

Abril 1997

TÍTULO

Medidor de flicker

Parte 0: Evaluación de la severidad de flicker

Flickermeter. Part 0: Evaluation of flicker severity.

Flickermètre. Partie 0: Evaluation de la sévérité du flicker.

CORRESPONDENCIA

Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN 60868-0 de febrero 1993, que a su vez adopta el Informe Técnico CEI 868-0:1991.

OBSERVACIONES

ANTECEDENTES

Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 20-21 *Electrotécnico* cuya Secretaría desempeña AENOR.

Editada e impresa por AENOR
Depósito legal: M 11772:1997

©AENOR 1997
Reproducción prohibida

LAS OBSERVACIONES A ESTE DOCUMENTO HAN DE DIRIGIRSE A:

AENOR

Génova, 6
28004 MADRID-España

Asociación Española de
Normalización y Certificación

Teléfono (91) 432 60 00
Telefax (91) 310 36 95

29 Páginas

Grupo 19

CDU 621.317.7

Descriptores: Metrología, instrumento de medida, medición de tensión eléctrica, evaluación, estadística, precisión, verificación, ensayo.

Versión en español

Medidor de flicker
Parte 0: Evaluación de la severidad de flicker
(CEI 868-0:1991)

Flickermeter. Part 0: Evaluation of flicker severity.
(IEC 868-0:1991)

Flickermètre. Partie 0: Evaluation de la sévérité du flicker.
(CEI 868-0:1991)

Flickermeter. Teil 0: Beurteilung der Flickerschärfe.
(IEC 868-0:1991)

Esta Norma Europea ha sido aprobada por CENELEC el 1992-12-09. Los miembros de CENELEC están sometidos al Reglamento Interior de CEN/CENELEC que define las condiciones dentro de las cuales debe adoptarse, sin modificación, la Norma Europea como norma nacional.

Las correspondientes listas actualizadas y las referencias bibliográficas relativas a estas normas nacionales, pueden obtenerse en la Secretaría Central de CENELEC, o a través de sus miembros.

Esta Norma Europea existe en tres versiones oficiales (alemán, francés e inglés). Una versión en otra lengua realizada bajo la responsabilidad de un miembro de CENELEC en su idioma nacional, y notificada a la Secretaría Central, tiene el mismo rango que aquéllas.

Los miembros de CENELEC son los comités electrotécnicos nacionales de los países siguientes: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Islandia, Italia, Luxemburgo, Noruega, Países Bajos, Portugal, Reino Unido, Suecia y Suiza.

CENELEC
COMITÉ EUROPEO DE NORMALIZACIÓN ELECTROTÉCNICA
European Committee for Electrotechnical Standardization
Comité Européen de Normalisation Electrotechnique
Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung
SECRETARÍA CENTRAL: Rue de Stassart, 35 B-1050 Bruxelles

©1993 Derechos de reproducción reservados a los Miembros de CENELEC.

ÍNDICE

	Página
ANTECEDENTES	5
DECLARACIÓN	5
1 EVALUACIÓN ESTADÍSTICA	6
2 EVALUACIÓN DE LA SEVERIDAD DE FLICKER DE CORTA DURACIÓN ...	7
2.1 Elección del algoritmo del punto múltiple	7
2.2 Verificación práctica de la evaluación de P_{st}	8
2.3 Acuerdo entre métodos simplificados de asesoramiento y evaluación	11
3 EXACTITUD DE LA EVALUACIÓN DE P_{st}	12
4 INTERPOLACIÓN	13
4.1 Interpolación lineal	13
4.2 Interpolación no lineal	13
4.3 Interpolación de la ordenada al origen	14
5 ALISAMIENTO DE PUNTOS PORCENTILES	14
6 CLASIFICACIÓN NO LINEAL	15
7 ENSAYOS DE COMPORTAMIENTO INCLUYENDO EL CLASIFICADOR	16
8 EVALUACIÓN DE LA SEVERIDAD DE FLICKER DE LARGA DURACIÓN ...	16
9 REFERENCIAS	18
FIGURAS	20
ANEXO ZA (Normativo) – OTRAS NORMAS INTERNACIONALES CITADAS EN ESTA NORMA CON LAS REFERENCIAS DE LAS NORMAS EUROPEAS CORRESPONDIENTES ..	29

ANTECEDENTES

El procedimiento del cuestionario CENELEC, efectuado para determinar si el Informe Técnico CEI 868-0:1991 podía ser aceptado sin cambios, ha demostrado que no eran necesarias modificaciones comunes CENELEC para ser aceptado como Norma Europea.

El documento de referencia fue sometido al voto formal de los miembros de CENELEC y fue aprobado por CENELEC como Norma Europea EN 60868-0 el 9 de diciembre de 1992.

Se fijaron las siguientes fechas:

- | | | |
|---|-------|------------|
| – Fecha límite de publicación de una norma nacional idéntica | (dop) | 1993-12-01 |
| – Fecha límite de retirada de las normas nacionales divergentes | (dow) | 1993-12-01 |

Los anexos denominados "normativos" forman parte del cuerpo de la norma.

En esta norma, el anexo ZA es normativo.

DECLARACIÓN

El texto de la Norma Internacional CEI 868-0:1991, fue aprobado por CENELEC como Norma Europea sin ninguna modificación.

1 EVALUACIÓN ESTADÍSTICA

El flickermetro (medidor de flicker) de la UIE/CEI simula el proceso de percepción fisiológica visual y da una indicación fiable de la reacción de un observador a cualquiera tipo de fluctuación independiente de la fuente de la perturbación.

El flickermetro monitoriza ocurrencias individuales y fluctuaciones secuenciales en unidades de percepción; es necesario evaluar su salida por un método que indique el nivel de severidad para valores regulares e irregulares de flicker. La salida del instrumento es unitaria referida al umbral de percepción.

La preocupación de UIE es alcanzar un método único de evaluación del flicker utilizando un único procedimiento igualmente aplicable a cualquiera género de carga fluctuante. La especificación de límites por las perturbaciones generadas por los diferentes tipos de equipos es objeto de los organismos de normalización apropiados.

Teniendo en cuenta los mecanismos de la visión y el establecimiento de un método representativo de la molestia, el flicker debe de ser evaluado sobre un período de tiempo suficientemente representativo. Además a causa de la naturaleza aleatoria de la fluctuación causada por unas cargas se debe asumir que durante este tiempo su nivel instantáneo puede ser ampliamente variable e impredecible. Es importante verificar no sólo el máximo nivel alcanzado sino también en qué porcentaje de los períodos de la observación se ha sobrepasado un nivel determinado. Para cubrir todos los casos es esencial una aproximación estadística y esta requiere una función que establezca la relación entre la sensación de flicker y los correspondientes porcentajes de duración, sobre un período de observación.

Los pasos para establecer esta función son los siguientes:

- primero la medida de sensación instantánea de fluctuación en la salida del bloque 4 del flickermetro se clasifica según su valor, obteniéndose así la distribución de frecuencia;
- cuando los períodos de la observación finalizan se obtiene la función de probabilidad acumulada (FPA).

Este método se ha llamado "clasificación tiempo en un nivel" y se ilustra en figura 1.

La figura 2 muestra la representación de una curva FPA donde, por claridad, se ha usado sólo un número pequeño de clases.

Las figuras 3 a 5 dan ejemplos de curvas FPA obtenidas para diferentes cargas perturbadoras. Se puede ver que las formas de las curvas son diferentes, por tanto se requiere un criterio común para describirlas de manera concisa y así evaluar la severidad de flicker de una manera objetiva.

Si todas las curvas FPA siguieran un tipo normal de distribución, como la gaussiana, podrían ser caracterizadas por unos pocos parámetros como la media, desviación estándar y similares. Como éste no es el caso, se ha desarrollado el método del punto múltiple por el que se puede caracterizar cualquier curva FPA.

Un algoritmo satisfactorio para usar con formas variadas de FPA se puede expresar como sigue:

$$P_{st} = \sqrt{K_1 P_1 + K_2 P_2 + \dots + K_n P_n}$$

donde

P_{st} es el valor de severidad de flicker de corta duración;

K_1 a K_n son los coeficientes de ponderación y;

P_1, P_2 a P_n son los niveles de la curva FPA con una probabilidad asignada de ser excedidos.

Se han determinado los coeficientes de ponderación para indicar la severidad del flicker correctamente para una amplia gama de frecuencias de modulación rectangular de la tensión de entrada pero también se ha tenido en cuenta la respuesta a otras formas de onda.

Se puede obtener una solución estable usando cinco puntos de calibración o percentiles, denominados:

$P_{0,1}$	el nivel excedió solamente el	0,1%	del período de observación
P_1	" " "	1%	" " "
P_3	" " "	3%	" " "
P_{10}	" " "	10%	" " "
P_{50}	" " "	50%	" " "

El punto de referencia del 50% es el nivel medio de flicker, y da una indicación general del orden de magnitud de la perturbación. Se toman los otros puntos hacia el extremo bajo de la escala de probabilidad para ponderar apropiadamente altos niveles de sensación, porque éstos son más significativos en la evaluación de la severidad de la perturbación.

Se debe hacer notar que el máximo nivel de flicker observado durante el intervalo de seleccionado no se incluye porque un solo nivel de cresta de corta duración no puede ser representativo de una ocurrencia de flicker. Al fundamento del concepto del FPA es que el tiempo a un nivel dado es el que da la indicación más útil; la elección 0,1% como un percentil mínimo proporciona una respuesta satisfactoria para variaciones de amplitud grandes, poco frecuentes.

Se deben escoger períodos de la observación satisfactorios. Se pueden seleccionar haciéndolos coincidir con el ciclo de trabajo del equipo perturbador pero es deseable adoptar un tiempo común, independiente del tipo específico de la fuente de perturbación considerada.

Para cumplimentar este objetivo es necesario considerar de nuevo la fisiología de percepción de la fluctuación y los resultados de ensayos en personas y tratar de determinar qué intervalo del tiempo sería apropiado para representar la reacción del observador medio a un amplio margen de fluctuaciones características.

Se ha seleccionado un intervalo de 10 min como un buen compromiso. Este es lo suficientemente largo para evitar dar demasiada importancia a cambios aislados de tensión. Este es también suficientemente largo para permitir que un sujeto desprevenido se de cuenta de la perturbación y su persistencia, pero al mismo tiempo es suficientemente corto para permitir una caracterización detallada del equipo perturbador con un ciclo de trabajo largo. Es una ventaja importante que sea el mismo intervalo de observación especificado en la Norma CEI 555-3.

2 EVALUACIÓN DE LA SEVERIDAD DE FLICKER DE CORTA DURACIÓN

2.1 Elección del algoritmo del punto múltiple

Al escoger un algoritmo del punto múltiple satisfactorio, otro problema tiene que resolverse, la relación entre la evaluación del punto múltiple y la severidad de la fluctuación.

Un número limitado de respuestas a ensayos de percepción estaba disponible, que podían servir para relacionar la severidad de flicker con las curvas no lineales FPA. Por otra parte, de investigaciones realizadas a respuestas subjetivas, parece que la parte de alta frecuencia dada en la curva de la Norma CEI 555-3 (figura 6a) se corresponde bastante bien con los resultados experimentales que relacionan la severidad de la fluctuación con quejas del consumidor para formas de onda perturbadoras rectangulares.

Por una parte parece que el límite de la curva por encima del intervalo de 1 a 0,1 variaciones por minuto no era una medida verdadera de severidad de la fluctuación pero el límite del 3% de variaciones de tensión tenía que introducirse por otras razones que las de limitar la molestia de la fluctuación. Una relación realista por la evaluación de la severidad de la fluctuación requiere que la curva se extienda hasta el 7,5% de variación de tensión al nivel de 0,1 variaciones por minuto (figura 6b). Se decidió por eso determinar un algoritmo de punto múltiple para esta curva de respuesta rectangular modificada y ensayar su validez para los resultados de medidas de respuesta subjetivas.

Se obtuvieron los siguientes valores para el coeficiente K :

K	para	0,1%	nivel	=	0,0314
K	para	1%	"	=	0,0525
K	para	3%	"	=	0,0657
K	para	10%	"	=	0,28
K	para	50%	"	=	0,08

Todos los coeficientes escogidos son positivos, lo que asegura que los valores resultantes para la severidad de flicker permanecen estables esto es no parece ser oscilatorio respecto a variaciones de tensión en relación a la escala de variaciones por minuto.

Por acuerdo para la evaluación para período cortos de 10 min, la severidad de flicker queda expresada por la ecuación:

$$P_{st} = \sqrt{0,0314 P_{0,1} + 0,0525 P_1 + 0,0657 P_3 + 0,28 P_{10} + 0,08 P_{50}}$$

Para verificar la precisión de la evaluación de la severidad de flicker y asegurar que los resultados son estables para fluctuaciones repetitivas regulares se empleó el algoritmo del punto múltiple para evaluar cada nivel de límite dado en la tabla de la Norma CEI para un período especificado de 10 min. Los resultados se muestran en la tabla 1 debajo de la subcolumna "sin alisamiento" y en la figura 6a.

Se puede ver en la figura 6a que la mayor diferencia entre la curva de la severidad y la parte del lado derecho de la curva límite de la CEI es aproximadamente 10%, que es un resultado satisfactorio. Un mejor ajuste no es posible, debido probablemente al origen empírico de la curva de la CEI. La precisión de la curva está evidentemente limitada y no es satisfactorio para una representación matemática.

2.2 Verificación práctica de la evaluación de P_{st}

El próximo requisito era demostrar que el algoritmo del punto múltiple daba respuestas correctas para diferentes tipos de fuentes de perturbaciones. El primer ensayo se relacionó con las perturbaciones producidas por hornos de arco y se comprobaron los resultados contra tensión del punto de calibración obtenido del flickermetro de la ERA. Se obtuvo buena correlación con los resultados del ensayo en instalaciones diferentes.

La decisión siguiente fue demostrar la correlación con perturbaciones asociadas con el arranque de motores. Esta demostración se llevo a cabo en el Reino Unido por medio de un ensayo que se hace con formas simuladas de perturbación con respecto a la respuesta subjetiva humana y se ejecutó para condiciones de ensayo representadas por seis variaciones por minuto. Las medidas también incluyeron perturbaciones rectangulares. Los resultados obtenidos por el flickermetro concordaron con el ensayo subjetivo y la incidencia de la perturbación rectangular tenía una variación del tensión que estuvo muy próxima a la curva de la CEI.

Una experiencia más amplia en evaluación de la severidad de la fluctuación mostró que si había una necesidad de modificar la curva de igualdad de severidad en función de la frecuencias de la fluctuación de la tensión entonces se pueden adaptar los coeficientes del P_{st} fácilmente para ajustar una curva nueva.

Por eso la UIE propone que esta evaluación del punto múltiple de severidad del flicker debe usarse no sólo para uso doméstico y aparatos semejantes bajo las condiciones del ensayo de la Norma CEI 555-3 sino que también se debe usar la misma evaluación para fluctuaciones de tensión causadas por cargas industriales incluyendo hornos del arco.

El valor de P_{st} se propone sólo como medio de calibrar el nivel de severidad de flicker, siendo el propósito principal el de proporcionar un método internacional de evaluación de la severidad de flicker. La UIE no propone un valor del límite P_{st} , pues reconoce que es responsabilidad de los Comités de Normalización Internacionales y Nacionales.

La UIE, sin embargo, está atenta a la necesidad de dar unas guías sobre cómo usar el flickermetro para evaluar los valores del límite de severidad del flicker.

Un valor del límite para P_{st} podría ser fijado mayor o menor que la unidad según la aplicación, teniendo en cuenta en pruebas del laboratorio el hecho de que una proporción substancial de observadores den un informe de molestia por flicker cuando $P_{st}=1$.

Tabla 1
Variaciones de tensión permitidas por la Norma CEI 555-3 comparadas con aquellas que dan una unidad de severidad de flicker ($P_{st} = 1$) para varias variaciones de tensión por minuto utilizando el algoritmo de 5 puntos con alisamiento y sin alisamiento

Columna 1 Variaciones por minuto	Columna 2 Variación de tensión relativa $\Delta U/U\%$	Columna 3 Variación de tensión por unidad de flicker ($P_{st} = 1$) $\Delta U/U\%$		Columna 4 Diferencia en porcentaje $\frac{\text{columna 3} - \text{columna 2}}{\text{columna 2}} \times 100 \%$	
		Sin alisamiento	Con alisamiento	Sin alisamiento	Con alisamiento
		0,1	3,00	7,46	7,391
0,2	3,00	4,52	4,584	–	–
0,3	3,00	3,88	3,842	–	–
0,4	3,00	3,52	3,540	–	–
0,5	3,00	3,34	3,350	–	–
0,6	3,00	3,14	3,196	–	–
0,76	3,00	2,97	2,979	–1,0	–0,7
0,84	2,90	2,90	2,867	0,0	–1,1
0,95	2,80	2,79	2,765	–0,3	–0,4
1,06	2,70	2,70	2,679	0,0	–0,8
1,20	2,60	2,60	2,579	0,0	–0,8
1,36	2,50	2,49	2,484	–0,4	–0,6
1,55	2,40	2,38	2,394	–0,8	–0,3
1,78	2,30	2,26	2,294	–1,7	–0,3
2,05	2,20	2,16	2,193	–1,8	–0,3
2,39	2,10	2,07	2,091	–1,4	–0,4
2,79	2,00	1,97	1,989	–1,5	–0,6
3,29	1,90	1,88	1,893	–1,0	–0,4
3,92	1,80	1,78	1,789	–1,1	–0,6
4,71	1,70	1,70	1,679	0,0	–1,2
5,72	1,60	1,57	1,571	–1,9	–1,8
7,04	1,50	1,47	1,456	–2,0	–2,9
8,79	1,40	1,37	1,348	–2,1	–3,7
11,16	1,30	1,24	1,244	–4,6	–4,3
14,44	1,20	1,14	1,150	–5,0	–4,2
19,10	1,10	1,04	1,062	–5,5	–3,5

(Continúa)

Tabla 1 (Fin)
Variaciones de tensión permitidas por la Norma CEI 555-3 comparadas con aquellas que dan una unidad de severidad de flicker ($P_{st} = 1$) para varias variaciones de tensión por minuto utilizando el algoritmo de 5 puntos con alisamiento y sin alisamiento

Columna 1 Variaciones por minuto	Columna 2 Variación de tensión relativa $\Delta U/U\%$	Columna 3 Variación de tensión por unidad de flicker ($P_{st} = 1$) $\Delta U/U\%$		Columna 4 Diferencia en porcentaje $\frac{\text{columna 3} - \text{columna 2}}{\text{columna 2}} \times 100 \%$	
		Sin alisamiento	Con alisamiento	Sin alisamiento	Con alisamiento
		26,60	1,00	0,97	0,975
32,00	0,95	0,93	0,942	-2,1	-0,8
39,00	0,90	0,89	0,906	-1,1	-0,7
48,70	0,85	0,86	0,866	+ 1,2	+ 1,9
61,80	0,80	0,83	0,824	+ 3,8	+ 3,0
80,50	0,75	0,78	0,782	+ 4,0	+ 4,3
110,00	0,70	0,72	0,725	+ 2,9	+ 3,6
175,00	0,65	0,63	0,635	-3,1	-2,3
275,00	0,60	0,55	0,551	-8,3	-8,2
380,00	0,55	0,50	0,500	-9,1	-9,1
475,00	0,50	0,48	0,476	-4,0	-4,8
580,00	0,45	0,43	0,423	-4,4	-6,0
690,00	0,40	0,37	0,367	-7,5	-8,25
795,00	0,35	0,32	0,321	-8,6	-8,3
1 052,00	0,29	0,28	0,276	-1,1	-4,8
1 180,00	0,30	0,29	0,283	-3,3	-5,7
1 400,00	0,35	0,33	0,331	-5,7	-5,4
1 620,00	0,40	0,40	0,402	0,0	+ 0,5
1 800,00	0,45	0,47	0,480	+ 4,4	+ 6,7

2.3 Correspondencia entre los métodos simplificados de asesoramiento y evaluación

La diferencia mencionada anteriormente entre la curva $P_{st} = 1$ y la parte derecha de la curva de la Norma CEI 555 causara una pequeña diferencia (máximo 10%) entre los métodos simplificados de valoración y las medidas.

La práctica presente es, como primer paso, usar un método simplificado de evaluación y realizar medidas en caso de duda (cuando los resultados están dentro del 10% del límite). De cualquier modo, puede causar problemas si las medidas son difíciles o incluso imposibles de realizar.

Como una solución mejor, la UIE recomienda a la CEI revisar ligeramente la parte derecha de la curva límite de la Norma CEI 555, para que se aproxime a la curva $P_{st} = 1$. Medir P_{st} (con el requisito adicional que las variaciones de tensión no debe en cualquier caso exceder del 3%) dará entonces resultados idéntico a aquéllos obtenidos usando el método analítico.

3 EXACTITUD DE LA EVALUACIÓN DE P_{st}

El método de la clasificación para obtener la FPA introduce errores debido al hecho que en una implementación práctica del bloque de evaluación estadística se limita el número de clases, al igual que la resolución del convertor analógico digital que se usa para los métodos de diseño digital y analógico del flickermetro.

Esto usualmente significa que los valores verdaderos del nivel asociado con cualquiera de los percentiles seleccionados, P_k ($k=0, 1; 1; 3; 10; 50$), no se da directamente pero cae entre dos valores conocidos en la clasificación de la distribución.

Si cada percentil P_k es estimado usando el valor medio de la correspondiente clase, el máximo error de P_k será:

$$| \epsilon_{i \text{ máx.}} | = \frac{1}{2} \frac{F_s}{N}$$

donde

N es el número de clases en el clasificador;

F_s es el rango de medida.

Asumiendo que todos los percentiles coinciden con el punto del extremo del intervalo de la clase, el P_{st} calculado será:

$$P_{st} = \sqrt{P_{st \text{ real}}^2 \pm \frac{1}{2} \frac{F_s}{N} \sum_{i=1}^5 K_i} = \sqrt{P_{st \text{ real}}^2 \pm 0,2548 \frac{F_s}{N}}$$

El valor máximo posible de P_{st} puede ocurrir cuando todos los percentiles P_k caen en la clase más alta, $M_{\text{máx.}}$, que aproximadamente corresponde al valor de final de escala, F_s , del rango que se usa:

$$P_{st \text{ máx.}} = \sqrt{M_{\text{máx.}} \sum_{i=1}^5 K_i} = 0,7139 \sqrt{M_{\text{máx.}}}$$

Si el valor calculado actual P_{st} es una fracción de $P_{st \text{ máx.}}$, el error máximo relativo será expresado por:

$$\epsilon_{\text{máx.}} \% = \frac{P_{st} - P_{st \text{ real}}}{P_{st \text{ real}}} 100 = 100 \left(\sqrt{1 + \frac{1}{2N\alpha^2}} - 1 \right)$$

Puede observarse que el error máximo relativo depende del rango y depende solo de α y N .

La figura 7 da el máximo error en función de α y de diferentes valores de N .

La tabla 2 muestra el valor mínimo de P_{st} medible con un error máximo del 5% para diferentes rangos del flickermetro y tamaños de clasificación.

Tabla 2
Valor mínimo medible de P_{st} con un error del 5% para diferentes
rangos del flickermetro y tamaños de clasificación

Calibre del flickermetro expresado en unidades relativas		4	16	64	400	1 600	6 400
Clases	$P_{st} / P_{st.máx.}$	$P_{st.máx.}$					
		1,42	2,85	5,7	14,2	28,5	57
64	0,275	0,39	0,784	1,567	3,9	7,837	15,68
128	0,19	0,27	0,542	1,083	2,698	5,415	10,83
256	0,125	0,192	0,385	0,77	1,92	3,85	7,695

Puede observarse que para evitar la necesidad de demasiadas clases la estimación del percentil tuvo que mejorarse y se examinó la obtención de mejoras mediante una técnica de interpolación. La primera posibilidad es usar una interpolación lineal dentro del intervalo de la clase en la cual el percentil a considerar está incluido, por ejemplo 0,1; 1; 3; 10 y 50%.

4 INTERPOLACIÓN

4.1 Interpolación lineal

Si el clasificador funciona como se muestra en la figura 8a, de modo que el valor de final de escala, F_s , del rango medido se divide en N intervalos iguales, la anchura de cada intervalo será F_s/N . Si las clases se numeran de 1 a n a N , la clase n tendrá un nivel máximo $P_n = nF_s/N$ y y_n en % de la salida será igual o mayor que el nivel P_n .

De una manera semejante, y_{n-1} % de la salida será igual o mayor que $(n-1)F_s/N$. Si la curva FPA se puede considerar como lineal para este rango, entonces, por interpolación lineal, el nivel de la salida que es igual a o superado por y_k % de la salida es dado por:

$$P_k = \frac{F_s}{N} [n - (y_k - y_n) / (y_{n-1} - y_n)]$$

4.2 Interpolación no lineal

La interpolación lineal da resultados precisos cuando el FPA es bastante lineal, de lo contrario una interpolación no lineal más compleja será necesaria. Una técnica que se ha adoptado con buen éxito es ajustar una fórmula cuadrática a los niveles correspondientes a los puntos finales superiores de tres clases sucesivas, $n-1$, n y $n+1$ en la FPA.

En este caso se puede usar una fórmula cuadrática para definir el valor P_k requerido, que queda en la clase n .

Refiriéndose a la figura 8b el nivel FPA se obtiene de la relación:

$$P_k = \frac{F_s}{N} \left[n - 1 + \frac{1}{2H_2} (H_1 - \sqrt{H_3}) \right]$$

donde

F_s/N = ancho de clase;

$$H_1 = \frac{1}{2} y_{n+1} - 2y_n + \frac{3}{2} y_{n-1};$$

$$H_2 = \frac{1}{2} y_{n+1} - y_n + \frac{1}{2} y_{n-1};$$

$$H_3 = H_1^2 - 4 H_2 (y_{n+1} - y_n);$$

donde y_n es la probabilidad en tanto por ciento del punto del extremo de la parte derecha de la clase n y así sucesivamente.

4.3 Interpolación de la ordenada al origen

Puede ocurrir que uno o más percentiles de interés P_k queden en el intervalo de la primera clase del clasificador. La experiencia ha mostrado que interpolar entre cero y el punto del extremo superior de la primera clase da resultados pobres, porque se asume implícitamente que un nivel cero será excedido con un 100% de probabilidad.

En la práctica una función de probabilidad acumulada típica (FPA) puede cortar el eje de probabilidad por debajo de la marca 100% y entonces moverse verticalmente en el eje hacia arriba. Esto se muestra en la figura 5 para un horno de arco y para variaciones poco frecuentes de tensión que son típicos de aparatos domésticos. Una manera de reducir errores en esta región es la inversión de la extrapolación de los puntos del FPA proporcionando la extrapolación de ordenada al origen. Un algoritmo satisfactorio para este propósito consiste en ajustar por una función cuadrática los tres primeros valores de la clasificación y_n ($n= 1, 2, 3$) utilizando coeficientes del ponderación de 3, -3 y 1, respectivamente (figura 9):

$$y_0 = (3y_1 - 3y_2 + y_3)$$

donde y_0 es el valor de la ordenada en el origen.

5 ALISAMIENTO DE PUNTOS PERCENTILES

Cuando se estudian cargas que producen una perturbación constante durante su operación pero seguidas de ciclos de funcionamiento no funcionamiento se nota que un pequeño cambio en el ciclo de funcionamiento puede causar un cambio abrupto en uno de los cinco puntos de percentil con un cambio significativo en la evaluación de la severidad de flicker, P_{st} .

Como ejemplo se estudio una carga que produce, cuando trabaja, una modulación senoidal de la fuente de alimentación de 4 Hz. El primer postulado fue que la carga operaba durante 61 s y que se apagaba para el tiempo restante del período de observación de 10 min. Los cálculos realizados utilizando el programa de simulación mostraban que la correspondiente severidad de flicker P_{st} era de 0,62 unidades. Cambios en el período de funcionamiento de 61 a 59 s reducían el P_{st} a 0,39. Esto fue debido principalmente a que el cambio del ciclo de funcionamiento reduce P_{10} de 0,866 a 0,031.

Aunque ocasionalmente este efecto puede ocurrir en la práctica, es importante que el método de evaluación de flicker debe de permitir manejar un ancho margen de variación de cargas fluctuantes. El siguiente procedimiento se recomienda. La deducción del P_{st} de los cinco puntos de percentil, $P_{0,1}$, P_1 , P_3 , P_{10} , y P_{50} , mencionados anteriormente, no cambian pero se obtienen valores alisados de cada uno de esos puntos obtenidos de otros percentiles como sigue:

$$P_{50s} = (P_{30} + P_{50} + P_{80})/3$$

$$P_{10s} = (P_6 + P_8 + P_{10} + P_{13} + P_{17})/5$$

$$P_{3s} = (P_{2,2} + P_3 + P_4)/3$$

$$P_{1s} = (P_{0,7} + P_1 + P_{1,5})/3$$

La constante de tiempo de memoria de 0,3 s en el circuito del flickermetro asegura que $P_{0,1}$ no pueda cambiar abruptamente y no se requiere ningún alisamiento.

El algoritmo para obtener la severidad de flicker P_{st} queda compatible con el ya propuesto por la CEI y permite que se obtengan resultados estables de cinco puntos de medida alisados.

El efecto de usar puntos de percentiles suavizados en el ejemplo dado anteriormente se analizó y se obtuvieron los resultados siguientes:

(marcha-parada) Ciclo de trabajo	Sin alisamiento	Con alisamiento
	P_{st}	P_{st}
61/539	0,622	0,542
59/541	0,392	0,497
57/543	0,380	0,495

Se han repetido estudios para todas las perturbaciones rectangulares derivadas de la curva de la Norma CEI 555, pero empleando los puntos del percentil de alisamiento. Los resultados se dan en la tabla 1 comparándolos con los obtenidos sin alisamiento. Se puede observar que no aparece degradación con el ajuste de la curva de la CEI.

6 CLASIFICACIÓN NO LINEAL

Desde un punto de vista práctico el uso de intervalos de clasificación de igual anchura requiere una selección correcta del rango de medida y a veces éste no es fácil hacer porque el máximo nivel de fluctuación no es predecible.

Una manera de superar esta dificultad es usar una clasificación no lineal sobre un amplio rango de medida. Esto también permite que se reduzcan los errores cuando algunas clases del clasificador son afectados por los datos de entrada. Es ventajoso usar una distribución logarítmica de los intervalos de clase. Este método ofrece una cobertura completa de los rangos de medida especificados y permite alcanzar la precisión especificada aun cuando se usa interpolación lineal entre clases. De esta manera el flickermetro puede ser usado siempre en la parte alta del rango de medida de la escala logarítmica asociado con interpolación lineal que mantendrá típicamente los errores de clasificación por debajo de 0,5% sin la necesidad de utilizar el método de extrapolación de ordenada al origen.

Se ha sugerido que se puede usar en la salida 3 un clasificador lineal del flickermetro, que da la raíz cuadrada de la sensación de flicker instantánea pero esto todavía requiere la selección del margen correcto de medida.

7 ENSAYOS DE COMPORTAMIENTO INCLUYENDO EL CLASIFICADOR

La consideración de las necesidades de un clasificador que analice la salida del flickermetro de la UIE muestra que es necesario que use o la interpolación lineal o la no lineal entre el contenido de las diferentes clases, para determinar los cinco niveles del percentil requeridos para la evaluación de la severidad de flicker. El funcionamiento puede ser verificado por la aplicación de los siguientes ensayos de funcionamiento.

Cada flickermetro, con su clasificador, deberá ser sometido a los trenes regulares de cambios de tensión rectangular que se especifica en la tabla 3.

Tabla 3
Especificaciones de ensayo para
el clasificador del flickermetro

Cambios por minuto	Variaciones de tensión $\Delta U/U \%$
1	2,724
2	2,211
7	1,459
39	0,906
110	0,725
1 620	0,402

En cada caso la severidad del flicker, P_{st} , deberá ser de $1,0 \pm 5\%$.

Además, el fabricante determinará el rango de la magnitud de los cambios de tensión para los que los valores de los correspondientes P_{st} están dentro del margen de precisión del $\pm 5\%$.

Para hacer estos ensayos, se deberá obtener el valor del P_{st} para cada valor dado en la tabla 3, manteniendo la frecuencia de repetición de los cambios de tensión y aumentando o disminuyendo los valores de $\Delta U/U \%$ que figuran en la misma.

Si por ejemplo, a una frecuencia de repetición de siete cambios por minuto, las variaciones de tensión se incrementan en un factor de 3 de 1,459% a 4,377%, el incremento del P_{st} debería ser de $1,0 \pm 5\%$ a $3,0 \pm 5\%$.

El margen para el cual se mantiene la precisión del $\pm 5\%$ es el de trabajo del clasificador.

Si el flickermetro emplea márgenes de sensibilidad seleccionables, los ensayos se deberán efectuar sobre cada uno de ellos.

8 EVALUACIÓN DE LA SEVERIDAD DE FLICKER DE LARGA DURACIÓN

El período de 10 min en el que se basa la evaluación de la severidad del flicker de corta duración es admisible para la medición de las perturbaciones ocasionadas por equipos como trenes de laminación, bombas de calor o aplicaciones domésticas.

En los casos donde la combinación del efecto de varias cargas perturbadores funcionando de manera aleatoria (por ejemplo soldaduras, motores) debe tenerse en cuenta o cuando las fuentes del flicker tienen ciclos de trabajo variables y largos (por ejemplo hornos de arco) son considerados, es necesario proporcionar un criterio para la evaluación de la severidad de flicker para tiempos largos de las perturbaciones generadas.

Se considera que una técnica basada en el análisis de la secuencia de los valores de P_{st} cada 10 min obtenidos durante el período de observación puede ser universal en esta aplicación.

Siguiendo en la línea de lo ya expuesto de la derivación del algoritmo del P_{st} , es deseable caracterizar también el termino de severidad de flicker de larga duración por un único método de valoración válido.

Esto puede conseguirse al menos por cuatro métodos diferentes:

- 1) análisis del punto múltiple llevado a cabo en la curva FPA de los niveles instantáneos de flicker acumulados sobre el termino largo;
- 2) uso de $P_{1,0}$ sobre la acumulación de larga duración (similar a comprobar la máxima medida del 1%);
- 3) punto de calibración (por ejemplo 10% o 5%) de la distribución acumulada de los valores de P_{st} ;
- 4) uso de una ley cúbica de alisamiento de los valores del P_{st} :

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^N P_{st_i}^3}{N}}$$

Estas diferentes posibilidades fueron evaluadas frente a unos principios guía que se encontraron de importancia fundamental (véase tabla 4):

- no es deseable tener que coger lecturas para el período completo de observación;
- el efecto de largas pero infrecuentes perturbaciones no deben de ser excesivamente atenuadas para el conjunto de los resultados para el proceso de clasificación de la evaluación de larga duración;
- debe ser todavía posible entresacar un período de corta duración específico que pueda ser de especial interés;
- el método de evaluación sugerido debe de ser comprobado para situaciones conocidas en términos de niveles de reclamación.

Parece ser que los métodos 1 y 2 reparten las desventajas de requerir la retención de todos los niveles medidos en el clasificador sobre el período de prueba y el método 2 tiene la desventaja adicional de ser inconsistente con la evaluación de corta duración.

El punto de calibración falla al evaluar la severidad de largas e infrecuentes perturbaciones cuando la frecuencia de aparición es menor que el punto de calibración, haciéndolo inadecuado para el uso en ciertas aplicaciones, además requiere varias horas de datos antes de poder obtener una respuesta.

Por tanto, el uso del valor de la severidad de larga duración dado por el método del punto múltiple de la raíz cúbica parece ser la mejor elección para investigaciones posteriores.

La figura 10 da un ejemplo de aplicación de los cuatro métodos a los resultados de un ensayo en un horno de arco sobre un período de 20 horas.

La tabla 5 da los resultados de un ensayo práctico con la ley cúbica de evaluación. Estos resultados vienen a confirmar que este método de valoración da indicaciones consistentes y presentas suficientes ventajas que justifican su adopción.

9 REFERENCIAS

"Conexión de cargas fluctuantes". UIE, Julio 1988.

Tabla 4
Comparación de los métodos de evaluación de larga duración

Método de evaluación del flicker de larga duración	Ventajas	Desventajas
1 Análisis del punto múltiple de las lecturas acumuladas sobre la larga duración	Utiliza el mismo método de cálculo que el usado para el flicker de corta duración	Tiende a olvidarse de infrecuentes pero grandes perturbaciones. Requiere la retención de todas las lecturas del clasificador sobre el período de ensayo. Dificulta el análisis de un período elegido de un ensayo
2 Uso del $P_{1,0}$ del contenido del clasificador sobre un período de larga duración	Similar a la evaluación de la medida utilizando el máximo del 1% de las medidas	Requiere la retención de todas las lecturas del clasificador sobre el período de ensayo Ignora toda la forma de la distribución de las medidas. Tiende a olvidarse de infrecuentes pero grandes perturbaciones
3 Punto de calibración (por ejemplo 5% o 10%) de la función de probabilidad acumulada de los valores del P_{st}	Enfatiza la presencia del flicker más severo al hacer la evaluación	Olvidarse de grandes perturbaciones cuya frecuencia de aparición son menores que el punto de calibración
4 Raíz cúbica de la media de los valores cúbicos de P_{st}	Da casi la misma respuesta que el análisis del punto múltiple descrito anteriormente Necesita almacenamiento de pocos datos (sólo valores de P_{st}) Fácil análisis de la elección de un período de un ensayo No ignora valores infrecuentes de P_{st} Incluye todos los valores del P_{st} en el período	Para lecturas ampliamente distribuidas como son las procedentes de los hornos de arco aproximadamente el 50% de los valores de P_{st} exceden la severidad de larga duración

Tabla 5
Aplicación del método de la "ley cúbica" en la evaluación del P_{lt}

	Período de observación	$P_{st_{máx.}}$	P_{lt}	Número de valores de $P_{st} \geq P_{lt}$ (%)	$\frac{P_{st_{máx.}}}{P_{lt}}$ (%)	Fuentes	Notas
Soldadura por puntos	–	3,0		–	–	Reino Unido	Reclamaciones
Soldadura de arco y prensas	–	1,85	1,17	40	1,58	Reino Unido	Reclamaciones
Hornos de arco	9 h	1,40	1,0	44	1,40	Alemania	2 hornos (10 kV) Reclamaciones
	61 h	1,57	0,7	35	2,24	Alemania	2 hornos (110 kV) Algunas reclamaciones
	13 h	1,46	0,8	35	1,82		
	106 h	1,44	0,61	34	2,36		
	81 h	1,62	0,7	30	2,31		
	65 h	1,01	0,44	26	2,30		
	78 h	1,59	0,46	20	3,46	Alemania	1 hornos (110 kV) Algunas reclamaciones. El último dato se refiere a medidas en puntos diferentes del PCC de anteriores instalaciones
	98 h	1,50	0,42	21	3,57		
	54 h	1,36	0,48	24	2,87		
	55 h	1,49	0,42	22	3,54		
195 h	1,35	0,4	–	3,37			
	24 h	4,60	3,02	50	1,52	Japón	P_{lt} medio de 24, Valor de 1 h
	24 h	1,24	0,92	42	1,35		
	–	1,55	0,9	45	1,72	Reino Unido	Sin reclamaciones, flicker visible
	–	1,12	0,85	50	1,32		Sin reclamaciones, flicker visible
	–	1,04	0,64	46	1,63		Algunas reclamaciones
Minas de carbón	–	0,8	0,63	54	1,27	Reino Unido	Sin reclamaciones, flicker visible
Mina devanadera	–	0,9	0,5	52	1,80	Reino Unido	Sin reclamaciones
Arranque de motores 10 (10% caída de tensión) 50 Veces por día: 100	1 semana	1,34	0,55	–	2,44	Bélgica	Simulación
			0,94	–	1,43		
			1,19	–	1,13		
Sistema de iluminación en salas de baile	1 semana	3,5	0,63	–	5,56	Bélgica	Únicamente opera en sábado noche, causa reclamaciones
			0,80	–	3,85		
			0,91	–	3,85		
Bajo flicker continuado	indefinido	0,6	0,6	–	1	Bélgica	Para un flicker estable y continuo $P_{st_{máx.}} = P_{lt}$

NOTA – Los datos mostrados en la tabla no han sido obtenidos con bases uniformes y dan sólo una indicación general de resultados prácticos.

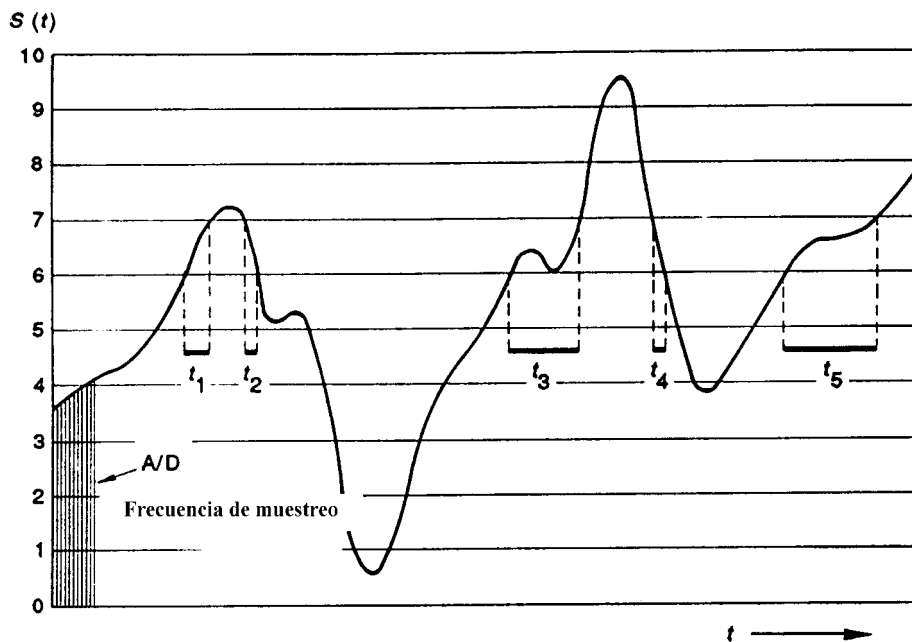


Fig. 1 – Representación esquemática del método "tiempo en un nivel" mostrando el nivel de flicker como una función variable del tiempo. El tiempo de permanencia de la señal en la clase 7 se indica a título de ejemplo $T_7 = \sum_{i=1,5} t_i$

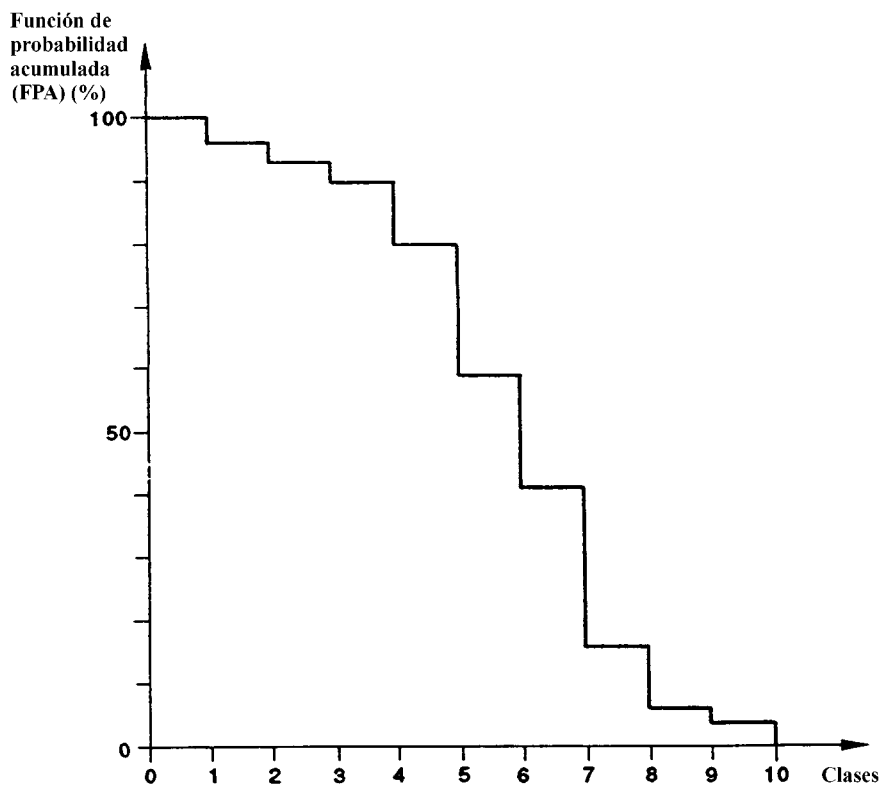
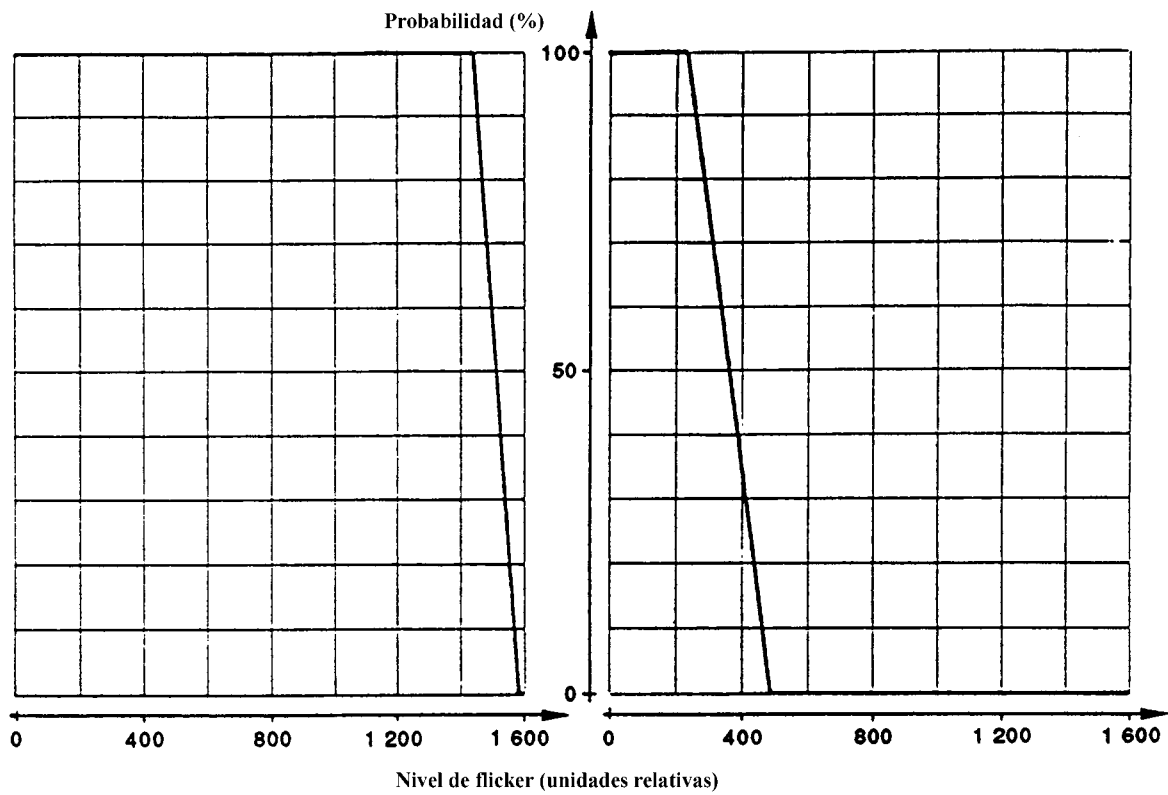


Fig. 2 – Función de probabilidad acumulada (FPA) de permanencia de la señal en las clases 1 a 10



a) sinusoidal

100 V_{eficaz} 50 Hz

$$\frac{\Delta V}{V} = 10 \%$$

f = 9 Hz

b) rectangular

75 V_{eficaz} 50 Hz

$$\frac{\Delta V}{V} = 8,8 \%$$

f = 2 Hz

Fig. 3 – Curvas FPA para las fluctuaciones sinusoidales y rectangulares de la tensión

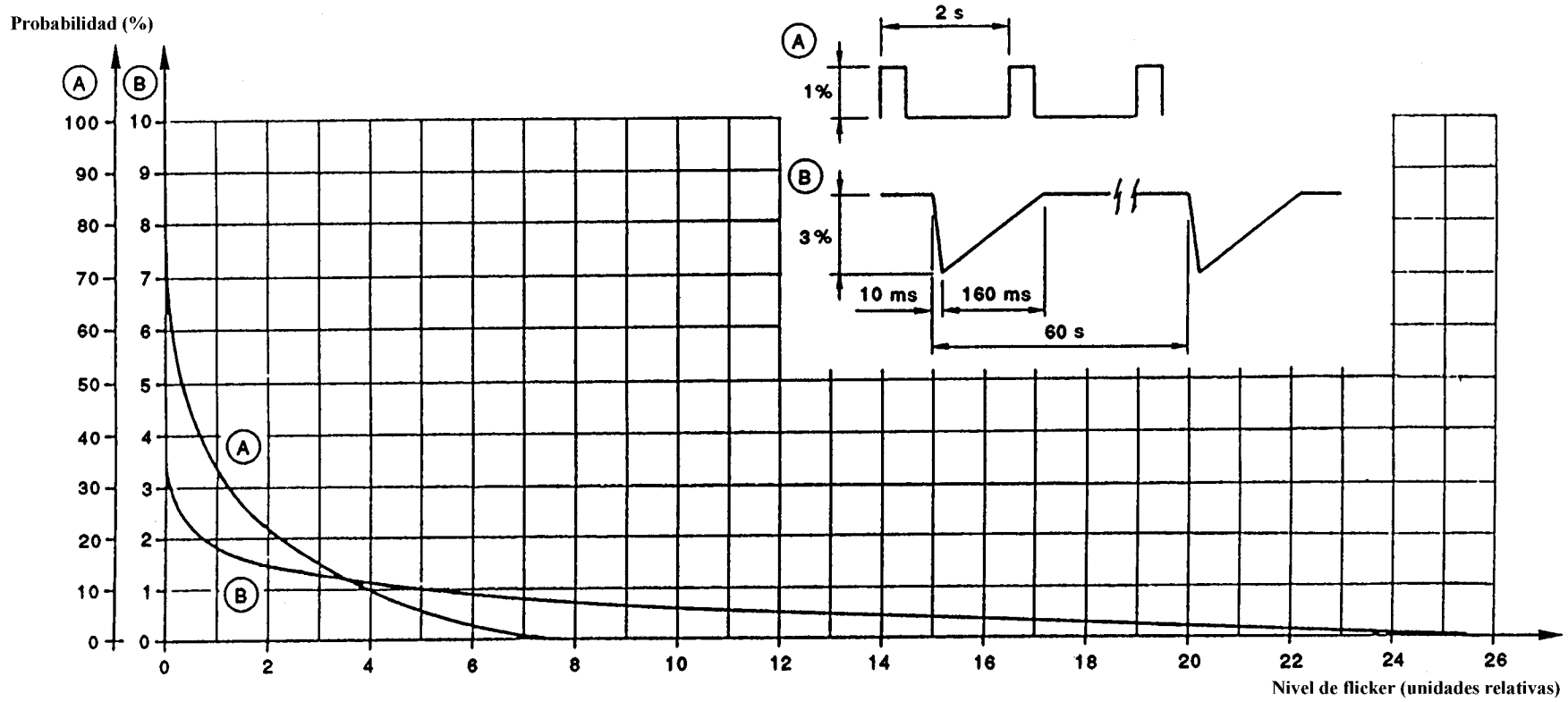


Fig. 4 – Curvas FPA para dos formas de onda: la forma de onda B representa los arranques repetitivos de un motor

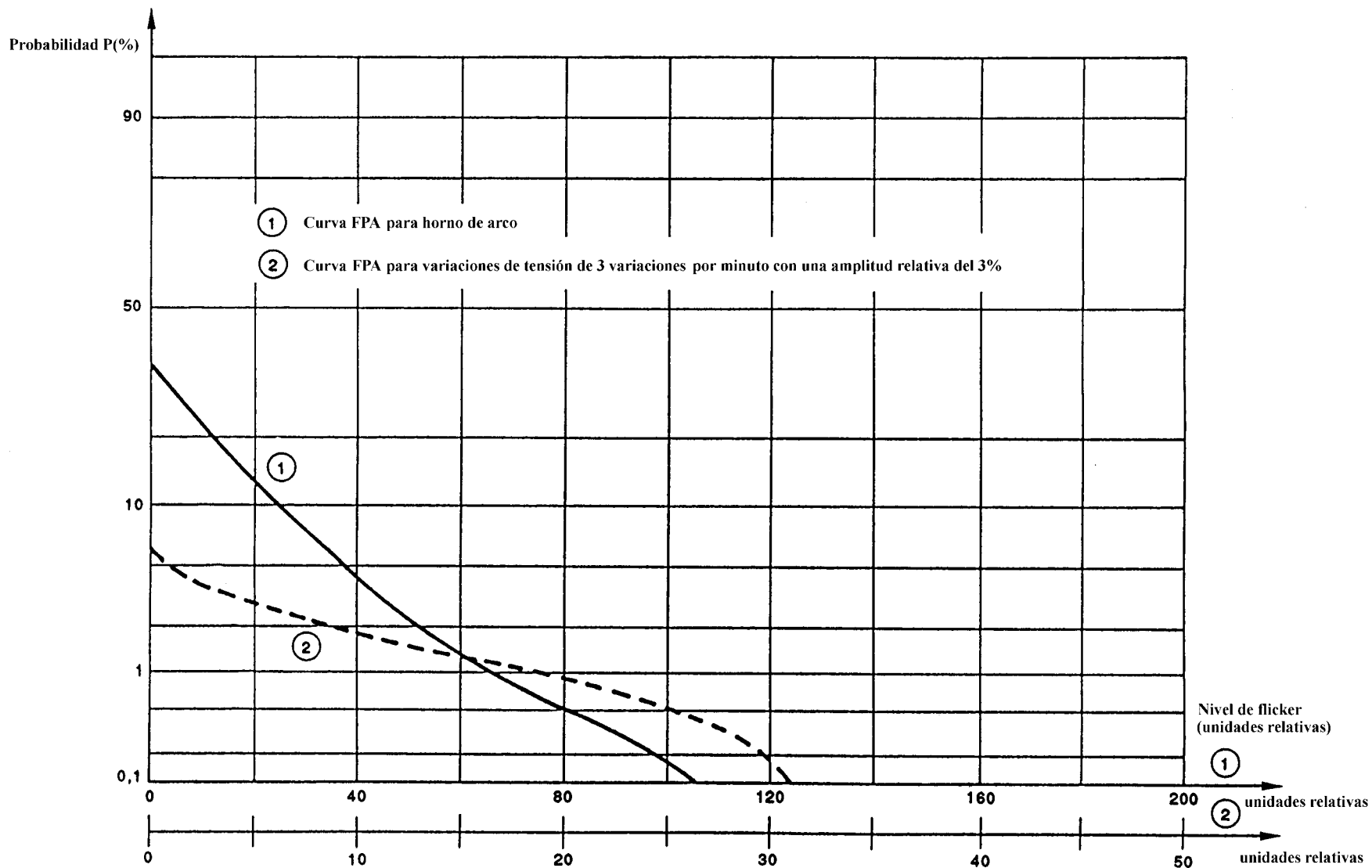


Fig. 5 – Curvas FPA para un período de observación de 10 min en el caso de un horno de arco y para variaciones de tensión poco frecuentes

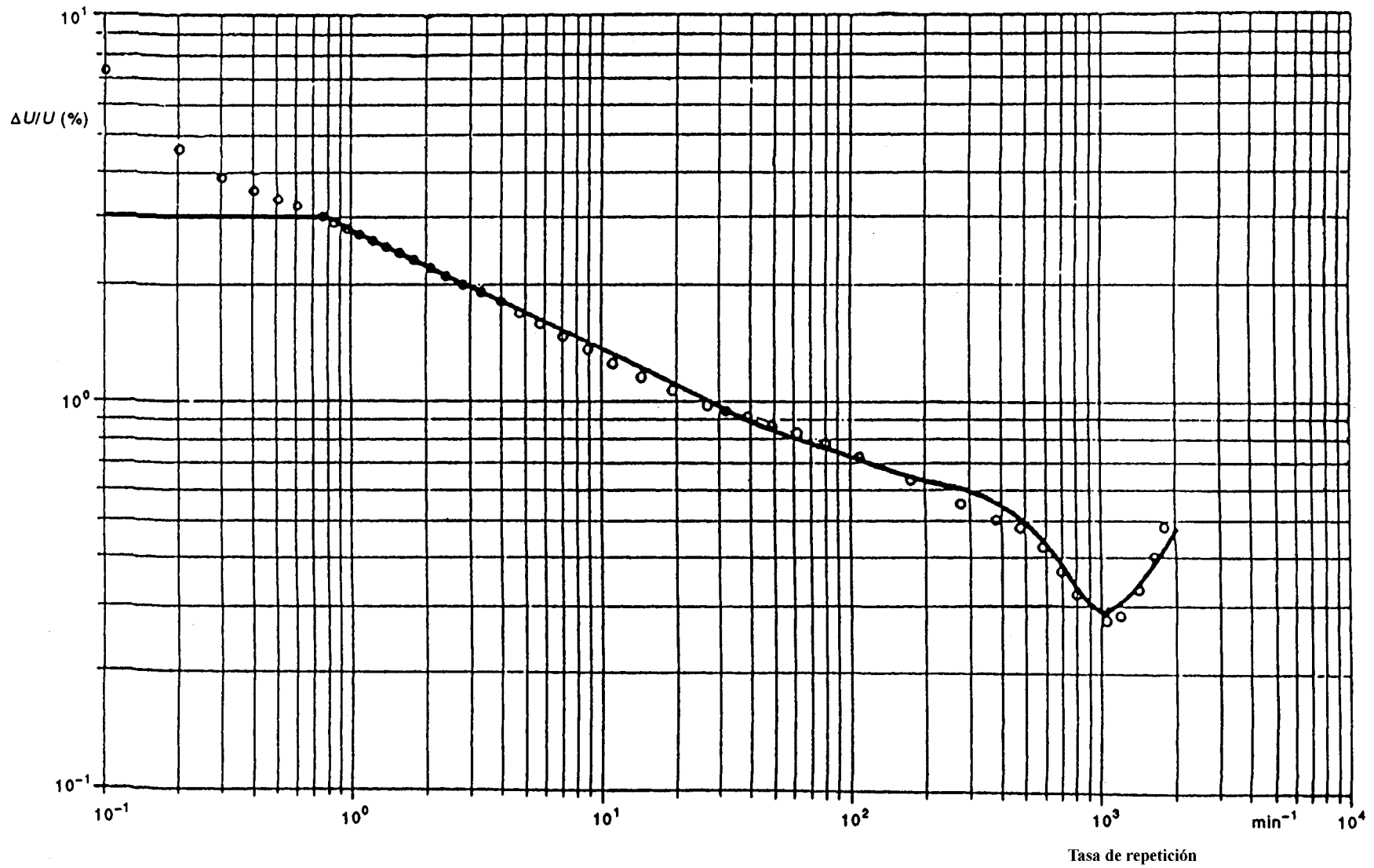


Fig. 6a – Curva límite de la CEI y puntos de igual severidad, $P_{st} = 1$

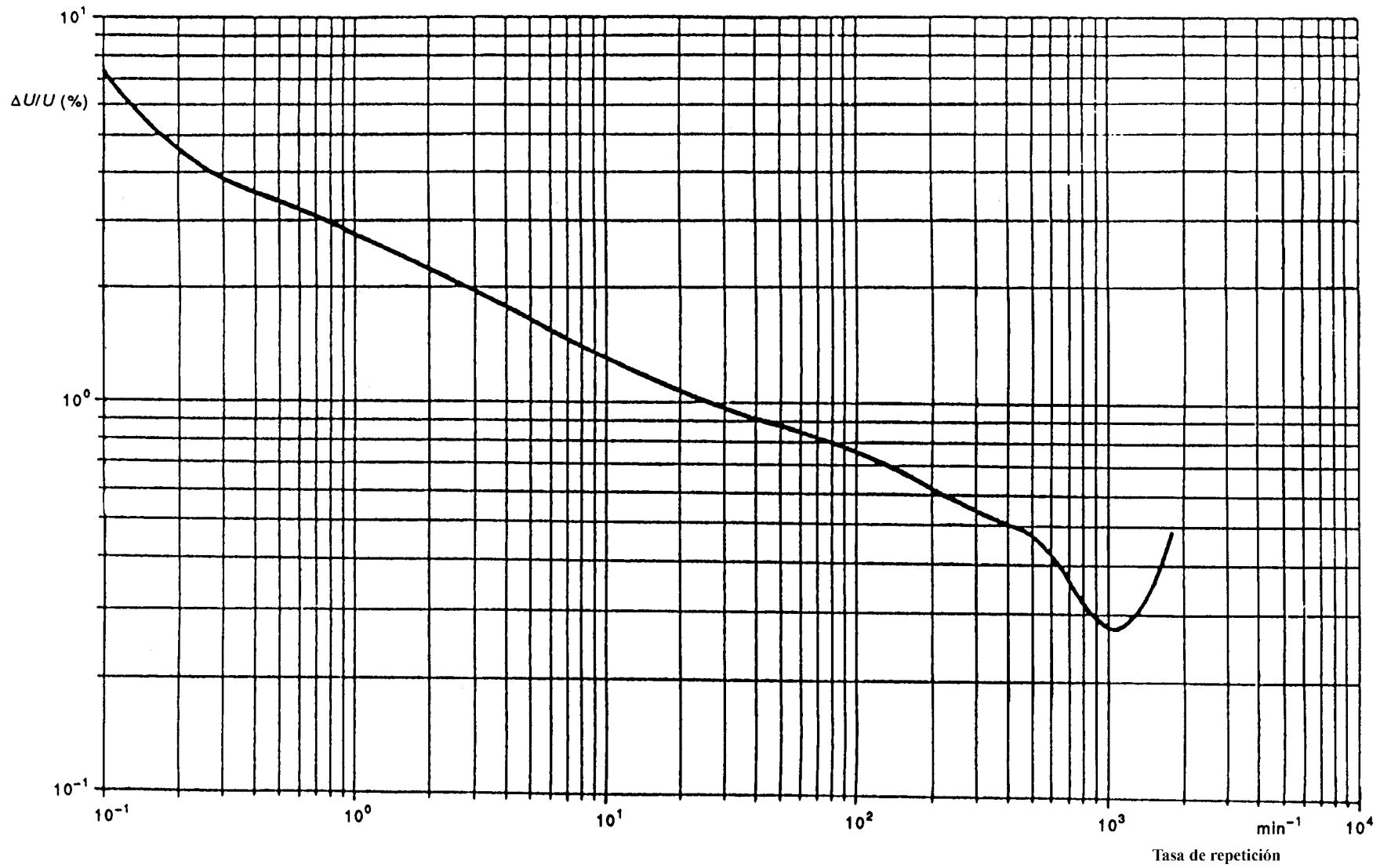


Fig. 6b – Curva de igual severidad, $P_{st} = 1$

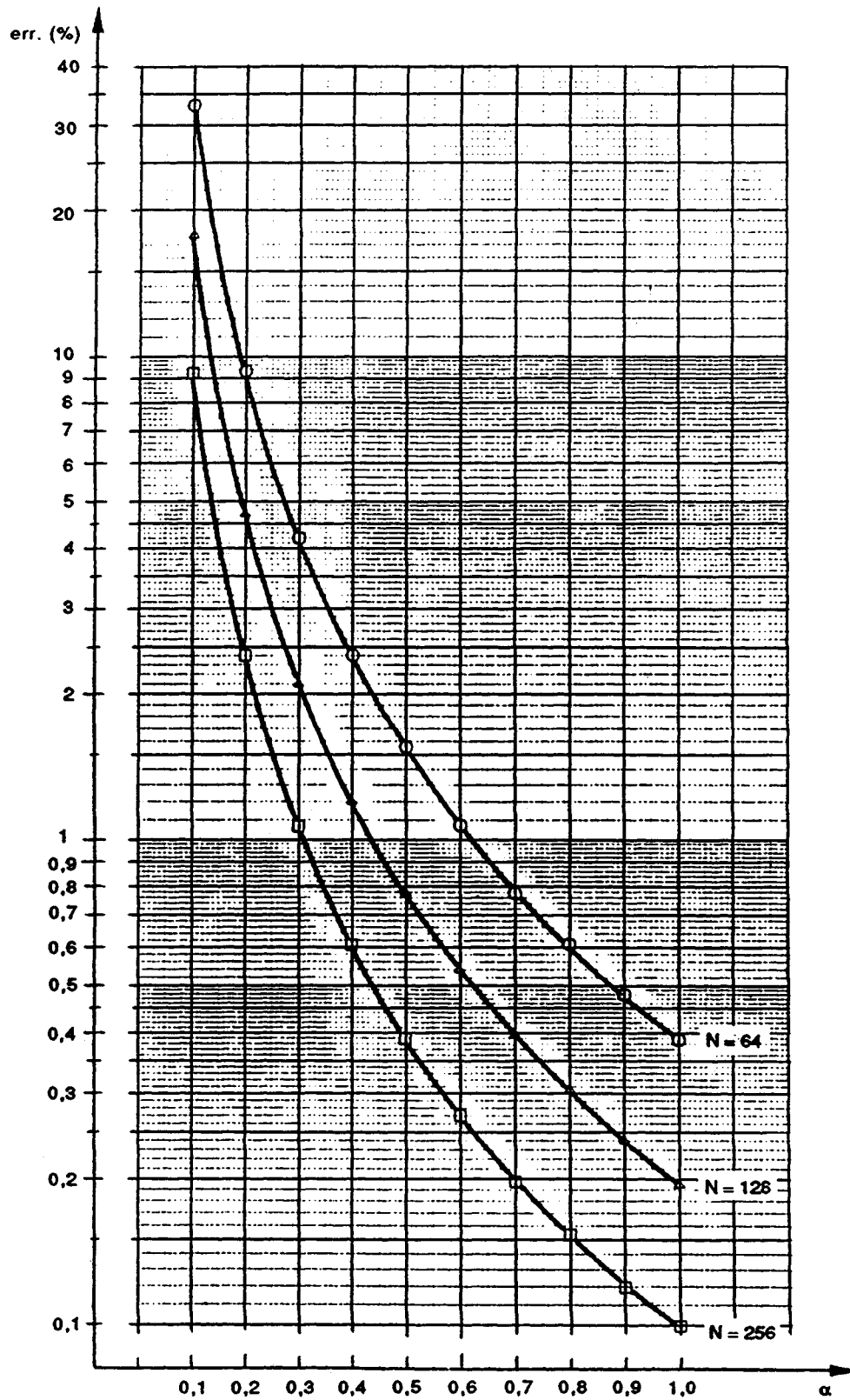


Fig. 7 – Error máximo relativo en función de la relación $\alpha = P_{st_{real}}/P_{st_{máx.}}$ para las clases 64, 128 y 256

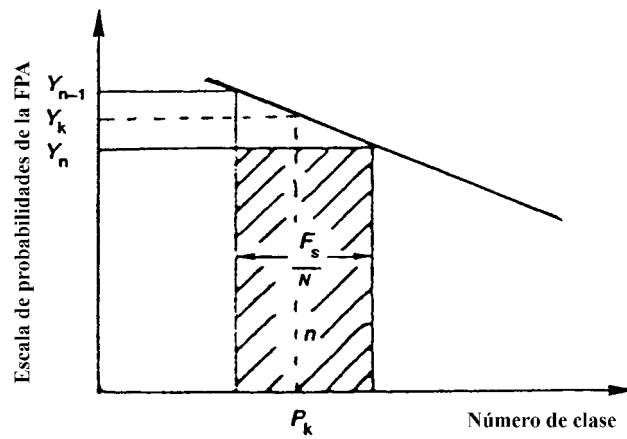


Fig. 8a - Interpolación lineal

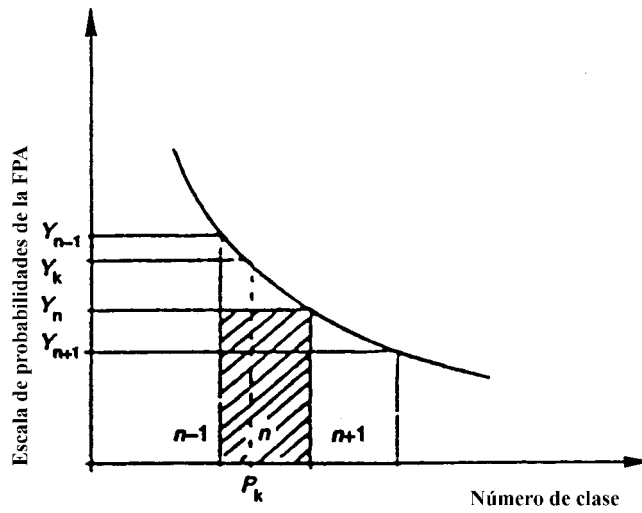


Fig. 8b - Interpolación no lineal

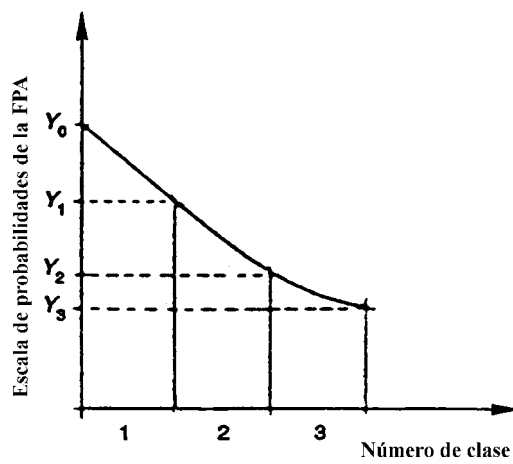


Fig. 9 - Extrapolación de la ordenada al origen

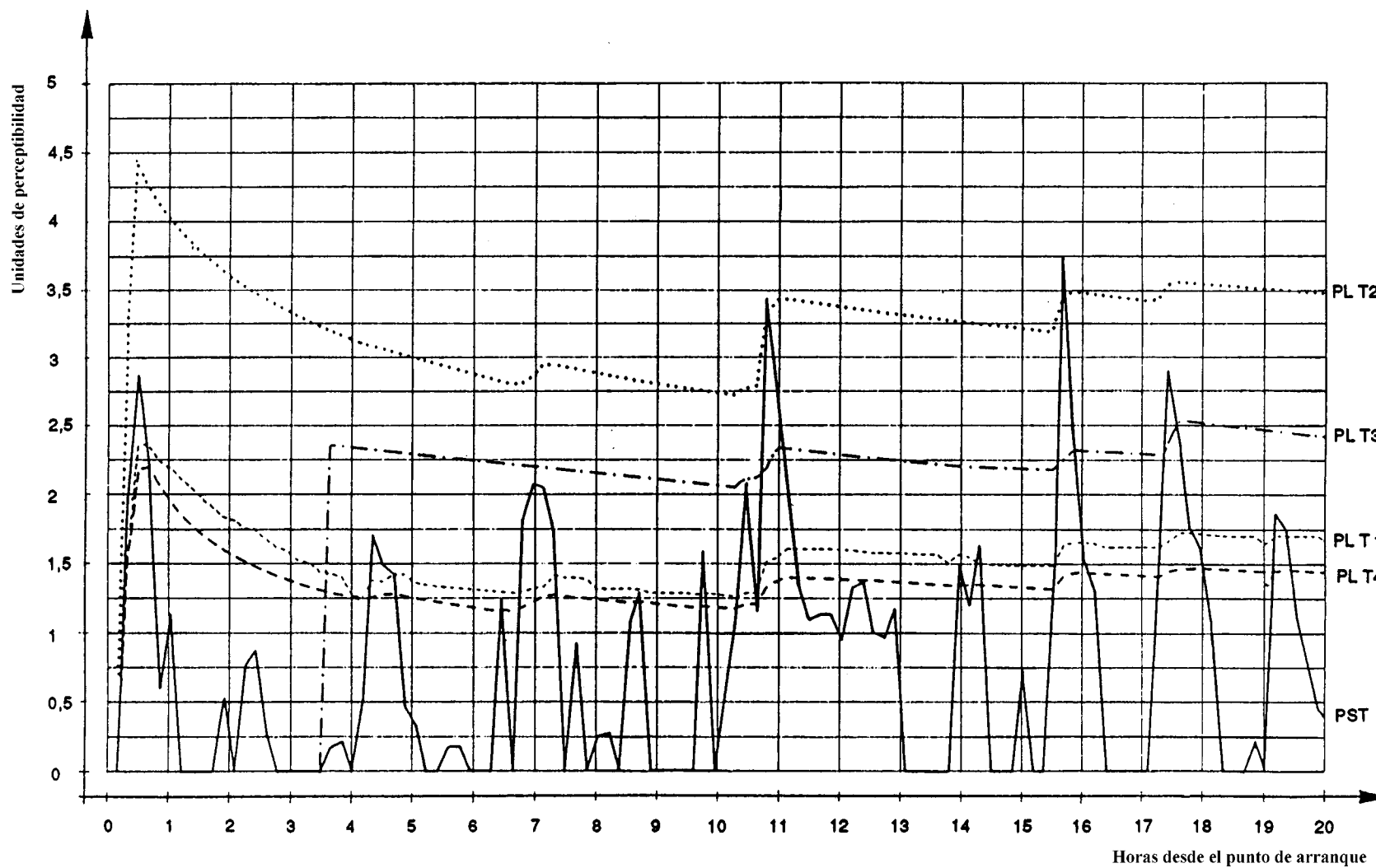


Fig. 10 – Ejemplo de aplicación de cuatro métodos de evaluación de medida de larga duración en el caso de un horno de arco

ANEXO ZA (Normativo)

OTRAS NORMAS INTERNACIONALES CITADAS EN ESTA NORMA CON LAS REFERENCIAS DE LAS NORMAS EUROPEAS CORRESPONDIENTES

Esta Norma Europea incorpora disposiciones de otras normas por su referencia, con o sin fecha. Estas referencias normativas se citan en los lugares apropiados del texto de la norma y se relacionan a continuación. Las revisiones o modificaciones posteriores de cualquiera de las normas citadas con fecha, sólo se aplican a esta Norma Europea cuando se incorporan mediante revisión o modificación. Para las referencias sin fecha se aplica la última edición de esa norma (incluyendo sus modificaciones).

NOTA – En el caso en que se modifica una Norma Internacional como consecuencia de las modificaciones comunes del CENELEC, con la indicación (mod), debe tenerse en cuenta la EN/HD apropiada.

Norma CEI	Año	Título	EN/HD	Año	Norma UNE Correspondiente ¹⁾
555-3	1982	Perturbaciones producidas en las redes de alimentación por los aparatos electrodomésticos y los equipos análogos. Parte 3: Fluctuaciones de tensión	EN 60555-3 + A1	1987 1991	UNE 21806-3:1990 + UNE 21806-3 Erratum: 1991 UNE 21806-3/1M:1994 + UNE 21806-3/1M Erratum: 1996

1) Esta columna se ha introducido en el anexo original de la Norma Europea, únicamente con carácter informativo a nivel nacional.

Otras Publicaciones

UIE, Julio 1988 – *Conexión de cargas fluctuantes.*

AENOR Asociación Española de
Normalización y Certificación

Dirección C Génova, 6
28004 MADRID-España

Teléfono (91) 432 60 00

Fax (91) 310 40 32

AENOR AUTORIZA EL USO DE ESTE DOCUMENTO A UNIVERSIDAD DE VIGO