

# Introducción a la Puesta a Tierra de Sistemas Eléctricos

**Mediciones Eléctricas II (3D2)**

**Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electromecánica – Facultad de Ingeniería – UNMdP**

(Cursada 2018)

# Conceptos Introductorios

## Efectos de la corriente eléctrica sobre el cuerpo

- Quemaduras:  
Se producen por la circulación de corrientes muy elevadas.  
También pueden provocarse serias quemaduras por efectos del arco, aunque la corriente no circule por el individuo.
- Contracciones Musculares:  
Es la contracción involuntaria de los músculos, provocando que el individuo quede asido al elemento que lo electrocuta, o salga violentamente despedido por acción de la contracción muscular. “patada”
- Tetanización Muscular:  
Cuando la contracción muscular llega a afectar a los músculos de la caja torácica, se ve impedida la respiración al no poder expandirse los pulmones. Esta situación es denominada asfixia por tetanización.
- Paralización Cardíaca:  
Es el temblor del músculo cardíaco como consecuencia de la acción independiente y no coordinada de sus fibras, que se contraen y relajan desordenadamente. En este estado el corazón deja de cumplir su función de bomba sanguínea

# Conceptos Introductorios

*Los efectos son proporcionales a la cantidad de electricidad que circula a través del cuerpo y a la duración de esta corriente de descarga.*

Para corriente alterna de frecuencia industrial (50-60 Hz), forma de onda sinusoidal, tiempo de circulación elevado ([más de 10 seg.](#)), trayecto de circulación mano-mano o mano-pié, y contextura física de un individuo adulto (peso mayor a 50 Kg.) se tiene

- **1 a 3 mA Umbral de percepción:**

es la corriente mínima necesaria para advertir que está circulando corriente por el cuerpo. No representa ningún peligro. La norma IRAM 2371/83 lo fija en 0,5 mA.

- **10 a 15 mA Umbral de desprendimiento:**

Es el valor máximo de corriente a la cual alguna persona agarrada a electrodos puede desprenderse de ellos. La norma IRAM 2371/83 lo fija en 10 mA.

- **15 a 30 mA Umbral de asfixia por tetanización:**

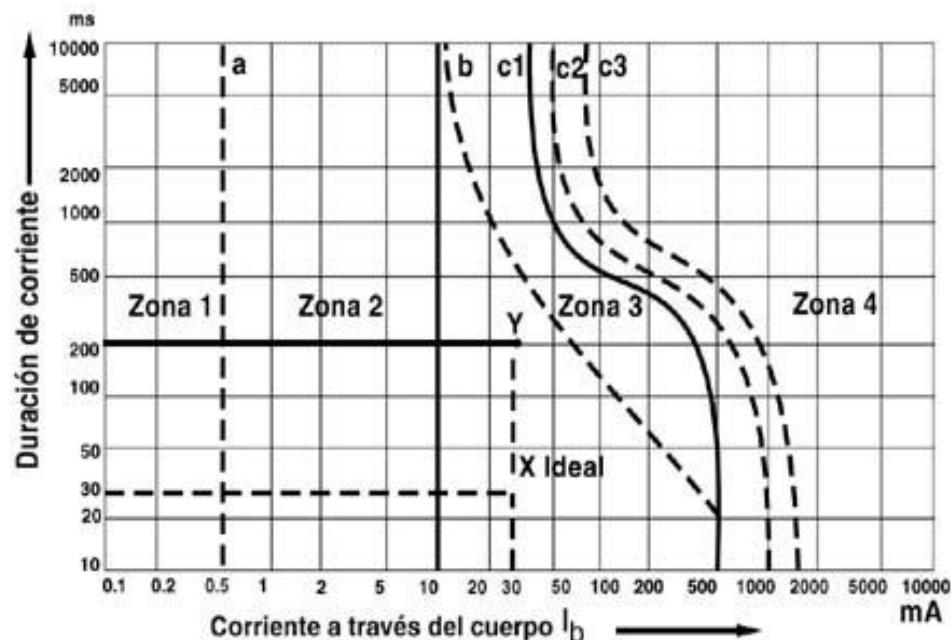
es la corriente mínima necesaria para que la tetanización se extienda a los músculos de la caja torácica.

- **50 mA Umbral de fibrilación:**

es la corriente mínima necesaria para provocar la fibrilación cardíaca en el 0,5 % de los individuos.

## Conceptos Introductorios

Otra forma de representar lo mismo se puede hacer si se considera que el tiempo es chico (menos de 10 seg), entonces se admiten corrientes mayores. Así se tiene:



Curvas de corriente - tiempo

| Zonas           | Efectos Fisiológicos.   |
|-----------------|---|
| <b>Zona I</b>   | Normalmente sin reacción  |
| <b>Zona II</b>  | Usualmente sin efectos fisiológicos.  |
| <b>Zona III</b> | Usualmente no se esperan daños orgánicos. Aparecen contracciones musculares y dificultad en la respiración, disturbios reversibles de impulsos en el corazón. Paros cardiacos transitorios sin fibrilación ventricular se incrementan con la corriente y el tiempo.   |
| <b>Zona IV</b>  | En adición a los efectos de la Zona III, la probabilidad de fibrilación ventricular se incrementa hasta un 5% sobre (curva C2), y hasta un 50% (curva C3), y arriba de un 50% por encima de la curva C3. Los efectos de paros cardiacos, respiratorios y quemaduras pueden ocurrir con el incremento de la corriente y el tiempo. |

## Conceptos Introductorios

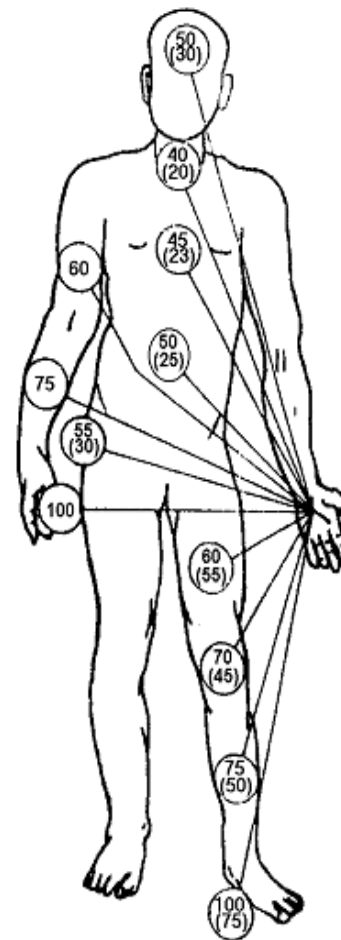
Otra forma de representar lo mismo es con curvas de tensión-tiempo en lugar de corriente-tiempo



El problema es que al no tener todas las personas la misma resistencia eléctrica en la piel, entonces es muy variable la curva que se puede obtener.

La resistencia de la piel puede variar de  $1000\Omega$  a  $33000\Omega$  dependiendo de la tensión y del individuo, mientras que la resistencia interna del cuerpo puede variar de  $500\Omega$  a  $1000\Omega$  dependiendo de los mismos factores.

Sí se ha podido determinar la resistencia de distintos trayectos de la corriente sobre el cuerpo como porcentaje de la que hay mano a mano.



## Conceptos Introductorios

Pero para una persona promedio se dice...

| Condición       | Curva | $U_L$ (en CA) |
|-----------------|-------|---------------|
| Lugares secos   | BB1   | 50 V          |
| Lugares húmedos | BB2   | 25 V          |
| Lugares mojados | BB3   | 12 V          |

$U_L$  : Tensión límite de seguridad

( $U_L$  : tensión por debajo de la cual no hay riesgos para las personas según la norma IEC 60364)

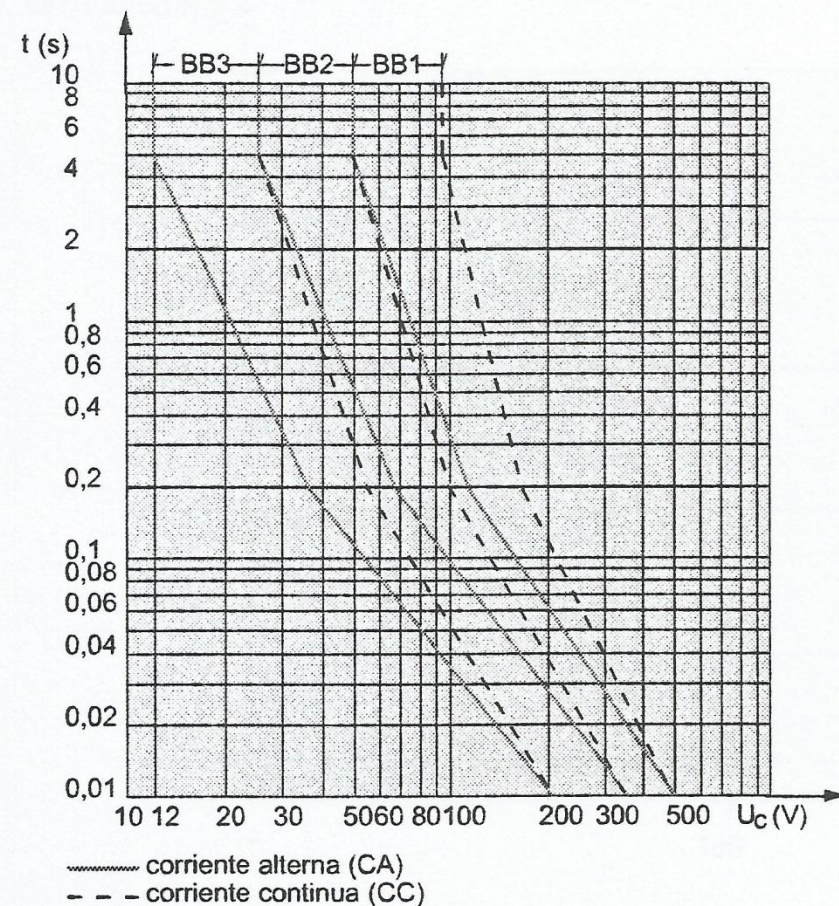
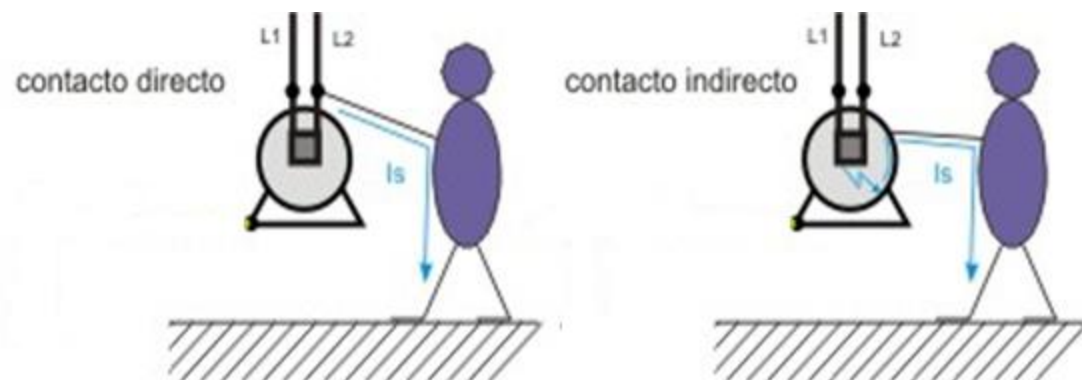


Fig. 1.5. Curva del tiempo de contacto máximo ( $t$ ) en función de la tensión de contacto ( $U_c$ ), de acuerdo a IEC 60364.

Curvas de tensión - tiempo

# Conceptos Introdutorios



*Se define:*

- Contacto directo:

es aquel que se establece entre un individuo y un elemento que habitualmente está tensionado. Cables, barras, etc. Son peligrosos para tensiones de red mayores a  $U_L$ .

Cabe aquí aclarar que si la persona está aislada de otros potenciales, por ejemplo de tierra, el hecho de estar a potencial no implica un accidente; para que esto ocurra, tendrá que tener aplicada una diferencia de potencial.

- Contacto indirecto:

es aquel que se establece entre un individuo y un elemento que no está habitualmente tensionado, pero que puede estarlo por un defecto de su aislamiento.

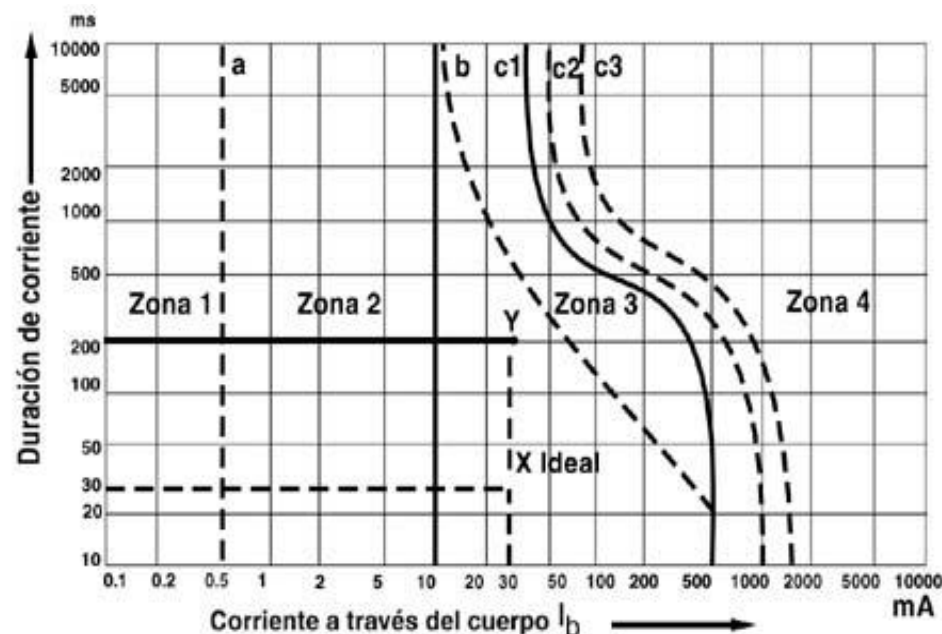
Ejemplo: carcasa de un motor, cuba de un transformador, palanca de mando de un seccionador, heladera, lavarropa, etc.

Son peligrosos para tensiones de contacto mayores a  $U_L$ . *Su peligrosidad está en que los usuarios se acercan a las masas sin sospechar de su eventual energización.*



# Conceptos Introductorios

- ¿Cómo se protege contra contacto directo?:
  - Las principales acciones a considerar son el distanciamiento (colocando barreras) y el aislamiento.
- ¿Cómo se protege contra contacto indirecto?:
  - Con el uso de interruptores diferenciales de 30mA de sensibilidad o menos junto con **sistemas de puesta a tierra**.



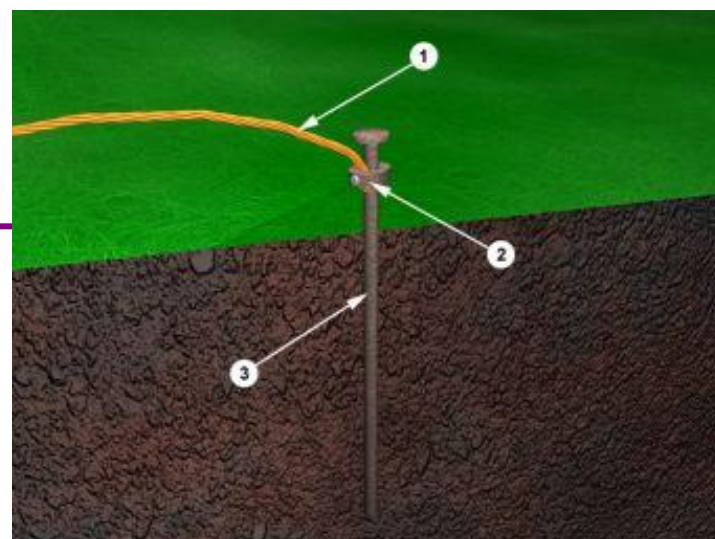
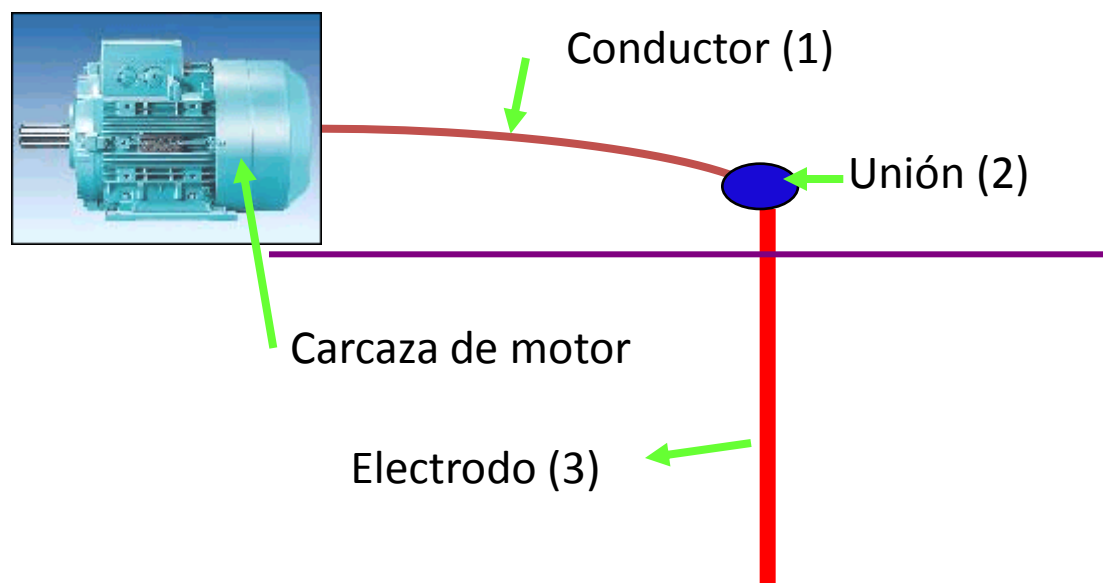


## Conceptos Introductorios

- ¿Que es una puesta a tierra?

Una puesta a tierra (p.a.t.) es una ligazón o enlace metálico directo, sin fusibles ni protección, entre partes de una instalación eléctrica y uno o varios electrodos enterrados en el suelo con el objeto de eliminar diferencias de potencial peligrosas y derivar corrientes de defectos o atmosféricas al suelo.

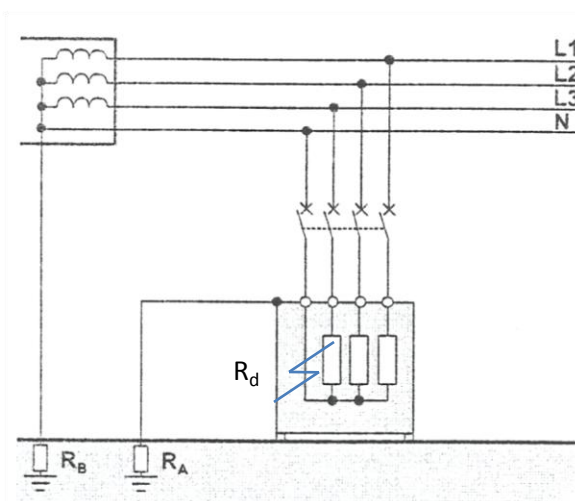
### Ejemplo:



# Conceptos Introductorios

- La puesta a tierra ayuda a proteger a las personas e instalaciones al canalizar al suelo corrientes de defecto (dependerá del “Esquema de Conexión a Tierra” que se utilice )

## Esquema TT



**El esquema TT** es el más utilizado en la Argentina.

En los sistemas TT existe un punto puesto a tierra directamente (puesta a tierra de servicio) o “ $R_B$ ” (el centro de estrella del generador).

Las masas de la instalación eléctrica están conectadas a tomas de tierra independientes eléctricamente “ $R_A$ ” de la toma de tierra de servicio para la puesta a tierra del sistema

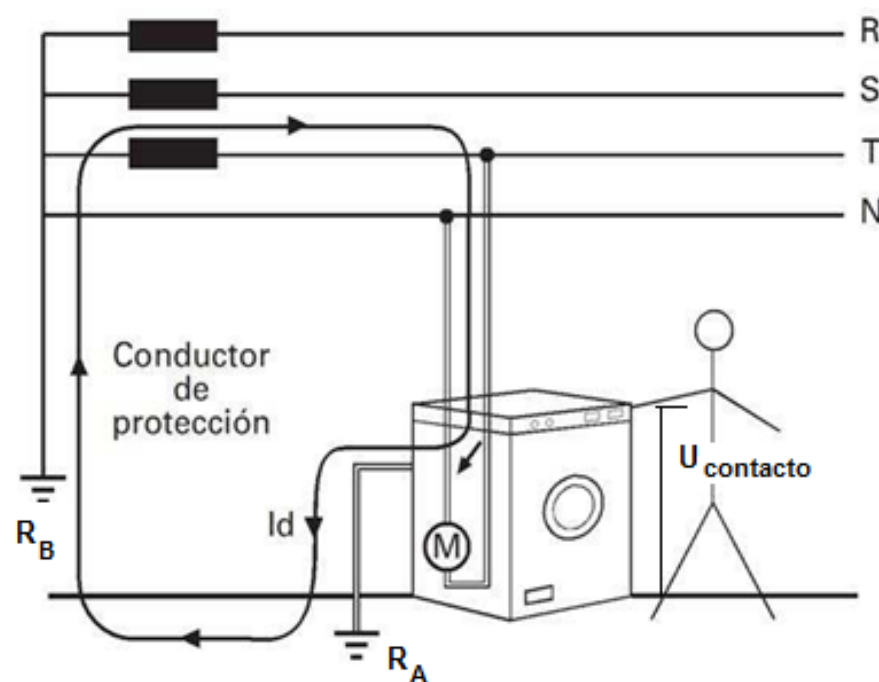
En caso de una falla de aislamiento de una fase a la carcasa o masa del equipo conectado (a través de una resistencia  $R_d$ ) una corriente de defecto fluirá por las tomas de tierra:

$$I_d = \frac{U_{fase}}{R_A + R_B + R_d}$$

# Conceptos Introductorios

- La puesta a tierra ayuda a proteger a las personas e instalaciones al canalizar al suelo corrientes de defecto (dependerá del “Esquema de Conexión a Tierra” que se utilice )

Esquema TT



En caso de una falla de aislación si  $R_A$  es mucho menor que la resistencia del cuerpo humano, la corriente de defecto fluirá casi en su totalidad por  $R_A$  y no por el paralelo de  $R_A$  y la persona.

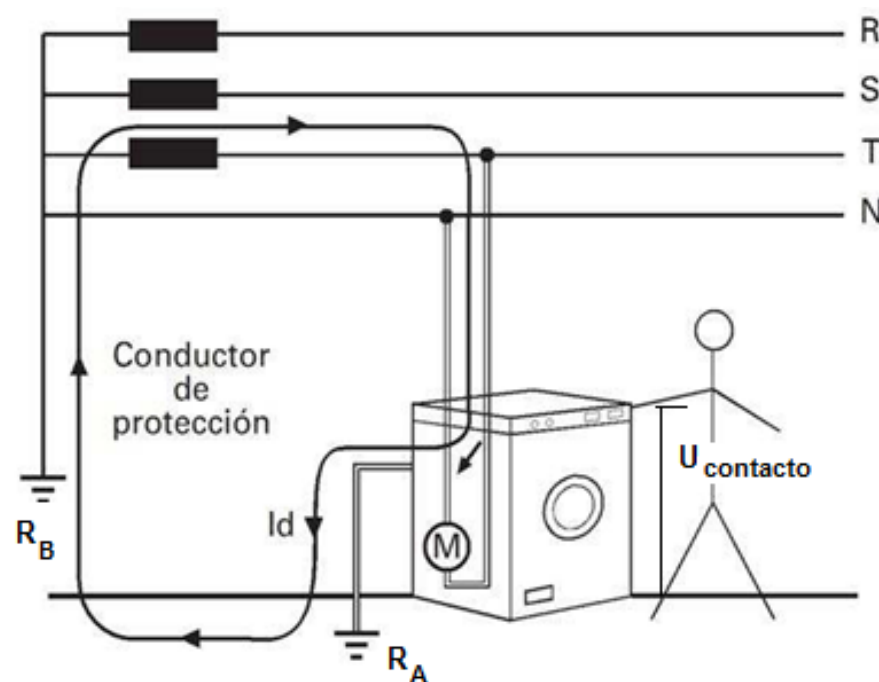
Por lo tanto:

$$U_{\text{contacto}} = R_A I_d = \frac{R_A}{R_A + R_B} U_{\text{fase}}$$

# Conceptos Introductorios

- La puesta a tierra ayuda a proteger a las personas e instalaciones al canalizar al suelo corrientes de defecto (dependerá del “Esquema de Conexión a Tierra” que se utilice )

Esquema TT



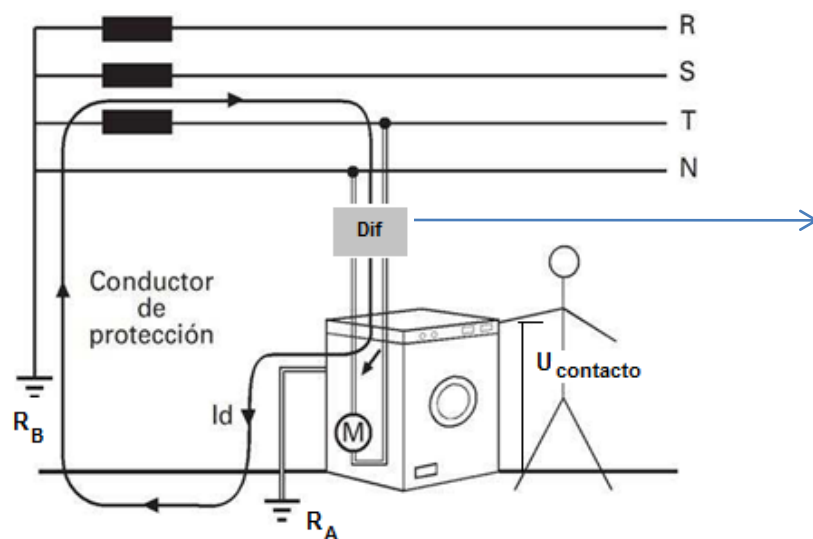
- Si  $R_A$  fuese lo suficientemente baja podría ser que la tensión de contacto sea menor que la tensión límite de seguridad ( $U_L$ ). En ese caso:

$$U_{\text{contacto}} = R_A I_d = \frac{R_A}{R_A + R_B} U_{\text{fase}} < U_L$$

- Normalmente  $U_{\text{contacto}} > U_L$  pero gracias a  $R_A$  y  $R_B$  una corriente diferencial circula sin necesidad que nadie “toque” haciendo actuar el sistema de protección diferencial.

## Conceptos Introductorios

- La puesta a tierra ayuda a proteger a las personas e instalaciones al canalizar al suelo corrientes de defecto (dependerá del “Esquema de Conexión a Tierra” que se utilice )



*la puesta a tierra hace que el disyuntor actúe antes de que la persona toque, evitando que la corriente de falla pase por su cuerpo.*

*Interruptor diferencial (disyuntor)*

