

## Determinación del índice de resistencia a la carga puntual

### 1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACION

1.1 El objeto de este ensayo es medir la resistencia de probetas de roca al someterlas a cargas puntuales aplicadas mediante un par de piezas cónicas. Las probetas pueden ser cilíndricas (para los ensayos de carga concentrada «diametral» y «axial» o trozos de forma irregular (para el ensayo de «trozo irregular»). De los resultados del ensayo puede derivarse un índice de resistencia a la carga puntual o concentrada  $I_s$  (50) que sirve para clasificar las rocas por su resistencia. Aunque este ensayo se puede hacer en el laboratorio, está pensado principalmente para obtener resultados en muestras de roca en el campo.

### 2 APARATOS Y MATERIAL NECESARIO

2.1 La máquina de ensayo dispondrá de un sistema para aplicar la carga (que comprende un bastidor de carga, una bomba, un émbolo y las bases), un sistema para medir la carga  $P$  necesaria para romper la probeta y un sistema para medir la distancia  $D$  entre los puntos de contacto de las dos bases. Las características esenciales son las siguientes:

2.1.1 El sistema de carga deberá ser ajustable para poder ensayar probetas de tamaño variable, por ejemplo, entre los límites de 15 y 100 mm para los que se requiere normalmente una capacidad de carga de hasta 50 kN. Un émbolo de retracción rápida que ayude a ahorrar tiempo entre ensayos. La fricción del émbolo ha de ser baja, para que no perjudique a la precisión de las mediciones de la carga.

2.1.2 Las bases que se utilizan para transmitir la carga a la probeta son trococónicas con la punta redondeada (Figura 1). El cono de  $60^\circ$  y la punta redondeada con un radio de 5 mm han de coincidir tangencialmente y las piezas han de estar endurecidas de modo que no se dañen en los ensayos. Estarán alineadas exactamente de modo que sean recíprocamente coaxiales y la máquina tendrá la rigidez necesaria para que las bases permanezcan alineadas durante los ensayos. No se permite que el sistema de carga tenga un asiento esférico u otra parte no rígida.

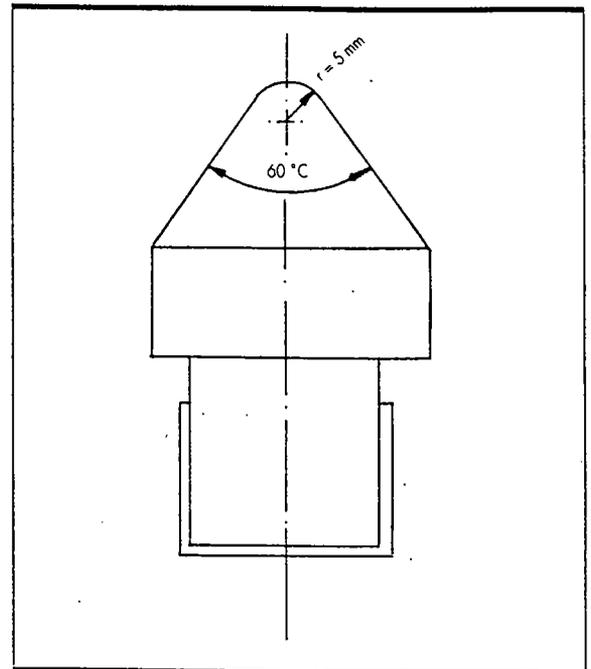


FIGURA 1. Forma y dimensiones de las bases de aplicación de carga.

2.1.3 El sistema de medición de la carga debe indicar la carga de rotura  $P$  con una aproximación de  $\pm 5$  por 100 sea cual sea la resistencia de la probeta ensayada. Debe incorporar un dispositivo de máxima que conserve la lectura y se pueda registrar después de la rotura de la probeta. Debe ser asimismo resistente a las sacudidas y vibraciones hidráulicas de modo que se mantenga la precisión durante la ejecución del ensayo.

2.1.4 El sistema de medición de distancia  $D$  debe indicar la que media entre los puntos de contacto de las piezas troncocónicas con una aproximación de  $\pm 2$  por 100  $D$  y ha de estar construido de modo que pueda verificar a cero y ajustar, además de tener la robustez precisa para que no pierda exactitud durante la ejecución del ensayo.

### 3 PREPARACION DE LAS MUESTRAS

3.1 Con las rocas a clasificar se forman grupos, cada uno de los cuales se considera con resistencia

uniforme en la inspección preliminar. Se escoge entonces de cada grupo una muestra de roca que contenga el número de probetas necesario. Se preferirán muestras de forma cilíndrica cuando existan. Para ensayos de rotura de las probetas pueden ensayarse «saturadas de agua».

## 4 METODO OPERATORIO

### 4.1 El ensayo diametral

Las probetas adecuadas para el ensayo diametral serán aquellas con una relación longitud-diámetro mayor de 1. Se deben realizar diez o más ensayos por muestra, según la cantidad disponible de testigos y según la uniformidad de la roca.

**4.1.1** La probeta se coloca en la máquina de ensayo y se aproximan las bases hasta que hagan contacto diametral con la probeta, asegurando que la distancia  $L$  entre el punto de contacto y el extremo libre más cercano sea por lo menos de  $0,5 D$ , siendo  $D$  el diámetro de la probeta (Figura 2a). Se toma nota de la medida de  $D$ , con una precisión de  $\pm 2$  por 100 y se aumenta la carga hasta la rotura de tal forma que se produzca en un periodo de 10 a 60 seg. Se anota la carga de rotura  $P$  y se repite el ensayo con las demás probetas de la muestra.

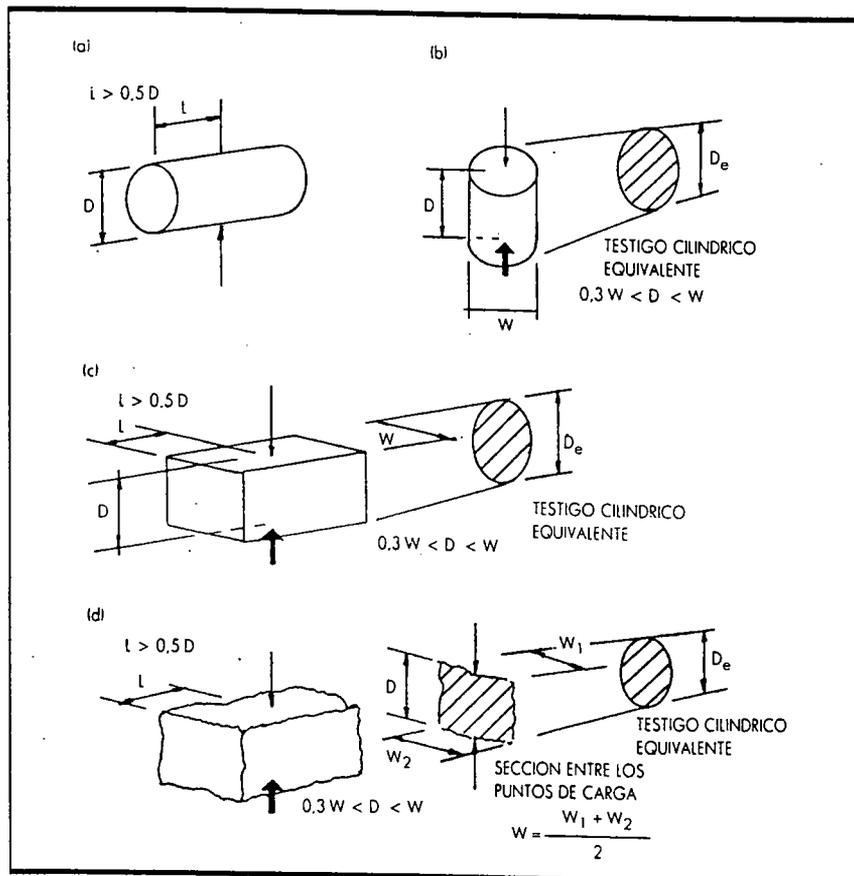
**4.1.2** El ensayo debe rechazarse si la rotura se produce afectando solamente a un punto de carga (Figura 3d).

### 4.2 El ensayo axial

Son adecuados para el ensayo axial las probetas con una relación longitud-diámetro de  $0,3-1,0$  (Figura 2b). Las probetas de la longitud requerida pueden obtenerse a partir de los ensayos diametrales descritos en el ensayo diametral, siempre que antes se marquen exactamente en la probeta los tramos longitudinales para el ensayo. Se deben realizar diez o más ensayos por muestra, según la cantidad disponible de testigo y según la uniformidad de la roca de la muestra.

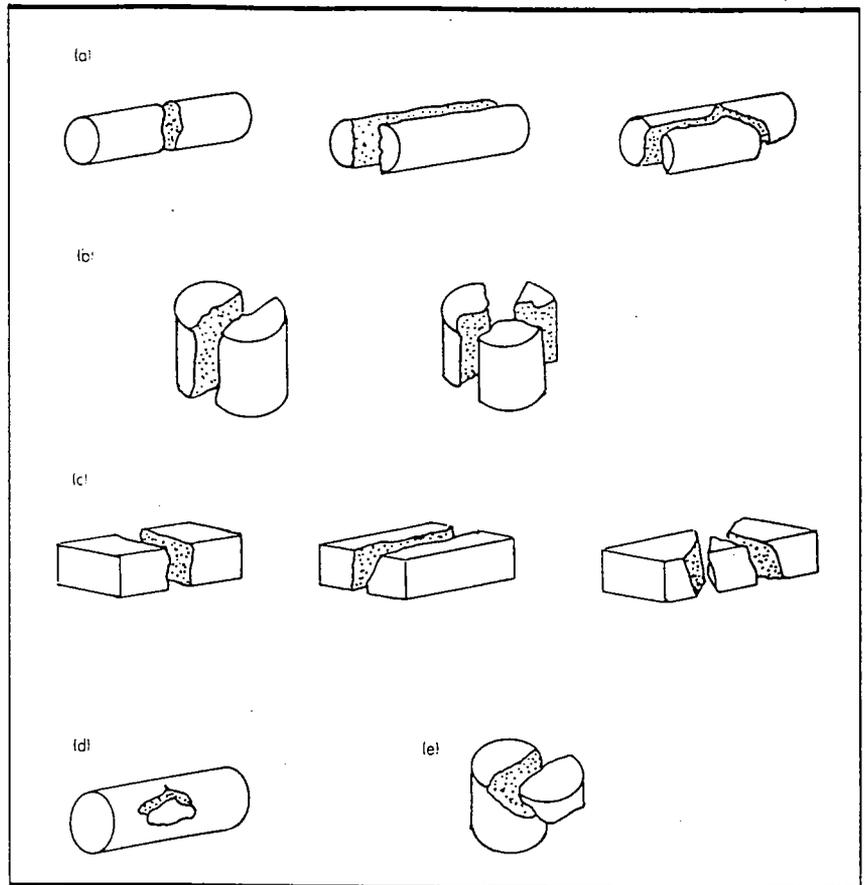
**4.2.1** La probeta se coloca en la máquina de ensayo y se cierran las bases hasta que haga contacto axial con la probeta. Se anota la distancia  $D$  con una precisión de  $\pm 2$  por 100 y se aumenta la carga hasta la rotura que debe producirse entre 10 y 60 seg. Se anota la carga de rotura  $P$  y se repite el ensayo con las demás probetas de la muestra.

**4.2.2** Se rechazará el ensayo si la rotura afecta solamente a uno de los puntos de carga (Figura 3e).



**FIGURA 2.** Especificaciones exigidas a la forma de las muestras para el ensayo diametral. (a) ensayo axial. (b) ensayo de bloque. (c) ensayo de fragmento de forma irregular.

**FIGURA 3.** Formas típicas de fallo para ensayos válidos y no válidos. (a) ensayos diametral válidos. (b) ensayo axial válidos. (c) ensayos de bloque válidos. (d) ensayos de testigo no válidos. (e) ensayo axial no válido.



#### 4.3 Ensayo con bloques o fragmentos irregulares

Se escogen bloques o trozos irregulares de roca con una dimensión media de aproximadamente  $50 \pm 35$  mm (Figuras 2c y 2d), y con una relación entre D/W entre 0,3 y 1 preferiblemente 1,0, (Figuras 2c). La distancia L debe ser por lo menos  $0,5 W$  (Figuras 2c y 2d). El ensayo debe hacerse con al menos diez fragmentos por muestra.

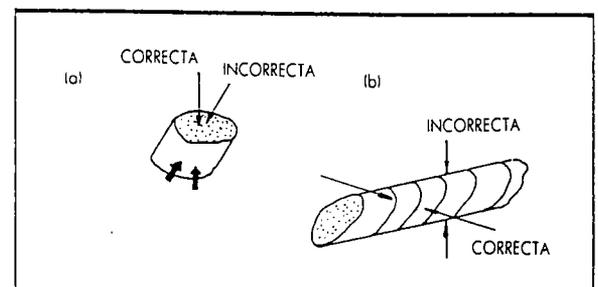
**4.3.1** Se coloca cada fragmento en la máquina de ensayo y se aproximan las bases para que hagan contacto con la probeta en su eje mayor y, siempre que sea posible, lejos de los salientes o aristas. Se anota la distancia D con una precisión del 2 por ciento. Se mide W con una precisión  $\pm 5$  por ciento. Se aumenta la carga hasta la rotura, para que ésta se produzca entre 10 y 60 seg. Se anota la carga de rotura P y se repite el ensayo con los demás fragmentos de la muestra. Se rechazará el ensayo si se produce una rotura como en la Figura 3d o 3e.

#### 4.4 Roca anisotrópica

Cuando la roca está estratificada, es esquistosa o exhibe alguna anisotropía manifiesta, el ensayo debe realizarse en las dos direcciones, la más resis-

tente y la más débil. Por ejemplo, los ensayos de una probeta estratificada con el eje perpendicular a los planos de estratificación dan normalmente valores más bajos de resistencia. Debe tenerse cuidado de asegurar que la carga se aplique estrictamente en sentido paralelo y perpendicular a los planos de debilidad.

**4.1.1** Los ensayos diametrales se efectuarán a las distancias convenientes para asegurar que los fragmentos resultantes puedan utilizarse en ensayos axiales, señalando que la separación de las bases en



**FIGURA 4.** Direcciones de carga para rocas anisótropas.

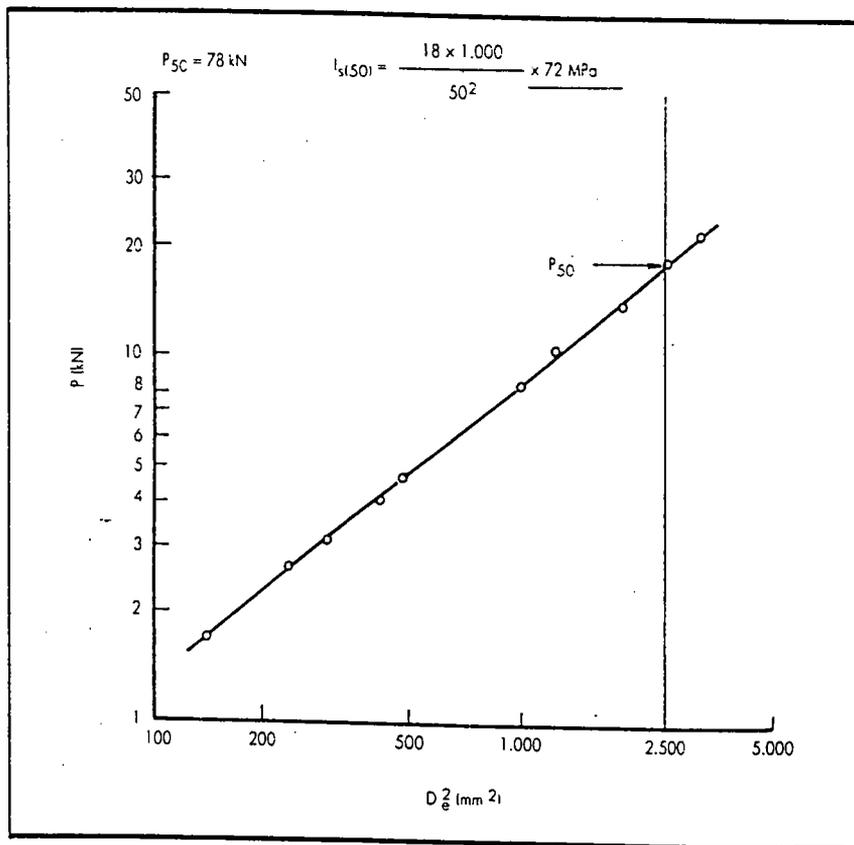


FIGURA 5. Procedimiento para obtener gráficamente  $l_s$  (SD) de una serie de resultados sobre probeta de diámetros distintos de 50 mm.

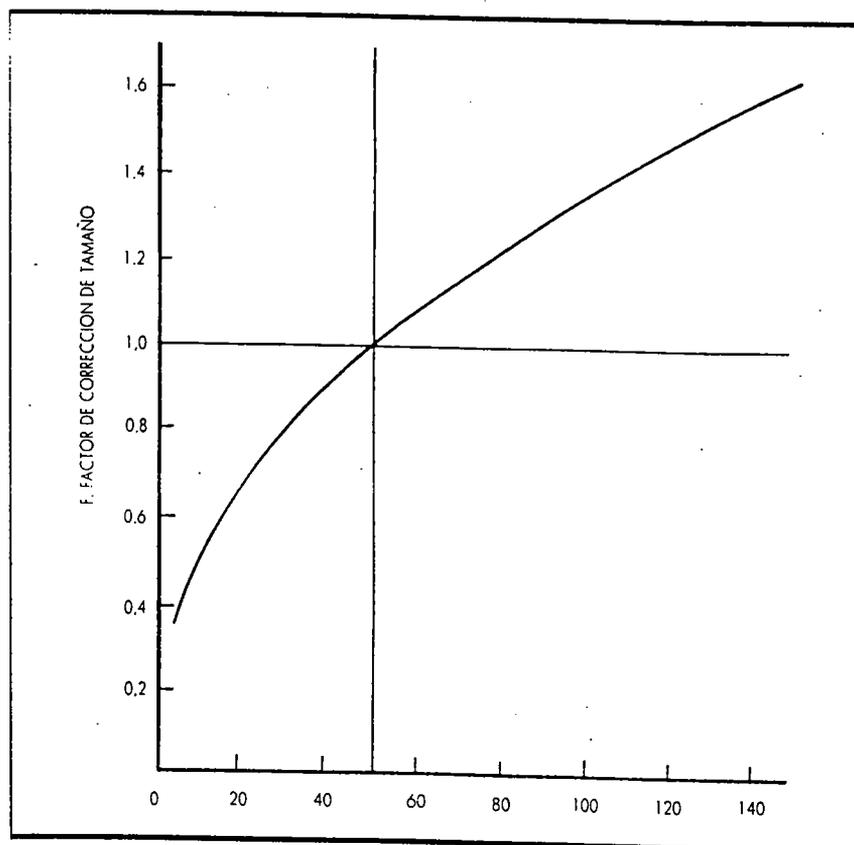


FIGURA 6. Gráfico para obtener el factor de corrección de tamaño.

el ensayo axial se mide perpendicularmente a los planos de debilidad y no necesariamente por el eje de la probeta. Puede seguirse un procedimiento similar al ensayar trozos irregulares.

## 5 OBTENCION DE LOS RESULTADOS

5.1 El índice de resistencia a la Carga Puntual  $I_s$  se define por la razón  $P/D_e^2$ . De donde  $D_e$  es el diámetro equivalente.

$D_e^2 = D^2$ , en ensayos diametrales.

$D_e^2 = 4A/\pi$ , en ensayos axiales, ensayos de bloques y de fragmentos.

$A = W \cdot D$ , mínima área de la sección transversal.

5.2 Debe emplearse el índice  $I_s (50)$  para la clasificación general de la roca y se puede hallar para una serie de ensayos corrigiendo el valor respecto a un diámetro de referencia de 50 mm mediante la tabla

Datos de la muestra			Ensayo de carga puntual					Fecha 17/11/83	
N.º	Tipo	W (mm)	D (mm)	P (kN)	$D_e^2$ (mm <sup>2</sup> )	$D_e$ (mm)	$I_s$	F	$I_s (50)$
1	i ⊥	30.4	17.2	2.687	666	25.8	4.03	0.75	<del>3.03</del>
2	i ⊥	16	8	0.977	163	12.8	5.99	0.54	3.24
3	i ⊥	19.7	15.6	1.962	391	19.8	5.02	0.66	3.31
4	i ⊥	35.8	18.1	3.641	825	28.7	4.41	0.765	3.46
5	i ⊥	42.5	29	6.119	1569	39.6	3.90	0.875	3.49
6	i ⊥	42	35	7.391	1872	43.3	3.95	0.935	<del>3.69</del>
7	b ⊥	44	21	4.600	1176	34.3	3.91	0.84	3.29
8	b ⊥	40	30	5.940	1528	39.1	3.88	0.89	3.46
9	b ⊥	19.5	15	2.040	372	19.3	5.48	0.655	<del>3.59</del>
10	b ⊥	33	16	2.87	672	25.9	4.27	0.75	<del>3.20</del>
11	d //	—	49.93	5.107	—	—	—	—	2.05
12	d //	—	49.88	4.615	—	—	—	—	1.85
13	d //	—	49.82	5.682	—	—	—	—	<del>2.29</del>
14	d //	—	49.82	4.139	—	—	—	—	<del>1.67</del>
15	d //	—	49.86	4.546	—	—	—	—	1.83
16	d //	—	25.23	1.837	—	—	2.89	0.74	2.14
17	d //	—	25.00	1.891	—	—	3.02	0.735	2.22
18	d //	—	25.07	2.118	—	—	3.37	0.735	<del>2.48</del>
19	d //	—	25.07	1.454	—	—	2.32	0.735	<del>1.70</del>
20	d //	—	25.04	1.540	—	—	2.46	0.735	1.81

Valor medio $I_s (50) \perp$	3.38
Valor medio $I_s (50) //$	1.98
$I_s (50)$	1.71

d = diametral;  
 a = axial;  
 b = bloque;  
 i = fragmento;  
 ⊥ = perpendicular;  
 // = paralelo al plano de debilidad.  
 OBSERVACIONES:

FIGURA 7. Forma de recoger los resultados del ensayo de carga puntual realizado sobre 20 probetas distintas.

de corrección de la Figura 5. Cuando este sistema no se considere válido, por ejemplo cuando se ensaya un solo tamaño de diámetro distintos de 50 mm y pocas probetas, la corrección de tamaños se puede hacer mediante la expresión:

$$I_{s(50)} = F \times I_s$$

**5.2.1** El factor F de corrección del tamaño se puede obtener del gráfico de la Figura 6, o de la expresión:

$$F = \left( \frac{D_e}{50} \right)^{0,45}$$

**5.2.2** Para ensayos de probetas de tamaño próximo a 50 mm se comete un error pequeño utilizando la expresión:

$$F = \sqrt{\frac{D_e}{50}}$$

**5.3** El valor medio de un conjunto de resultados se obtiene eliminando los dos valores más altos y los dos más bajos de la serie. La media de los resultados restantes es el valor medio que se busca. Si no hay suficientes ensayos, basta con eliminar el valor más alto y el más bajo.

**5.4** El Índice de Resistencia Anisotrópica  $I_a$  se obtiene como el cociente de los índices de resistencia media corregida de los ensayos realizados perpendiculares y paralelos a los planos de debilidad. Los valores de  $I_a$  de las rocas isotrópicas son próximos a 1,0 y mayores para las rocas anisotrópicas.

## 6 EXPRESION DE LOS RESULTADOS

**6.1** Los resultados en ensayos diametrales, ensayos axiales ensayos de bloques y ensayos de fragmentos irregulares, y en ensayos perpendiculares y paralelos a los planos de debilidad deberán ser tabulados separadamente (en la Figura 7 se presenta una forma típica de recoger los resultados). El informe debe recoger los datos de calibración del aparato de ensayo y los siguientes datos:

**6.1.1** El número de muestra, localización de cantera y tipo de roca y naturaleza y orientación *in situ* de los planos de anisotropía y de debilidad.

**6.1.2** Humedad de la roca en el momento del ensayo.

**6.1.3** Información de las muestras que fueron cargadas paralelamente, perpendicularmente, o de forma desconocida, con respecto a los planos de debilidad.

**6.1.4** Tabulación de los valores de P, D ( $W$ ,  $D_e^2$  y  $D_e$  si son necesarios),  $I_s$  (F si es necesario) y  $I_s(50)$ , para cada probeta de la muestra.

**6.1.5** Para las muestras isotrópicas, un resumen tabulado de los valores medios  $I_s(50)$ .

**6.1.6** Para las muestras anisótropas, una tabulación resumen de los valores medios  $I_s(50)$  para las muestras ensayadas perpendicular y paralelamente a los planos de debilidad y de los correspondientes valores  $I_a(50)$ .