

# TIEMPOS DE DESCONEXION EN INTERRUPTORES DIFERENCIALES

Juan Antonio Calvo Sáez  
Perito Industrial  
INSHT-GTP de Cantabria

## INTRODUCCION

**E**l principio del sistema de protección por corrientes de defecto a tierra, que utiliza como dispositivo de corte automático el Interruptor Diferencial en Baja Tensión, ha sido un paso importante en la protección de las personas, que aumentó la seguridad al introducir la sensibilidad nominal de 30 mA e incluso con los de más reciente aparición de 10 mA, que actúan los primeros, en el límite de la tetanización de los músculos respiratorios y sin riesgo de fibrilación, y los segundos en el límite del agarrotamiento muscular.

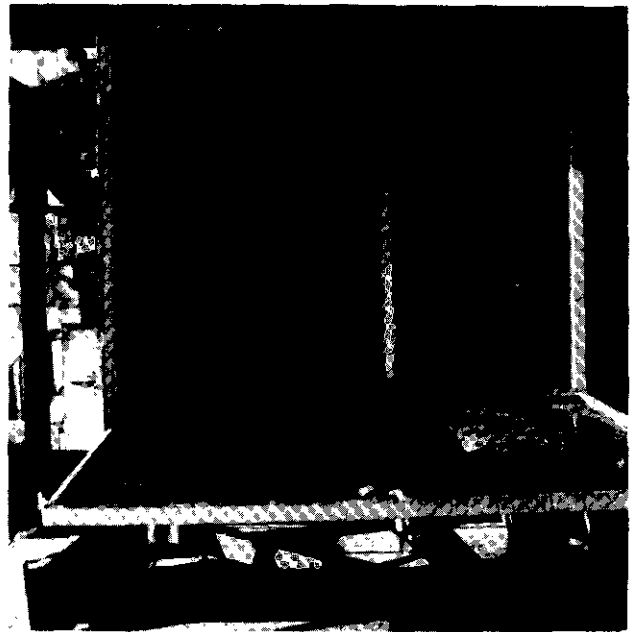
De esta manera, con protección diferencial de alta sensibilidad (10 ó 30 mA) se consigue teóricamente no sólo la protección contra contactos eléctricos indirectos, sino también la protección complementaria contra los contactos eléctricos directos al tocar partes activas bajo tensión.

Por contactos eléctricos directos se han producido mayor número de accidentes mortales que por contactos indirectos, en la proporción de tres a uno, según encuestas realizadas durante cinco años en Cantabria (España).

A pesar de tener instalados interruptores de alta sensibilidad, existe un riesgo importante debido al tiempo de actuación de estos aparatos, que puede ser suficiente para que una corriente elevada afecte al corazón en la fase de repolarización o sensitiva del corazón, produciéndole la electrocución por fibrilación ventricular (figs. 1 y 2).

Este peligro ha sido puesto de manifiesto por el prestigioso profesor ingeniero doctor Gottfried Biegelmeier, y equipo colaborador (Austria), al señalar que una persona que se encuentre dentro de una bañera y que haya agarrado con las manos un aparato averiado, aunque se encuentre protegido por medio de un interruptor diferencial, fluirá una corriente elevada durante el tiempo de desconexión del aparato que podrá afectar al corazón en el periodo vulnerable, provocándole la fibrilación ventricular.

Esta comunicación trata, por tanto, de estudiar el tiempo máximo de actuación de los interruptores diferenciales de alta sensibilidad, de manera que, aunque coincida la corriente peligrosa en la fase vulnerable del cora-



zón, dispare en un tiempo inferior al necesario para producir la fibrilación ventricular.

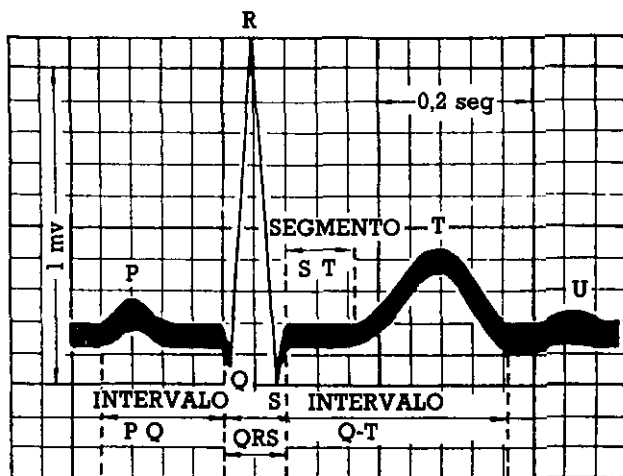
Este estudio de tiempos de desconexión de los diferenciales nos los ha señalado la medicina en su especialidad de trasplantes de corazón, donde, al aplicar corriente del orden de 10 mA directamente al corazón durante 30 milisegundos, precediendo al máximo de la onda T del electrocardiograma, producen una fibrilación ventricular.

## NORMATIVA AFECTADA

En el año 1971, en España se publica la Ordenanza de Seguridad e Higiene en el Trabajo, siendo la primera norma obligatoria de la instalación de Interruptores Diferenciales. Posteriormente, en el año 1973, aparece el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, que introduce esta misma obligación.

Se establece un grupo de trabajo que redacta la Norma UNE 20.383 (año 1975), cuya tecnología está basada en la Publicación 27 de la CEE de 1971. Los trabajos prosiguen, pero dentro ya de la CEI (Grupo de Trabajo 23 E).

En 1983 aparece como informe la recopilación de los trabajos internacionales en la publicación 755 de la CEI, con la exposición siguiente:



Onda	Duración
P	0,1 seg
P-R	0,12 - 0,2 seg
QRS	0,08 seg
Q-T	0,35 seg
T	No homogéneo

Figura 1

- Protección contra contactos eléctricos directos. No autosuficiente, sino complementaria.
- Protección contra incendios de origen eléctrico.

## DINTELES DE PELIGRO DE LAS CORRIENTES ELECTRICAS

La protección por dispositivos de corriente de defecto (Interruptores Diferenciales de alta sensibilidad) de las personas contra los contactos eléctricos indirectos, y como protección complementaria contra los contactos directos unipolares y tierra, viene determinada por las curvas de seguridad.

En la fig. 3 aparece el Gráfico de las zonas correspondientes a los efectos de la corriente eléctrica en valor eficaz 50-60 Hz, en los adultos, según la publicación núm. 479-2 de la CEI. En la zona 1: habitualmente ninguna reacción. En la zona 2: habitualmente ningún efecto fisiopatológico peligroso. Zona 3: riesgo de asfixia. Habitualmente, ningún riesgo de fibrilación. Zona 4: riesgo de fibrilación.

Los efectos de la corriente eléctrica en una zona dada son tanto más peligrosos cuanto más se aproximan a la curva que delimita esta zona y la zona de peligro inmediatamente superior.

La protección contra los contactos eléctricos directos unipolares y tierra estará correctamente asegurada si la característica de funcionamiento del dispositivo diferencial está situado en las zonas 1 y 2.

La protección frente a los contactos eléctricos indirectos, y para el establecimiento de las prescripciones de seguridad, es más cómodo definir las reglas de seguri-

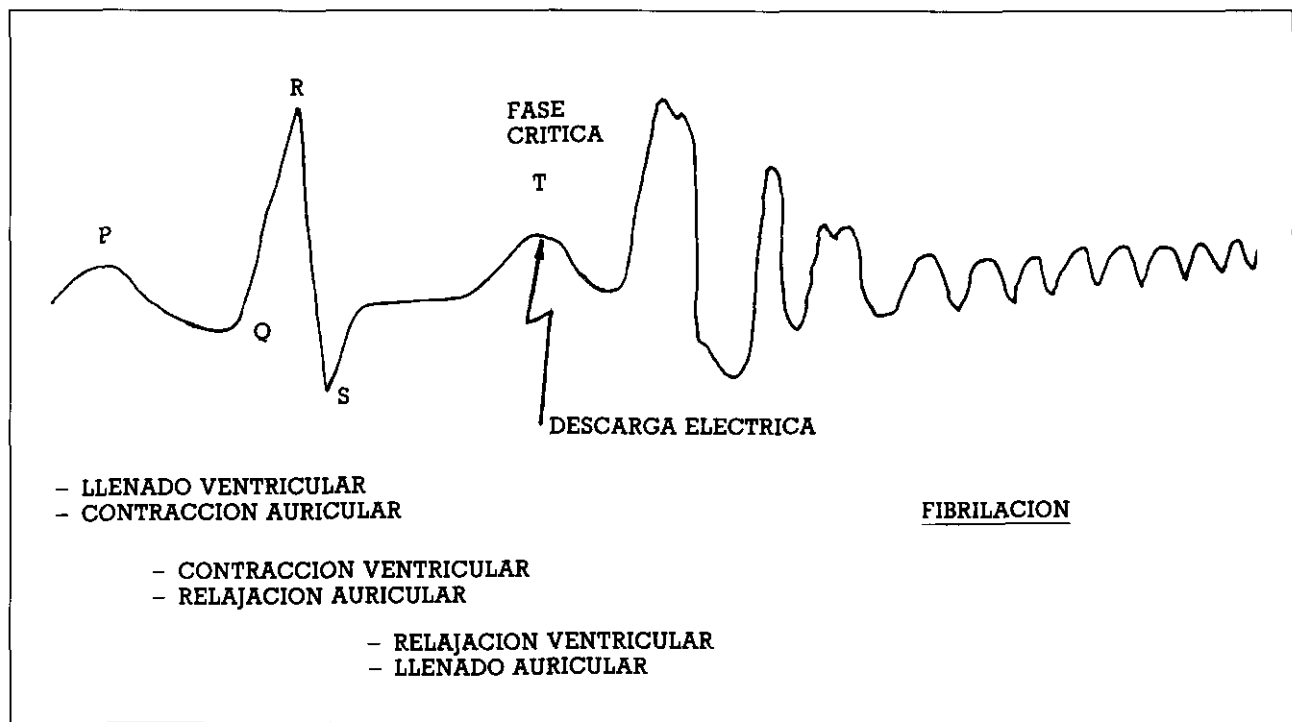


Figura 2: Electrocardiograma.

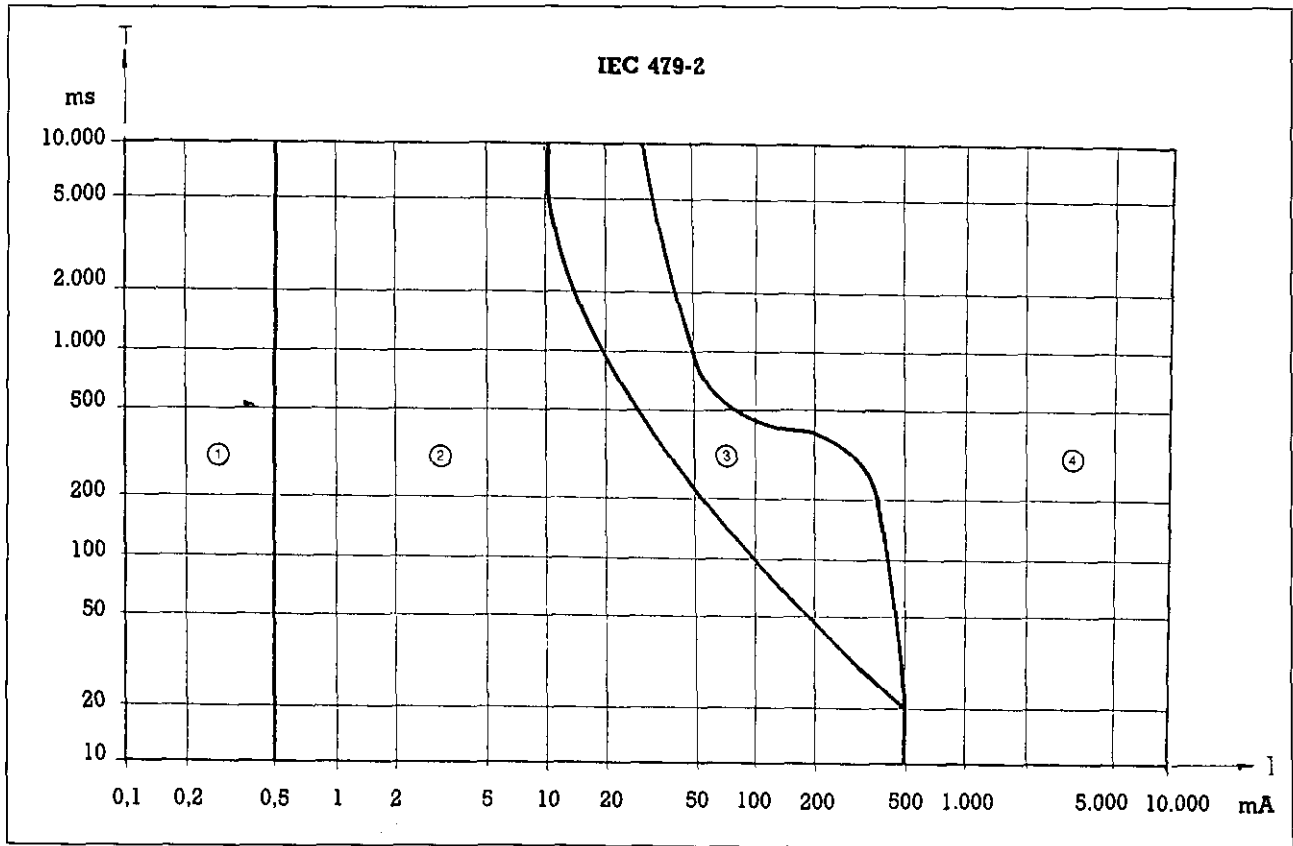


Figura 3

dad en función de la tensión de contacto y del tiempo de corte del dispositivo diferencial (fig. 4).

La protección contra los contactos indirectos estará correctamente asegurada si la característica de funcionamiento del dispositivo diferencial está situada por debajo de la curva de seguridad que corresponde a la naturaleza del local considerado.

### CONSTITUCION DEL INTERRUPTOR DIFERENCIAL

Una intensidad de defecto que fluya por el conductor de protección en caso de contacto eléctrico indirecto o por contacto directo de una fase activa y tierra es detectada por el transformador toroidal (fig. 5), que, si sobrepasa un determinado valor  $\leq I_{\Delta N}$  (Nominal =  $I_{\Delta N}$ ), creará un flujo de disparo en el relé, el cual anula al flujo del imán permanente que hará que la fuerza del resorte supere a la del imán, desconectando.

El funcionamiento de un diferencial que actúa independiente de la tensión de la red o de una fuente auxiliar, se muestra en la parte izquierda de la fig. 5. Con interruptores diferenciales que necesitan una energía auxiliar (por ejemplo, la tensión de la red para alimentar una instalación de amplificación de la señal de disparo), existe el peligro que falte la tensión auxiliar (por ejemplo, interrupción del conductor neutro en un punto anterior al de la colocación del interruptor diferencial),

por lo que su diseño estará preparado para esta eventualidad, desconectando.

### ESPECIFICACIONES DE FUNCIONAMIENTO DE LOS INTERRUPTORES DIFERENCIALES

Los interruptores diferenciales deberán cumplir las siguientes especificaciones de funcionamiento según las Normas CEE-27 UNE 20.383-75 y UTE C-60-130.

- Valor de la corriente diferencial de funcionamiento: Comprendida entre los valores de  $0,5 I_{\Delta N}$ - $I_{\Delta N}$ .
- Valores máximos de los tiempos de corte:

Para $I_{\Delta N}$	Para $2 I_{\Delta N}$	Para $10 I_{\Delta N}$
200 mS	100 mS	30 mS

Siendo realizados los controles bajo una corriente de defecto:

- Creciente en treinta segundos de 0 a  $I_{\Delta N}$ , para la medida de la corriente de defecto.
- Predeterminada en  $I_{\Delta N}$ ,  $2 I_{\Delta N}$  y  $10 I_{\Delta N}$ , para la medida del tiempo de desconexión.

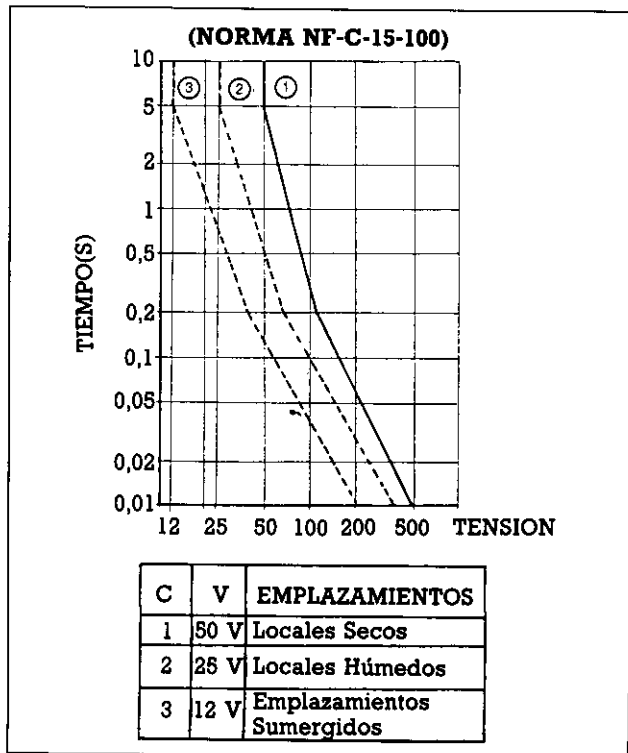


Figura 4: Curvas de tensión peligrosas para las personas.

## ENSAYOS DE DIFERENCIALES

Se han realizado 24 pruebas de interruptores diferenciales nuevos de distintas marcas y del tipo electromecánico, que son los generalmente adoptados en España, trabajando con tensión y en vacío.

En las condiciones señaladas, cada aparato ha sido objeto de los siguientes ensayos:

- Control de la corriente de disparo (fig. 6).
- Determinación de los tiempos de actuación para  $I_{\Delta N}$  (fig. 7).

Comprobamos que para el valor de  $I_{\Delta N}$  los tiempos de actuación de los interruptores diferenciales son como máximo de 50 milisegundos, lo que nos indica que este valor es mucho más bajo de lo exigido por las normas, que es de 200 mS, y por tanto motiva a señalar que podemos introducir mejoras en la actual reglamentación.

## TIEMPO DE DESCONEXION DE LOS DIFERENCIALES EN CASO DE CONTACTO ELECTRICO POR PERSONAS

En el caso de contacto eléctrico de personas en situaciones más desfavorables como emplazamientos sumergidos en agua (bañeras, depósitos, etc.), cuerpos completamente mojados por la lluvia (trabajos en el exte-

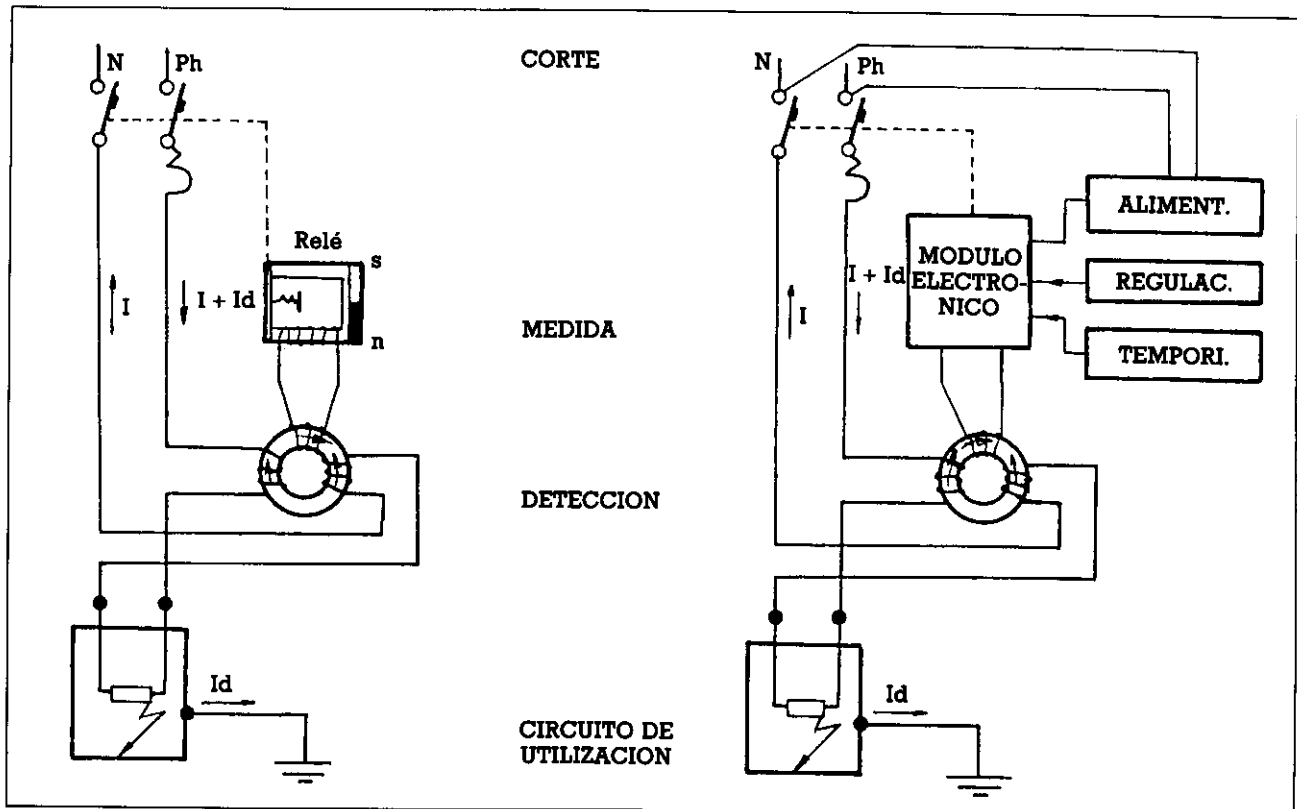


Figura 5: Disyuntores diferenciales.

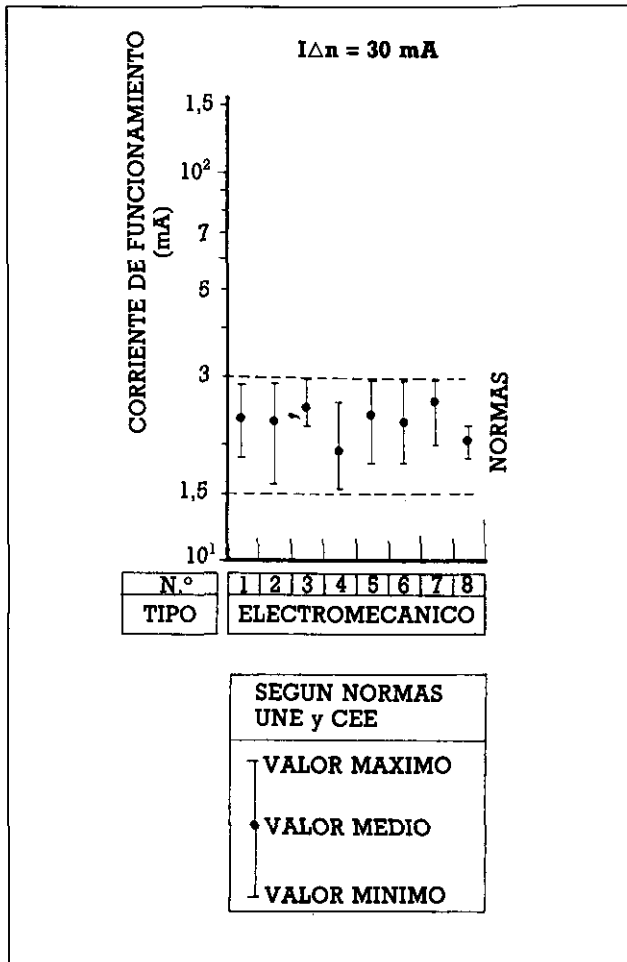


Figura 6

rior), con la piel abierta o quemada (cortes, rozaduras, quemaduras, etc.) y con partes del cuerpo sin protección cutánea (boca, lengua, etc.), podemos calcular la máxima corriente que les puede circular, ya sea por contacto indirecto donde no exista protección o toma de tierra o por contacto directo con partes activas y terreno conductor.

La intensidad máxima para corriente alterna de 50-60 Hz se podrá obtener con los siguientes valores:

- Tensión de contacto máxima: NF-C15-100 = 250 Voltios.
- Valor de la resistencia corporal en situación más desfavorable y para un recorrido de la corriente de mano a mano o boca-pies: CEI-479-84 = 500 Ohmios ÷ 325 Ohmios.

$$I = \frac{\text{Voltios}}{\text{Resistencia}} = \frac{250 \text{ V}}{500 \Omega} = 0,5 \text{ A}$$

$$I = \frac{\text{Voltios}}{\text{Resistencia}} = \frac{250 \text{ V}}{325 \Omega} = 0,77 \text{ A}$$

**I máx. = 500 mA - 770 mA**

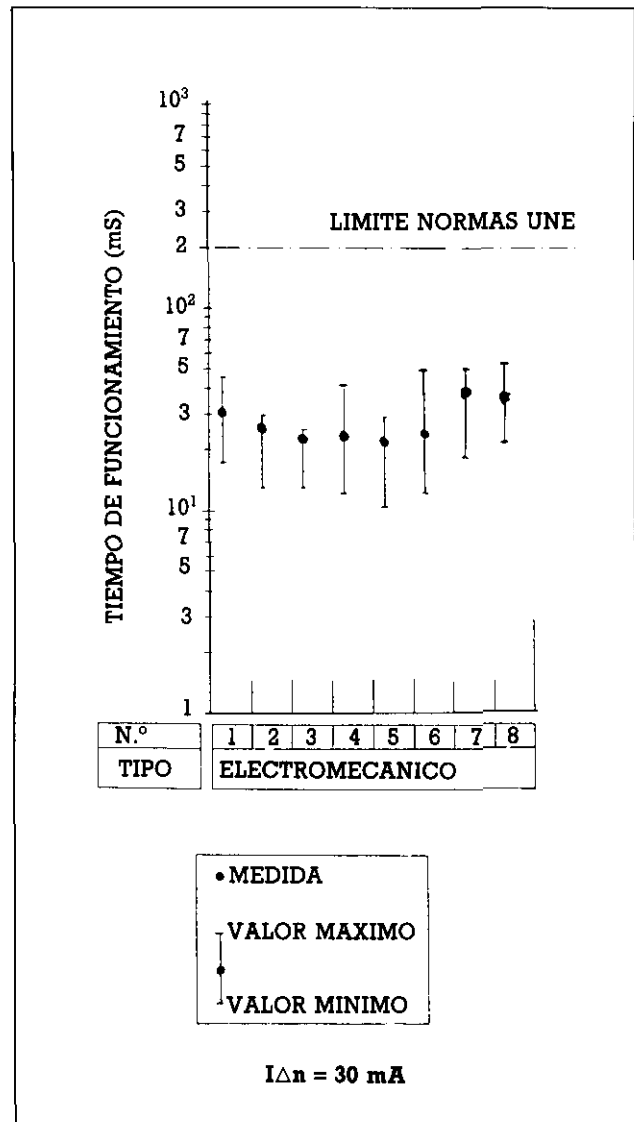


Figura 7

Estos valores, llevados a las curvas de seguridad según CEI 479-2, vemos que existe un riesgo inmediato de fibrilación ventricular por estar en la Zona 4 de la fig. 3. Para que no exista este riesgo, la actuación del Interruptor Diferencial tendrá que ser como máximo de 10 mS.

Así mismo, si llevamos el valor de la tensión de contacto 220-250 Voltios a las curvas de tensión peligrosas (fig. 4) de la Norma NF-C, nos dará un tiempo de desconexión del diferencial para que no exista peligro de electrocución de 10 mS, que concuerda con el valor obtenido anteriormente.

Vemos que el tiempo de corte de 10 mS señalado por las curvas de seguridad es inferior a los 30 mS, que es el tiempo de circulación de corriente experimentado a corazón abierto que produce fibrilación ventricular. El coeficiente de seguridad entre ambos tiempos de fibrilación y corte es, a nuestro juicio, suficiente para evitar este riesgo.

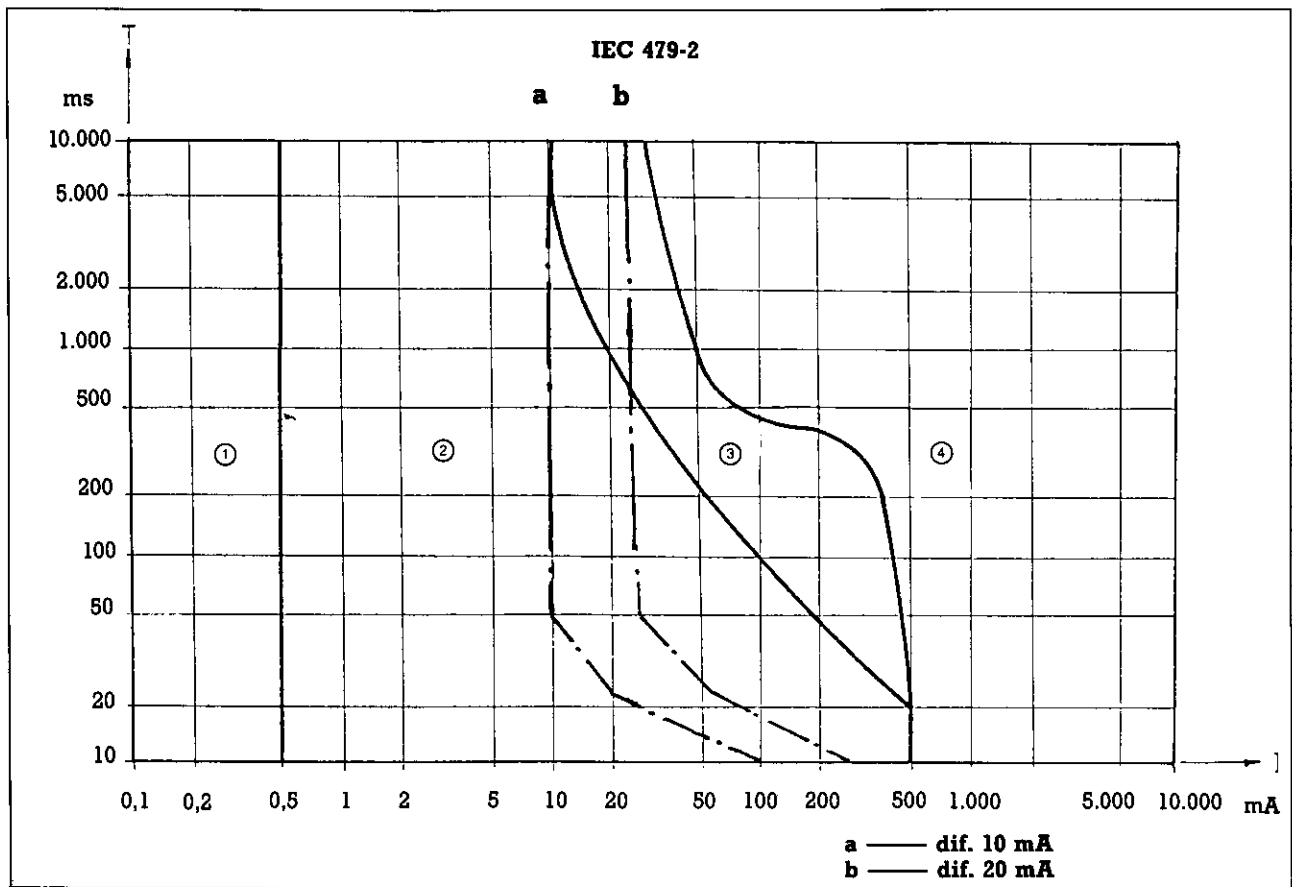


Figura 8

## CONCLUSIONES

Hemos comprobado con ensayos que el tiempo de disparo de los diferenciales para la intensidad nominal del aparato ( $I_{\Delta N}$ ) deberá ser como máximo de 50 mS, valor en que generalmente actúan estos aparatos existentes hoy en el mercado nacional y europeo.

Para seguir un modelo de los valores máximos de los tiempos de corte, según CEE-27 y UNE 2038-75, para dos veces el valor de la intensidad nominal del aparato ( $2 I_{\Delta N}$ ), el tiempo de actuación será como máximo de 25 mS.

El tiempo de actuación para diez veces el valor de la intensidad nominal ( $10 I_{\Delta N}$ ) será el calculado para el caso más desfavorable del organismo humano y que nos ha dado un valor de 10 mS.

Luego, la nueva normativa deberá tender a estos valores como idea de solución:

<b>TIEMPOS DE ACTUACION PARA DIFERENCIALES DE 10 ó 30 mA</b>		
Para $I_{\Delta N}$	Para $2 I_{\Delta N}$	Para $10 I_{\Delta N}$
50 mS	25 mS	10 mS

Los valores señalados en este cuadro al ser llevados a las curvas de seguridad CEI-479-2 aparecen en la fig. 8.

## BIBLIOGRAFIA RESUMIDA

- M. Rollin y A. Mayer. *Dispositivos de corriente diferencial utilizados en Protección Industrial. Balance de los ensayos sobre una muestra de 200 aparatos. Revista Cahiers de Notes Documentaires, núm. 119, 1985 (Francia).*
- Gottfried Biegelmeir. *L'impédance électrique du corps humain. Institut d'essais. Coopérative pour des produits électrotechniques. Sarlviennne. Revue Generale de L'Electricité, 1985, núm. 11 (Francia).*
- Gottfried Biegelmeir, Robert Gabriel, Edmund Meitz y Gerhard Rabitsch. *Sobre la protección adicional con interruptores diferenciales contra corrientes de defecto cuando se dan contactos directos. Revista Electra, de la Asociación Electrotécnica Española, 1986.*
- J. Weirich, K. Haverkamp y M. Antoni. *Fibrillation ventriculaire du coeur, provoquée par un contact electri-*

que. *Faculté de Médecine de Freiburg I. Br. Revue Generale de L'Electricité*, 1985, núm. 11 (Francia).

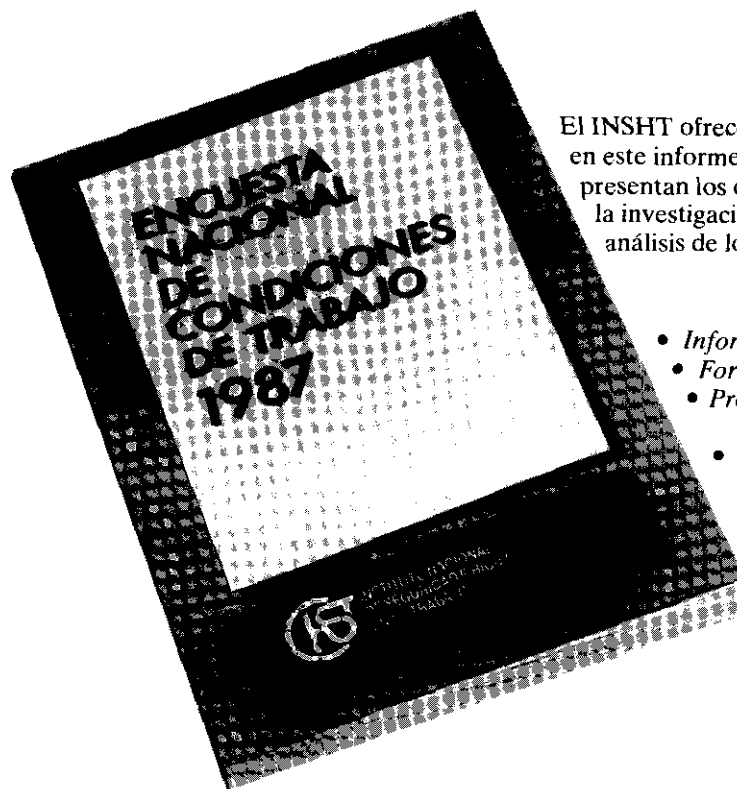
- Enrique Reina y Juan Carlos Campillo. *Interruptores Diferenciales. Ensayo de laboratorio. Revista Electra de la Asociación Electrotécnica Española*, 1986.

- Gérard Deloux, Claude Remond y Paul Sandell. *Rôle du Groupe de travail*, num. 4 du Comité d'études, num.

64 de la CEI. *EDF y UT de L'Electricité. Revue Generale de L'Electricité*, 1985, núm. 11 (Francia).

- Jorge Cortés Cecilia y Juan Bilbao Azqueta. *Seguridad del Equipo eléctrico en la práctica médica. Documentación Curso Precongreso, Granada, 1984. Servicio Social de Higiene y Seguridad del Trabajo. Bilbao (España)*.

# ¿Qué opinión tienen los trabajadores españoles de sus condiciones de trabajo?



El INSHT ofrece la respuesta en este informe, en el que se presentan los datos obtenidos de la investigación efectuada y un análisis de los mismos.

- Informe de 206 pág.
- Formato: 17x24 cm.
- Precio: 1500 ptas. (+ 6% IVA)
- Pedidos: INSHT

### CONTENIDO

- ✓ METODOLOGIA
- ✓ ANALISIS DE RESULTADOS DE LOS DATOS DEL CENTRO DE TRABAJO
- ✓ ANALISIS DE RESULTADOS DE LOS DATOS DEL TRABAJADOR
  - DATOS PERSONALES Y CONDICIONES DE TRABAJO
  - CONSECUENCIAS PARA LA SALUD
  - ORGANIZACION DE LA PREVENCIÓN
- ✓ OTROS DATOS DE INTERES