamente, la variación de esta energía a velocidad constante. Al mismo tiempo se hizo una comparación entre las temperaturas de transición obtenidas con este ensayo y con el Charpy-V, realizando además una reducción de las dimensiones de la probeta con el fin de observar la influencia de sus dimensiones en el comportamiento del ensayo.

La investigación se centró sobre soldaduras realizadas por los procedimientos de arco eléctrico ma-

nual, con electrodo básico; soldadura semiautomática bajo $CO_2(MAG)$ y soldadura por arco sumergido, por una sola cara, procedimientos usuales en la técnica de la construcción naval soldada.

4. Máquina y dispositivos utilizados

Los ensayos se llevaron a cabo en una máquina Niblink, construida para tal fin en los talleres del CENIM. Esencialmente, es igual a la máquina utilizada por los señores Nibbering y Van Den Blink (1), excepto en el sistema medidor de la altura de caída del martillo, que fue sustituido por un dispositivo mecánico, directamente acoplado al sistema de elevación, logrando así una mayor rapidez y comodidad en la determinación de las alturas (figura 2).

Las temperaturas de los ensayos, excepto las de $0^\circ C$, se obtuvieron enfriando las probetas en una disolución de Cl_2Ca a distintas concentraciones, controlándolas con un termómetro de baja temperatura. Como elemento refrigerante se empleó CO_2 sólido.

Los incrementos de la abertura de la entalla (C. O. D.) fueron medidos con un micrómetro de esfera, adaptado para este objeto por la sustitución de su vástago móvil por una aguja cónica de acero endurecido, previamente calibrada y por un acoplamiento fijo tubular, de base plana, que permite un buen asentamiento sobre la superficie de la probeta circundante a la entalla (figura 3). De esta forma puede obtenerse una gran precisión en las medidas con tal de que el ángulo de conicidad de la aguja sea suficientemente pequeño. Para nuestros fines, se consideró suficiente una precisión de $\pm 0,001$ mm.

5. Preparación de la parte experimental

Como ya se indicó anteriormente, se utilizó para los ensayos chapa de acero de construcción naval. El acero elegido es el clasificado por el Lloyd's Register of Shipping en el tipo A, de 28 mm de espesor. El análisis químico y el ensayo de tracción de este material arrojaron los siguientes resultados:

Composición química (%)

C	= 0,12
Si	= 0,20
Mn	= 0,75
S	= 0,024
P	= 0,034
Al	< 0,05

Propiedades mecánicas (media de dos probetas)

Límite elástico (σ_y)	23,75 kg/mm ²
Resistencia a la rotura	43,7 kg/mm ²
Alargamiento ($5,65 \sqrt{S_0}$)	34,1 kg/mm ²

Para todos los efectos se tomará $\sigma_y = 24$ kg/mm².

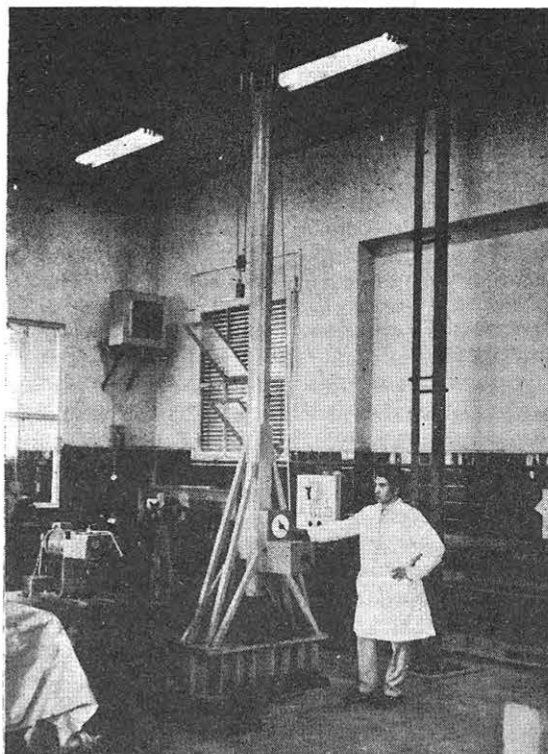


Fig. 2

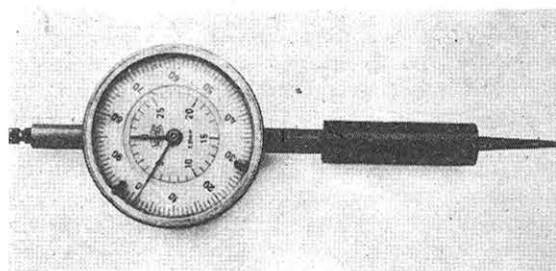


Fig. 3

Las probetas Niblink y Charpy-V se sacaron de chapas soldadas de $1.000 \times 360 \times 28$ mm, según la distribución que se indica en la figura 4.

Las dimensiones de las probetas y entalla Niblink (figura 1-a), así como las alturas nominales de lanzamiento del martillo, son las últimas recomendadas (2), según se mencionó previamente en la descripción del ensayo.

El C. O. D. crítico se obtuvo de una media de tres plegados lentos sobre cuatro puntos (figura 1-a) en probetas Niblink de material base, a $+18^\circ C$. La curva media resultante está representada en la figura 5. Según ésta, la carga de plegado, que produce en la raíz de la entalla una tensión igual al límite elástico del material:

$$P = 11 \cdot \sigma_y \cdot t = 11 \cdot 24 \cdot 28 \approx 7.400 \text{ kg}$$

origina un C. O. D. crítico de 0,042 mm, cifra de referencia a utilizar para la determinación de la temperatura de transición Niblink.

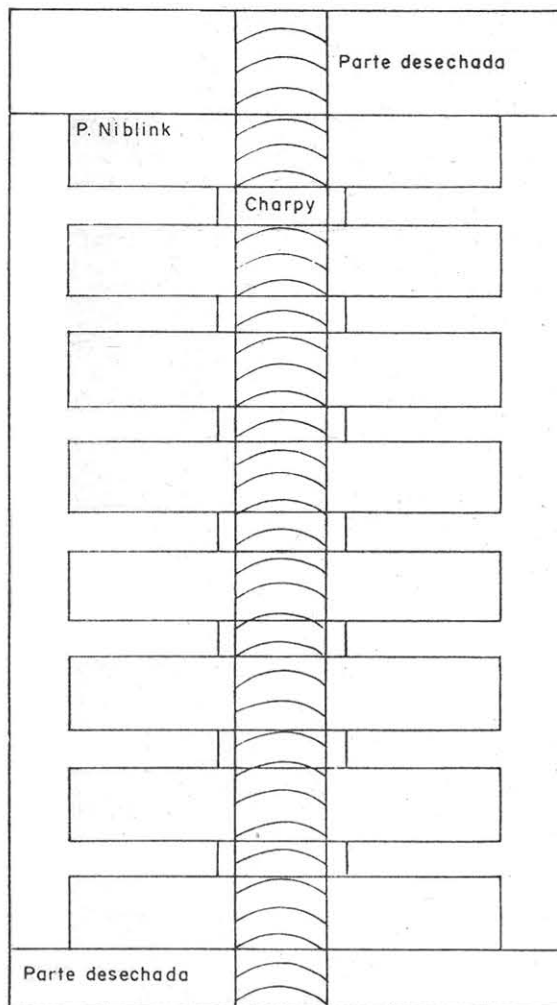


Fig. 4.—Distribución de las probetas.

Para el ensayo Charpy-V tomaremos como referencia una resiliencia de $3,5 \text{ kgm/cm}^2$, equivalente a una cifra de choque de $2,8 \text{ kgm}$.

Los ensayos se realizaron a tres temperaturas diferentes, estimadas según el proceso de soldadura, rompiendo dos probetas a cada temperatura. Se consideró que toda la masa de la probeta estaba a la temperatura del ensayo, después de haber permanecido una hora en el baño refrigerante a dicha temperatura.

Para compensar el calentamiento que lógicamente sufren las probetas desde que se sacan del baño hasta que se produce el impacto del martillo, se fijan las temperaturas del baño en un valor superior al estipulado en un 5% de la diferencia entre este último valor y la temperatura ambiente.

La distribución del tiempo entre las diferentes operaciones del ensayo de una probeta se establece como sigue y en este orden:

- Enfriamiento a la temperatura del ensayo: 1 hora.

- Medición del C. O. D. inicial (media de tres lecturas): 30 segundos.
- Mantenimiento a la temperatura del ensayo: 15 minutos.
- Primer golpe y medida del C. O. D. total (media de tres lecturas): 50 segundos.
- Mantenimiento de la temperatura del ensayo: 15 minutos.
- Segundo golpe y medida del C. O. D. total (media de tres lecturas): 50 segundos.

Y así sucesivamente hasta la iniciación de la grieta en el extremo de la entalla, en cuyo momento la probeta se considerará rota.

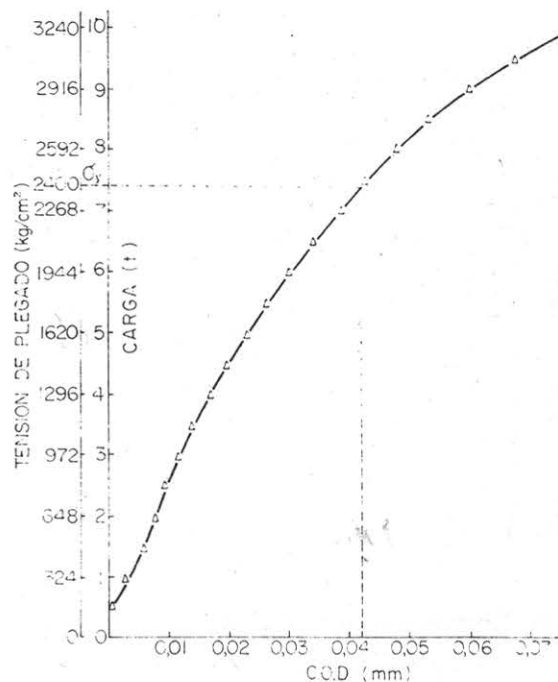


Fig. 5.—Valores del C. O. D. del material de base obtenidos en el ensayo Niblink a $+18^\circ\text{C}$.

Para representar los resultados se empleará el sistema siguiente (figuras 4 a 11): un ensayo completo (determinación de una temperatura de transición) quedará representado en un total de 4 gráficos, tres secundarios y uno principal. Los tres secundarios corresponderán cada uno a una de las tres temperaturas estimadas para cada ensayo. En ellos se representarán los C. O. D. residuales de las dos probetas rotas a la temperatura indicada al pie, en función de las alturas de caída del martillo (h). El C. O. D. residual obtenido a cada golpe se indicará junto al punto representativo correspondiente. El último C. O. D. indicado será el de rotura de la probeta.

En los gráficos principales se representan los C. O. D. de rotura del ensayo Niblink y las cifras de choque de Charpy-V en función de las temperaturas. Las horizontales trazadas por las ordenadas de referencia respectivas nos darán las temperaturas de transición correspondientes.

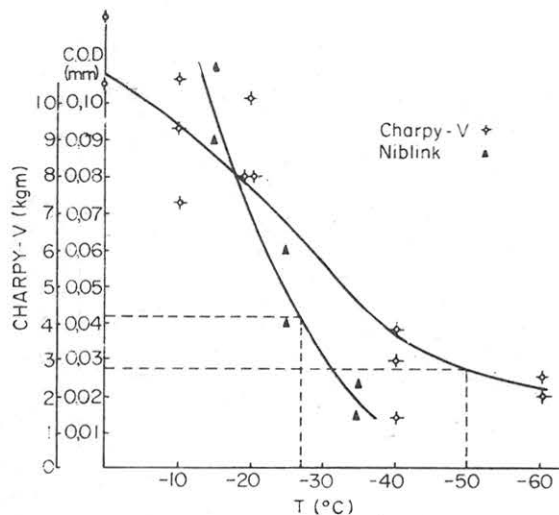
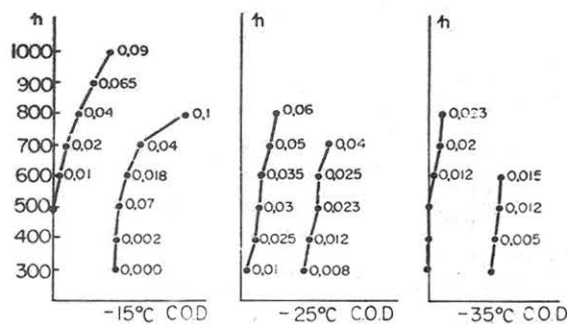


Fig. 6.—Soldadura por arco manual con electrodo básico. Niblink 360 mm y Charpy-V.

6. Ejecución de los ensayos

Con las premisas citadas en el párrafo anterior se realizaron los distintos tipos de ensayo para los tres procedimientos de soldadura antedichos: arco eléctrico manual con electrodo básico, soldadura semiautomática bajo CO_2 y arco sumergido por una sola cara. La comparación con el ensayo Charpy-V se ha hecho para los tres procedimientos. La influencia de la magnitud de la probeta se estudió solamente en los dos primeros, mientras que las variaciones de velocidad y energía se limitaron a las soldaduras por arco eléctrico manual con electrodo básico.

6.1. Ensayos con soldaduras realizadas por arco eléctrico manual con electrodo básico

Las uniones hechas por este procedimiento se realizaron según las siguientes características:

- Posición de soldeo: horizontal.
- Preparación: en X, $\alpha = 60^\circ$, sin talón.
- Separación: 2 mm.
- Electrodo: U. N. E. E355B 24 (ASTM 7018).
- Diámetro de 3,25 mm para la pasada de raíz, 5 mm para las restantes pasadas.
- Saneamiento de raíz: por arco-aire.

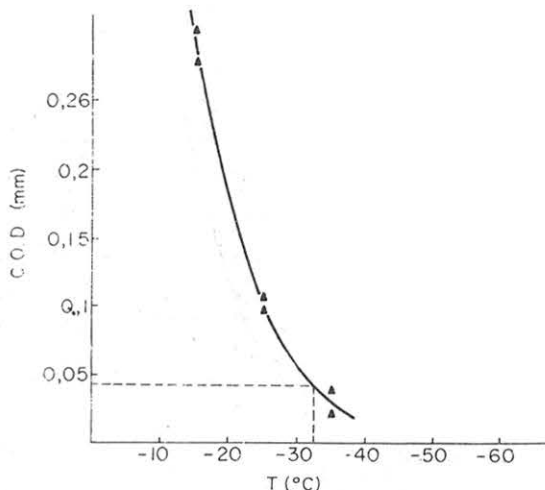
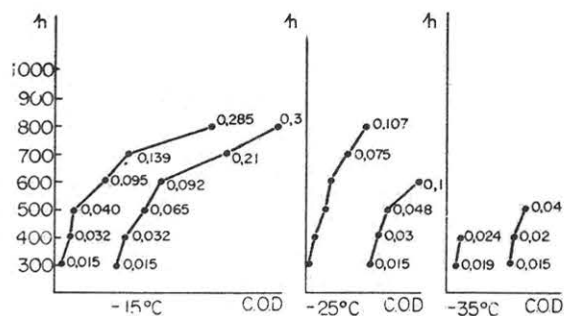


Fig. 7.—Soldadura por arco manual con electrodo básico. Niblink 310 mm.

- Secuencia de soldeo: pasadas alternadas por cada cara en sentido inverso.
- Número de pasadas: 8.

6.1.1. Ensayo Niblink nominal (probeta de 360 mm de longitud, Fig. 1-a)

Los resultados de este ensayo y curvas de transición correspondientes, tanto Niblink como Charpy-V, se muestran en la figura 6, de donde se deduce:

- Temperatura de transición Charpy-V = -40 a -60 °C.
- Temperatura de transición Niblink = -27 °C.

6.1.2. Ensayo Niblink modificado por probeta de longitud inferior a la nominal (310 mm de longitud, Fig. 1-b)

Para este ensayo se redujo la longitud de la probeta a 310 mm. Asimismo, se disminuyó la distancia entre los apoyos de la probeta y de la pieza puente, sobre la que golpea el martillo (figura 1-b), de forma que el material de la zona circundante a la raíz de la entalla quedara sometido al mismo momento flector que en el ensayo nominal y, por

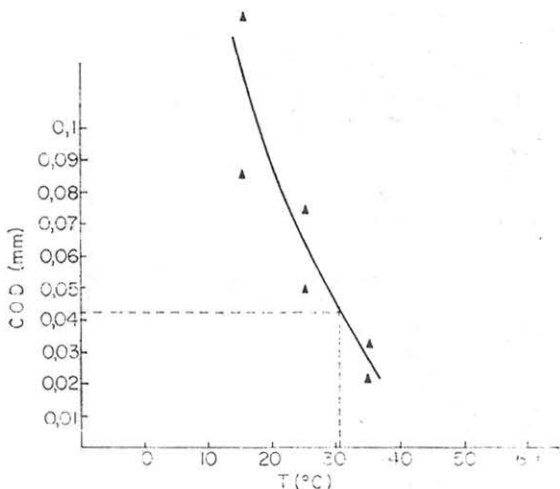
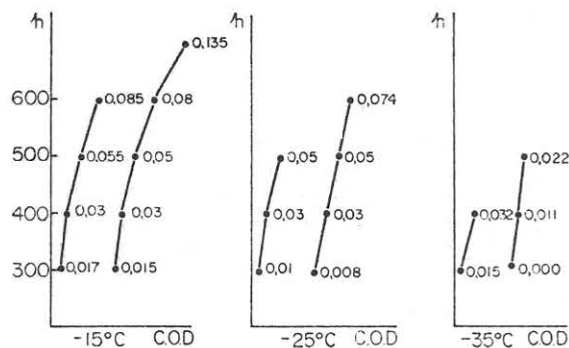


Fig. 8.—Soldadura por arco manual con electrodo básico. Niblink 360 mm con aumento de energía.

lo tanto, igual que en éste, a la tensión del límite elástico.

En la figura 7 se representan los resultados y la curva de transición, deduciéndose:

— Temperatura de transición Niblink: — 32,5 °C.

6.1.3. Ensayo Niblink modificado por una energía superior a la nominal

La energía aportada en cada golpe a la probeta fue incrementada en un 43 %, aumentando el peso nominal del martillo (27 kg) a 40 kg. La velocidad de aplicación de esta energía a la probeta se mantuvo constante, conservando la altura de caída del martillo. Los resultados y curva de transición se dan en la figura 8. La temperatura de transición obtenida es de — 30,5 °C.

6.1.4. Ensayo Niblink modificado por una velocidad inferior a la nominal

Para este ensayo se corrigió el peso nominal del martillo a 45 kg, manteniendo constante la energía de impacto con la correspondiente corrección de la altura de caída:

$$h_{\text{corregida}} = \frac{P_{\text{nominal}}}{P_{\text{corregido}}} \cdot h_{\text{nominal}} = \frac{27}{45} h_{\text{nominal}}$$

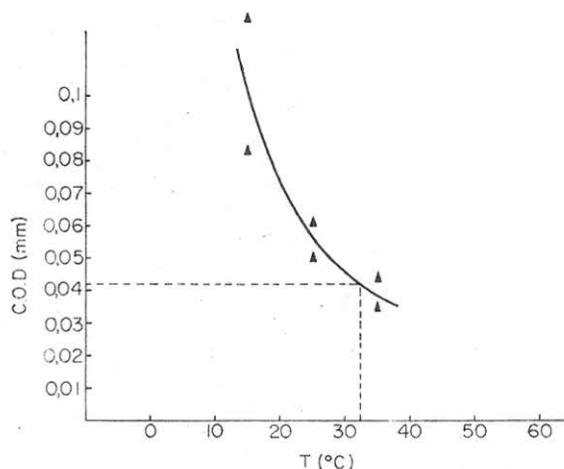
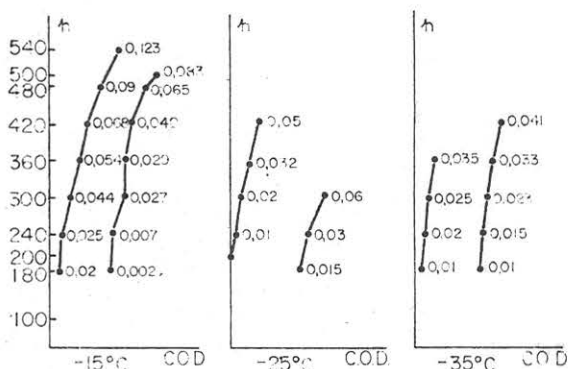


Fig. 9.—Soldadura por arco manual con electrodo básico. Niblink 360 mm con disminución de velocidad.

Se obtiene así una disminución de velocidad del 26 % respecto a la nominal.

Los resultados y curvas de transición se presentan en la figura 9. La temperatura de transición deducida es de — 32 °C.

6.1.5. Ensayo Niblink modificado por una velocidad superior a la nominal

Análogamente al caso anterior, el producto $P \cdot h$ se mantuvo constante, corrigiendo las alturas de caída para un peso del martillo igual a 15 kg. El aumento de velocidad de aportación de la carga obtenido de esta forma es de un 36 % con relación a la nominal. De la figura 10, donde se representan los resultados y curva de transición, se deduce una temperatura de transición de — 21 °C.

6.2. Ensayos con soldaduras realizadas por el procedimiento MAG (CO₂) semiautomático

Las condiciones de operación de estas soldaduras se citan a continuación:

- Posición de soldeo: horizontal.
- Preparación: en X, $\alpha = 60^\circ$, sin talón.
- Separación: nula.
- Varilla de aportación: ASTM-E60S-3; $\varnothing = 1,6$ mm.

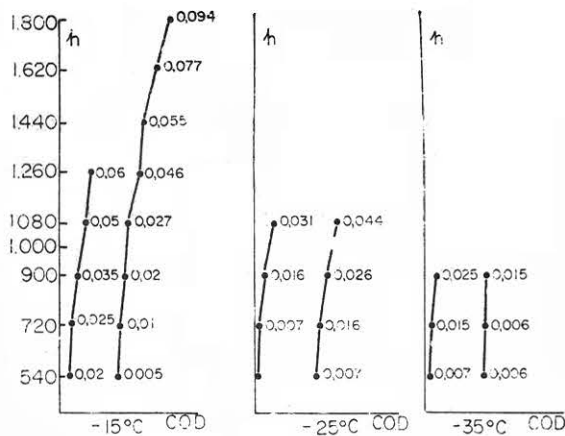


Fig. 10.—Soldadura por arco manual con electrodo básico. Niblink 360 mm. con aumento de velocidad.

- Secuencia de soldeo: pasadas alternadas en cada cara, en sentido inverso.
- Condiciones de soldeo:
primera pasada de cada cara: 180 A, 36 V.
segunda y tercera pasada de cada cara: 280 A, 39 V.
cuarta pasada de cada cara: 200 A, 35 V.

6.2.1. Ensayo Niblink con probeta nominal

Los resultados de este ensayo, así como las curvas de transición Niblink y Charpy-V, se presentan en la figura 11. De allí deducimos:

- Temperatura de transición Charpy-V: $-37,5^{\circ}\text{C}$.
- Temperatura de transición Niblink: -19°C .

6.2.2. Ensayo Niblink modificado por probeta de longitud inferior a la nominal (310 mm. de longitud, Fig. 1-b)

Para reducir probeta y pieza puente se usó el mismo criterio que en el apartado 6.1.2. (figura 1-b). La figura 12 muestra los resultados y la curva de transición obtenida. La temperatura de transición resulta ser igual a $-18,5^{\circ}\text{C}$.

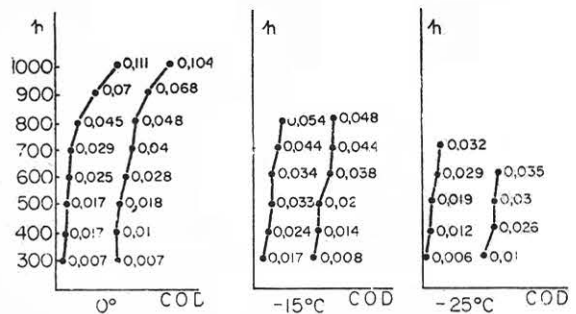


Fig. 11.—Soldadura MAG semiautomática. Niblink 360 mm y Charpy-V.

6.3. Ensayos con soldaduras realizadas por arco sumergido, una sola cara

Se realizaron según las siguientes condiciones de soldeo:

- Posición de soldeo: horizontal.
- Preparación en V , $\alpha = 60^{\circ}$, sin talón.
- Separación: nula.
- Varilla de aportación: ASTM-E412, $\varnothing 5$ mm.
- Granalla: del mismo material de aportación, rellenando $3/4$ del espesor.
- Fundente: ASTM-F62-EL12.
- Condiciones de soldeo:
Primer cabezal: 1.200 A, 35 V
Segundo cabezal: 900 A, 39 V } en tándem.
Distancia entre cabezales: 126 mm.
Velocidad: 18 m/hora.
Presión del soporte posterior: $1,5 \text{ kg/cm}^2$.

6.3.1. Ensayo Niblink nominal

Los resultados y curva de transición de este ensayo, así como la del ensayo Charpy-V correspondiente, se dan en la figura 13. De allí se deduce:

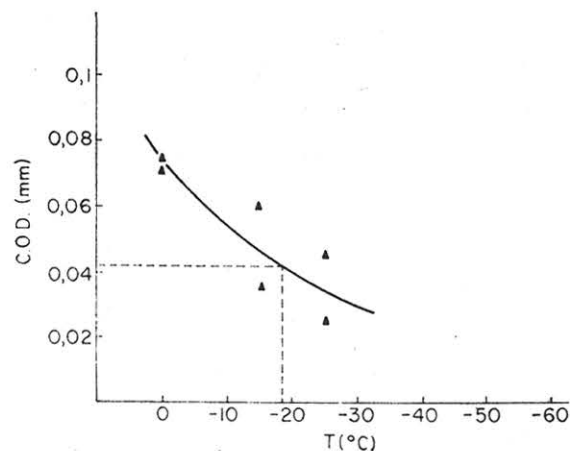
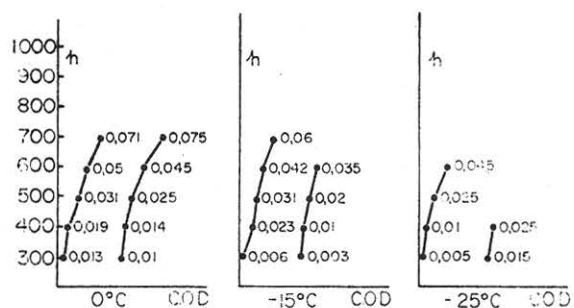


Fig. 12.—Soldadura MAG semiautomática. Niblink 310 mm.

- Temperatura de transición Charpy-V: — 20 a — 40 °C.
- Temperatura de transición Niblink: — 20 °C

En la Tabla I se muestra un resumen con los datos de temperaturas de transición y dispersión de los resultados de los distintos ensayos realizados.

7. Comentarios sobre los distintos ensayos

Del análisis de los ensayos y resultados anteriores podemos hacer las siguientes consideraciones:

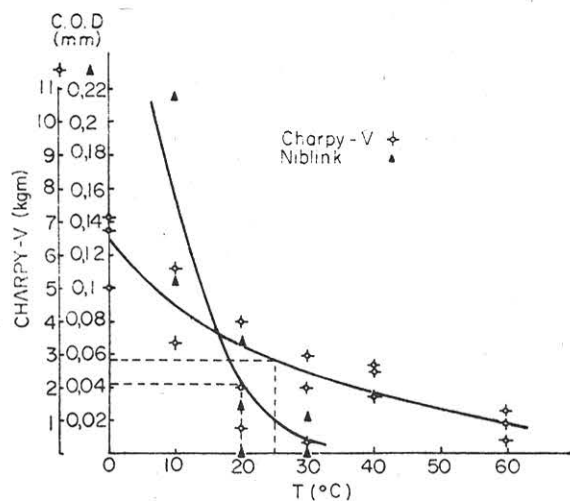
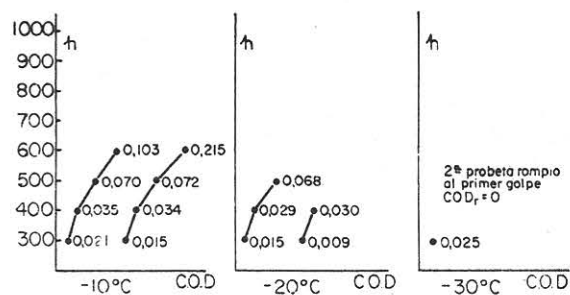


Fig. 13.—Soldadura por arco sumergido. Niblink 360 mm y Charpy-V.

7.1. Soldadura por arco manual con electrodo básico

7.1.1. Comparaciones entre Niblink nominal y Charpy-V

La dispersión de los resultados del primero es pequeña si se compara con la del segundo, lo que se traduce en una mejor definición de la curva de transición. La pendiente de la curva Niblink es mayor, permitiendo definir con más confianza una temperatura de transición. La diferencia entre las temperaturas de transición indica que el ensayo Niblink es más severo que el Charpy-V en este tipo de uniones (figura 6).

Tabla I.—Temperaturas de transición y dispersión de los resultados de los diferentes ensayos

Tipo de ensayo	Temperatura °C	Dispersión
Arco manual con electrodo básico:		
Charpy-V	— 40 a — 60	Mucha
Niblink 360 mm nominal	— 27	Poca
Niblink 310 mm	— 32,5	Muy poca
Niblink 360 mm con aumento de energía	— 30,5	Poca
Niblink 360 mm con menor velocidad	— 32	Poca
Niblink 360 mm con mayor velocidad	— 21	Poca
MAG (CO ₂):		
Charpy-V	— 37	Mucha
Niblink 360 mm	— 19	Muy poca
Niblink 310 mm	— 18,5	Poca
Arco sumergido:		
Charpy-V	— 20 a — 40	Mucha
Niblink 360 mm	— 20	Poca

7.1.2. Ensayo Niblink con probeta de 310 mm

Si se observan los gráficos de la figura 7 se podrá apreciar que la dispersión es muy pequeña, lo que permite trazar una curva de transición bien definida. La temperatura de transición puede determinarse con seguridad por las mismas razones dadas para el Niblink nominal. La diferencia entre las temperaturas de transición con probeta de 360 y 310 mm no es importante; por lo tanto, no se puede decir que la severidad del ensayo se haya visto afectada al usar una probeta de menor longitud.

7.1.3. Ensayo Niblink modificado por aumento de la energía de impacto

De la observación de los gráficos de la figura 8 se deduce que la curva de transición tiene las mismas propiedades que en los casos anteriores. Se podría añadir que la dispersión de los resultados se hace menor hacia las temperaturas más bajas. La severidad del ensayo no se ve afectada con el aumento de energía, lo que resulta lógico, dado que el ensayo consiste en medir la deformación permisible por el material ensayado antes de iniciarse la grieta. Por lo tanto, si la energía aplicada varía —dentro de ciertos límites—, el C. O. D. de rotura será sensiblemente el mismo y sólo se producirá con un mayor o menor número de golpes (comparar las figuras 6 y 8).

7.1.4. Ensayo Niblink modificado por la disminución de la velocidad de impacto

Al analizar el gráfico de la figura 9 podemos decir que, en cuanto a la curva de transición, son válidas las observaciones del párrafo anterior. La severidad del ensayo comparada con el Niblink nominal se ve disminuida, pero de manera poco importante. Tal vez disminuyendo en mayor proporción la velocidad de caída se reflejaría mejor su efecto sobre la severidad.

7.1.5. Ensayo Niblink modificado por aumento de la velocidad del impacto

En general, todos los comentarios que se han hecho en cuanto a la curva de transición siguen siendo válidos para este caso. Se advierte que la temperatura de transición es más alta que la del Niblink nominal, lo que se traduce en una mayor severidad del ensayo. La dispersión es un poco mayor, pero la curva puede definirse perfectamente (ver figura 10).

7.2. Uniones hechas por el procedimiento MAG (CO₂)

7.2.1. Ensayo Niblink nominal

Los resultados muestran muy poca dispersión (ver figura 11) si se comparan con los resultados Charpy-V. La curva de transición está perfectamente

definida y la pendiente permite precisar una temperatura de transición confiable. El ensayo califica perfectamente la calidad de las uniones soldadas si se observan las temperaturas de transición entre los procedimientos con electrodo básico (—27 °C) y el MAG (—19 °C). También en este procedimiento el ensayo Niblink es más severo que el ensayo Charpy-V.

7.2.2. Ensayo Niblink con probeta de 310 mm

La curva de transición se define bien y su dispersión es del mismo orden que en el ensayo Niblink nominal. La probeta más corta no ha influido en cuanto a temperatura de transición (ver figura 12), y al igual que en el proceso de soldadura por arco manual, la severidad del ensayo no se ve afectada.

7.3. Uniones hechas con arco sumergido por una sola cara

Del análisis de la figura 13 se desprende que con el ensayo Niblink se obtienen resultados menos dispersos que con el ensayo Charpy-V, y que la curva de transición tiene una pendiente superior, más apropiada para la determinación de la temperatura de transición. Debido a esto, en el ensayo Charpy-V no podemos dar más que un margen para la temperatura de transición: entre —20 y —40 °C.

Una vez más, el ensayo Niblink es más riguroso y discrimina perfectamente en cuanto a calidad de unión, si se comparan las temperaturas de transición de este procedimiento de soldeo (—20 °C) y de electrodo manual (—27 °C).

8. Conclusiones

El comportamiento del ensayo Niblink en las pruebas hechas con los tres procedimientos de soldeo utilizados —arco eléctrico manual, MAG y arco sumergido— nos permite asegurar su suficiencia como ensayo de rotura frágil. En efecto, responde bien a la variación de los parámetros fundamentales en este tipo de rotura —velocidad y temperatura— e inversamente, si éstos se mantienen constantes, los C. O. D. de rotura no son sensiblemente afectados por la variación de otros parámetros secundarios. (Caso del aumento de energía, manteniendo la velocidad de impacto.)

La disminución de la probeta no produjo cambios notables en la temperatura de transición ni en la dispersión de los resultados, por lo que creemos que podría intentarse una reducción de su altura sin perjudicar la calidad del ensayo. Esto disminuiría al mismo tiempo el material necesario, lo que permitiría ensayar parte de la propia soldadura que más tarde va a estar en servicio, sin necesidad, por otro lado, de realizar una unión exclusivamente para ensayo.

Indudablemente, además de lo conveniente por

el uso de una probeta de las dimensiones antes dichas, a todo el espesor de la chapa, el ensayo presenta una serie de ventajas:

- a) Menor dispersión de los resultados que la probeta Charpy-V.
- b) Curva de transición bien definida.
- c) La mayor pendiente de la curva permite determinar una temperatura de transición confiable.
- d) Discrimina bien las diferentes calidades de los procedimientos de soldadura utilizados.
- e) Con un número reducido de probetas se puede determinar la temperatura de transición.

No obstante, también presenta algunos inconvenientes, entre los que se pueden citar:

- a) La forma de entalla eleva los costos del ensayo.
- b) Los costos del ensayo también se ven afectados por el tiempo empleado en realizarlo.
- c) La superficie de asentamiento en la probeta, donde se apoya el instrumento medidor de C. O. D., debe estar rectificadas; en caso contrario, las lecturas están sujetas a errores importantes.
- d) A veces es difícil concretar en qué golpe se inició la grieta en la raíz de la entalla.

Es probable que el último inconveniente citado se redujera si se aumentara el paso de la secuencia de alturas de caída del martillo. La energía y velocidad de cada impacto serían mayores, y una posible grieta iniciada en uno de los impactos provocaría en el siguiente un salto del C. O. D. más fácilmente detectable. En la última reforma del ensayo ya se aumentó dicho paso de 50 a 100 mm para las alturas inferiores a 1 m y de 100 a 200 mm para las superiores; posiblemente un paso aún mayor podría beneficiar al ensayo. Las investigaciones anteriores a ésta ya mostraron la claridad del ensayo Niblink rompiendo la probeta de un golpe único (3), mas, lógicamente, en este caso se altera la filosofía del ensayo y se pierde una de sus mejores características.

En general, y a nuestro juicio, en las condiciones actuales el ensayo da resultados confiables como ensayo de laboratorio. Para control convencional de calidad no resulta práctico, aunque creemos fac-

tible que una combinación óptima de sus parámetros —altura del primer golpe, pasos de la secuencia de alturas, peso del martillo, dimensiones de la probeta, distancia entre puntos—, así como la automatización del proceso —elaboración de la entalla, refrigeración de la probeta incorporada a la máquina, determinación del C. O. D.—, podría eliminar la mayor parte de los inconvenientes, haciéndolo comparable desde el punto de vista práctico, a los ensayos de control actuales.

9. Recomendaciones

Esta investigación se realizó teniendo en cuenta diversos estudios referentes al ensayo Niblink (1), (2), (3) y (4), fundamentos del C. O. D. y rotura frágil en general (5), (6) y (7), del IIS y de otras procedencias, de los que se citan algunos que se consideran más interesantes.

10. Agradecimiento

Los autores desean manifestar su agradecimiento a las Secciones de Electrónica, Tratamientos Térmicos, Metalografía, Análisis Químico, Delineantes y especialmente a Ensayos y Taller Mecánico, que tan eficaz colaboración han prestado en la realización del presente trabajo.

Referencias

1. VAN DEN BLINK, W. P., y NIBBERING, J. J. W.: Proposal for the testing of weld metal from the view point of brittle fracture initiation. T. N. O. Report 121-S. 1968.
2. Simplified procedure for Niblink dropweight testing of weldments. Doc. II-C-335-70.
3. GUERRERA, U.; GIRARDI, U., y SAVARESE, L.: Different types of Niblink and longitudinal dropweight tests on submerged arc weld for determination of brittle fracture initiation temperature. Doc. II-C-295-69.
4. DÜREN, C.: Behaviour of brittle fracture of welded joints on steel St. 52/3 in the Niblink test, impact test and Pellini test. Doc. II-C-317-70.
5. CHEVET, A.; GRUMBACH, M.; PRUDHOMÉ, M. y SANZ, G.: Comparaison des résultats de divers essais de rupture fragile. *Revue de Metallurgie*, Mars 1970.
6. DIETER, G. E., Jr.: *Metalurgia mecánica*. Trad. Muñoz del Corral, F. Ed. Aguilar, S. A. Madrid, 1967.
7. SEFERIAN, D.: *Metalurgia de la Soldadura*. Trad. Sánchez de Zabala. Ed. Technos, S. A. Madrid, 1962.