

# Curso: Procesamiento Electrónico de Potencia

## TRANSFORMADOR MONOFÁSICO

Ing. Sergio A. Morales Hernández

Escuela de Ingeniería Electrónica  
Tecnológico de Costa Rica

I Semestre 2021

## 1 TRANSFORMADOR MONOFÁSICO REAL

# AGENDA

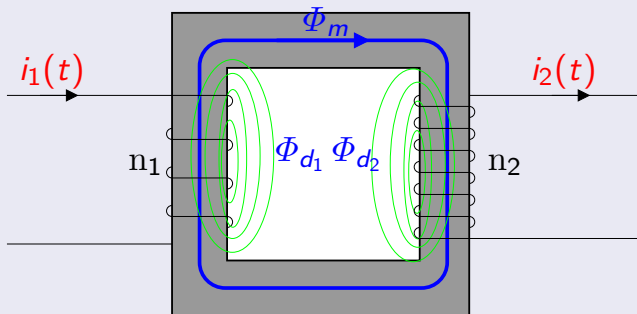
1 TRANSFORMADOR MONOFÁSICO REAL

2 DETERMINACIÓN PARÁMETROS

# AGENDA

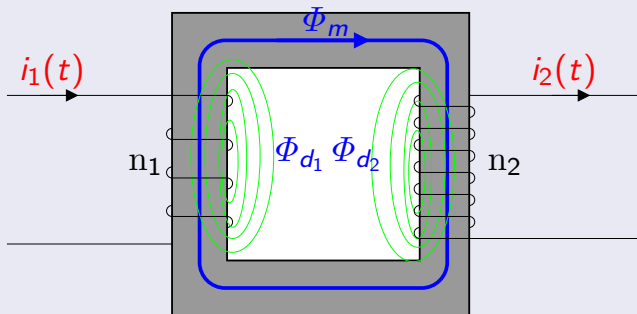
- 1 TRANSFORMADOR MONOFÁSICO REAL
- 2 DETERMINACIÓN PARÁMETROS
- 3 PRUEBAS

## CARACTERÍSTICAS



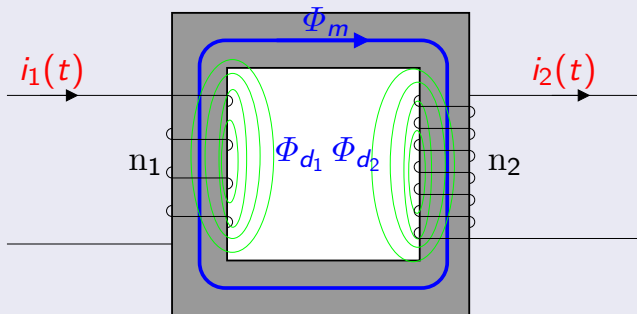
- El transformador monofásico real presentará pérdidas de energía.

# CARACTERÍSTICAS

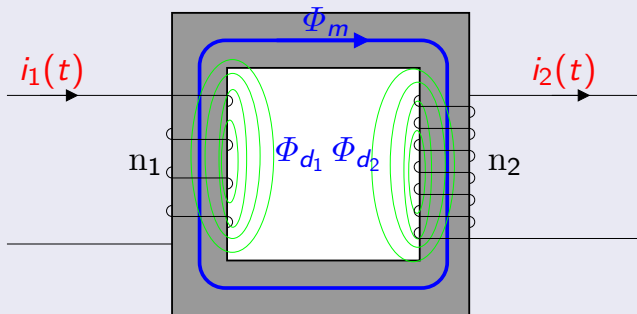


- El transformador monofásico real presentará pérdidas de energía.
- Hay pérdidas en los bobinados y también en el núcleo.

# CARACTERÍSTICAS



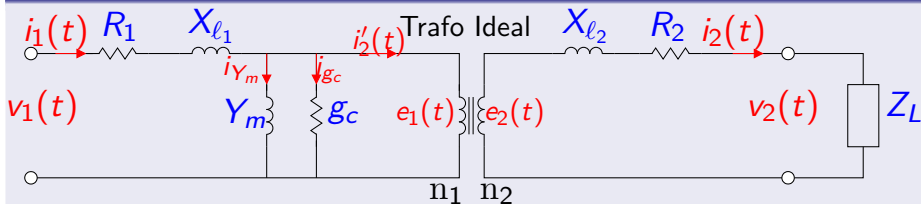
- El transformador monofásico real presentará pérdidas de energía.
- Hay pérdidas en los bobinados y también en el núcleo.
- En los bobinados tenemos pérdidas por la resistividad de los conductores y pérdidas por los flujos que se producen en las bobinas, pero que no hacen sus recorridos dentro del material (flujos de dispersión o  $\Phi_d$ ).



- El transformador monofásico real presentará pérdidas de energía.
- Hay pérdidas en los bobinados y también en el núcleo.
- En los bobinados tenemos pérdidas por la resistividad de los conductores y pérdidas por los flujos que se producen en las bobinas, pero que no hacen sus recorridos dentro del material (flujos de dispersión o  $\Phi_d$ ).
- En el núcleo habrá pérdidas por corrientes parásitas y por histéresis.

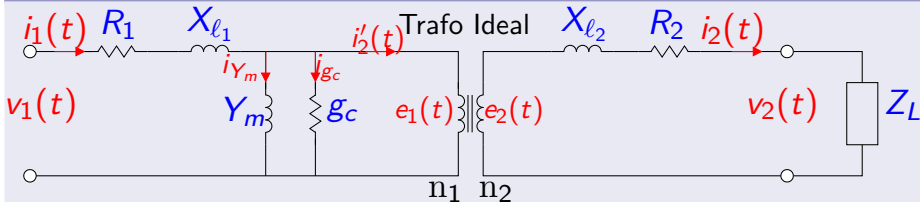


## CIRCUITO EQUIVALENTE CON CARGA



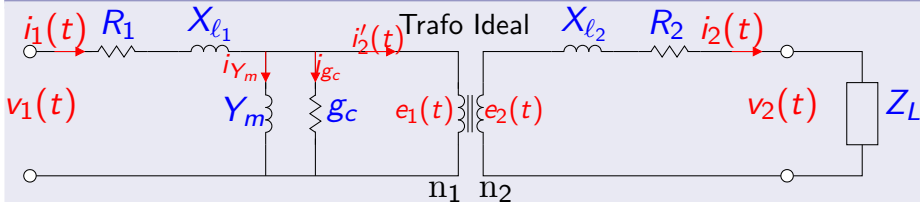
- El transformador se puede modelar con el circuito mostrado.

## CIRCUITO EQUIVALENTE CON CARGA



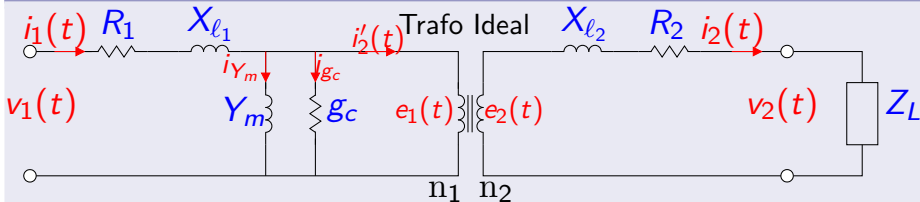
- El transformador se puede modelar con el circuito mostrado.
- Las resistencias del primario y secundario ( $R_1$  y  $R_2$ ) representan la resistividad de dichos bobinados.

## CIRCUITO EQUIVALENTE CON CARGA



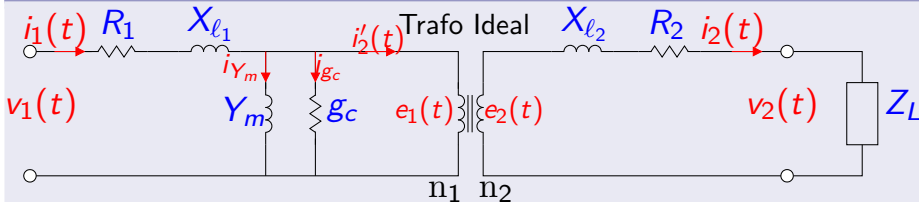
- El transformador se puede modelar con el circuito mostrado.
- Las resistencias del primario y secundario ( $R_1$  y  $R_2$ ) representan la resistividad de dichos bobinados.
- Las inductancias  $L_1$  y  $L_2$  representan los flujos de dispersión.

## CIRCUITO EQUIVALENTE CON CARGA



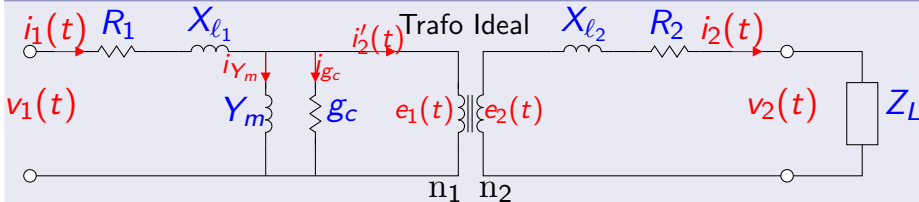
- El transformador se puede modelar con el circuito mostrado.
- Las resistencias del primario y secundario ( $R_1$  y  $R_2$ ) representan la resistividad de dichos bobinados.
- Las inductancias  $L_1$  y  $L_2$  representan los flujos de dispersión.
- Las pérdidas por corrientes parásitas se representan con la conductancia  $g_c$ .

## CIRCUITO EQUIVALENTE CON CARGA



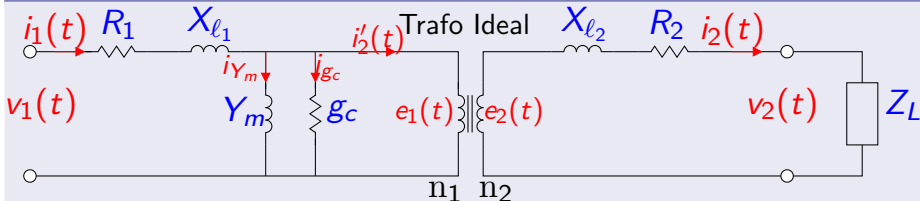
- El transformador se puede modelar con el circuito mostrado.
- Las resistencias del primario y secundario ( $R_1$  y  $R_2$ ) representan la resistividad de dichos bobinados.
- Las inductancias  $L_1$  y  $L_2$  representan los flujos de dispersión.
- Las pérdidas por corrientes parásitas se representan con la conductancia  $g_c$ .
- Las pérdidas por el efecto de histéresis se representan con la admitancia  $Y_m$ .

## CIRCUITO EQUIVALENTE CON CARGA



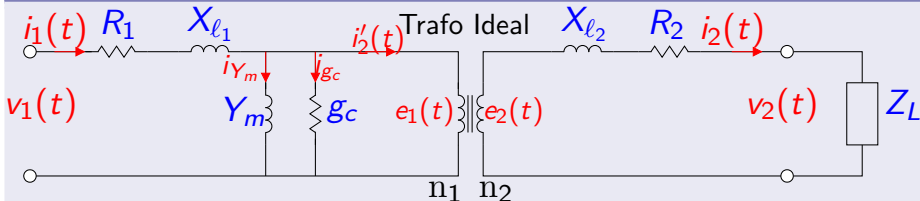
- El transformador se puede modelar con el circuito mostrado.
- Las resistencias del primario y secundario ( $R_1$  y  $R_2$ ) representan la resistividad de dichos bobinados.
- Las inductancias  $L_1$  y  $L_2$  representan los flujos de dispersión.
- Las pérdidas por corrientes parásitas se representan con la conductancia  $g_c$ .
- Las pérdidas por el efecto de histéresis se representan con la admitancia  $Y_m$ .
- Veamos qué sucede cuando se le conecta una carga en el secundario.

## CIRCUITO EQUIVALENTE CON CARGA



- Tenemos una carga conectada al transformador.

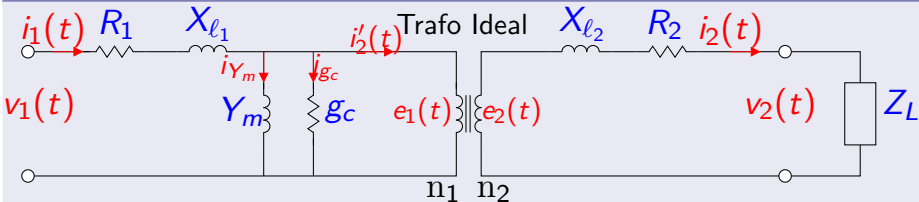
## CIRCUITO EQUIVALENTE CON CARGA



- Tenemos una carga conectada al transformador.
- Dicha carga es la impedancia  $Z_L$ .

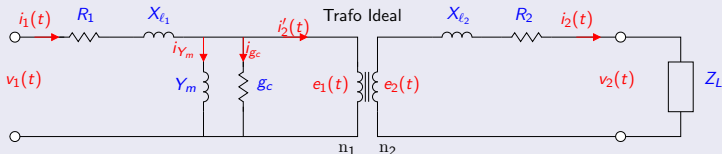


## CIRCUITO EQUIVALENTE CON CARGA



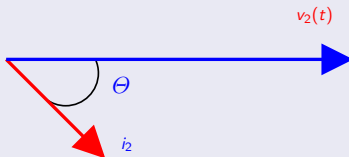
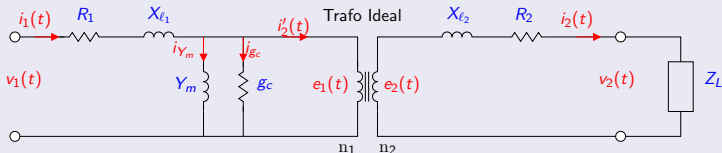
- Tenemos una carga conectada al transformador.
- Dicha carga es la impedancia  $Z_L$ .
- El transformador tiene una relación de  $a = \frac{e_1}{e_2}$

## Diagramas fasoriales



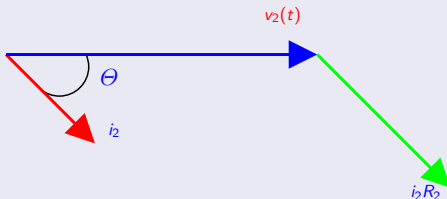
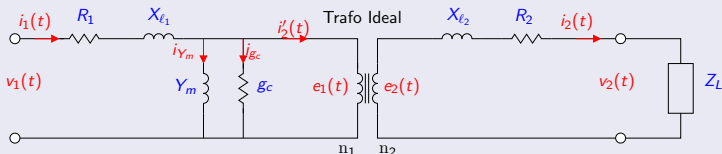
- Se dibujan los fasores  $v_2(t)$  e  $i_2(t)$ .

## Diagramas fasoriales



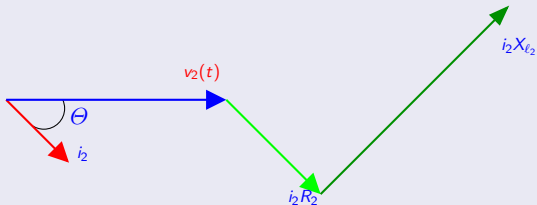
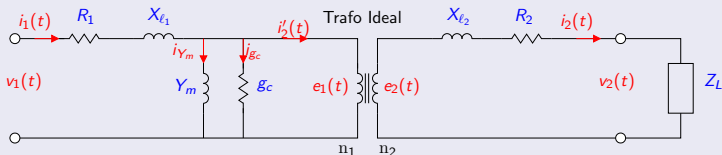
- Se dibujan los fasores  $v_2(t)$  e  $i_2(t)$ .
- El desfase entre ambos es  $\Theta$ .

# Diagramas fasoriales



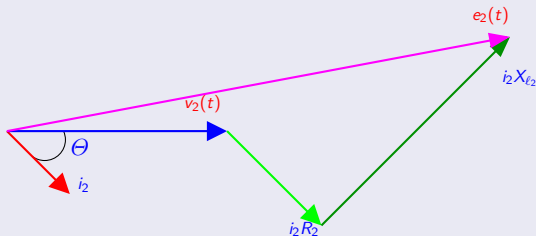
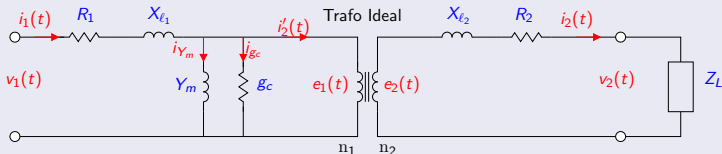
- Se dibujan los fasores  $v_2(t)$  e  $i_2(t)$ .
- El desfase entre ambos es  $\Theta$ .
- Luego se dibujan las caídas de tensión.

# Diagramas fasoriales



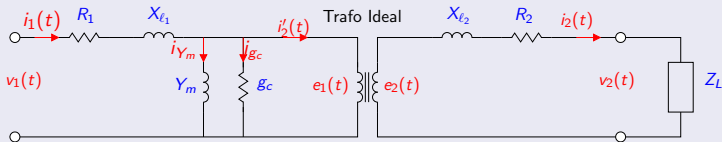
- Se dibujan los fasores  $v_2(t)$  e  $i_2(t)$ .
- El desfase entre ambos es  $\Theta$ .
- Luego se dibujan las caídas de tensión.

## Diagramas fasoriales



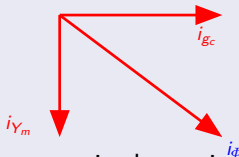
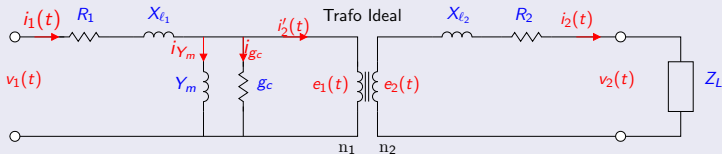
- Se dibujan los fasores  $v_2(t)$  e  $i_2(t)$ .
- El desfase entre ambos es  $\theta$ .
- Luego se dibujan las caídas de tensión.
- Por último, se dibuja el fasor  $e_2(t)$ .

## Diagramas fasoriales, continuación



- Se hará primero una sumatoria <sup>$n_1$</sup>  de corrientes en el núcleo.

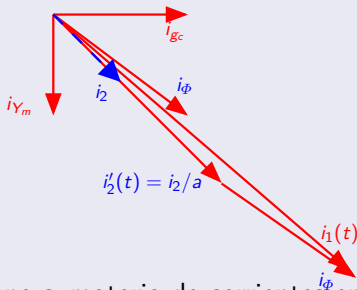
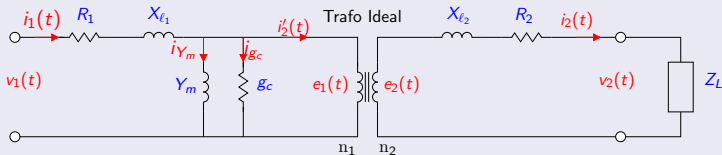
## Diagramas fasoriales, continuación



- Se hará primero una sumatoria de corrientes en el núcleo.
- Dichas corrientes son  $i_{Y_m}$ ,  $i_{g_c}$ ,  $i_{\phi}$  e  $i_2'$ .

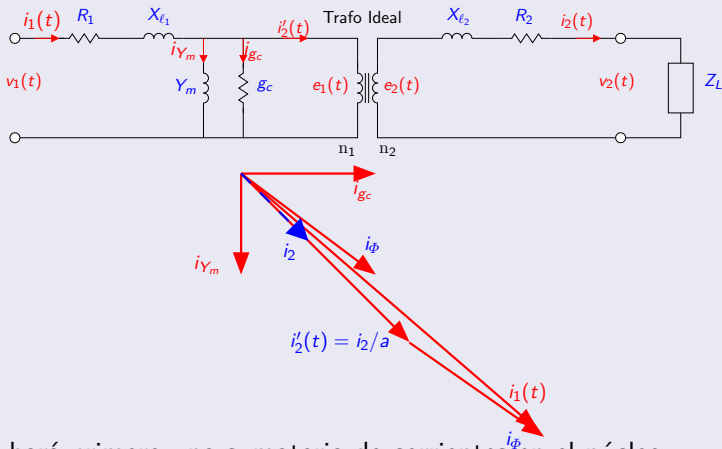


## Diagramas fasoriales, continuación



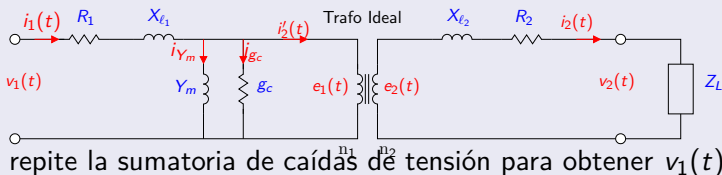
- Se hará primero una sumatoria de corrientes en el núcleo.
- Dichas corrientes son  $i_{Y_m}$ ,  $i_{g_c}$ ,  $i_{\Phi}$  e  $i'_2$ .
- La corriente  $i'_2$  tiene el mismo desfase que  $i_2$ .

## Diagramas fasoriales, continuación



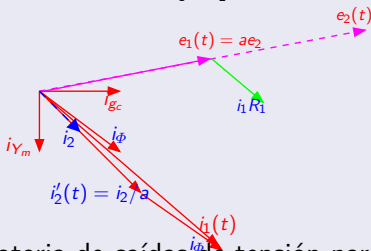
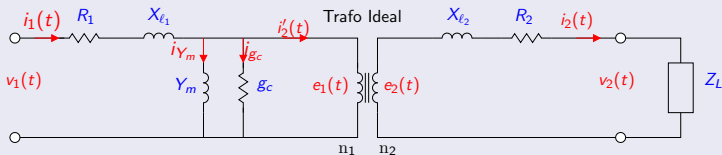
- Se hará primero una sumatoria de corrientes en el núcleo.
- Dichas corrientes son  $i_{Y_m}$ ,  $i_{g_c}$ ,  $i_\Phi$  e  $i'_2$ .
- La corriente  $i'_2$  tiene el mismo desfase que  $i_2$ .
- El resultado de esta sumatoria sería  $i_1(t)$ .

## Diagramas fasoriales, continuación



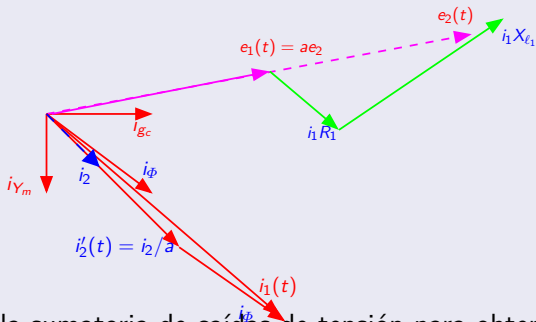
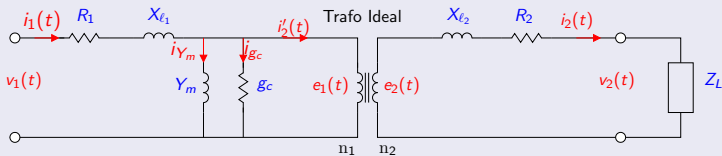
- Se repite la sumatoria de caídas de tensión para obtener  $v_1(t)$ .

## Diagramas fasoriales, continuación



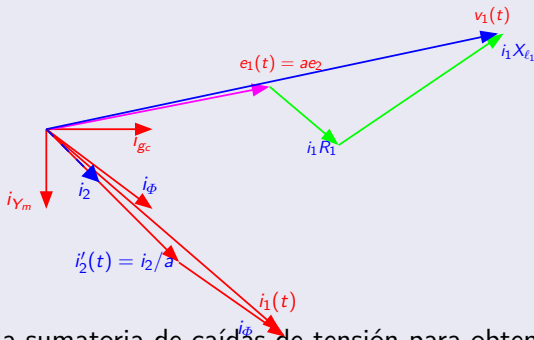
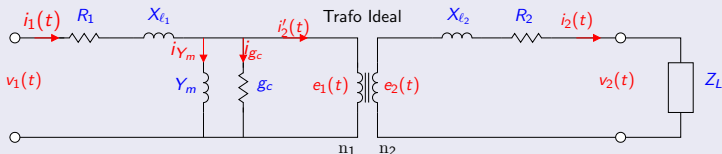
- Se repite la sumatoria de caídas de tensión para obtener  $v_1(t)$ .

## Diagramas fasoriales, continuación



- Se repite la sumatoria de caídas de tensión para obtener  $v_1(t)$ .

## Diagramas fasoriales, continuación



- Se repite la sumatoria de caídas de tensión para obtener  $v_1(t)$ .

## DETERMINACIÓN DE LAS PRUEBAS

- Se ha analizado, hasta el momento, la utilidad del circuito equivalente del transformador monofásico.

## DETERMINACIÓN DE LAS PRUEBAS

- Se ha analizado, hasta el momento, la utilidad del circuito equivalente del transformador monofásico.
- Para poder desarrollar simulaciones, tanto matemáticas como mediante circuitos eléctricos, es necesario conocer los valores de los elementos pasivos que representan a esta máquina.



## DETERMINACIÓN DE LAS PRUEBAS

- Se ha analizado, hasta el momento, la utilidad del circuito equivalente del transformador monofásico.
- Para poder desarrollar simulaciones, tanto matemáticas como mediante circuitos eléctricos, es necesario conocer los valores de los elementos pasivos que representan a esta máquina.
- En ambos casos, matemática o circuitos, el transformador ideal se puede sustituir mediante el parámetro de la relación de transformación. Con ello se obtiene una muy buena aproximación.

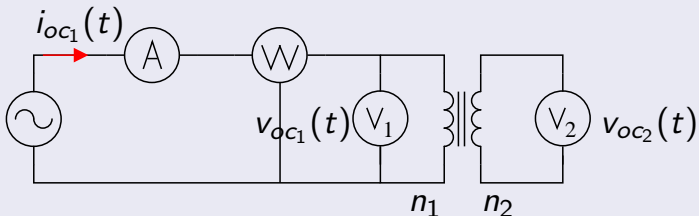
## DETERMINACIÓN DE LAS PRUEBAS

- Se ha analizado, hasta el momento, la utilidad del circuito equivalente del transformador monofásico.
- Para poder desarrollar simulaciones, tanto matemáticas como mediante circuitos eléctricos, es necesario conocer los valores de los elementos pasivos que representan a esta máquina.
- En ambos casos, matemática o circuitos, el transformador ideal se puede sustituir mediante el parámetro de la relación de transformación. Con ello se obtiene una muy buena aproximación.
- Hay dos tipos de pruebas que permiten encontrar los para el circuito equivalente: de corto circuito y circuito abierto.

## DETERMINACIÓN DE LAS PRUEBAS

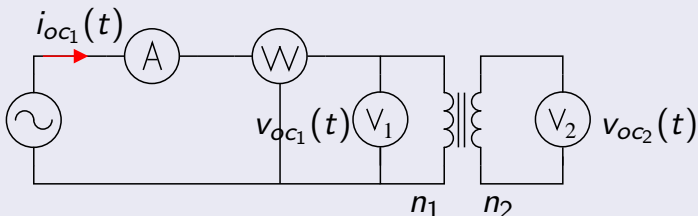
- Se ha analizado, hasta el momento, la utilidad del circuito equivalente del transformador monofásico.
- Para poder desarrollar simulaciones, tanto matemáticas como mediante circuitos eléctricos, es necesario conocer los valores de los elementos pasivos que representan a esta máquina.
- En ambos casos, matemática o circuitos, el transformador ideal se puede sustituir mediante el parámetro de la relación de transformación. Con ello se obtiene una muy buena aproximación.
- Hay dos tipos de pruebas que permiten encontrar los para el circuito equivalente: de corto circuito y circuito abierto.
- Vamos a plantear ambas pruebas.

## PRUEBA DE CIRCUITO ABIERTO



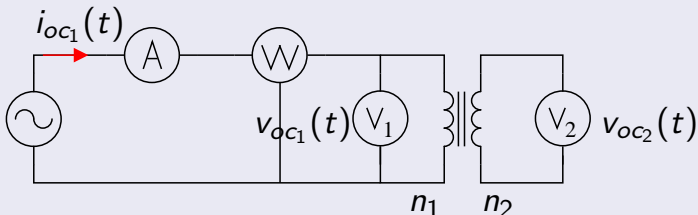
- En la prueba de circuito abierto (OC), se debe colocar un amperímetro, un vatímetro y un voltímetro, todos en el primario, así como un voltímetro en el secundario.

## PRUEBA DE CIRCUITO ABIERTO



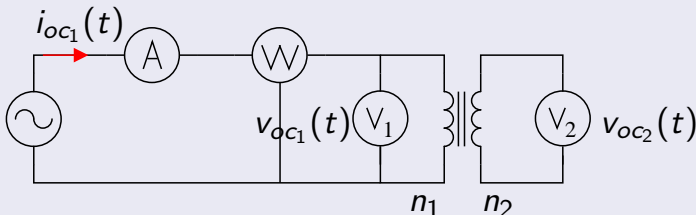
- En la prueba de circuito abierto (OC), se debe colocar un amperímetro, un vatímetro y un voltímetro, todos en el primario, así como un voltímetro en el secundario.
- Se aplicará el voltaje **nominal** al primario.

## PRUEBA DE CIRCUITO ABIERTO



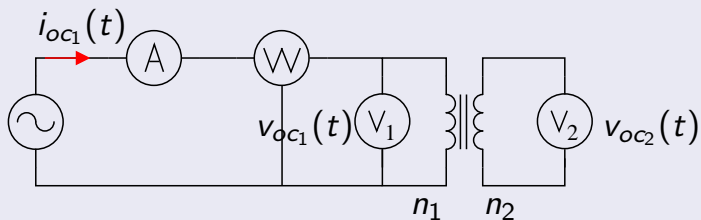
- En la prueba de circuito abierto (OC), se debe colocar un amperímetro, un vatímetro y un voltímetro, todos en el primario, así como un voltímetro en el secundario.
- Se aplicará el voltaje **nominal** al primario.
- Al estar el transformador sin carga, la potencia que se mida será la correspondiente a la necesaria para establecer un campo magnético dentro del núcleo.

## PRUEBA DE CIRCUITO ABIERTO



- En la prueba de circuito abierto (OC), se debe colocar un amperímetro, un vatímetro y un voltímetro, todos en el primario, así como un voltímetro en el secundario.
- Se aplicará el voltaje **nominal** al primario.
- Al estar el transformador sin carga, la potencia que se mida será la correspondiente a la necesaria para establecer un campo magnético dentro del núcleo.
- Por lo tanto, se estarán determinando los parámetros de pérdidas en el núcleo, a saber  $b_m$  y  $g_c$ .

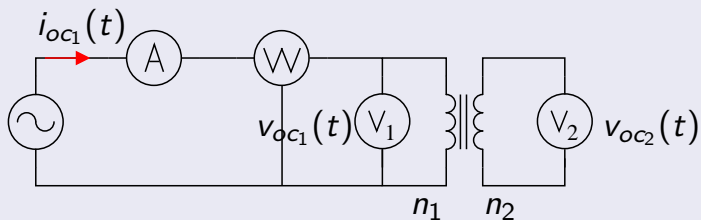
## PRUEBA DE CIRCUITO ABIERTO, continuación



- Con los valores medidos con la instrumentación, se tendrá que:

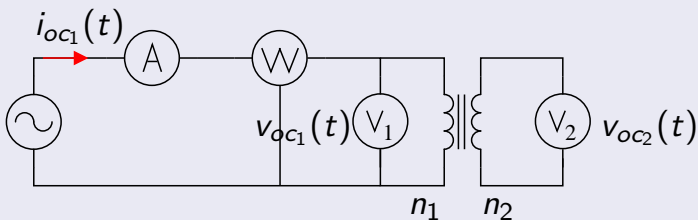


## PRUEBA DE CIRCUITO ABIERTO, continuación



- Con los valores medidos con la instrumentación, se tendrá que:

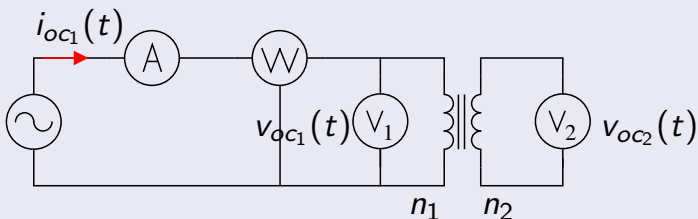
## PRUEBA DE CIRCUITO ABIERTO, continuación



- Con los valores medidos con la instrumentación, se tendrá que:

$$y_{oc} = \frac{i_{oc1}(t)}{v_{oc1}(t)}$$

## PRUEBA DE CIRCUITO ABIERTO, continuación

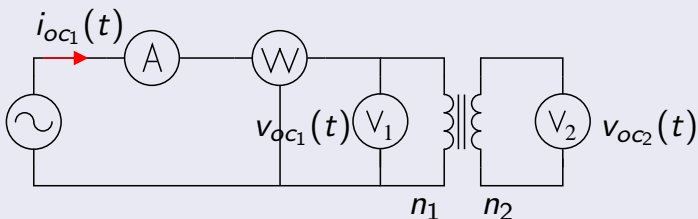


- Con los valores medidos con la instrumentación, se tendrá que:

$$y_{oc} = \frac{i_{oc1}(t)}{v_{oc1}(t)}$$

- Donde la admitancia  $y_{oc} = g_c + jb_m$ . Por otro lado:

## PRUEBA DE CIRCUITO ABIERTO, continuación

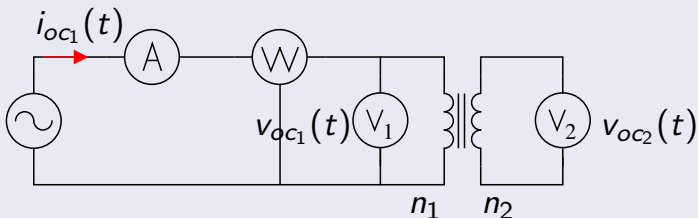


- Con los valores medidos con la instrumentación, se tendrá que:

$$y_{oc} = \frac{i_{oc1}(t)}{v_{oc1}(t)}$$

- Donde la admitancia  $y_{oc} = g_c + jb_m$ . Por otro lado:

## PRUEBA DE CIRCUITO ABIERTO, continuación



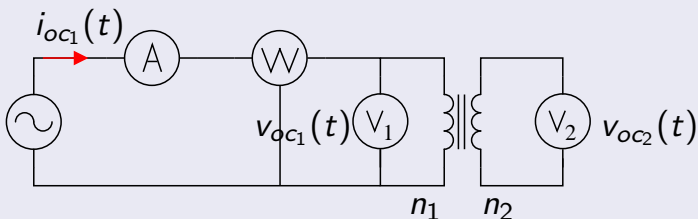
- Con los valores medidos con la instrumentación, se tendrá que:

$$y_{oc} = \frac{i_{oc1}(t)}{v_{oc1}(t)}$$

- Donde la admitancia  $y_{oc} = g_c + jb_m$ . Por otro lado:

$$g_c = \frac{p_{oc1}(t)}{v_{oc1}^2(t)}$$

## PRUEBA DE CIRCUITO ABIERTO, continuación



- Con los valores medidos con la instrumentación, se tendrá que:

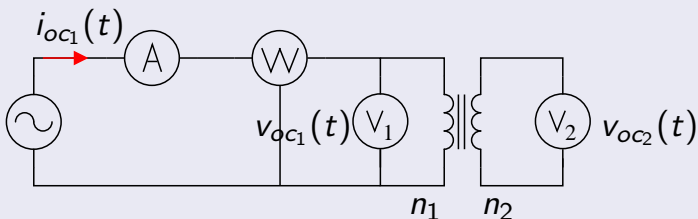
$$y_{oc} = \frac{i_{oc1}(t)}{v_{oc1}(t)}$$

- Donde la admitancia  $y_{oc} = g_c + jb_m$ . Por otro lado:

$$g_c = \frac{p_{oc1}(t)}{v_{oc1}^2(t)}$$

- Y tendríamos que  $b_m = -\sqrt{y_{oc}^2 - g_c^2}$ .

## PRUEBA DE CIRCUITO ABIERTO, continuación



- Con los valores medidos con la instrumentación, se tendrá que:

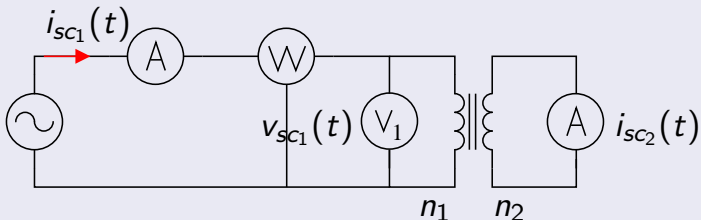
$$y_{oc} = \frac{i_{oc1}(t)}{v_{oc1}(t)}$$

- Donde la admitancia  $y_{oc} = g_c + jb_m$ . Por otro lado:

$$g_c = \frac{p_{oc1}(t)}{v_{oc1}^2(t)}$$

- Y tendríamos que  $b_m = -\sqrt{y_{oc}^2 - g_c^2}$ .
- ¿Qué representa el signo negativo?

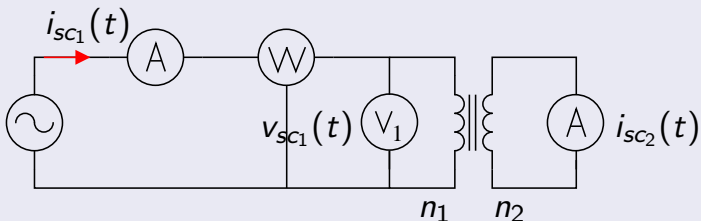
## PRUEBA DE CORTO CIRCUITO



- En esta prueba (SC), se colocan un amperímetro, un vatímetro y un voltímetro en el primario, y un amperímetro en el secundario.

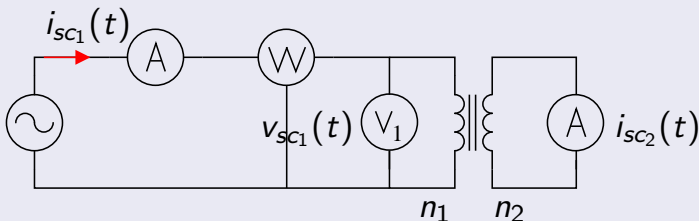


## PRUEBA DE CORTO CIRCUITO



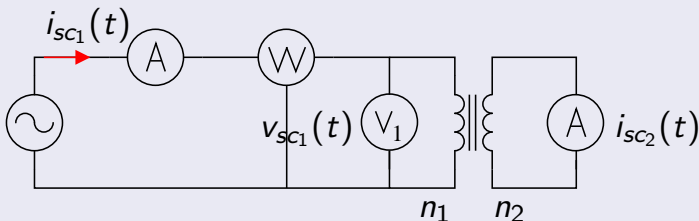
- En esta prueba (SC), se colocan un amperímetro, un vatímetro y un voltímetro en el primario, y un amperímetro en el secundario.
- Se aplicará una corriente tal en el primario, que produzca en el secundario la corriente **nominal**.

## PRUEBA DE CORTO CIRCUITO



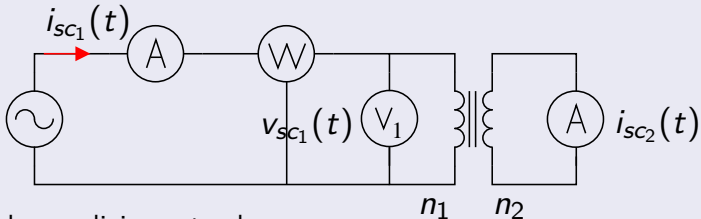
- En esta prueba (SC), se colocan un amperímetro, un vatímetro y un voltímetro en el primario, y un amperímetro en el secundario.
- Se aplicará una corriente tal en el primario, que produzca en el secundario la corriente **nominal**.
- El transformador estará con la carga máxima, por lo que se necesitará una tensión de poca magnitud, provocando que el efecto de pérdidas en el núcleo sean despreciables.

## PRUEBA DE CORTO CIRCUITO



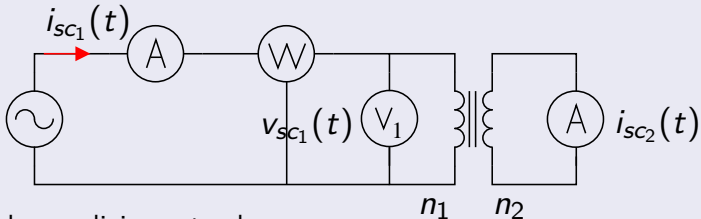
- En esta prueba (SC), se colocan un amperímetro, un vatímetro y un voltímetro en el primario, y un amperímetro en el secundario.
- Se aplicará una corriente tal en el primario, que produzca en el secundario la corriente **nominal**.
- El transformador estará con la carga máxima, por lo que se necesitará una tensión de poca magnitud, provocando que el efecto de pérdidas en el núcleo sean despreciables.
- De esta forma se podrán determinar los parámetros de ambos bobinados, a saber, resistencia de los conductores y reluctancias de dispersión.

## PRUEBA DE CORTO CIRCUITO, continuación



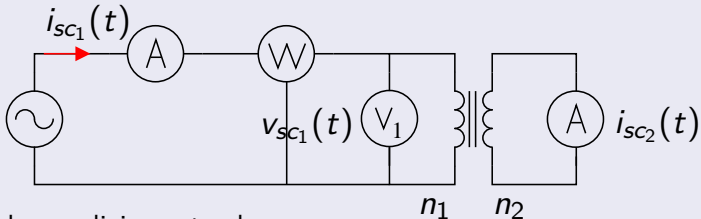
- Con las mediciones tendremos:

## PRUEBA DE CORTO CIRCUITO, continuación



- Con las mediciones tendremos:

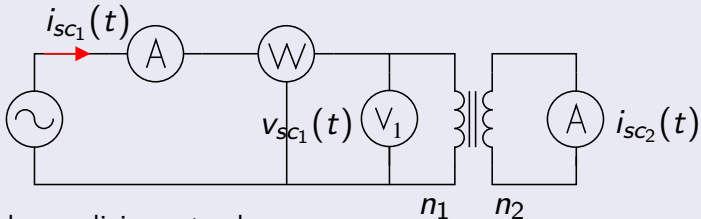
## PRUEBA DE CORTO CIRCUITO, continuación



- Con las mediciones tendremos:

$$Z_{eq1} = \frac{v_{sc1}(t)}{i_{sc1}(t)}$$

## PRUEBA DE CORTO CIRCUITO, continuación

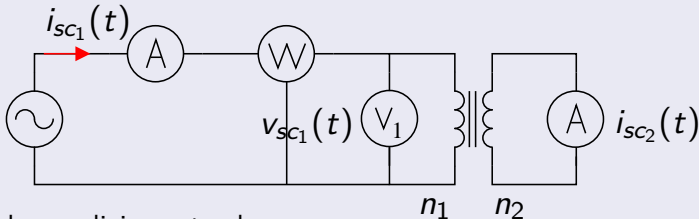


- Con las mediciones tendremos:

$$Z_{eq1} = \frac{v_{sc1}(t)}{i_{sc1}(t)}$$

$$R_{eq1} = \frac{p_{sc1}(t)}{i_{sc1}^2(t)}$$

## PRUEBA DE CORTO CIRCUITO, continuación



- Con las mediciones tendremos:

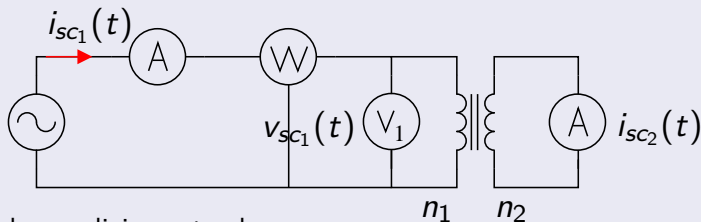
$$Z_{eq1} = \frac{v_{sc1}(t)}{i_{sc1}(t)}$$

$$R_{eq1} = \frac{p_{sc1}(t)}{i_{sc1}^2(t)}$$

$$X_{eq1} = \sqrt{Z_{eq1}^2 - R_{eq1}^2}$$



## PRUEBA DE CORTO CIRCUITO, continuación



- Con las mediciones tendremos:

$$Z_{eq1} = \frac{v_{sc1}(t)}{i_{sc1}(t)}$$

$$R_{eq1} = \frac{p_{sc1}(t)}{i_{sc1}^2(t)}$$

$$X_{eq1} = \sqrt{Z_{eq1}^2 - R_{eq1}^2}$$

- Y realizando aproximaciones, se tendría que:  $R_1 = \frac{R_{eq1}}{2}$ ,  $R_2 = \frac{R_{eq1}}{2a^2}$ ,  
 $X_{\ell_1} = \frac{X_{eq1}}{2}$  y  $X_{\ell_2} = \frac{X_{eq1}}{2a^2}$ .

## EJERCICIO 1

- Se tienen los siguientes datos, tomados todos en el primario. Asuma una relación de transformación  $a = 2$ .

Parámetro	Prueba OC	Prueba SC
$V_1$	230 V	13,2 V
$I_1$	0,45 A	6 A
$P_1$	30 W	20,1 W

## EJERCICIO 1

- Se tienen los siguientes datos, tomados todos en el primario. Asuma una relación de transformación  $a = 2$ .

Parámetro	Prueba OC	Prueba SC
$V_1$	230 V	13,2 V
$I_1$	0,45 A	6 A
$P_1$	30 W	20,1 W

- $R_1 = 0,279 \Omega$ ,  $R_2 = 0,0698 \Omega$ ,  $X_{\ell_1} = 1,064 \Omega$ ,  $X_{\ell_2} = 0,266 \Omega$ .

## EJERCICIO 1

- Se tienen los siguientes datos, tomados todos en el primario. Asuma una relación de transformación  $a = 2$ .

Parámetro	Prueba OC	Prueba SC
$V_1$	230 V	13,2 V
$I_1$	0,45 A	6 A
$P_1$	30 W	20,1 W

- $R_1 = 0,279 \Omega$ ,  $R_2 = 0,0698 \Omega$ ,  $X_{\ell_1} = 1,064 \Omega$ ,  $X_{\ell_2} = 0,266 \Omega$ .
- $g_c = 0,567 \times 10^{-3} \text{ S}$ ,  $b_m = -1,87 \times 10^{-3} \text{ S}$ .

## EJERCICIO 2

Encuentre la magnitud y fase de  $I_1$  y  $V_1$  para los siguientes tipos de carga:

- Una resistencia
- Una resistencia y una inductancia
- Una resistencia y una capacitancia

Asuma una tensión  $V_2 = 85\angle 0^\circ \text{ V}$ .

### EJERCICIO 3

- Se hicieron las siguientes mediciones desde el primario:

Parámetro	Prueba OC	Prueba SC
$V_1$	110,5 V	30,9 V
$I_1$	18,49 mA	12,393 mA
$P_1$	1,1 W	0,9 W
$V_2$	10,3 V	
$I_2$		111,15 mA

### EJERCICIO 3

- Se hicieron las siguientes mediciones desde el primario:

Parámetro	Prueba OC	Prueba SC
$V_1$	110,5 V	30,9 V
$I_1$	18,49 mA	12,393 mA
$P_1$	1,1 W	0,9 W
$V_2$	10,3 V	
$I_2$		111,15 mA

- Calcule los parámetros del transformador.

### EJERCICIO 3

- Se hicieron las siguientes mediciones desde el primario:

Parámetro	Prueba OC	Prueba SC
$V_1$	110,5 V	30,9 V
$I_1$	18,49 mA	12,393 mA
$P_1$	1,1 W	0,9 W
$V_2$	10,3 V	
$I_2$		111,15 mA

- Calcule los parámetros del transformador.
- Para una carga de  $R_L = 95 \Omega$ , y  $V_L = 10 \text{ V}$ , calcule  $V_1$ ,  $I_1$  (magnitud y fase) y la eficiencia para esta carga.



### EJERCICIO 3

- Se hicieron las siguientes mediciones desde el primario:

Parámetro	Prueba OC	Prueba SC
$V_1$	110,5 V	30,9 V
$I_1$	18,49 mA	12,393 mA
$P_1$	1,1 W	0,9 W
$V_2$	10,3 V	
$I_2$		111,15 mA

- Calcule los parámetros del transformador.
- Para una carga de  $R_L = 95 \Omega$ , y  $V_L = 10 \text{ V}$ , calcule  $V_1$ ,  $I_1$  (magnitud y fase) y la eficiencia para esta carga.
- $R_1 = 36,425 \Omega$ ,  $R_2 = 233,12 \text{ m}\Omega$ ,  $X_{\ell_1} = 1,246 \Omega$ ,  $X_{\ell_2} = 7,9744 \Omega$ .

### EJERCICIO 3

- Se hicieron las siguientes mediciones desde el primario:

Parámetro	Prueba OC	Prueba SC
$V_1$	110,5 V	30,9 V
$I_1$	18,49 mA	12,393 mA
$P_1$	1,1 W	0,9 W
$V_2$	10,3 V	
$I_2$		111,15 mA

- Calcule los parámetros del transformador.
- Para una carga de  $R_L = 95 \Omega$ , y  $V_L = 10 \text{ V}$ , calcule  $V_1$ ,  $I_1$  (magnitud y fase) y la eficiencia para esta carga.
- $R_1 = 36,425 \Omega$ ,  $R_2 = 233,12 \text{ m}\Omega$ ,  $X_{\ell_1} = 1,246 \Omega$ ,  $X_{\ell_2} = 7,9744 \Omega$ .
- $R_c = 11,1 \text{ k}\Omega$ ,  $X_m = 7,11 \text{ k}\Omega$ .

**¡Muchas Gracias!**

