

## CARACTERIZACION DINAMICA DE VARIOS ACEROS DE VIA.

Coz Díaz ,J.J.del;Fdez.Canteli,A.;Kalthoff,J.F.

Universidad de Oviedo  
E.T.S. INGENIEROS INDUSTRIALES DE GIJON.  
Departamento de Construcción  
Crtra. de Castiello s/n . Gijón - 33204

**Resumen.-** Se han realizado ensayos de caracterización dinámica de varios aceros de vía , los cuales han sido llevados a cabo en una unidad de impacto constituida por un péndulo Charpy convenientemente instrumentado . El movimiento de la probeta ha sido captado mediante fotografía de alta velocidad , en una cámara Cranz-Schardyn . Los resultados obtenidos han sido analizados mediante métodos numéricos , obteniéndose el valor de la tenacidad a la fractura dinámica ( $K_{I_{dyn}}$ ) según ASTM E24.03, Curvas de respuesta al impacto y la señal de la probeta instrumentada . Asimismo se ha calculado la evolución de la energía cinética de la probeta .

**Abstract.-** We have made dynamic mechanical tests in some different railway steels in one dynamic machine called Instrumented Charpy pendulum . With high speed camera Cranz-Schardyn , we photographed the specimen motion . The experimental results have been analyzed by numerical methods and we obtained the dynamic fracture toughness ( $K_{I_{dyn}}$ ) by different procedures ; such as ASTM E24.03 , Impact Response Curves and signal of instrumented specimen . Also , the evolution of the Kinetic Energie of the specimen was calculated .

### 1.INTRODUCCION.

La mayoría de las estructuras en ingeniería están sometidas a cargas dinámicas . En el caso de aceros de vía , estas sollicitaciones se acentúan con la llegada de los trenes de alta velocidad , en los cuales se combinan presiones superficiales de rodadura elevadas con tensiones de flexión y tracción/compresión realmente importantes . Ello obliga a la utilización , en la mayoría de los casos , de aceros con muy alto límite elástico (mayor de 600 N/mm<sup>2</sup>) y una importante dureza superficial (mayor de 260 HB) .

Tales requisitos han de hacerse compatibles , igualmente , con una conveniente resistencia a la propagación de grietas en el material , por lo que resulta de interés el conocimiento del comportamiento del material agrietado bajo cargas de impacto .

En el presente artículo se muestran los resultados obtenidos en la caracterización dinámica de diferentes

aceros de vía , así como las técnicas experimentales utilizadas en los ensayos.

### 2.MATERIALES UTILIZADOS.

Se han ensayado tres aceros diferentes , cuyas características mecánicas y composición química se muestra en las tablas 1 y 2 .

El material nº1 ha sido utilizado en la ejecución del carril del tren de alta velocidad (AVE) que une Madrid y Sevilla , para los tramos rectos . El material nº2 se ha empleado para los tramos curvos , cruces de vías y zonas altamente sollicitadas .

El material nº3 está siendo elaborado por la empresa ENSIDESA S.A. para ser utilizado , asimismo , en vías férreas de alta capacidad . La alta dureza superficial de este material ha motivado importantes dificultades en la elaboración de las probetas .

N°	Denominación	$\sigma_F$	$\sigma_R$	HB	v	DIR
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>		%	
1	Carril AVE UIC-60	614.0	980.0	265-285	0.30	L-T
2	Carril AVE Aleado	654.0	1019.0	277-296	0.30	L-T
3	Carril AVE Aleado-50	700.0	1180.0	340-360	0.30	L-T

Tabla 1. Características mecánicas de los aceros ensayados.

Material n°1

C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	Ti	V	Mo	Ni	Sn	Cu	As
720	236	1094	018	012	001	019	001	002	001	015	001	007	002

Material n°2

C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	Ti	V	Mo	Ni	Sn	Cu	As
743	217	1189	026	013	004	447	002	002	134	019	001	009	003

Material n°3

C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	Ti	V	Mo	Ni	Sn	Cu	As
770	240	1210	024	011	003	487	002	000	167	000	001	000	000

Tabla 2. Composición química de los aceros ensayados.

3.EQUIPOS UTILIZADOS

Para la realización de los ensayos de caracterización dinámica, se han utilizado algunos equipos del departamento de Mecánica experimental de la Universidad de Bochum, con el cual se están llevando a cabo diferentes Proyectos de Investigación.

Como unidades de impacto dinámicas se han utilizado las siguientes:

- Péndulo Charpy marca IBERTEST, modelo PIB-30, energía de impacto 300 J., velocidad de impacto máxima 5.42 m/s, dotado de un prototipo "Low-Blow", que permite regular la altura de caída y, por tanto, la velocidad y energía del impacto, entre 0.0 y 0.9 m.
- Péndulo Charpy marca WOLPERT-Probat, Modelo PW 30/15 Clase 1s s/DIN 51220, energía de impacto 300 - 150 J., velocidad de impacto máxima 5.5 m/s, con enclavamiento automático y regulable entre 0.013 y 1.54 m.
- Torre de impacto (Drop-Weight Impact Machine) marca Dynatup, modelo GRC 8210, energía de impacto 100 J., cuya altura es regulable entre 0.0 y 2.0 m.

Otros equipos utilizados en los ensayos, y que merecen ser destacados son:

- Cuchillas instrumentadas mediante galgas extensométricas, según normativa DVMS, elaboradas en Titanio y en Acero X210 CrMo 12.

- Equipo de amplificación y filtrado de la señal de las galgas extensométricas de la cuchilla, de una frecuencia de muestreo hasta 1MHz, y diferentes frecuencias de filtrado, entre 50 y 300 MHz.
- Equipo de amplificación y filtrado de la señal de galgas extensométricas colocadas en la probeta a ensayar, de una frecuencia de muestreo de hasta 1 MHz, y diferentes frecuencias de filtrado y tensiones de alimentación (entre 0.5 y 10 V.).
- Tarjetas de recogida de datos marca Keithley-Metrabite, modelo DAS-50, frecuencia de muestreo hasta 1 Mmuestra/s, 1MB de memoria RAM. Parámetros de funcionamiento seleccionables por software: Frecuencia de muestreo, número de puntos de adquisición de datos, tipo de trigger escogido, número de puntos captados antes del trigger, nombre del fichero de datos en que se guarda la información, etc.. La señal de las galgas extensométricas de la cuchilla del péndulo es usada como trigger para la tarjeta.
- Ordenador personal, Mod. 486/30MHz, 8MB RAM, 200 MB H.D. que aloja las citadas tarjetas, encargado de la lectura y procesado de los datos adquiridos por la misma. Todo el proceso de adquisición de datos, así como el posterior tratamiento de la señal se realiza bajo Windows® 3.1, mediante el programa OSCILOS-3 V.1.0 ©OFS-JJCD(ETSII).
- Cámara de alta velocidad Cranz-Schardin, marca DRELLO, modelo BAL 1501, de 24 lentes, con generador para flash regulable entre 100 ns y 99.999 ms.

- Máquina dinámica de ensayos marca MTS , modelo 318.10 , de una capacidad de carga de  $\pm 100$  KN . Utilizada para la calibración de probetas instrumentadas .

#### 4.PREPARACION DE LOS ENSAYOS

El proceso seguido en la preparación de los ensayos ha sido el siguiente :

- 1.- Mecanización de las probetas , tanto Charpy como prefisuradas .
- 2.- Calibración de la cuchilla del péndulo Charpy .
- 3.- Obtención de la flexibilidad de la máquina , para cada material .
- 4.- Instrumentación y calibración de probetas prefisuradas.

##### 4.1.Mecanización de probetas

Con los materiales indicados en el apartado 2 se han mecanizado las siguientes probetas Charpy (10x10x55 mm) :

- Veinte (20) del material n°1 , diez prefisuradas .
- Veinte (20) del material n°2 , diez prefisuradas .
- Treinta (30) del material n°3 , diez prefisuradas .

Todas ellas ha sido extraídas en dirección longitudinal , con las entallas en dirección L-T .

El proceso de prefisuración ha sido realizado mediante electroerosión , con electrodos de cobre de 0,4 mm de espesor , regulando las variables del proceso a los valores siguientes :

- Corriente de impulsos : III
- Tiempo de impulso : 5 s .
- Pausa de impulso : 3 s .
- Capacidad de erosión por minuto : 7 mm<sup>3</sup>
- Abertura entre el electrodo y la pieza : 35  $\mu$
- Rugosidad máxima : 16  $\mu$

Con dichos valores se consiguen radios de entalla de 0.25 mm . La profundidad de la fisura se mide una vez rota la probeta , de acuerdo a la Norma ASTM , en cinco puntos de la misma .

##### 4.2.-Calibración de la cuchilla del péndulo Charpy.

Las calibraciones de las cuchillas instrumentadas del péndulo Charpy se han realizado midiendo el valor de la tensión en las mismas , al aplicar una carga estática de valor conocido sobre una probeta de una anchura de 10 mm , y a una temperatura ambiente de 18°C . El rango de carga estática utilizado para la calibración de la cuchilla de acero ha sido de 0 a 25 KN , y para la de Titanio de 0 a 10 KN .

A continuación se realiza una una regresión lineal de los puntos de la curva Fuerza-Voltaje , obteniéndose los resultados de calibración siguientes :

- Cuchilla de titanio : 23.70286 KN/V
- Cuchilla de acero : 12.51564 KN/V

##### 4.3.Obtención de la flexibilidad de la máquina .

La importancia de la flexibilidad de la máquina en los ensayos dinámicos ya ha sido apuntada por diferentes autores [7][8] , por lo que hemos procedido a su determinación en el péndulo de nuestros laboratorios .

Existen diferentes técnicas para la determinación del valor de la flexibilidad de la máquina , ( $C_M$ ) . Cada técnica requiere la utilización de una probeta cuya flexibilidad ( $C_S$ ) sea conocida con suficiente aproximación . Dicho valor puede calcularse a partir de la teoría elástica de vigas , teniendo en cuenta todas las contribuciones a la flexibilidad (tracción , compresión y cortante ) .

El ensayo de baja velocidad "Low-blow" resulta conveniente para determinar la flexibilidad  $C_M$  . En éste ensayo , la cabeza del péndulo se lanza desde una altura tal que la energía máxima disponible  $E_0$  , sea inferior a la necesaria para producir cualquier deformación permanente en la probeta , incluida cualquier deformación de contacto por efecto Brinell .

Se han utilizado tres métodos diferentes para el cálculo :

- 1.- Determinación de la pendiente inicial del diagrama Fuerza-desplazamiento (F- $\Delta$ ).
- 2.- Conservación de la energía del impacto.
- 3.- A partir del periodo de oscilación de la probeta .

Los ensayos han sido llevados a cabo en el péndulo Charpy de nuestros laboratorios , sobre probetas 10x10x55 mm sin entalla . Los resultados para cada uno de los materiales pueden verse en la tabla 3 .

Mat	Mét. 1	Mét. 2	Mét. 3	Media
n°1	9,21E-09	8,27E-09	9,79E-09	9,09E-09
n°2	8,96E-09	8,13E-09	9,14E-09	8,74E-09
n°3	12,50E-09	10,59E-09	13,37E-08	12,14E-08

Tabla 3.Flexibilidad  $C_M$

##### 4.4.Instrumentación y calibración de las probetas prefisuradas .

Para la instrumentación de las probetas se han utilizado galgas extensométricas marca HBM , tipo LY 11 , tamaños 0.6/120 y 1.5/120 , siguiendo las recomendaciones del fabricante de las mismas .

Dichas galgas han sido colocadas en las proximidades del fondo de la entalla , por una de las caras de la probeta , como se muestra en la Fig. 1 .

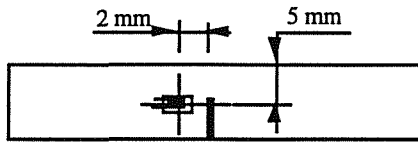


Fig. 1.Posición de las galgas extensométricas .

Para la calibración de las mismas se ha medido el valor de la tensión que resulta al aplicar una carga de valor conocido . La sollicitación se efectúa de forma idéntica a la que se va a realizar en el ensayo de impacto.

Al objeto de evitar toda plastificación del material , las cargas aplicadas se encuentran en el rango de 0 a 2 KN , con lo cual las tensiones en el fondo de la entalla son inferiores al 30 % del límite elástico del material .

Con las mediciones obtenidas se realiza en cada probeta una regresión lineal de la curva Fuerza-Voltaje . Dado que la posición de la galga no es exactamente la misma en cada una de ellas , se obtienen coeficientes de calibración en el rango de  $25.125 \pm 2.500$  KN/V .

**5.DETERMINACION DE LA TENACIDAD A FRACTURA  $K_{Id}$  .**

Para la determinación de la tenacidad a fractura se han seguido los procedimientos experimentales siguientes :

- 1.-Análisis de la señal de la probeta instrumentada [6].
- 2.-Análisis cuasiestático basado en la Norma ASTM.E24.03.03 [4] .
- 3.-Análisis dinámico según el método de las curvas de respuesta al impacto (I.R.C) [3][6] .

5.1.Análisis de la señal de la probeta instrumentada .

Una vez calibradas las galgas extensométricas , éstas son ensayadas en un péndulo Charpy instrumentado , obteniéndose el registro de la señal de la galga en función del tiempo . Las condiciones de operación han sido las siguientes :

- Velocidad de impacto = 1.2 m/s
- Energía de impacto = 14.2 J.
- Frecuencia de muestreo = 1 MHz
- Número de puntos almacenados  $\geq 2000$
- Puntos antes del Trigger = 160
- Rango de voltaje =  $\pm 2.50$  V
- Tensión de disparo "Trigger" = + 0.01 V
- Tipo de cuchilla = Acero/Titanio

En la fig. 2 se puede apreciar la evolución de la señal de impacto , captada por la cuchilla y probeta , en función del tiempo.

Fichero =c:\jj\progw\aa401.dat Material =Carril AVE aleado Fecha =02/10/94  
 Velocidad =1.20 m/s Temperatura=18.00 °C Cuchilla tipo DIN-DVM.Metálica

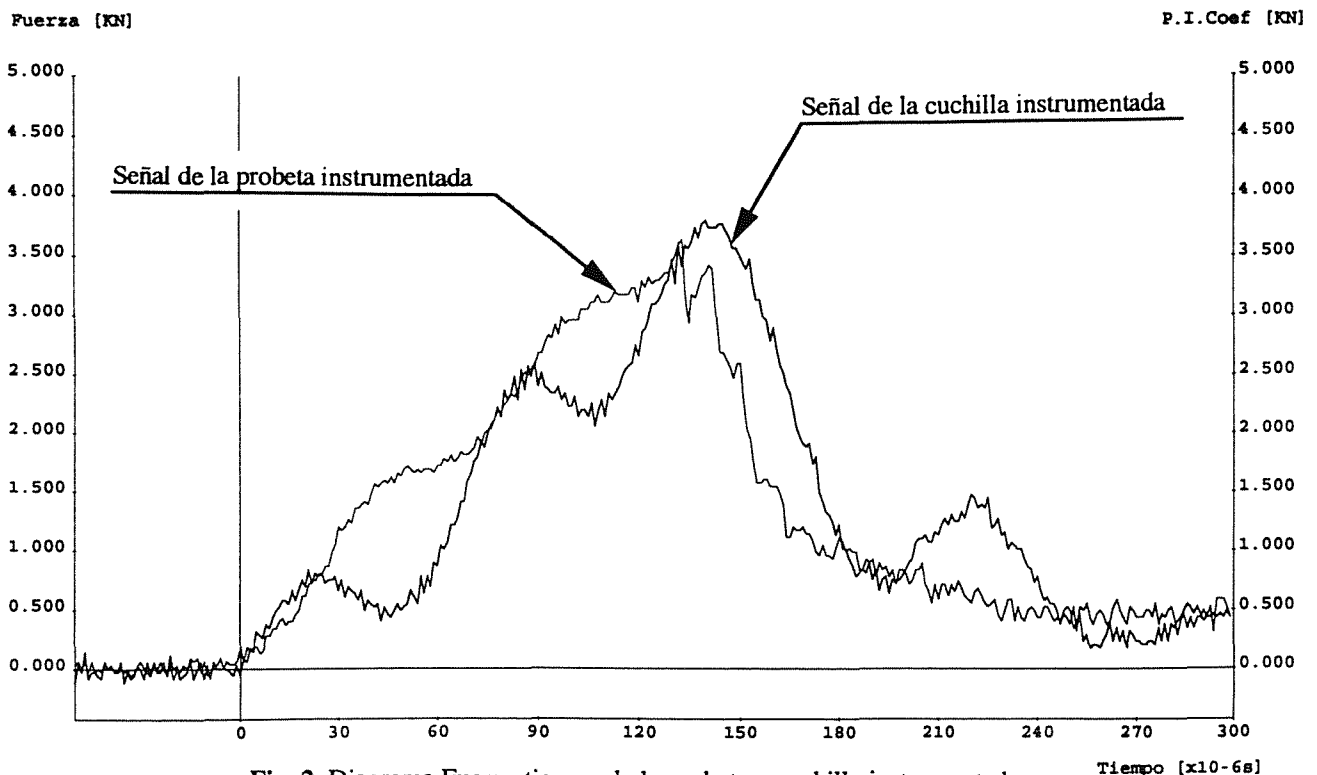


Fig. 2 .Diagrama Fuerza-tiempo de la probeta y cuchilla instrumentadas .

El valor de la tenacidad a fractura  $K_{Id}$  se obtiene a partir del valor máximo de la señal en el impacto, el cual se produce en el instante de propagación dinámica de la grieta, denominado tiempo de fractura ( $t_f$ ). La formulación utilizada (1) (2) tiene en cuenta la prefisura con radio finito [2].

$$K_I(t) = \frac{3}{2} \frac{F(t) \cdot S}{B \cdot W^2} \sqrt{\pi \cdot a} \cdot F_m \left( \frac{a}{W} \right) \quad (1)$$

$$F_m \left( \frac{a}{W} \right) = a_0 + a_1 \cdot \left( \frac{a}{W} \right) + \dots + a_6 \cdot \left( \frac{a}{W} \right)^6 \quad (2)$$

Siendo:

$F(t)$  Señal del impacto  
 $S$  ... Distancia entre apoyos  
 $B$  ... Anchura de la probeta  
 $W$  .. Canto de la probeta  
 $a$  .... Longitud de grieta  
 $(a_0, a_1 \dots a_6) = (1.2653 ; -3.8895 ; 28.4182 ; -107.2701 ; 243.8598 ; -286.275 ; 142.1932)$

La tenacidad a fractura del material viene dada, entonces por (3).

$$K_{Id} = K_I(t = t_f) \quad (3)$$

### 5.2.-Análisis cuasiestático basado en la Norma ASTM.E24.03.03.

En este caso se parte de la señal captada por la cuchilla instrumentada de la unidad de impacto, a partir de la cual se obtiene la evolución de la fuerza de la cuchilla en función del tiempo.

Los requerimientos para la realización de éste ensayo son los siguientes:

1.- Energía de impacto:  $E_0 \geq 3 \cdot E_I$ .

Siendo:

$E_0$  Energía disponible en el péndulo.

$E_I$  Energía de rotura de la probeta hasta el instante  $t=0.02 F_m$ , siendo  $F_m$  la fuerza máxima del impacto.

2.- Tamaño de grieta:  $0.45 \leq a/W \leq 0.55$

3.- Tiempo de fractura:  $t_f \geq 3 \cdot \tau$

Siendo:

$t_f$  Tiempo de rotura.

$\tau$  Semiperiodo de oscilación de la probeta.

El valor del citado semiperiodo de oscilación, teniendo en cuenta la deformación por cortante de la probeta [2] y la fisura con radio finito de entalla, se obtiene mediante la expresión (4), válida para:

$$0.0 \leq \frac{a}{W} \leq 0.7.$$

$$\tau = b_0 + b_1 \left( \frac{a}{W} \right) + b_2 \left( \frac{a}{W} \right)^2 + b_3 \left( \frac{a}{W} \right)^3 \quad (4)$$

Siendo:

$$(b_0, b_1, b_2, b_3) = (39.102; 13.199; -4.4383; 86.73) .$$

El desplazamiento se calcula mediante integración numérica, a partir del registro fuerza-tiempo [1][2][5], mediante las fórmulas (5) (6).

$$v(t) = v_0 - \frac{\Delta t}{2m} \sum_{i=t_i}^t F_i + F_{i+1} \quad (5)$$

$$s(t) = \frac{\Delta t}{2} \sum_{i=t_i}^t s_i + s_{i+1} \quad (6)$$

Siendo:

$v_0$  Velocidad de impacto.

$F$  Fuerza.

$\Delta t$  Intervalo de tiempo (1/Frecuencia).

$m$  Masa de la cabeza del Péndulo.

Una vez calculado el desplazamiento, la evolución de la energía se obtiene mediante (7).

$$E(t) = \sum_{i=t_i}^t \frac{1}{2} (F_i + F_{i-1})(s_i - s_{i-1}) \quad (7)$$

La energía de iniciación de la fractura viene dada por la ecuación (8), para un sólido agrietado sometido a una carga de rápida variación, en la cual  $E_T$  es la energía cinética de la probeta.

$$G_I = \frac{E_I}{B \cdot W} - \frac{E_T}{B \cdot W} \quad (8)$$

El valor de la carga máxima  $F^*$  se determina, una vez conocida  $G_I$ , a partir de la fórmula (9).

$$F^* = \sqrt{2 \cdot G_I \cdot B \cdot W \cdot C} \quad (9)$$

Siendo:

$C = \frac{F(t)}{\delta(t)}$  la pendiente inicial del registro fuerza-

desplazamiento (N/m), hasta el instante de rotura.

Dado que las oscilaciones en la evolución de  $F(t)$  son importantes, para la obtención de dicha pendiente inicial se realiza un filtrado numérico de la señal y, a continuación, se efectúa una regresión lineal, mediante mínimos cuadrados, sobre dicha señal filtrada [2]. El proceso se lleva a cabo en los instantes iniciales del impacto, comprendidos entre  $\tau/2$  y  $2\tau$ . En la Fig.4 pueden apreciarse los resultados obtenidos.

El valor de la tenacidad a fractura se determina, entonces, a partir de la formulación (1), (2), (3).

El valor de la energía cinética de la probeta,  $E_T$ , se ha obtenido mediante los procedimientos indicados en apartado 6.

Fichero =c:\bochum\datos\avealins\aa4Material =Carril AVE Aleado Fecha =02/03/94  
 Velocidad =1.20 m/s Temperatura=18.00 °C Cuchilla tipo DIN-DVM.Metálica(Bochum)

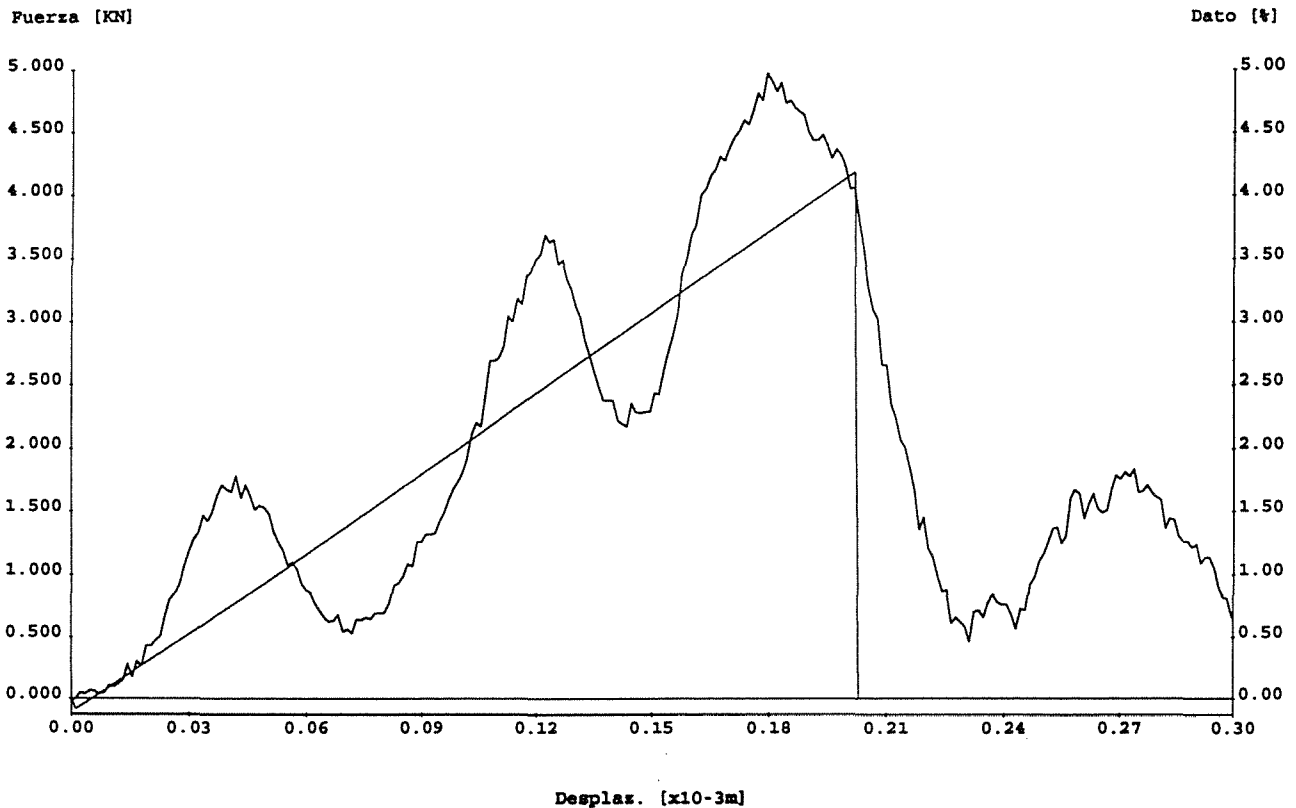


Fig.4.Regresión lineal efectuada en los instantes iniciales del impacto .

5.3.-Análisis dinámico según el método de las curvas de respuesta al impacto (I.R.C)

Partiendo del registro de las señales de la probeta y cuchilla instrumentadas , es posible determinar el instante de rotura ,  $t_f$  , de la probeta [2][3] .

Una vez determinado dicho instante , el valor de la tenacidad a fractura del material se calcula mediante la formulación (10) , (11) , (12) , (13) .

$$K_{Id} = R \cdot v_0 \cdot t'' \tag{10}$$

$$R = 301 \cdot \frac{C_M \cdot 1.276}{8.1 \cdot 10^{-9}} \tag{11}$$

$$t'' = f(t') \tag{12}$$

$$t' = t_f \cdot \left[ 1 - 0.62 \cdot \left( \frac{a}{W} - 0.5 \right) + 4.8 \cdot \left( \frac{a}{W} - 0.5 \right)^2 \right] \tag{13}$$

Siendo :

$C_M$  .. Flexibilidad de la máquina .

$v_0$  .. Velocidad de impacto .

$t''$ .. Función de tiempo ("impact response curve") tabulada desde 0 hasta 298  $\mu$ s .

**6.DETERMINACION DE LA ENERGIA CINETICA DE LA PROBETA**

Para la obtención de la energía cinética de la probeta se han efectuado ensayos de impacto instrumentado en la torre "Drop-Weight " , fotografiando el movimiento de las dos partes de la probeta mediante la cámara de alta velocidad Cranz-Schardin . Las imágenes ha sido obtenidas para quince ensayos , siendo las condiciones de operación las siguientes :

- Velocidad de impacto = 2.4 ; 3.7 y 5.0m/s
- Energía de impacto = 15.0 ; 35.6 y 65 J.
- Temperatura de ensayo = 18°C y -70°C
- Intervalo de tiempo entre fotos = 0.040 ; 0.128 ; 0.160 ; 0.200 ; 0.320 ; 1.000 y 4.000 s.10<sup>-3</sup> .
- Tipo de cuchilla = Acero

A partir de las fotografías del ensayo , se determinan las coordenadas locales de cada una de las esquinas de la probeta , obteniéndose la velocidad traslacional y rotacional ( $v_t$  y  $\omega_r$ ) del centro de gravedad de cada una de las partes en que ésta se divide tras el impacto . Dichas coordenadas son procesadas mediante un hoja de cálculo , obteniéndose el valor de la energía cinética de la probeta mediante las ecuaciones (15) , (16) y (17) . En la Fig.5 puede apreciarse la evolución de la energía cinética de la probeta .

$$E_{cin} = \frac{1}{2} m_p \cdot v_t^2 \quad (15)$$

$$E_{rot} = \frac{1}{2} I_p \cdot \omega_r^2 \quad (16)$$

$$E_T = E_{cin} + E_{rot} \quad (17)$$

Siendo :

$m_p$  Masa de la probeta .

$I_p$  Inercia a rotación de la probeta .

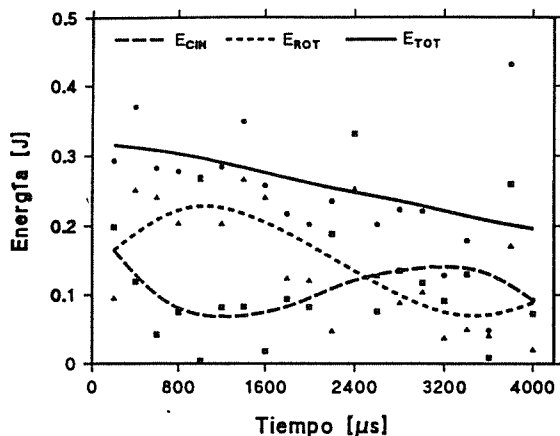


Fig.5 Evolución de la Energía en el impacto .

7.RESULTADOS OBTENIDOS

La evolución de la tenacidad a fractura dinámica  $K_{Id}$  en función del tamaño de grieta adimensionalizado ( $a/W$ ) para cada uno de los materiales puede apreciarse en las Figs. 6,7 y 8 . En la tabla 4 se resumen los resultados obtenidos . El valor de la tenacidad se define como (14) :

$$K_{Id} = \bar{K}_{Id} - 2\sigma \quad (14)$$

MAT	Fmax	Señal	Astm24	IRC
n°1	35,68	29,54	31,97	51,58
n°2	38,18	38,34	39,46	59,80
n°3	40,28	39,20	38,50	60,50

Tabla 4.Tenacidad a Fractura  $K_{Id}$  .

En las Figs.9,10 y 11 se han representado las curvas de respuesta al impacto para éstos materiales , conjuntamente con las I.R.C tabuladas [3] .

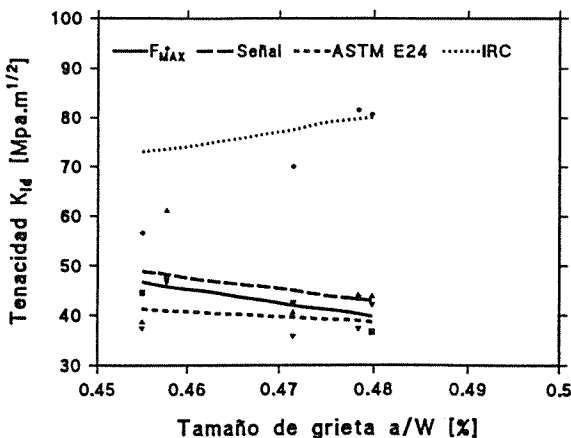


Fig.6 Resultados para el material n°1

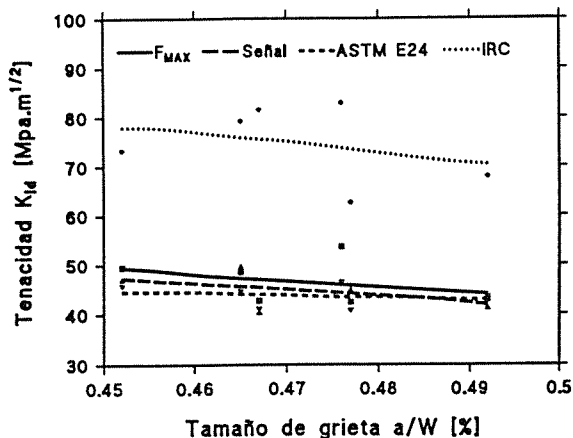


Fig.7 Resultados para el material n°2

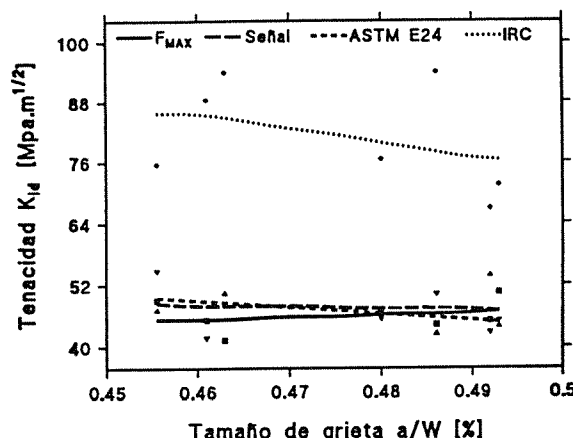


Fig.8 Resultados para el material n°3

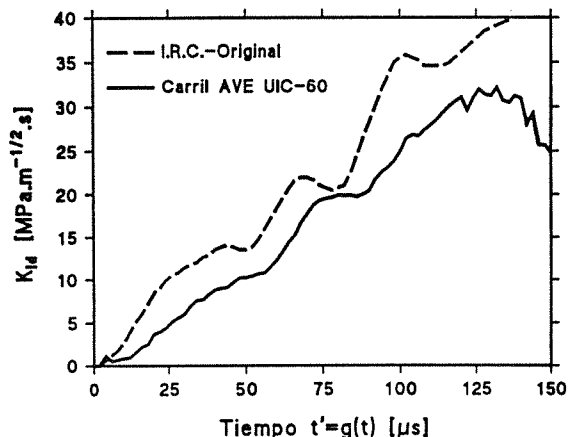


Fig.9 Curvas de respuesta al impacto

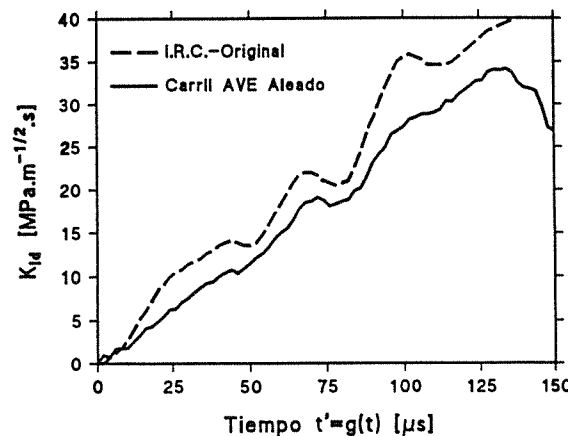


Fig.10 Curvas de respuesta al impacto

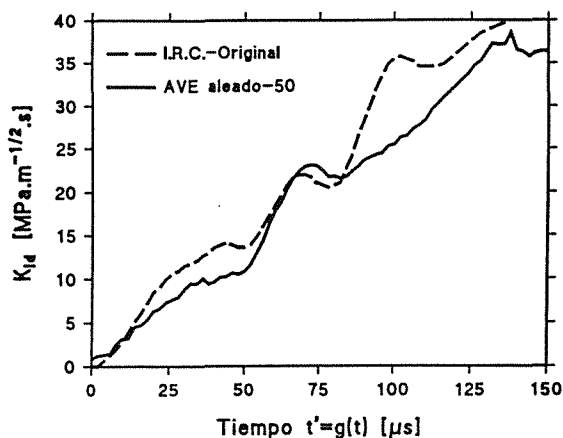


Fig.11 Curvas de respuesta al impacto

### 8.CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos , se apuntan las siguientes conclusiones :

- Los ensayos mediante el péndulo Charpy instrumentado proporcionan una valiosa y rápida información acerca del comportamiento dinámico del material .

- La caracterización del material según el método de las curvas de respuesta al impacto no parece apropiado para materiales frágiles de alto límite elástico . La variación del módulo elástico en las proximidades de la entalla , parece ser uno de los motivos de las variaciones observadas .

- Los valores de tenacidad a fractura obtenidos a partir de la señal de la probeta instrumentada , ASTM24 y fuerza máxima del ensayo , son similares y pueden considerarse válidos desde un punto de vista ingenieril .

- La corrección de la energía cinética de la probeta se hace necesaria en el caso de materiales con baja energía de fractura , del orden de 1.0 J., como es el caso . No obstante , para los materiales ensayados se ha observado que el valor de la energía cinética es similar al de propagación de la fisura , del orden de 0.3 J.

- La selección de bajas velocidades de impacto resulta apropiada para la caracterización dinámica de los materiales .

- Los valores de la tenacidad a fractura dinámica aumentan con el grado de aleación del material , aunque muy lentamente.

- Debe prestarse atención a la zona de extracción de las probetas dentro del carril , ya que las características del material varían dentro de la misma sección transversal , del núcleo hacia la parte exterior ; observándose un menor valor de la tenacidad en aquellas probetas que han sido extraídas de los patines y se encuentran próximas a la cara externa del carril .

### 9.AGRADECIMIENTOS

El presente artículo se ha realizado en el marco del Proyecto de Investigación "Técnicas para la determinación de la tenacidad a fractura dinámica en aceros industriales", (Ref. PA-MAT92-03) financiado a través del Plan Regional de Investigación del Principado de Asturias , y con participación de FICYT, ENSIDESA y la Universidad de Oviedo .

Agradecemos especialmente al Grupo de Mecánica experimental de la Universidad de Bóchum y , en particular , al Dr. J.F.Kalthoff el uso de sus Laboratorios y la atención prestada .

### 10.REFERENCIAS

- [1] COZ DIAZ,J.J ; BETEGON BIEMPICA ,C. ; FDEZ.CANTELLI,A. ; KALTHOFF,J.F. ; " Caracterización dinámica de materiales mediante ensayos con el péndulo Charpy Instrumentado", X Congreso Nacional de Ingeniería mecánica" .Vol.5 pp 59-65 (1992) .
- [2] COZ DIAZ,J.J. " Aplicación de técnicas experimentales y métodos numéricos en la determinación de los parámetros de fractura dinámica " .Trabajo de Investigación .ETSII-Gijón (1993).
- [3] J.F.KALTHOFF,"The Concept of Impact Response Curves". *Metals Handbook* - Vol \*,Mechanical testing, American Society for Metals, Metals Park,Ohio,272,(1985) .
- [4] ASTM E 24.03.03,"Proposed Standard method of test for instrumental impact testing of precracked Charpy specimens of metallic materials ."Draft 2d,ASTM, 1981.
- [5] ESIS TC5 - European Structural Integrity Society - Technical Sub-Committee on Dynamic Testing at intermediate Strain Rates . "Proposed Standard method for the instrumented Charpy-V Impact test on metallic materials " . Draft 7:30 June 1992 .
- [6] ESIS TC5 - European Structural Integrity Society - Technical Sub-Committee on Dynamic Testing at intermediate Strain Rates . "Proposed Standard methods for instrumented pre-cracked Charpy Impact testing of metallic materials " . Draft 1:23 March 1992 .
- [7] ASTM - STP-563 "Instrumented Impact Testing".26 Annual Meeting American Society for Testing and Materials , Philadelphia,Pa,24-29 June 1973.
- [8] ASTM - STP-466 "Impact Testing of Metals".22 Annual Meeting American Society for Testing and Materials , Atlantic City,22-27 June 1969.