



# Optimización de Sistemas de Transferencia por Inducción

Oscar García-Izquierdo Gango

Benjamín Ivorra/Miriam Ruiz Ferrández

31 de Julio de 2020



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

| [uma.es](http://uma.es)



# Índice

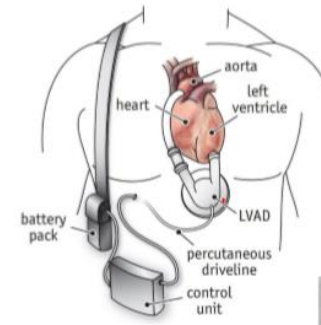
- Introducción
- Sistema Inductor
- Sistema de Pérdidas
- Sistema Electrónico
- Algoritmo Genético
- Resultados
- Conclusiones

# Introducción

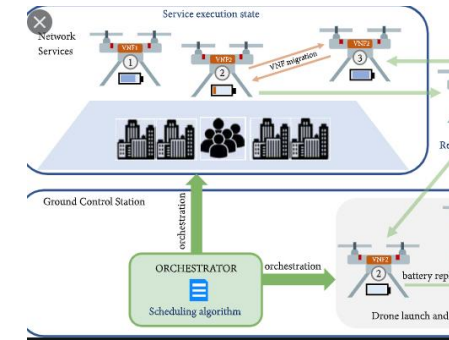
## Usos domésticos



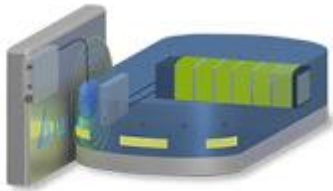
## Usos médicos



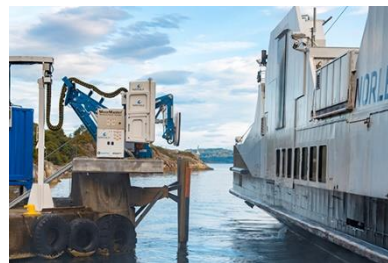
## Usos en drones



## Usos en robótica



## Usos naval

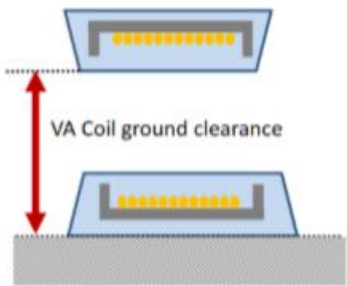


## Usos VE

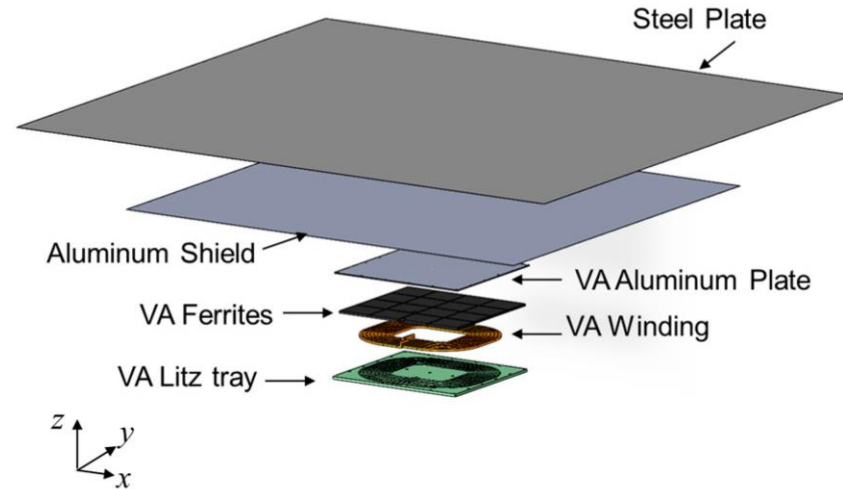
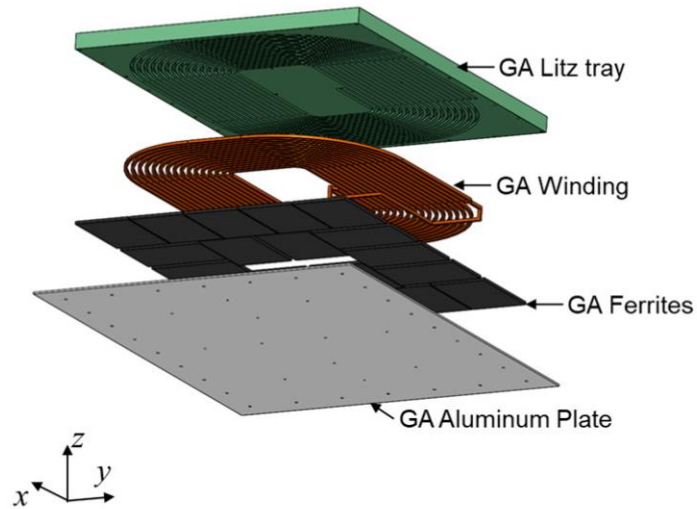


# Introducción

NORMATIVA		
SAE J2954/IEC 62196 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Define una frecuencia de trabajo de 85 kHz.</li> <li>• Mínima eficiencia 85%</li> </ul>	POTENCIA DE CARGA	3,7 kW (WPT1)
		7,7 kW (WPT2)
	11 kW (WPT3)	
	22 kW (WPT4: sin definir de momento)	
DISTANCIA ENTRE BOBINAS	Z1 → 100-150 mm.	
	Z2 → 140-210 mm.	
	Z3 → 170-250 mm.	



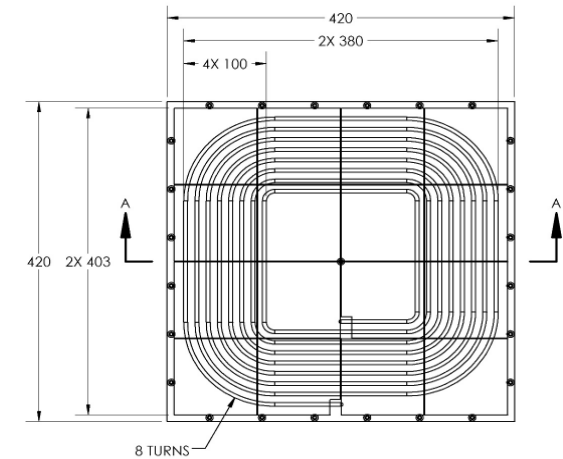
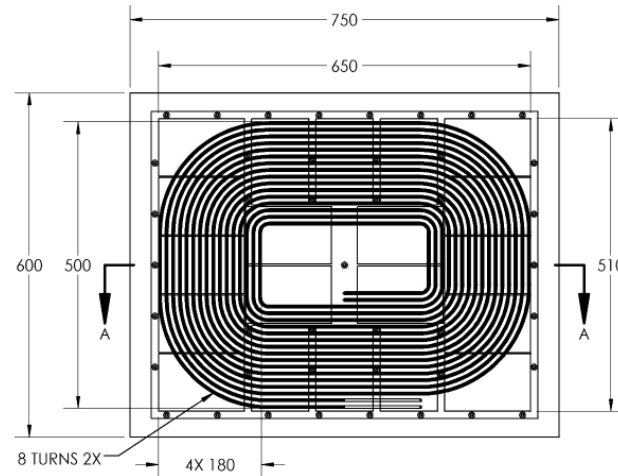
# Sistema Inductor



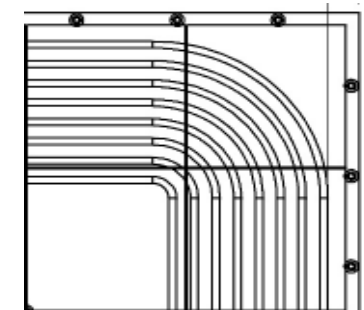
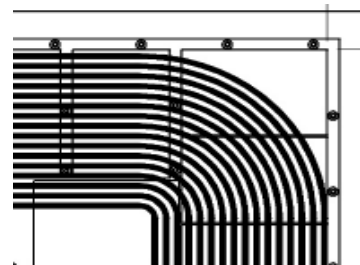
- Bobinado: El bobinado está formado por cable de Litz.
- Concentradores de flujo: Es un material con una permeabilidad relativa muy alta.
- Apantallamiento: Se trata de un material conductor generalmente se usa un aluminio.

# Sistema Inductor

- Modelo a optimizar WPT3 Z3



- Debido a las simetrías del sistema se va a modelar únicamente una cuarta parte del sistema. Con ello se pretende optimizar el tiempo de computo del sistema



# Sistema Inductor

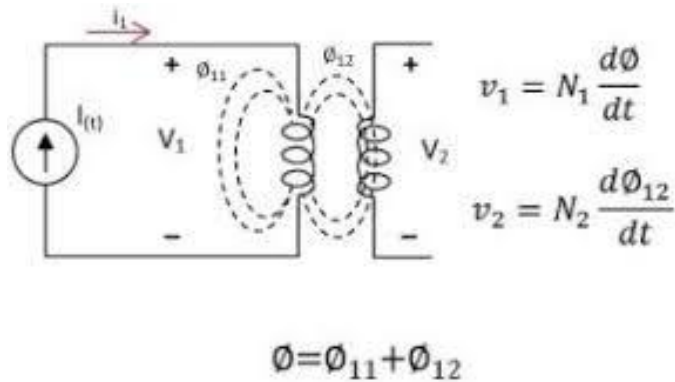
- Propiedades Físicas

Material	Conductividad [S/m]	Permeabilidad relativa	Permetividad relativa
Bobinado	5,8E7	1	1
Ferrita	5	2000	1
Aluminio	3,7E7	1	1
Aire	0,2	1	1

Mejora la convergencia

# Sistema Inductor

- Sistema equivalente



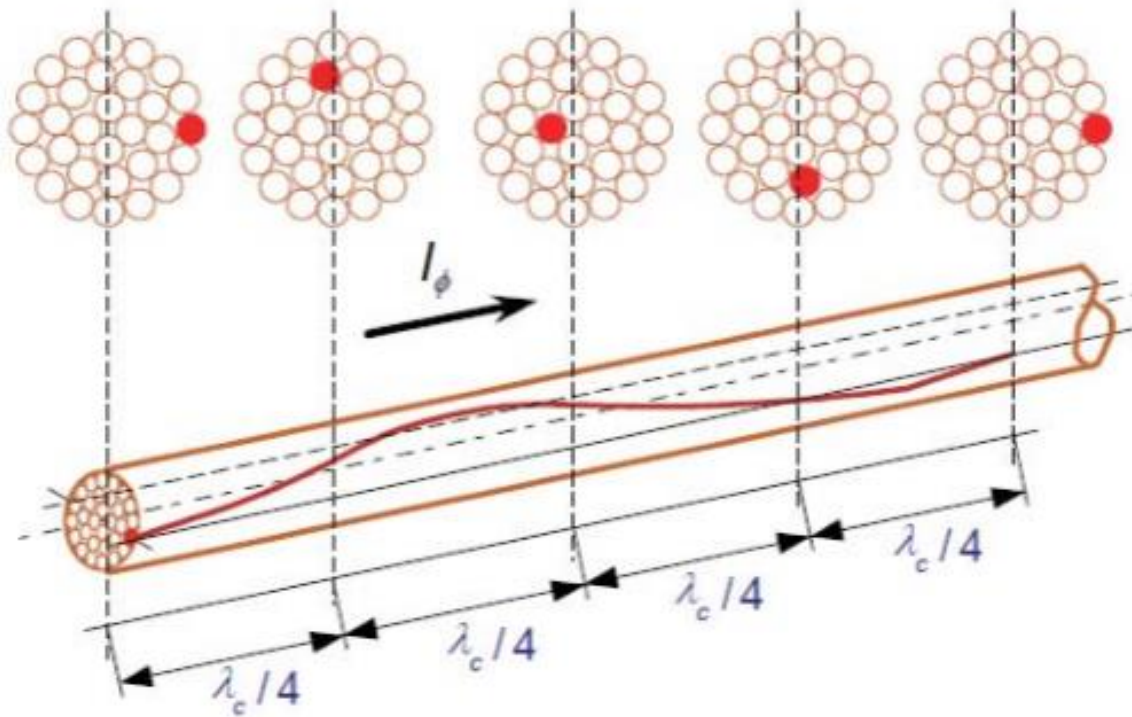
$$\begin{pmatrix} V_i(\omega) \\ V_j(\omega) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_{ii}(\omega) & Z_{ij}(\omega) \\ Z_{ji}(\omega) & Z_{jj}(\omega) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_i(\omega) \\ I_j(\omega) \end{pmatrix}$$

$$M(\omega)_{ij} = \text{imag} \left( \frac{V_j(\omega)}{\omega I_i} \right) \quad \color{red}{=} \quad M(\omega)_{ji} = \text{imag} \left( \frac{V_i(\omega)}{\omega I_j} \right)$$

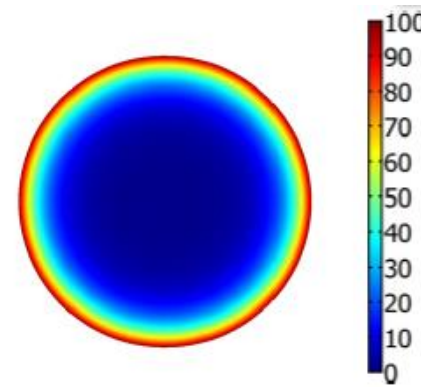
$$k = \frac{M(\omega)_{ij}}{\sqrt{L(\omega)_i L(\omega)_j}}$$



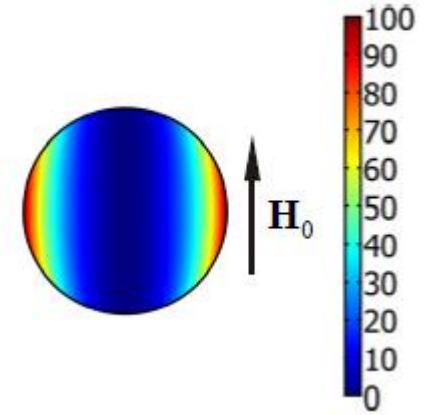
# Sistema de Pérdidas



Efecto de pelicular



Efecto de proximidad

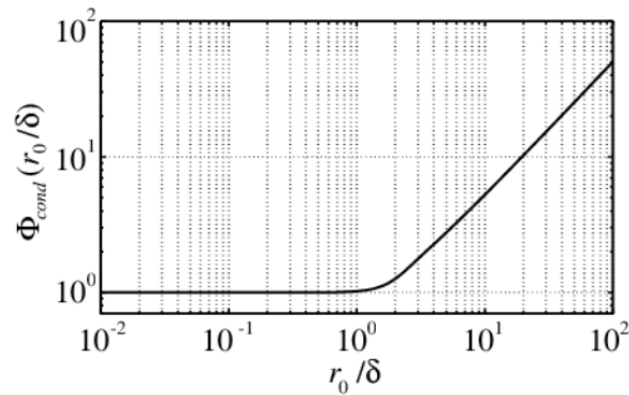


# Sistema de Pérdidas

## Pérdidas de conducción

$$R_{cond}(r_0/\delta) = \frac{1}{n_0 \pi r_0^2 \sigma} \Phi_{cond}(r_0/\delta) \frac{N}{S_{bob}} \int_{V_{bob}} dV$$

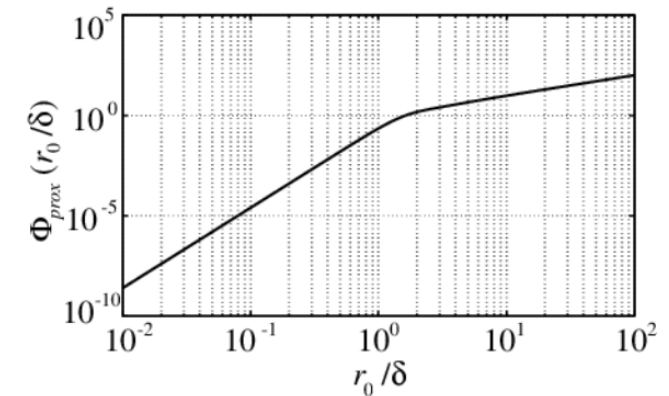
$$\Phi_{cond}(r_0/\delta) = \text{real} \left( \frac{(-1 + j)r_0/\delta}{2} \frac{J_0((-1 + j)r_0/\delta)}{J_1((-1 + j)r_0/\delta)} \right)$$



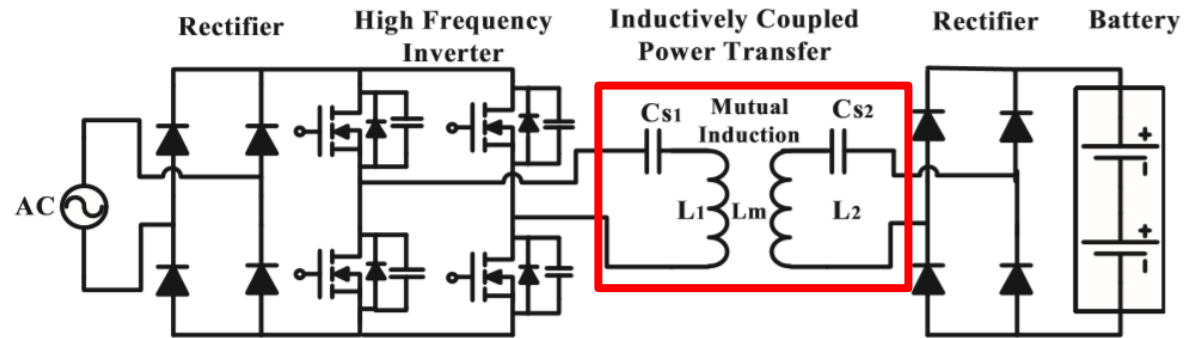
## Pérdidas de proximidad

$$R_{prox}(r_0/\delta) = \frac{4\pi}{\sigma} \Phi_{prox}(r_0/\delta) \frac{N n_0}{S_{bob}} \int_{V_{bob}} \left| \frac{\mathbf{H}_0}{I} \right|^2 dV$$

$$\Phi_{prox}(r_0/\delta) = \text{real} \left( j(r_0/\delta)^2 \frac{J_2((-1 + j)r_0/\delta)}{J_0((-1 + j)r_0/\delta)} \right)$$



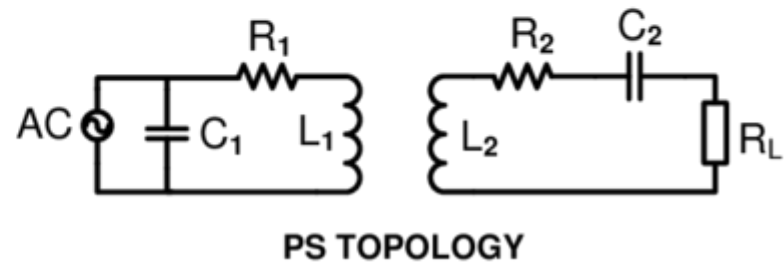
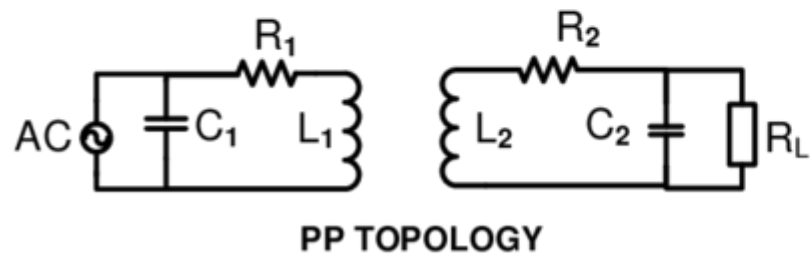
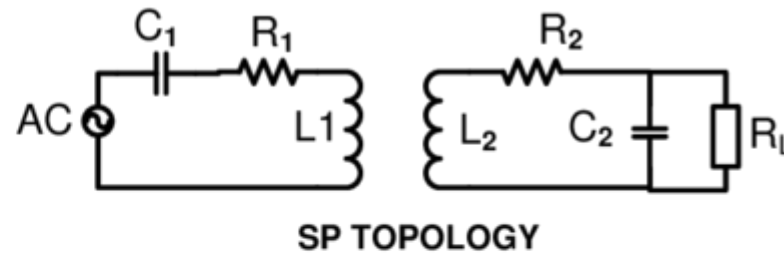
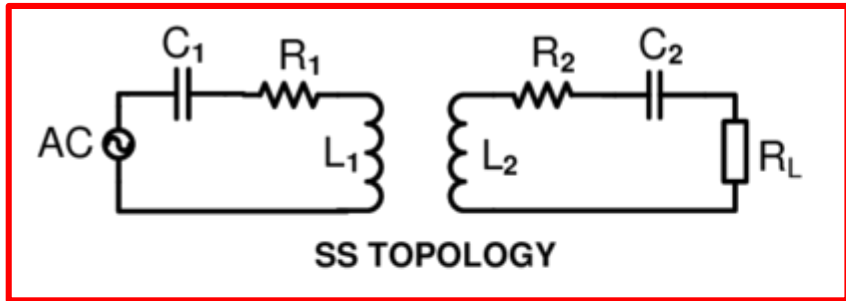
# Sistema electrónico



- Convertidor AC/DC: Esta etapa de electrónica tiene la función de convertir la tensión alterna de la red en un bus de tensión continua.
- Puente completo: El puente completo está formado por cuatro elementos semiconductores que son los encargados de producir una señal de tensión cuadrada de la misma frecuencia que la corriente que circula por el inductor.
- Convertidor AC/DC: Convierte la corriente alterna de alta frecuencia transferida al inductor en una corriente continua almacenable en las baterías.

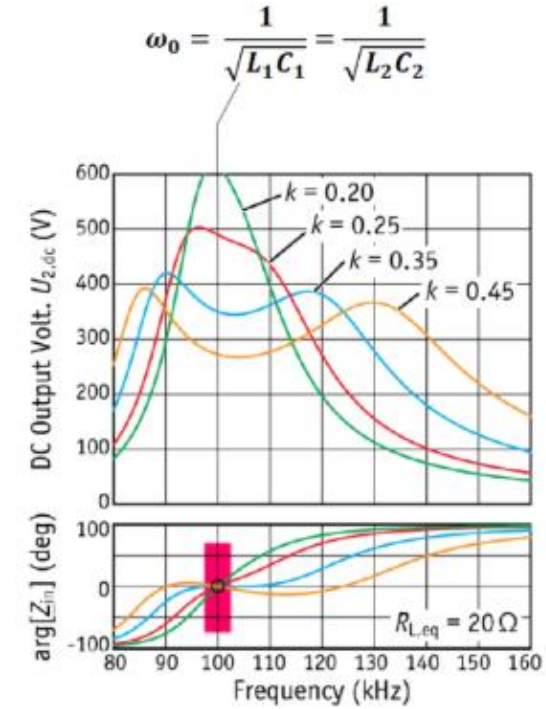
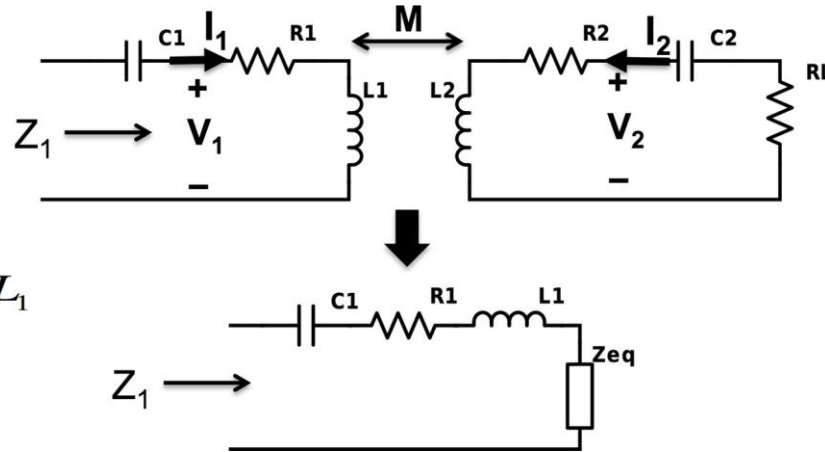
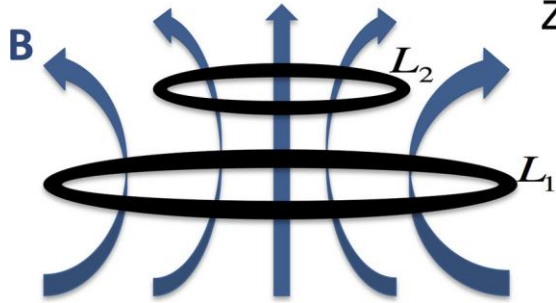
# Sistema electrónico

- Sistemas de compensación clásicos



# Sistema electrónico

- Modelado de la electrónica



$$R_L = \frac{V_L^2}{P_2} \quad , \quad C_i = \frac{1}{L_i \omega^2}$$

$$\bar{Z}_T = \left( R_1 + j \left( L_1 \omega - \frac{1}{C_1 \omega} \right) \right) + \frac{\omega^2 M^2}{R_2 + R_L + j \left( L_2 \omega - \frac{1}{C_2 \omega} \right)}$$

# Algoritmo genético

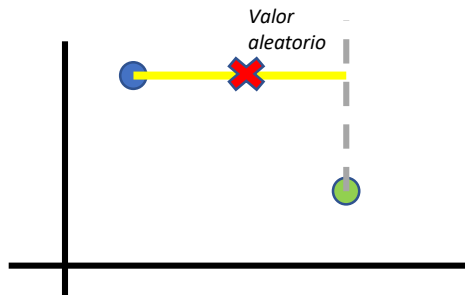
- Iniciación

$X^0 = \{x_1^0, \dots, x_{N_p}^0\}$  tal que  $x_i^0 \in \Omega, i = 1, \dots, N_p$

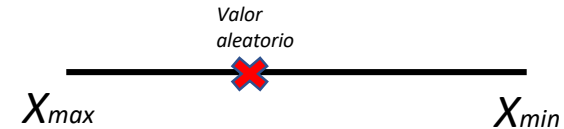
- Selección

$$p_i^n = \frac{\frac{1}{g_i^n - \min_k (g_k^2 + 1)}}{\sum_{j=1}^{N_p} \frac{1}{g_j^n - \min_k (g_k^2 + 1)}}$$

- Cruce



- Mutación



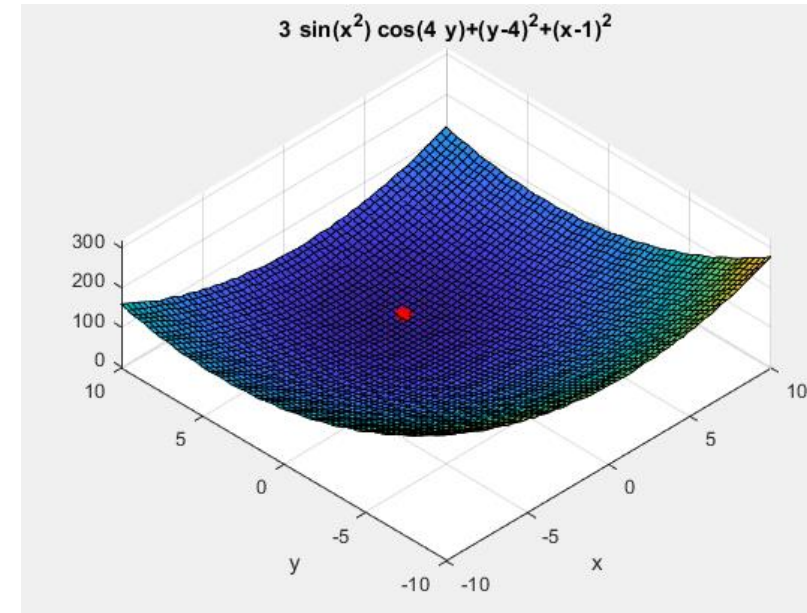
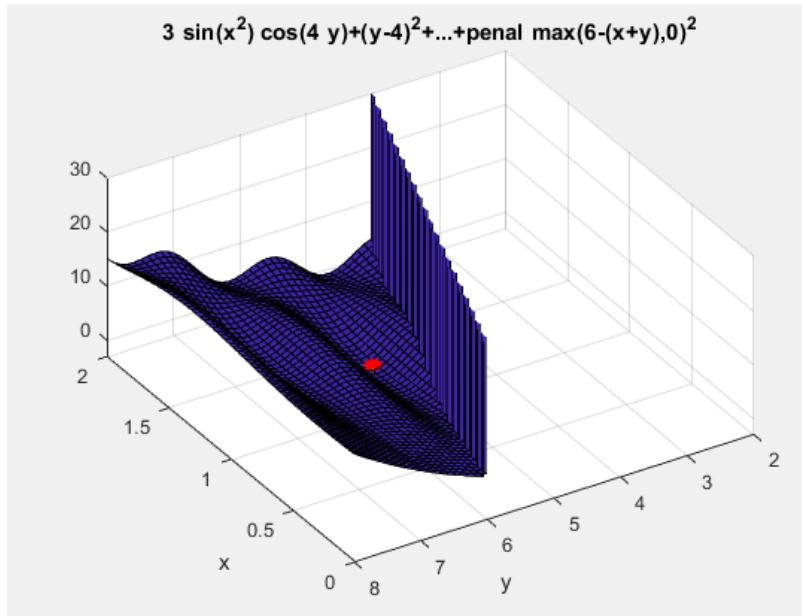
- Elitismo

- Nos quedamos con el mejor valor y lo introducimos en la siguiente generación.

- Resultado

- Elitismo = 8
- $N_g > N_{gmax}$

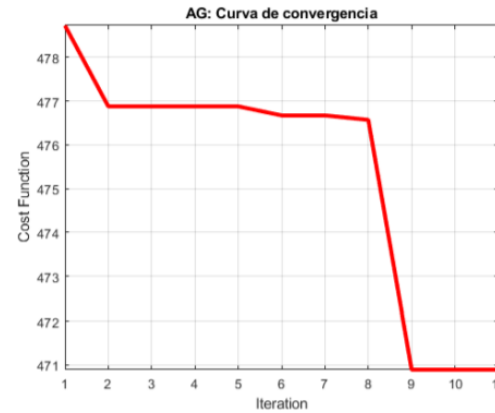
# Comprobación algoritmo genético



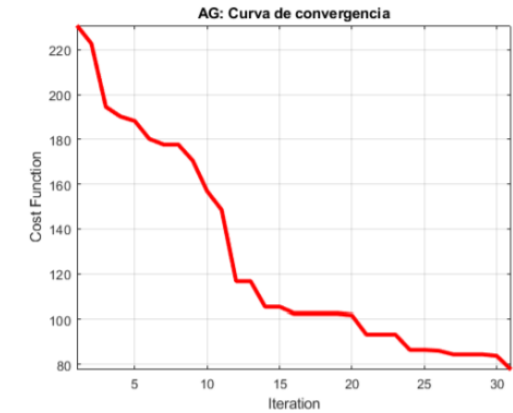


# Resultados

	Configuración 1	Configuración 2
$N_{gen}$	10	30
$N_p$	20	30
$P_{mut}$	0.1	0.1
$n_{sic}$	5	5



(a) Convergencia de la configuración 1



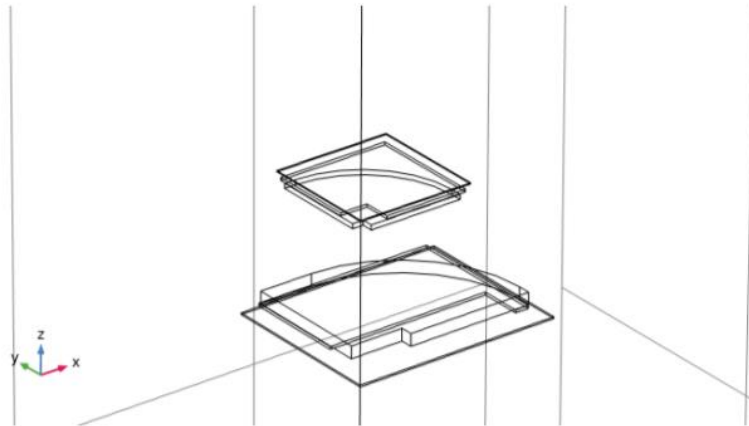
(b) Convergencia de la configuración 2

	Tiempo
Configuración 1	51.294,89 segundos $\Rightarrow$ 14,24 horas
Configuración 2	251.405,36 $\Rightarrow$ 2.91 días

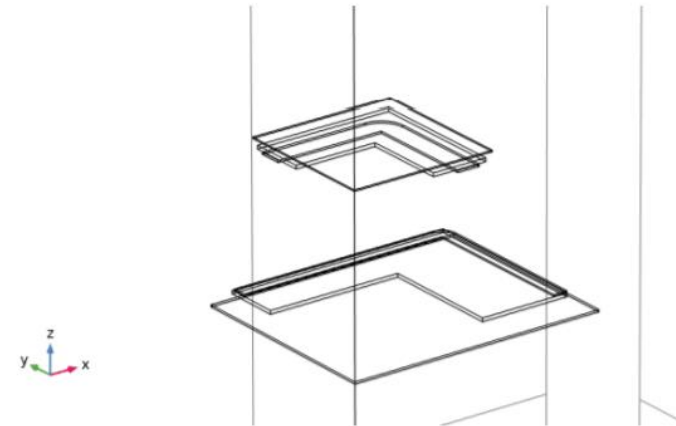


# Resultados

	$r_{01}$	$N1$	$n_{01}$	Ferrita1 en x	Ferrita1 en y	$r_{02}$	$N2$	$n_{02}$	Ferrita 2
Configuración 1	50 [ $\mu\text{m}$ ]	7	500	43 [cm]	36 [cm]	50 [ $\mu\text{m}$ ]	9	600	23 [cm]
Configuración 2	200 [ $\mu\text{m}$ ]	8	3.000	60 [cm]	15 [cm]	100 [ $\mu\text{m}$ ]	15	1900	10 [cm]



(a) Modelo de la configuración 1



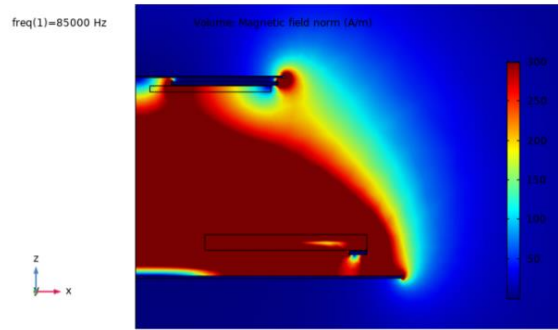
(b) Modelo de la configuración 2

# Resultados

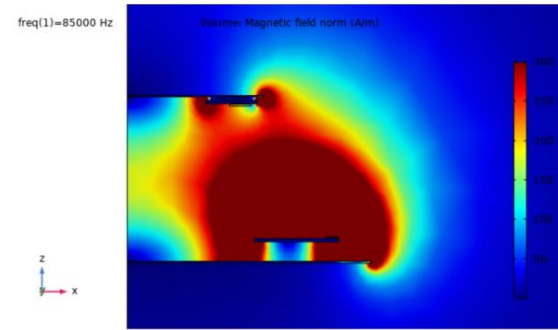
	$L_1$ [ $\mu\text{m}$ ]	$L_2$ [ $\mu\text{m}$ ]	$M$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_1$ [ $\Omega$ ]	$R_2$ [ $\Omega$ ]
Conf 1	25,14	59,11	20,9	0,52	0,24
Conf 2	106,22	101,77	20,75	0,11	0,08

	$C_1$ [nH]	$C_2$ [nH]	$I_1$ [A]	$I_2$ [A]	$V_{C1}$ [V]	$V_{C1}$ [V]	P2 [W]	Frec [kHz]	$\eta$
Conf 1	126,04	54,89	35,46	27,15	495,1	835,45	10.991,89	88,35	92,92
Conf 2	30,11	31,42	35,1	27,15	2.084,7	1.545,3	10.994,4	89	98,24

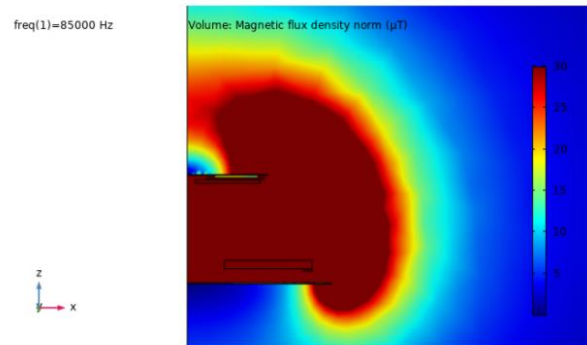
# Resultados



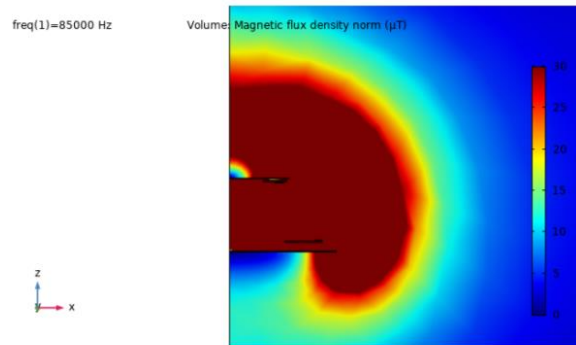
(a) Intensidad de campo magnético configuración 1



(b) Intensidad de campo magnético configuración 2



(a) Campo magnético configuración 1



(b) Campo magnético configuración 2

# Conclusiones

- Se han aplicado metodologías avanzadas para optimización de un sistema de transferencia por inducción.
- Se ha realizado un completo simulador de un sistema de transferencia por inducción que incluye la parte electromagnética y la parte electrónica.
- En la parte electromagnética se ha realizado la simulación de pérdidas haciendo una extrapolación de las pérdidas de una hebra a un sistema inductor. Además, como aspecto novedoso se ha considerado una forma de inductor cuadrada.
- Se ha propuesto una metodología de optimización compleja, cuyo criterio de búsqueda se puede modificar de manera rápida.
- Se han definido las funciones para poder modificar la geometría únicamente variando el script de COMSOL, lo cual permite que el simulador sea fácilmente adaptado para otras geometrías e incluso para otros sistemas como transformadores.

# MU COM



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

| [uma.es](http://uma.es)



**Addlink**  
Software Científico

 **COMSOL**