



**Seguridad Eléctrica –  
Contactos Directo e Indirecto  
Interruptores Diferenciales**

**Asignatura  
Dispositivos e Instalaciones Eléctricas**

Profesor: Ing. Mario Marcelo Flores

Jefe Trabajos Prácticos: Ing Carlos Galli

## EFFECTOS DE LA INTENSIDAD DE CORRIENTE:

- A.-TETANIZACIÓN: la corriente produce una contracción muscular permanente, que impide a la persona separarse del punto de contacto (“quedó pegado”)
- B.-PARO RESPIRATORIO: el paso de la corriente afecta los centros nerviosos respiratorios. Si la exposición no fue prolongada y se destruyeron las terminales nerviosas, cuando cesa la corriente la persona recupera sus funciones
- C.-ASFIXIA: la corriente produce la tetanización de los músculos respiratorios
- D.-QUEMADURAS: la electricidad provoca un calentamiento por efecto Joule, sobre todo en los músculos (que son buenos conductores), pudiendo llegar a la carbonización de los mismos, ya que las proteínas coagulan a 80° C en forma irreversible.
- Además se pueden presentar hemorragias y acción tóxica en la sangre.
- E.-FIBRILACIÓN VENTRICULAR: es la ruptura del ritmo cardíaco, que se caracteriza por la contracción desordenada de las fibras cardíacas.
- El corazón deja de latir sincrónicamente y se interrumpe la circulación sanguínea, que en pocos minutos conduce a lesiones irreversibles en el cerebro y posteriormente la muerte.

## TEJIDO MUSCULAR CARDIACO

Este tipo de tejido muscular forma la mayor parte del corazón de los vertebrados. Las células presentan estriaciones longitudinales y transversales imperfectas y difieren del músculo esquelético sobre todo en la posición central de su núcleo y en la ramificación e interconexión de las fibras. El músculo cardiaco carece de control voluntario. Está innervado por el sistema nervioso vegetativo, aunque los impulsos procedentes de él sólo aumentan o disminuyen su actividad sin ser responsables de la contracción rítmica característica del miocardio vivo. El mecanismo de la contracción cardiaca se basa en la generación y transmisión automática de impulsos.

"Músculo", Enciclopedia Microsoft® Encarta® 97 © 1993-1996 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

# Vista de los ventriculos

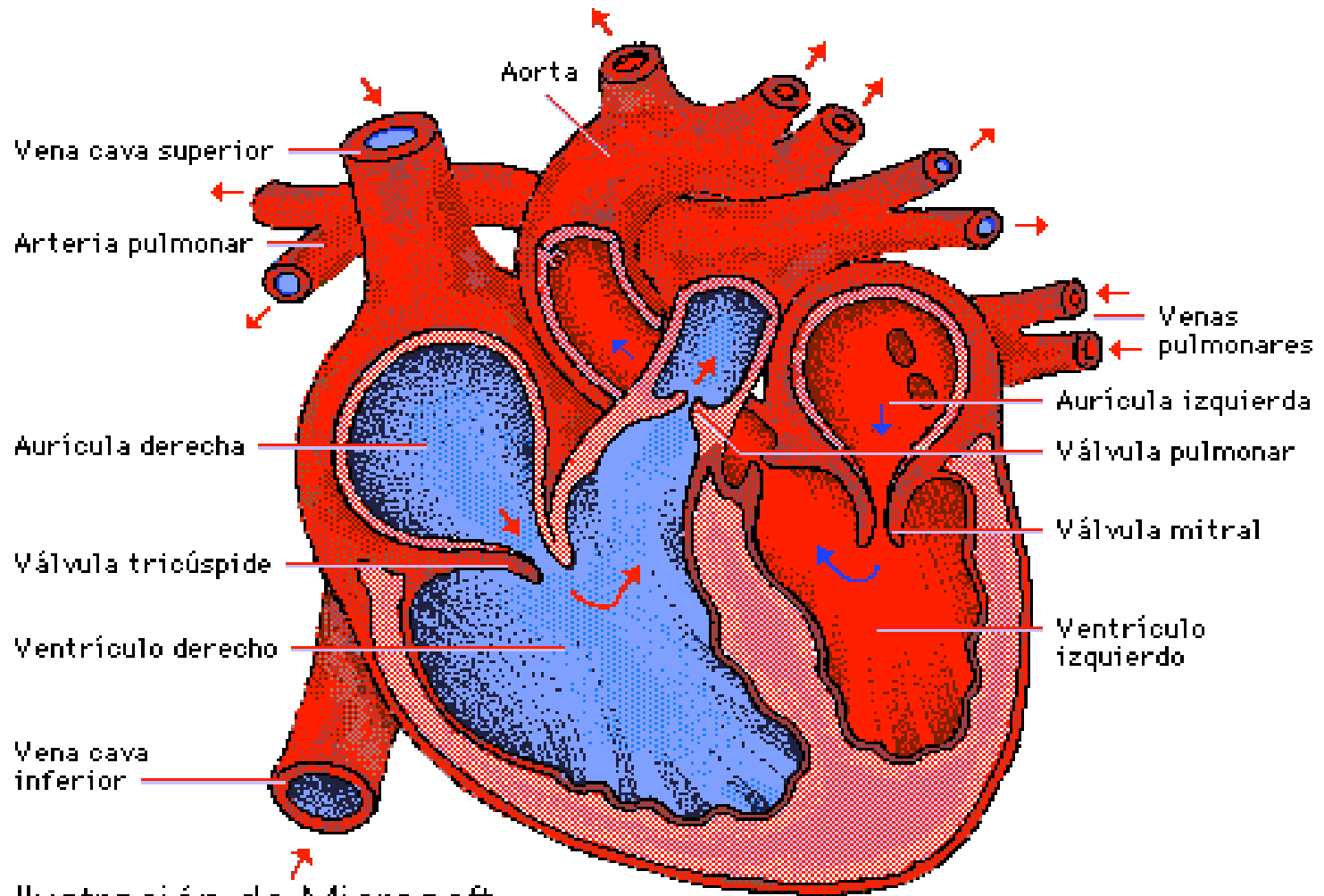
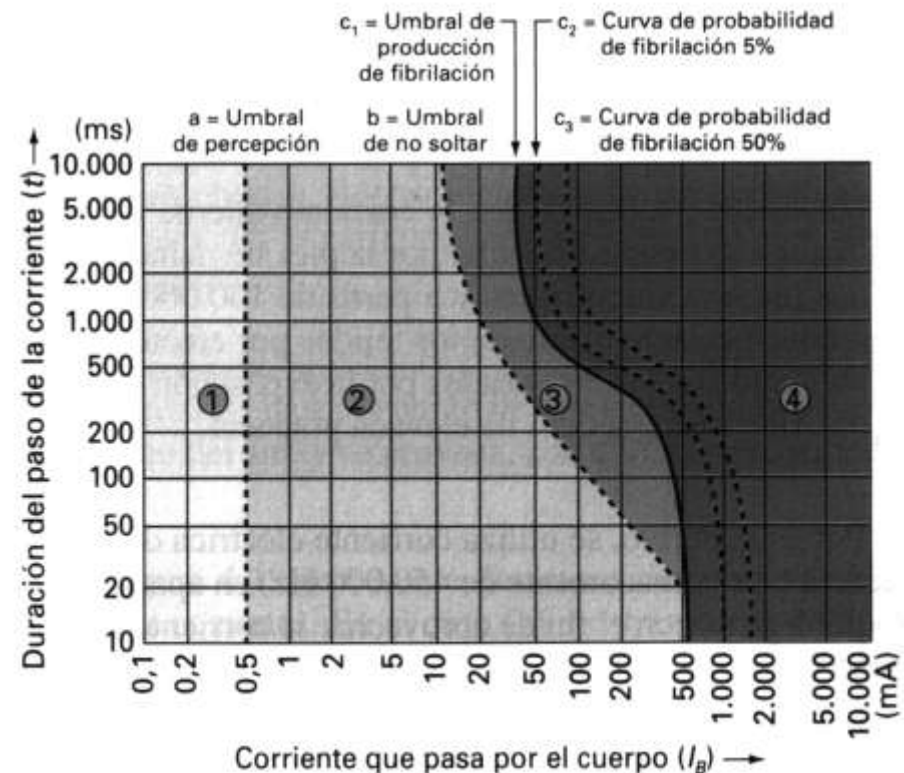


Ilustración de Microsoft

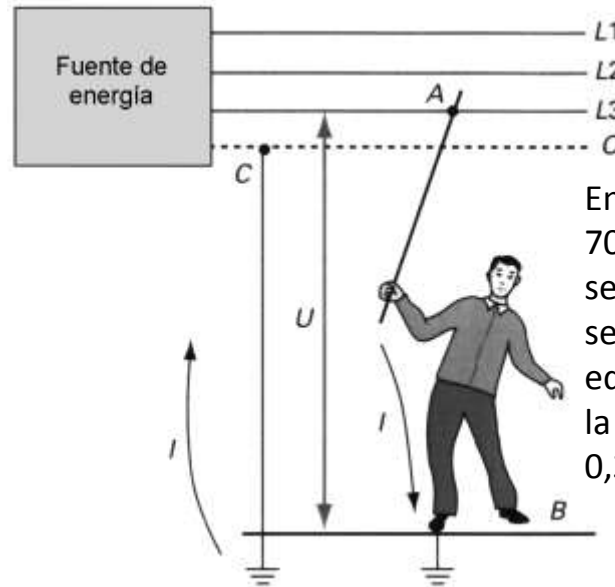
## CLASIFICACIÓN POR ZONAS DE LOS EFECTOS FISIOLÓGICOS

Zonas	Efectos fisiológicos
Zona 1	Habitualmente ninguna reacción.
Zona 2	Habitualmente ningún efecto fisiológico peligroso.
Zona 3	Habitualmente ningún daño orgánico. Probabilidad de contracciones musculares y dificultades de respiración, perturbaciones reversibles en la formación y propagación de impulsos en el corazón incluida la fibrilación ventricular, que aumentan con la intensidad de la corriente y el tiempo.
Zona 4	Ademas de los efectos de la Zona 3, probabilidad de la fibrilación ventricular aumentando hasta alrededor del 5% (curva $c_2$ ), hasta alrededor del 50% (curva $c_3$ ) y más del 50% más allá de la curva $c_3$ . Al aumentar la intensidad y el tiempo se pueden producir efectos patofisiológicos, como parada del corazón, parada de la respiración y quemaduras graves.

## RELACIÓN CON EL TIEMPO Y LA INTENSIDAD



## EFECTOS FISIOLÓGICOS DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA EN EL ORGANISMO HUMANO



En un adulto normal la frecuencia **cardíaca** es de **70 ciclos/minuto**, lo que supone menos de 1 segundo por **ciclo**. La **duración** media es de 0,8 segundos, los cuales no se distribuyen equitativamente entre sístole y diástole, ya que la diástole dura unas 0,5 segundos y la sístole 0,3 segundos.

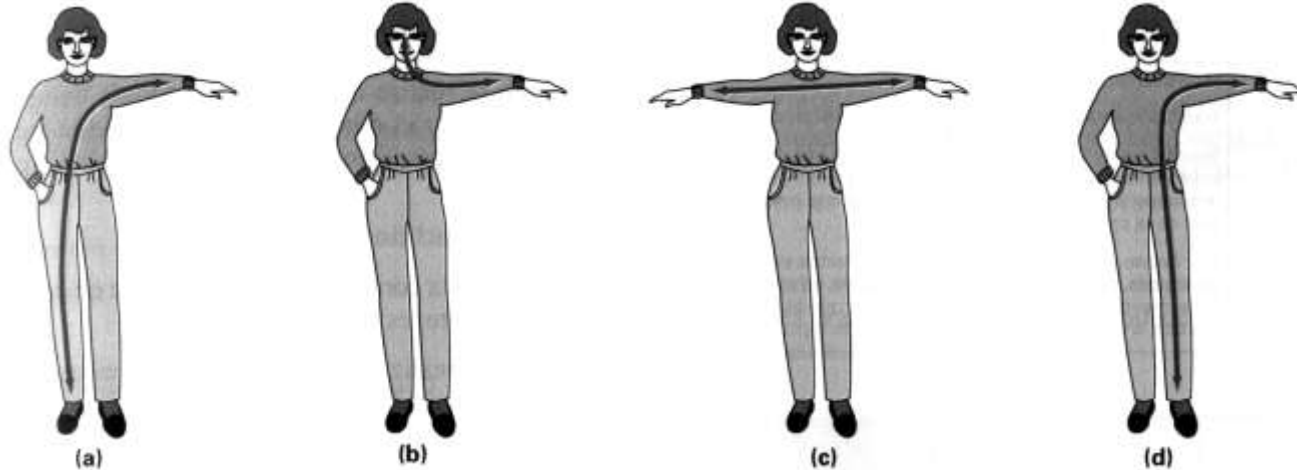
Intensidad a 50 Hz [mA]	Duración del contacto	Fenómeno fisiológico
0 a 3	Sin influencia	Umbral de percepción, no existe riesgo de electrocución
3 a 15	Sin influencia	Imposibilidad de soltarse, variable hasta la tetanización
15 a 25	Minutos	Límite de tolerancia, dificultad de respirar, aumento de la presión arterial, contracción de brazos
25 a 50	Segundos	Fuerte tetanización, alteraciones cardíacas, inconsciencia, fibrilación ventricular
50 a 5 000	Si dura menos de un ciclo cardíaco	No se produce fibrilación ventricular
	Si dura más de un ciclo cardíaco	Fibrilación ventricular, inicio de electrocución, marcas visibles sobre la piel
> 5 000	Si dura menos de un ciclo cardíaco	Fibrilación ventricular. El comienzo de la electrocución depende de la fase del ciclo cardíaco, inconsciencia, marcas visibles sobre la piel
	Si dura más de un ciclo cardíaco	Paro cardíaco reversible, quemaduras, inconsciencia, marcas visibles sobre la piel

## VALORES DE LA INTENSIDAD DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA INFLUENCIA DE LA FRECUENCIA EN LOS EFECTOS FISIOLÓGICOS

Valores en mA

Efectos	Corriente continua		Corriente alterna			
			60/50 Hz		10 000 Hz	
	Hombres	Mujeres	Hombres	Mujeres	Hombres	Mujeres
Ligera sensación en la mano	1	0,6	0,4	0,3	7	5
Umbral de percepción	5,2	3,5	1,1	0,7	12	8
Choque indoloro	9	6	1,8	1,2	17	11
Choque doloroso sin pérdida del control muscular	62	41	9	6	55	37
Choque doloroso y grave. Dificultades de respiración	90	60	23	15	94	63
Inicio de la fibrilación ventricular	200	70	50	35		

## TRAYECTORIAS MÁS PELIGROSAS DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA A TRAVÉS DEL CUERPO HUMANO

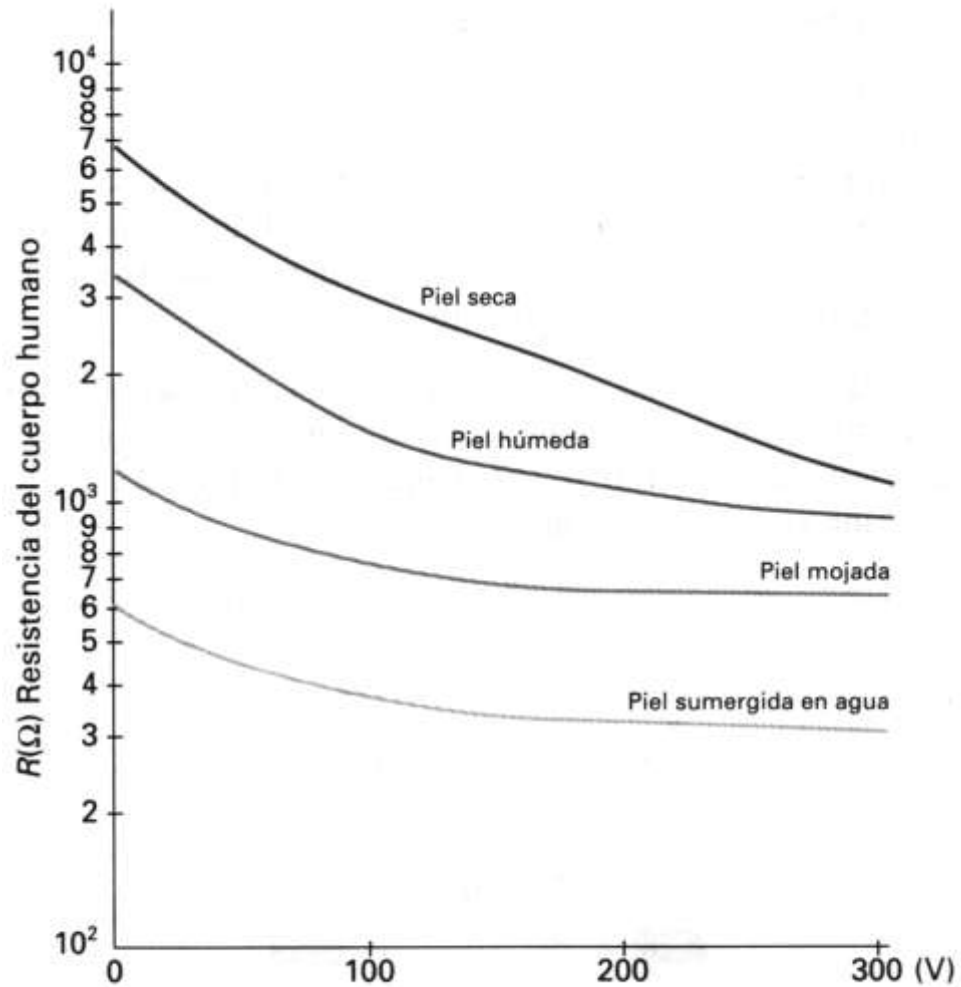


a	Mano – Pie del lado contrario
b	Mano – Cabeza
c	Mano derecha – Tórax – Mano izquierda
d	Mano izquierda – Pie Izquierdo

**La fibrilación ventricular se presenta cuando la trayectoria de la corriente afecta a la zona cardíaca; si no es así se requieren valores de intensidad de corriente superiores para que se produzca**



## VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CUERPO HUMANO SU RELACIÓN CON LA TENSIÓN Y EL ESTADO DE HUMEDAD DE LA PIEL



## CONTACTOS DIRECTOS

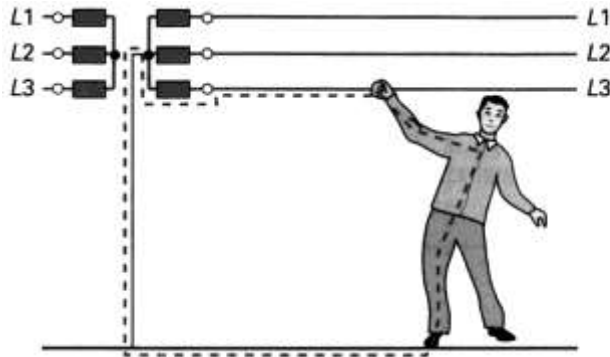
**Contacto directo:** La persona entra en contacto directo con un conductor activo, el cual está funcionando normalmente.

Para la protección contra los contactos directos existen cuatro medidas a saber:

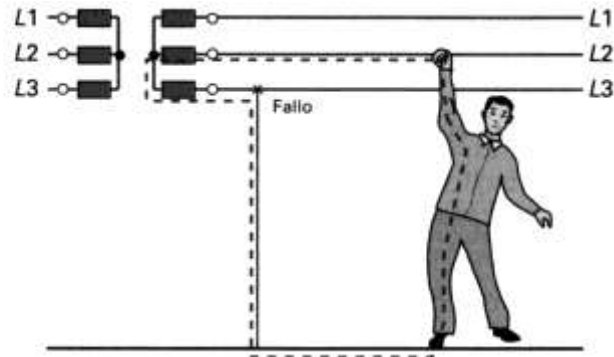
- Protección por aislación de las partes activas.
- Protección por medio de barreras o envolturas.
- Protección parcial por medio de obstáculos.
- Protección parcial por puesta fuera de alcance por alejamiento

y **una medida adicional**, por la cual se puede aumentar la protección es por el uso de **interruptores diferenciales de  $I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$**  (aumento de la protección o protección complementaria o adicional)

# CONTACTOS DIRECTOS



**Figura 3**



**Figura 4**

## **Figura 3:**

Una red con el centro de estrella de la red de Baja tensión puesta a tierra. En este caso puede ser un sistema TT o TN. No se presenta la situación del conductor de protección de las masas metálicas porque no participan en el camino de circulación de la corriente de falla en el operario.

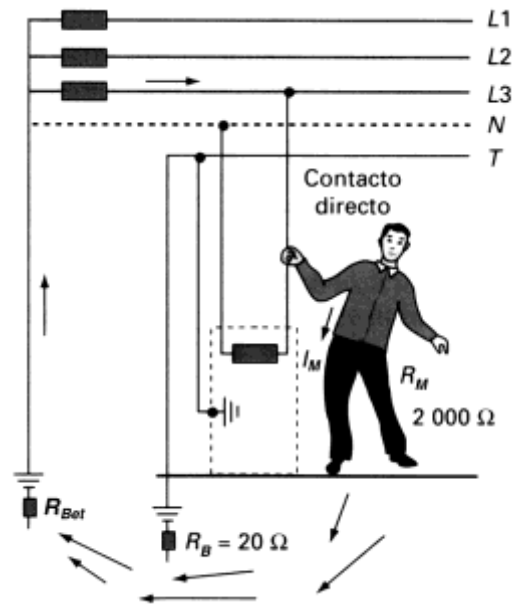
Ante el contacto directo con cualquier fase se establece un camino de circulación de la corriente de falla en el operario, entre la misma y tierra

## **Figura 4:**

Una red con el centro de estrella de la red de Baja tensión aislado. Es un sistema IT, que presenta una falla previa de puesta a tierra de un conductor activo, con lo cual el sistema toma referencia de tierra.

Ante el contacto directo con otra fase se establece un camino de circulación de la corriente de falla en el operario, entre ambas fases

# CONTACTOS DIRECTOS



## CONTACTOS INDIRECTOS

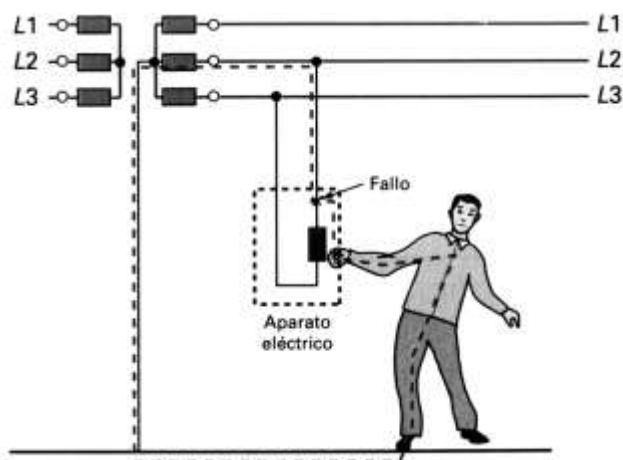
**Contacto indirecto:** La persona entra en contacto con una parte conductora, que normalmente no lo es, pero que accedió a esta condición accidentalmente (por ejemplo, una falla de aislación)

Para la protección contra los contactos indirectos existen cinco medidas:

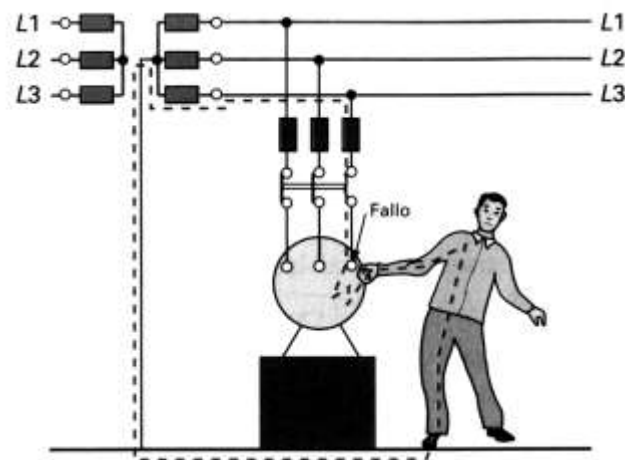
•**Protección por desconexión automática de la alimentación (interruptor diferencial).**

- Protección por uso de equipos, materiales e instalaciones Clase II de aislación.
- Protección por ubicación en un local no conductor.
- Protección por conexiones equipotenciales locales no conectadas a tierra
- Protección por separación eléctrica

## CONTACTOS INDIRECTOS



**Figura 6**



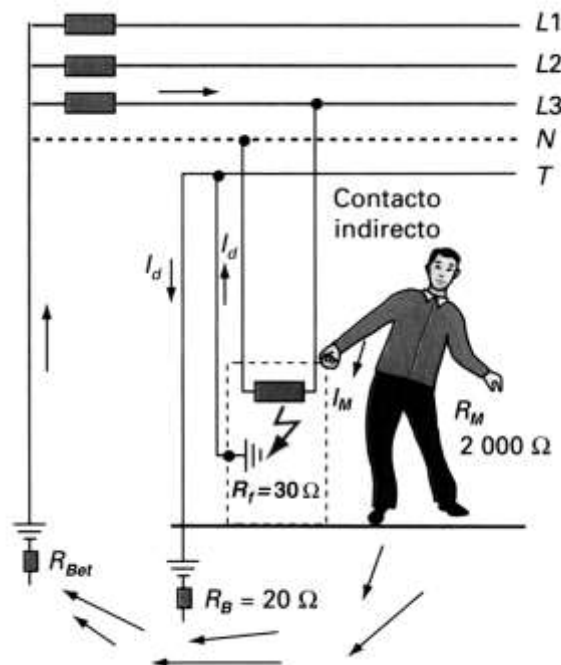
**Figura 7**

### **Figuras 6 y 7:**

Presentan casos de contactos indirectos en un sistema de alimentación de Baja Tensión en el cual las masas metálicas no están puestas a tierra. No corresponden a sistemas TT ni TN

## CONTACTOS INDIRECTOS

Figura 8



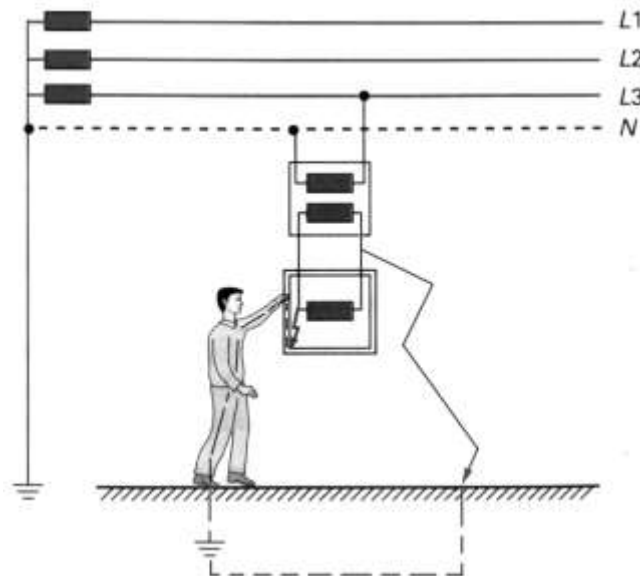
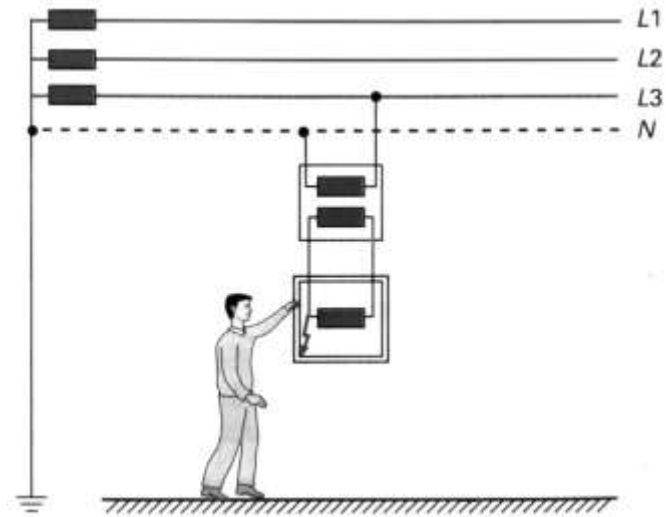
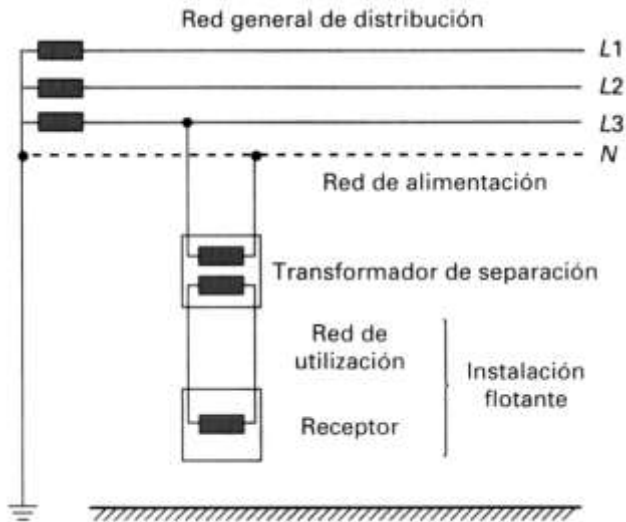
### Figura 8:

Presenta el caso de contacto indirecto en un sistema TT, en el cual se observa que el operario, que presenta una resistencia  $R_M$ , está en paralelo con la resistencia de puesta a tierra de protección de las masas metálicas  $R_B$ . Esta condición reduce la **Tensión de Contacto** que recibe, reduciendo la corriente  $I_M$  que circula por su cuerpo.

### Tensión de Contacto:

Es aquella a la que puede verse sometido el cuerpo humano como consecuencia de un contacto con las carcasas y estructuras metálicas de máquinas e instalaciones que normalmente no se hallan bajo tensión, pero que eventualmente, pueden estarlo a consecuencia de alguna avería interna

# TRANSFORMADOR DE AISLAMIENTO





# INTERRUPTOR DIFERENCIAL

El interruptor diferencial es un dispositivo de protección sensible a la corriente de fuga a tierra, la cual recibe el nombre de corriente diferencial, porque es igual a la diferencia entre toda corriente entrante y saliente en la instalación eléctrica conectada aguas abajo del dispositivo en mención. Cuando nos referimos a las corrientes, esto es válido para sistemas monofásicos y trifásicos con neutro. El balance de estas corrientes es nulo, ante la ausencia de defecto a tierra y difiere de cero, sólo si un defecto hacia tierra establece un camino para la corriente de fuga a través del terreno

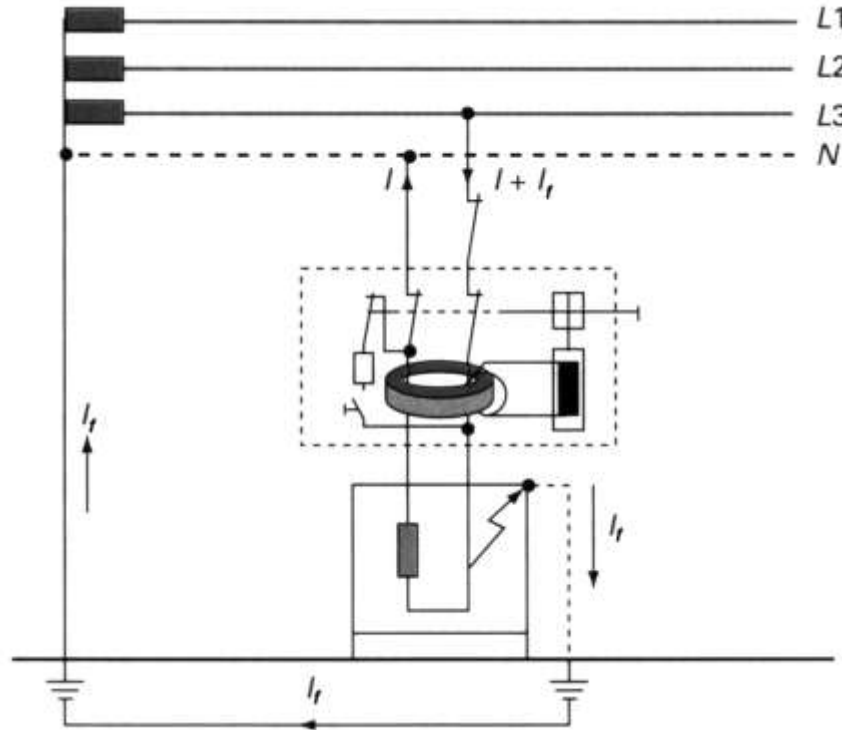
## •Principio de funcionamiento

El elemento sensible a la corriente diferencial está constituido por una bobina toroidal de material ferro magnético, atravesada por todos los conductores que alimentan el circuito (excluido el conductor de tierra). Las corrientes de estos conductores producen un flujo magnético nulo en condiciones normales.

Al producirse una corriente de fuga a tierra se genera en el material ferro magnético un flujo resultante distinto de cero que induce, en un bobinado auxiliar, una tensión suficiente para provocar la apertura del interruptor diferencial, mediante el sistema de desenganche.

# INTERRUPTOR DIFERENCIAL

## •Conexión Monofásica de interruptor diferencial



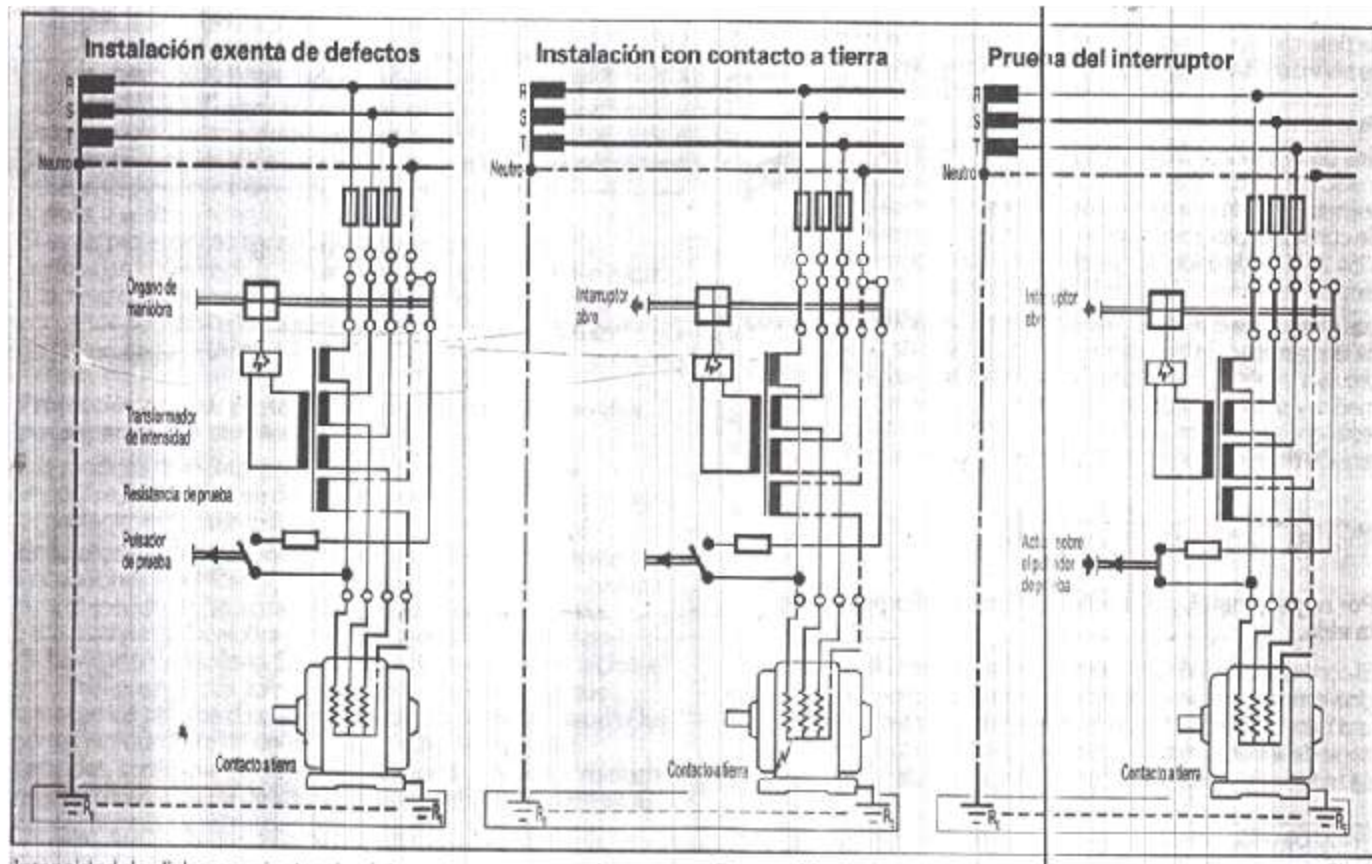
## •Pulsador de Prueba

El interruptor diferencial está dotado de un pulsador de prueba. El cual, siempre que el interruptor diferencial esté conectado, al ser presionado puentea el conductor de fase (carga monofásica) o uno de los conductores de fase (carga trifásica) por fuera del toroide y lo conecta, a través de una resistencia, con el conductor neutro aguas abajo del toroide.

En consecuencia, produce una corriente de retorno en el neutro a través del toroide generando un flujo resultante, que induce una tensión de apertura.

# INTERRUPTOR DIFERENCIAL

## •Conexión Trifásica de interruptor diferencial



# INTERRUPTOR DIFERENCIAL

- **Intensidades de defecto nominales y acción protectora**

El interruptor diferencial abre el circuito cuando la corriente hacia tierra supera su umbral de Intervención indicado como (Intensidad de defecto nominal), independientemente de la corriente consumida por la carga.

Se fabrican con  $I_{\Delta n} = 0,3 \text{ A}$ ;  $0,03 \text{ A}$  y  $0,01 \text{ A}$

En los rangos de  $0,01 \text{ A}$  y  $0,03 \text{ A}$ , los Interruptores diferenciales actúan como **dispositivos de protección adicional ante contacto directo y como una de las cinco medidas de protección contra contacto indirecto**

En el umbral de intervención de  $I_{\Delta n} = 0,3 \text{ A}$ , los **interruptores diferenciales actúan como dispositivos de protección contra incendios por contactos de elementos activos de una instalación eléctrica con masas metálicas puesta a tierra**

# INTERRUPTOR DIFERENCIAL

## •Instalación

Los interruptores diferenciales protegen solamente las partes de la instalación conectada aguas abajo de sus bornes de salida.

Para el montaje de varios interruptores diferenciales en una distribución debe preverse, para cada uno de ellos, un neutro separado.

Si los conductores neutros de varios de ellos se conectaran aguas abajo entre sí o se reunieran en una barra de neutro, producirían disparos erráticos. Esto se debería a que las corrientes de retorno por neutro de cada consumo se sumarían fasorialmente en el nodo de neutro y seguramente la corriente que retornaría por el toroide de cada interruptor diferencial diferiría de la corriente de entrada de su conductor activo

# INTERRUPTOR DIFERENCIAL

## •Instalación

Según su corriente nominal ( $I_n$ ) pueden conducir esas magnitudes sin sufrir calentamientos que dañen sus componentes.

Según su capacidad nominal de ruptura puede conducir valores eficaces de cortocircuito hasta los valores especificados sin sufrir daño.

Dado que su dispositivo de apertura está diseñado para corriente diferenciales (ver 2. Principio de Funcionamiento), deben tener dispositivos de protección contra sobre corrientes y cortocircuito pre conectados, para asegurar su protección eléctrica, operativa y su vida útil.

A modo de ejemplo se presenta una tabla con los dispositivos de protección recomendados

Interruptor diferencial $I_n$ [A]	Interruptor diferencial $I_{cnr}$ [A]	Fusible Diazed rápido $I_n$ [A]	Fusible Diazed lento $I_n$ [A]	Fusible NH $I_n$ [A]	Interruptor termo magnético $I_n$ [A]
25	1500	50	35	50	25
40	2000	63	50	63	40
63	2000	100	80	100	63

# INTERRUPTOR DIFERENCIAL

Protección adicional en caso de contacto directo en una red TT o TN

