

# EL 3003

## Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

### Clase 1

### Introducción y Seguridad

Profesor: Dr. Carlos Navarro C.  
Departamento de Ingeniería Eléctrica  
Universidad de Chile

Basado en las clases de la profesora  
Dra. Constanza Ahumada.

# Contenido



Programa

Aspectos de Seguridad

# Contenido



Programa

Aspectos de Seguridad

# Objetivos Curso



- Aplicar conocimientos de redes eléctricas y electromagnetismo a situaciones experimentales, con diferentes niveles de potencia y representativas de diversos ámbitos de la ingeniería eléctrica.
- Diseñar circuitos y dispositivos básicos en el ámbito de la ingeniería eléctrica
- Demostrar las habilidades de comunicación escrita y oral.

# Programa EL3003



## Clases:

- Cátedra:
  - Lunes 10:00 - 12:00
- Laboratorios: semana por medio, iniciando la semana 3
  - Sección 1: Miércoles 08:00 - 12:00
  - ~~Sección 2: Viernes 14:00 - 18:00~~

## Actividades:

- Laboratorios Obligatorios: 5
- Laboratorio con proyecto a elección: 1

# Programa EL3003



## Evaluación:

- Experiencias Obligatorias:
  - Informe Final: 90%
  - Trabajo Grupo (autoevaluación + evaluación ayudantes): 10%
- Experiencia a Elección:
  - Informe Final: 70%
  - Presentación: 30%
- Examen: No hay examen. En ese periodo se realiza experiencia recuperativa para quienes tengan nota roja en una actividad.

## Aprobación:

- Todas las experiencias con nota mayor o igual a 4.0

# Programa EL3003



## Grupos

- De 3 personas
- No cambia durante el curso.
- Inscripción hasta **21 de marzo** a las 18:00 en:

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/11BNHxRgPDBetrnRL3MCzQ7nvXeRqjJpGXjscvhE003A/edit#gid=1268383910>

## Entregas y Atrasos:

- Los informes de las experiencias se deben entregar el miércoles de la semana siguiente a las **23:59**.
- Descuento de 1 punto (Es decir, nota máxima 6.0) por día de atraso.

# Programa EL3003



## Consultas:

- U-Cursos
- Horario de Catedra
- Mail: [canavarr@ing.uchile.cl](mailto:canavarr@ing.uchile.cl)

## Sesiones de laboratorio:

- Se separa el curso en dos mitades, cada mitad va una semana si y la otra no (por temas de aforo covid)
- A cada grupo le toca un modulo distinto (por disponibilidad de materiales en el laboratorio).

# Programa EL3003



## Experiencias Obligatorias:

- Experiencia A: Línea de transmisión
- Experiencia B: Rectificadores
- Experiencia C: Circuitos trifásicos
- Experiencia D: Máquina eléctrica
- Experiencia E: Modulación de señales

Fecha	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11	G12
09/03/2022												
16/03/2022												
23/03/2022	EXP A	EXP B	EXP C	EXP D	EXP E							
30/03/2022							EXP A	EXP B	EXP C	EXP D	EXP E	
06/04/2022	EXP B	EXP C	EXP D	EXP E		EXP A						
13/04/2022							EXP B	EXP C	EXP D	EXP E		EXP A
20/04/2022	EXP C	EXP D	EXP E		EXP A	EXP B						
27/04/2022							EXP C	EXP D	EXP E		EXP A	EXP B
04/05/2022	EXP D	EXP E		EXP A	EXP B	EXP C						
11/05/2022							EXP D	EXP E		EXP A	EXP B	EXP C
18/05/2022	SEMANA DE VACACIONES											
25/05/2022	EXP E		EXP A	EXP B	EXP C	EXP D						
01/06/2022							EXP E		EXP A	EXP B	EXP C	EXP D
08/06/2022		EXP A	EXP B	EXP C	EXP D	EXP E						
15/06/2022								EXP A	EXP B	EXP C	EXP D	EXP E
22/06/2022	EXP REC	EXP REC	EXP REC	EXP REC	EXP REC	EXP REC	EXP REC	EXP REC	EXP REC	EXP REC	EXP REC	EXP REC

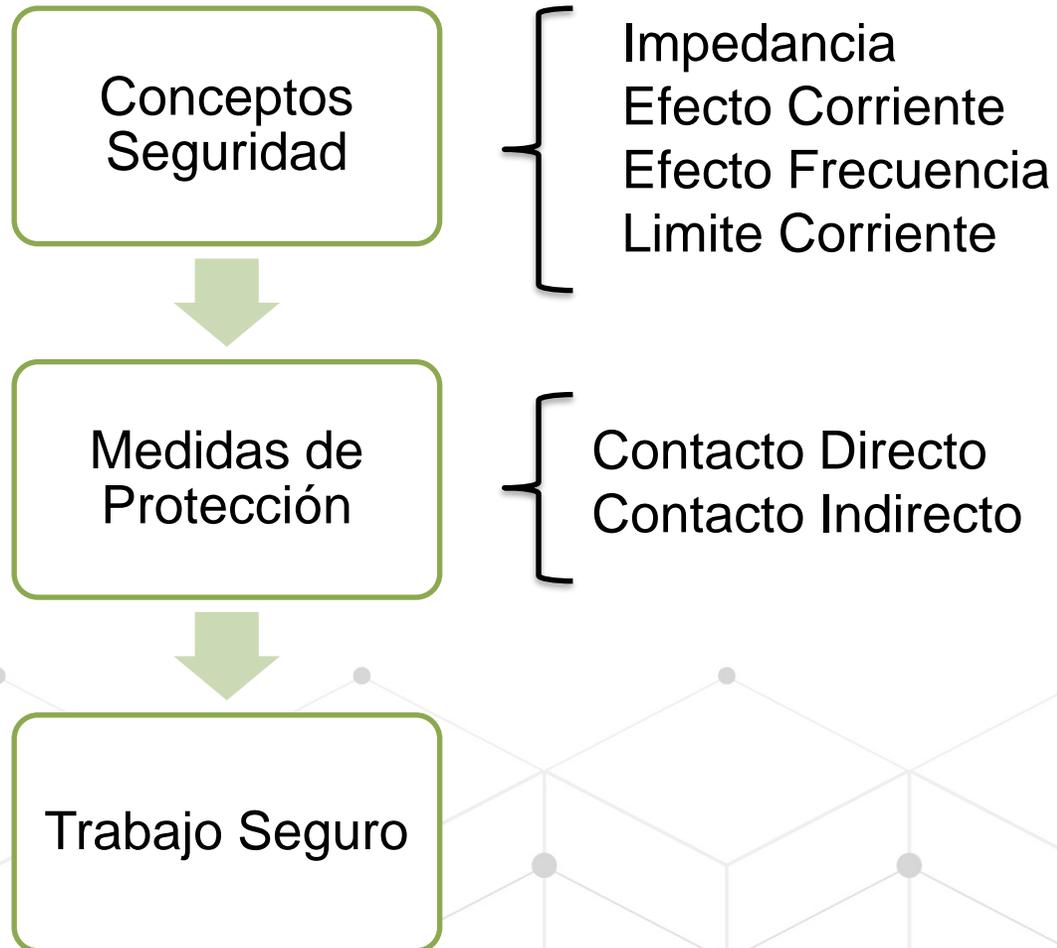
# Contenido



Programa

Aspectos de Seguridad

# Aspectos Seguridad



# Conceptos Seguridad



Los efectos de la electricidad en el cuerpo humano depende de:

Voltaje

Magnitud corriente

Impedancia cuerpo humano

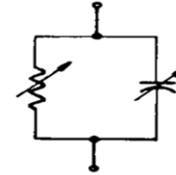
- La evidencia experimental señala que la respuesta es de tipo impedancia eléctrica a través del trayecto que sigue la corriente.

# Conceptos Seguridad – Impedancia Cuerpo

En baja frecuencia:  
conductor



En muy alta frecuencia:  
aislante con pérdidas

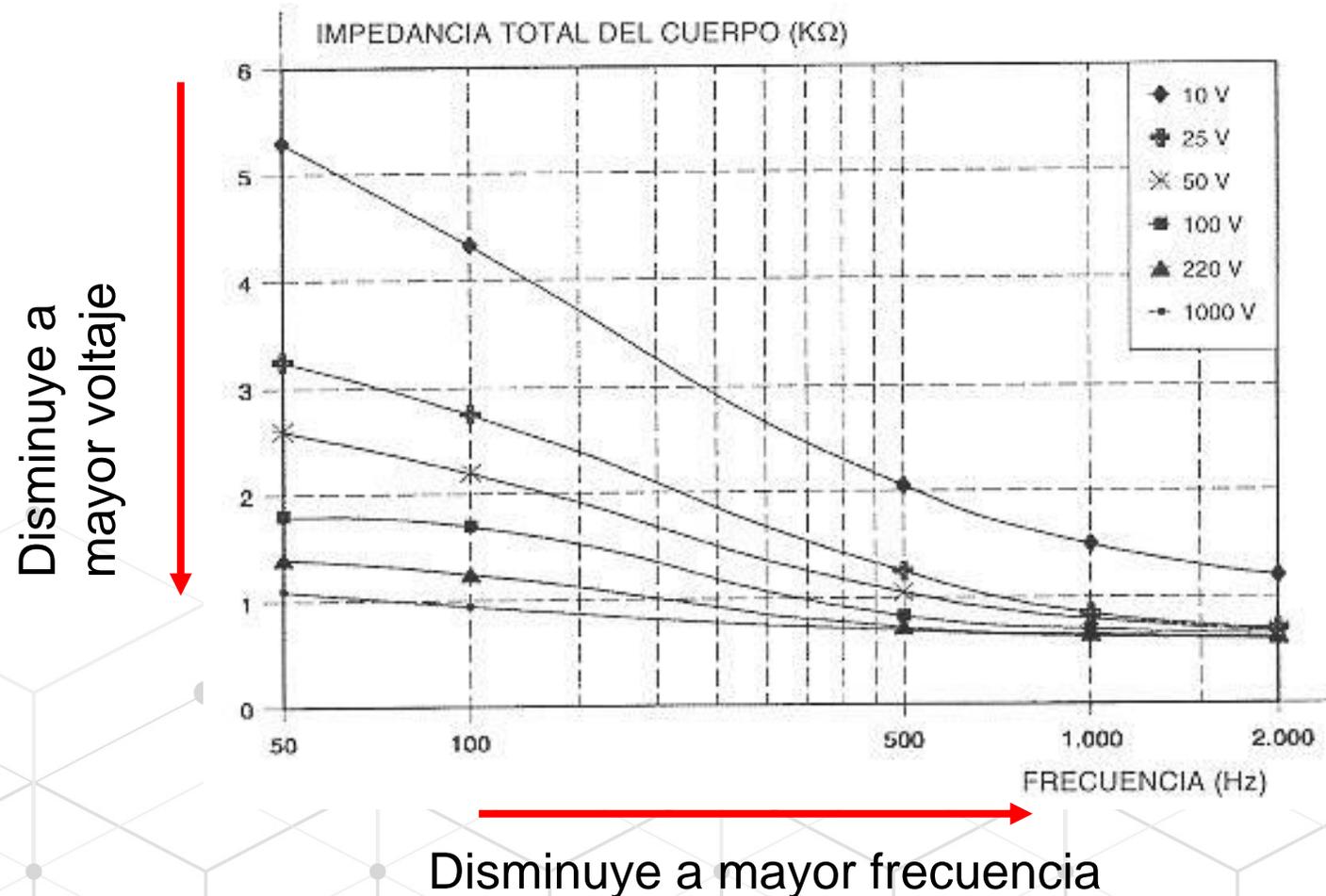


**Impedancia del Cuerpo Humano:  $Z_B = Z_I + Z_P$**

- $Z_B$ : impedancia cuerpo humano
- $Z_I$ : Impedancia interna  $\sim 300\Omega$  para 50-60Hz (principalmente resistiva)
- $Z_P$ : Impedancia de la piel es variable, depende de:
  - Área de Contacto
  - Punto de aplicación y trayectoria de la corriente
  - Estado fisiológico (temperatura y humedad)
  - Voltaje
  - Frecuencia

# Conceptos Seguridad – Impedancia Cuerpo

- Depende de: Voltaje y Frecuencia



# Conceptos Seguridad – Impedancia Cuerpo



Valores aceptados para 50-60Hz de  $Z_B$  500 – 3000 $\Omega$

- IEEE Std. 80/2000  
1000 $\Omega$
- NCh. Elec4/2003  
2000 $\Omega$

Tensión de contacto (V)	Trayectoria mano-mano, piel seca, c. alterna, frecuencia 50-60 Hz, superficie de contacto 50-100 cm <sup>2</sup>		
	Impedancia total ( $\Omega$ ) del cuerpo humano que no son sobrepasados por el		
	5% de las personas	50% de las personas	95% de las personas
25	1.750	3.250	6.100
50	1.450	2.625	4.375
75	1.250	2.200	3.500
100	1.200	1.875	3.200
125	1.125	1.625	2.875
220	1.000	1.350	2.125
700	750	1.100	1.550
1.000	700	1.050	1.500
valor asintótico	650	750	850

# Conceptos Seguridad – Efecto Corriente



Efectos

Efecto térmico

Quemadura

Alteración fisiológica temporal  
(inhibición)

Choque eléctrico

Paro respiratorio

Fibrilación ventricular

Paro cardíaco

Depende de:

Magnitud y duración de la corriente

Frecuencia y forma de la señal  
eléctrica

# Conceptos Seguridad – Efecto Corriente

EFECTOS DE LA CORRIENTE ELECTRICA EN EL ORGANISMO						
EFECTO	Corriente Continua mA.		Corrientes Alterna mA			
	Hombres	Mujeres	50 Hz		100.000Hz	
			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	76	51	16	10.5	75	50
Choque doloroso grave. Dificultades de respiración	90	60	23	15	94	63
Principio de la fibrilación ventricular	200	70	50	35		

# Conceptos Seguridad – Limite Corriente



## Estudio Dalziel

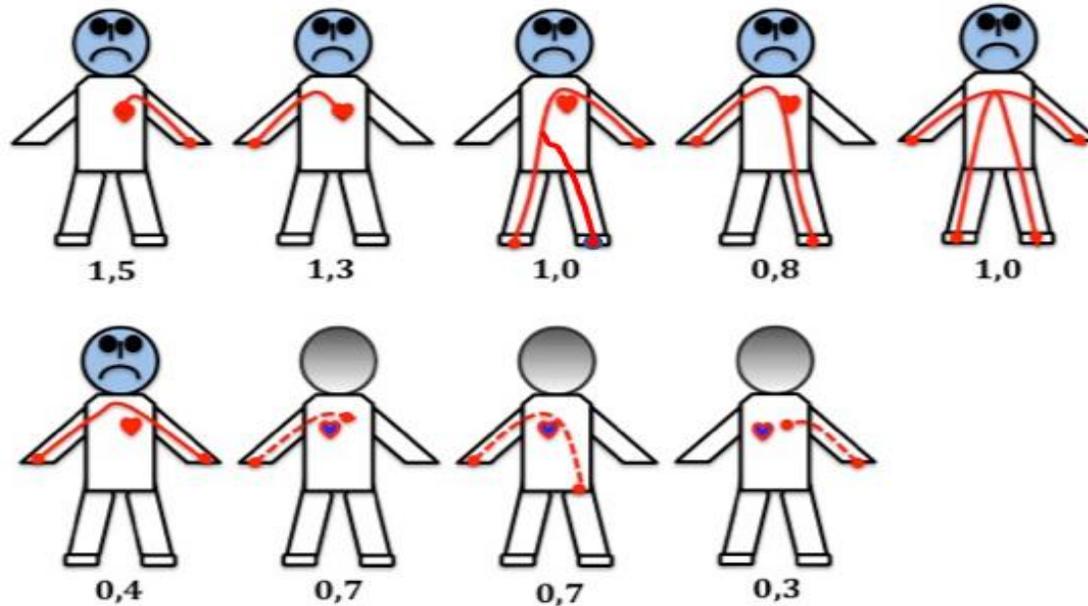
Valor efectivo de la corriente que no produce fibrilación:

$$I_h = \frac{K}{\sqrt{t}}$$

- $I_h$ : corriente efectiva [A]
- $t$ : tiempo [s]
- $K$ : constante relacionada con la energía absorbida para 99.5% de las personas
  - $K = 0.116$  para 50Kg
  - $K = 0.157$  para 70Kg

# Conceptos Seguridad – Limite Corriente

## Estudio Grupo 4 – Comision E



$$I_h = \frac{I_{ref}}{F}$$

- $I_h$ : corriente efectiva que atraviesa el cuerpo por un trayecto determinado.
- $I_{ref}$ : corriente «mano izquierda - pies».
- $F$ : factor de corriente de corazón.

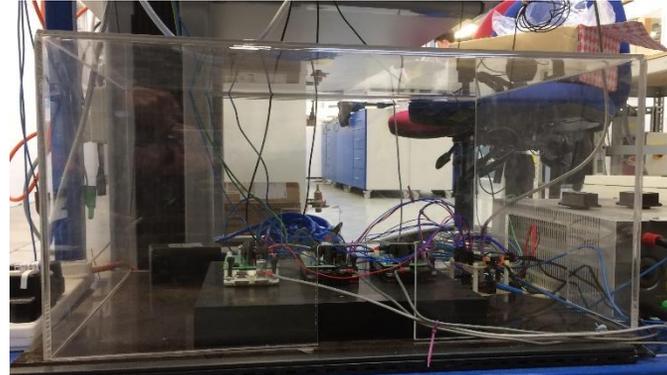
# Medidas de Protección - Contacto Directo

- Tocar circuito energizado

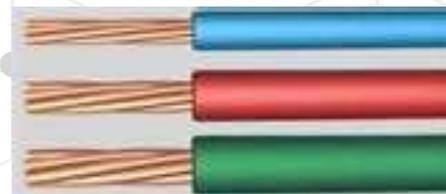


# Medidas de Protección – Contacto Directo

- Resguardo estructural:
  - No se puede entrar en contacto accidental.

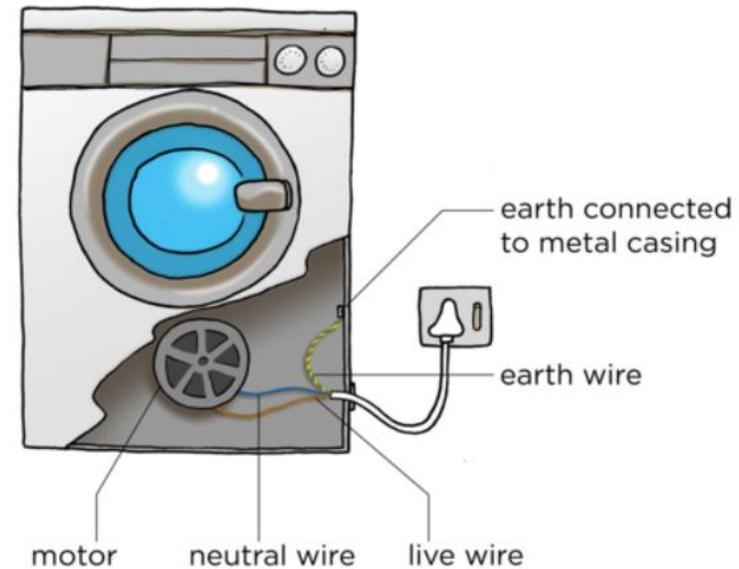
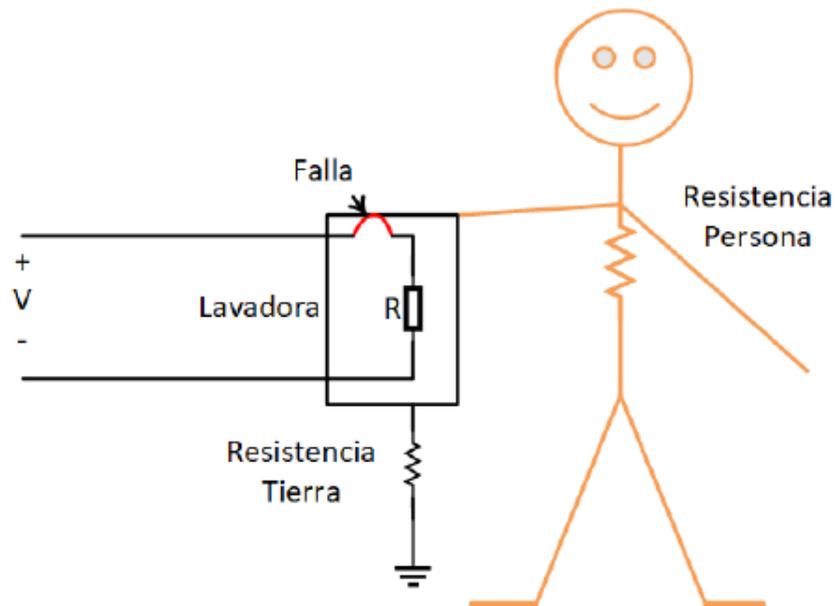


- Materiales aislantes:



# Medidas de Protección – Contacto Indirecto

- Tocar parte metálica que normalmente no está energizada, pero que adquiere voltaje bajo situación de falla o errores humanos.



# Medidas de Protección – Contacto Indirecto



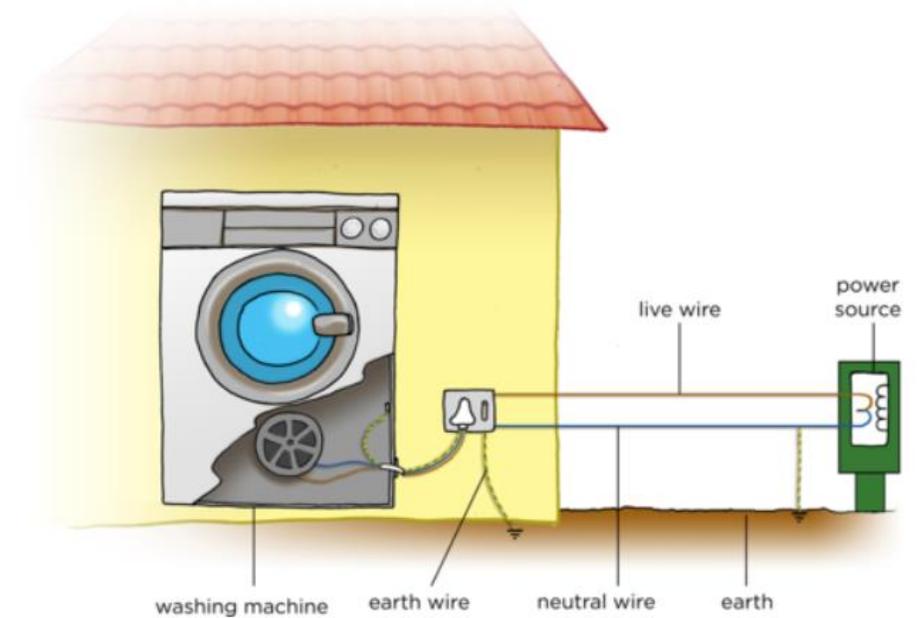
## Sistemas de protección clase A

- Empleo de transformadores de aislamiento.
- Empleo de tensiones extra bajas:
  - 25 Volts en lugares húmedos
  - 50 Volts en lugares secos
- Empleo de doble aislamiento.
- Conexiones equipotenciales de masas metálicas.

# Medidas de Protección – Contacto Indirecto

## Sistemas de protección clase B.

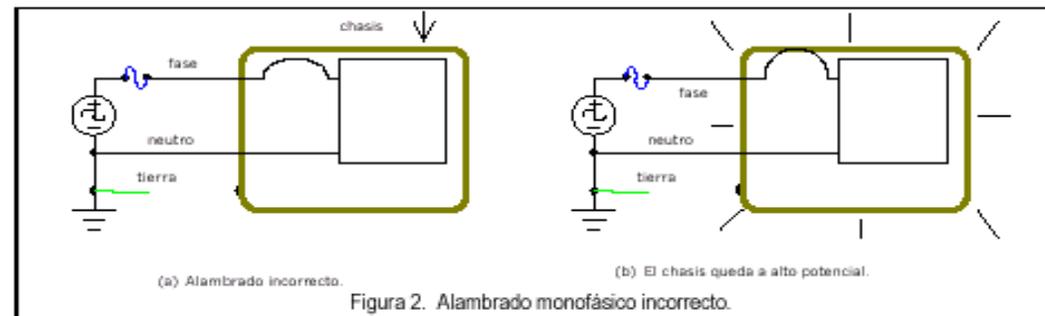
- **Puesta a tierra de protección**
- Instalación de interruptores con capacidad de corte automático operado por corriente de falla:
  - Magnético (cortocircuito)
  - Térmico (sobrecarga)
  - Termo magnético
  - Diferencial (por defecto)



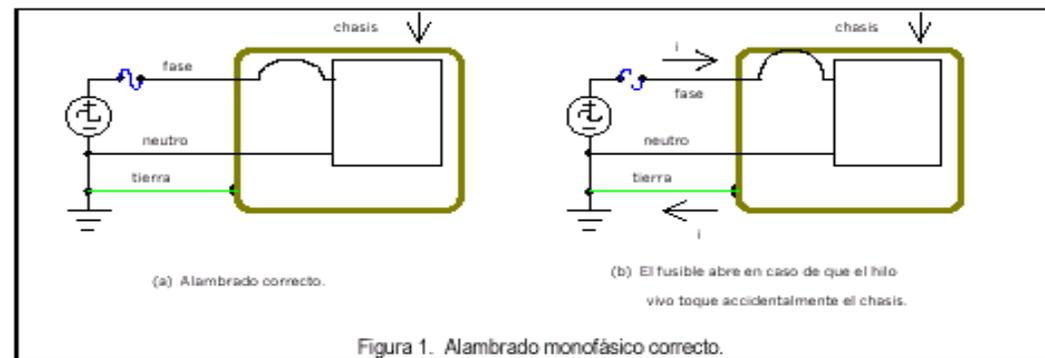
# Medidas de Protección – Contacto Indirecto

## Sistemas de protección clase B - Puesta a tierra de protección

Sin Conexión a tierra



Con Conexión a tierra



# Medidas de Protección – Contacto Indirecto



## Sistemas de protección clase B - Puesta a tierra de protección

### Objetivos

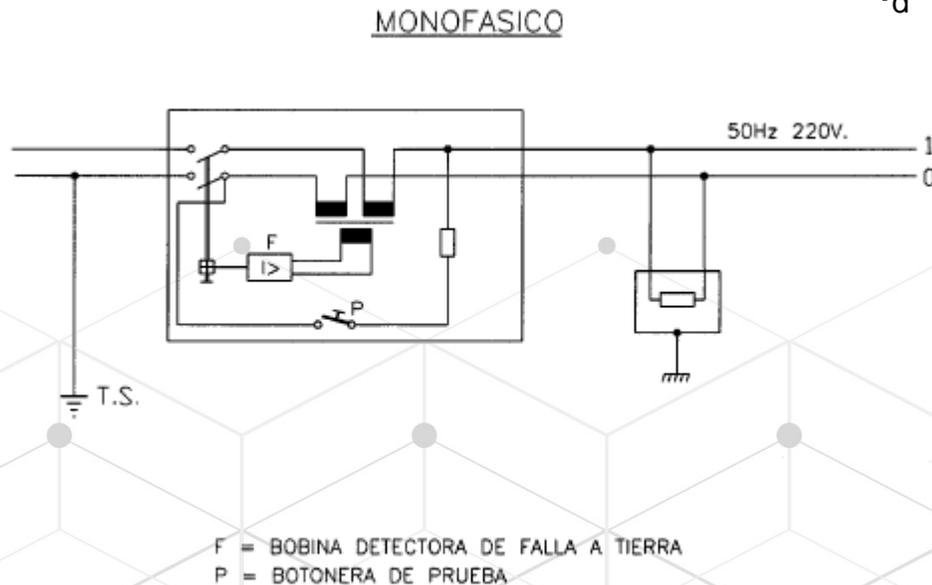
- Conducir a tierra las corrientes por falla de aislación
- Evitar que las partes metálicas de una instalación queden energizadas y aparezcan voltajes peligrosos
- Permitir la protección del interruptor, despejando la falla en un tiempo no superior a 3 segundos

# Medidas de Protección – Contacto Indirecto

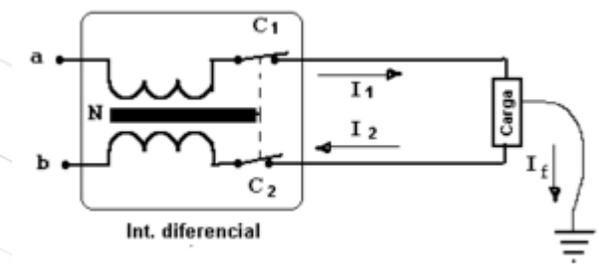
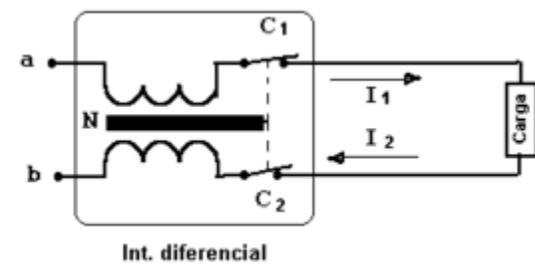
## Sistemas de protección clase B - Diferencial

Mide la corriente que entra por la fase “ $I_f$ ” y la corriente que sale por el neutro “ $I_n$ ”, evaluando para conocer la corriente diferencial o de fuga

$$I_d = I_f - I_n$$



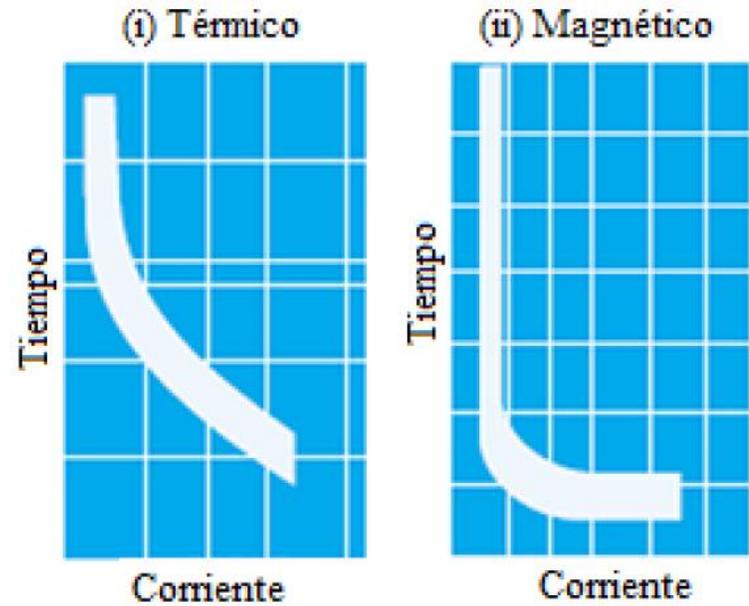
Actúa en un tiempo dado



# Medidas de Protección – Contacto Indirecto

## Sistemas de protección clase B – Termomagnético

Actúa cuando se cumple un valor dado de corriente en el tiempo.



# Medidas de Protección



## Norma NCH Elec. 4/2003 Electricidad: Instalaciones de consumo en baja tensión ([www.sec.cl](http://www.sec.cl))

- Fijar condiciones mínimas de seguridad que deben cumplir las instalaciones eléctricas de consumo en Baja Tensión
- Con el fin de salvaguardar a las personas que las operan o hacen uso de ellas y preservar el medio ambiente en que han sido construidas.

## Normas Técnicas eléctricas

En esta página el usuario podrá encontrar las instrucciones y decisiones que esta Superintendencia ha adoptado para seguir garantizando el normal desarrollo del sector eléctrico y de sus actores.

La Superintendencia de Electricidad y Combustibles, cumple con informar a usted que los textos actualizados de la Normativa Legal y Técnica, presentados en este sitio, NO SON OFICIALES, en atención que sólo el Presidente de la República está facultado, para que en virtud de una Ley, pueda dictar textos refundidos coordinados y sistematizados.

Los documentos están disponibles en versión PDF.

Instalaciones / Medidores	Transporte / Distribución	Alumbrado Público / Empalme
Instalaciones		
Norma	Descripción	Descarga
Norma N°5/55	Norma de Instalaciones eléctricas de corrientes fuertes.	
Resolución 692 de 1971	Modificación de la norma N°5/55	
Resolución 137 de 1993	Modificación de la norma N°5/55	
Norma N°4/2003	Establece las condiciones mínimas de seguridad que deben cumplir las instalaciones eléctricas de consumo en Baja Tensión.	
Oficio de SEC	Aclara dudas para construcciones en ejecución al momento de su entrada en vigencia.	
NSEG_8.75	Estipula los niveles de tensión de los sistemas e instalaciones eléctricas.	
NCh_2.84	Establece disposiciones técnicas que deben cumplirse en la elaboración y presentación de proyectos relacionados con instalaciones eléctricas.	
NCh_10.84	Indica los procedimientos a seguir para la puesta en servicio de una instalación interior. Incluye copia de Declaración de Instalación Eléctrica Interior.	

# Condiciones de Trabajo Seguro



## Planificación:

- Aproximación estudiada y cuidadosa de cada tarea.
- Comprender qué se tiene que hacer y cómo se tiene que hacer.

## Orden:

- Disponer ordenadamente equipos y utensilios
- Usar instrumentos adecuados
- Retirar del lugar de trabajo todo elemento ajeno

## Atención:

- Mantener constante atención en lo que se hace
- Observar, apreciar y prevenir situaciones de riesgo potencial

# Condiciones de Trabajo Seguro - Ejemplo de actos inseguros



Intervenir en circuito energizado:

- Pensando que esta des-energizado
- Pensando que no es peligroso

Mal uso o uso descuidado de equipo eléctrico o de medida

Intervención simultánea de varias personas en circuito de prueba

Realizar más de una actividad simultáneamente.

# Condiciones de Trabajo Seguro – Casos de Trabajo no Seguro



# Condiciones de Trabajo Seguro – Casos de Trabajo no Seguro

## Caso 1 - Drone

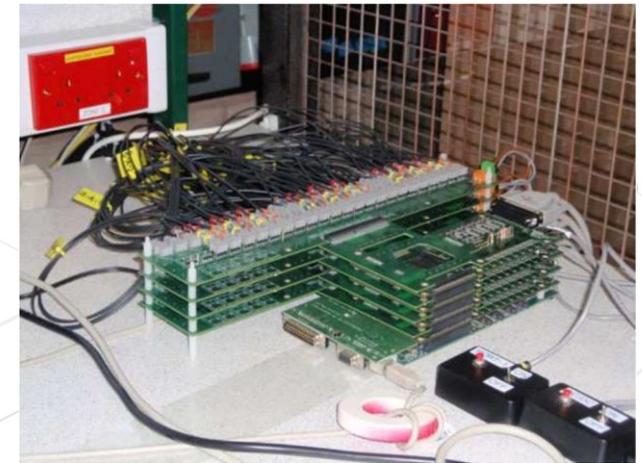
- Se tiene un drone que puede volar de forma autónoma o manual. Para la sintonización del controlador autónomo, se debe:
  1. Verificar los controles del drone (arriba es arriba, abajo es abajo), el estado de las alas o hélices
  2. Volar el drone en modo manual
  3. Una vez alcanzada la altura deseada, seleccionar modo calibración y realizar rápidos movimientos hacia arriba, abajo, derecha e izquierda para que el dispositivo de vuelo sea calibrado.
- Al realizar la calibración de su drone, éste se estrella en el suelo. ¿A qué se puede deber? Mencione todos los errores que se pueden haber realizado.



# Condiciones de Trabajo Seguro – Casos de Trabajo no Seguro

## Caso 2: Uni-flex

- El Uni-flex es un setup experimental que le permite trabajar con potencias de 300kVA.
- Para empezar a trabajar en el experimento, lo primero que se debe hacer es conectar el sistema a la red trifásica.
- Luego de encender la conexión eléctrica, usted se da cuenta que el osciloscopio le muestra 2 fases en vez de 3, lo que decide investigar para su próxima visita al laboratorio.
- Un par de semanas después de esto, una persona caminando cercano al experimento escucha sonido “tsss” y decide investigar.
- ¿Qué cree usted que sucedió?
- ¿Qué errores se cometieron?

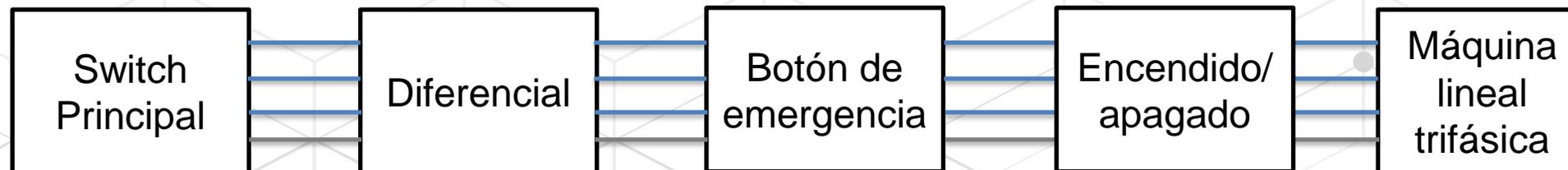


# Condiciones de Trabajo Seguro – Casos de Trabajo no Seguro



## Caso 3: Catapulta Eléctrica

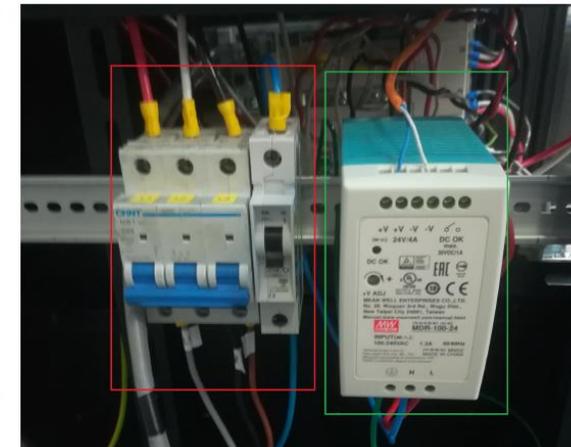
- Se tiene un setup experimental que consiste en una máquina eléctrica lineal, la cual es alimentada desde una red, donde se encuentra el switch principal, el cual enciende la alimentación eléctrica.
- Luego, entre este switch y la máquina eléctrica se encuentran el diferencial eléctrico, un botón de emergencia para apagar el equipo en caso de emergencia y el botón de encendido/apagado del sistema como se muestra en la figura.
- Estando con el equipo en funcionamiento, usted decide apagarlo y se da cuenta que a pesar de apretar el botón de encendido/apagado el sistema mantiene una corriente elevada. Por esto usted decide apagar el switch principal, provocando una explosión.
- ¿Qué cree usted que sucedió? ¿Qué errores se cometieron?



# Condiciones de Trabajo Seguro – Casos de Trabajo no Seguro

## Caso 4: Implementación Controlador motor de Inducción

- Se cuenta con un equipo que permite controlar un motor de inducción a través de Matlab usando equipos Triphase.
- Para instalar el Sistema se debe conectar el Sistema eléctrico de los inversores que operan a alta potencia (7kW) y del Sistema de control que opera a baja potencia (100W)
- Una vez finalizado la instalación y confirmado que el Sistema funciona, usted decide tomar las fotos finales.
- Durante la toma de las fotos finales un cable se suelta, tocando la tierra del circuito y creando un corto circuito.
- Comente sobre los errores cometidos.



# Condiciones de Trabajo Seguro - Errores mas comunes



- Cables sueltos (90% del tiempo).
- No encender la fuente de poder.
- Trabajar apurados y/o saltar verificación del sistema.
- Intervenir circuitos en operación.

# Condiciones de Trabajo Seguro - Precauciones mínimas



1. Presentar esquema de circuito experimental, incluyendo los instrumentos de medida que corresponda.
2. Ubicar ordenadamente los instrumentos y cables sobre el mesón de trabajo.
3. Armar circuito des-energizado.
4. Con circuito energizado, sólo efectuar lectura de instrumentos.
5. No modificar circuito, agregar o retirar instrumentos, estando energizado.
6. Utilizar conexiones de tierra de equipos e instrumentos cuando corresponda.
7. No eliminar o “by passear” protecciones de mecanismos e instalaciones.
8. No usar conexiones o conductores en mal estado.
9. Consultar cualquier operación que merezca duda.

# EL 3003

## Laboratorio de Ingeniería Eléctrica

### Clase 1

### Introducción y Seguridad

Profesor: Dr. Carlos Navarro C.  
Departamento de Ingeniería Eléctrica  
Universidad de Chile

Basado en las clases de la profesora  
Dra. Constanza Ahumada.