

Estudio de la aceleración ciclotrónica autoresonante de electrones por modos cilíndricos TE_{011}

Oswaldo Otero Olarte¹

Eduardo Alberto Orozco Ospino¹

Ana María Herrera Rodríguez²

Universidad Industrial de Santander¹

Heidelberg Institute for Theoretical Studies²

7 de Septiembre de 2020

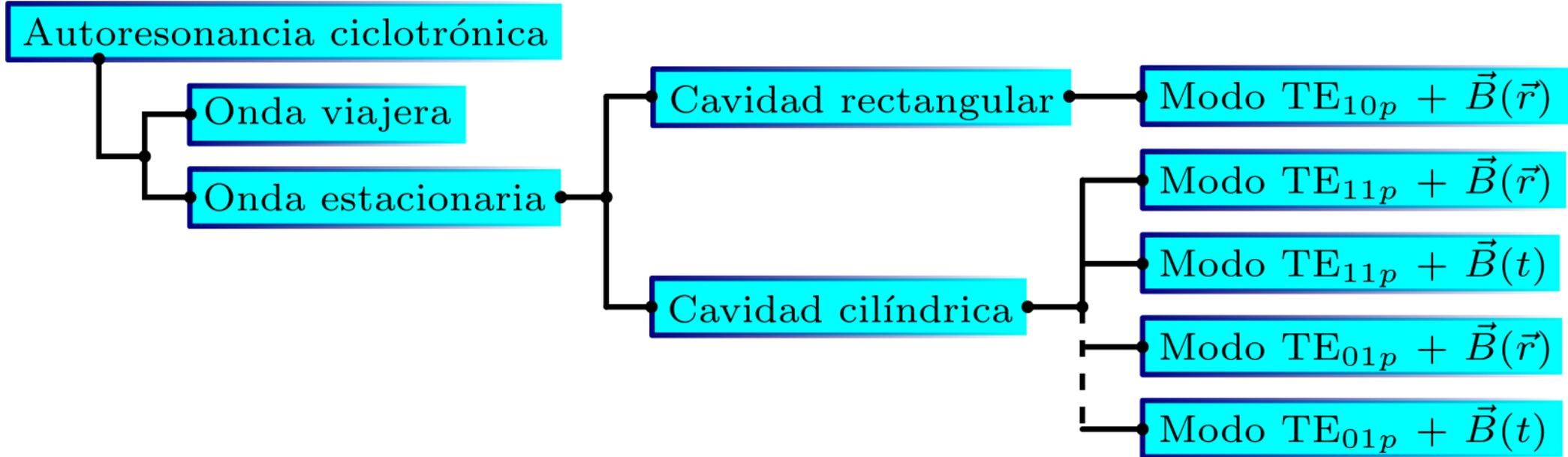
#LaUISqueQueremos



Universidad
Industrial de
Santander



Introducción



Antecedentes

- Kolomenskii y Levedek (1962); Davydovskii (1963): Autoresonancia (Fenómeno).
- Milant'ev (1996 y 2013): Autoresonancia y sus aplicaciones.
- Golovanivsky (1982): Autoresonancia temporal.
- Dougar-Zhabon y Orozco (2008): Autoresonancia especial.

Giro Ciclotrónico e Interacción Resonante

Dinámica electrónica:

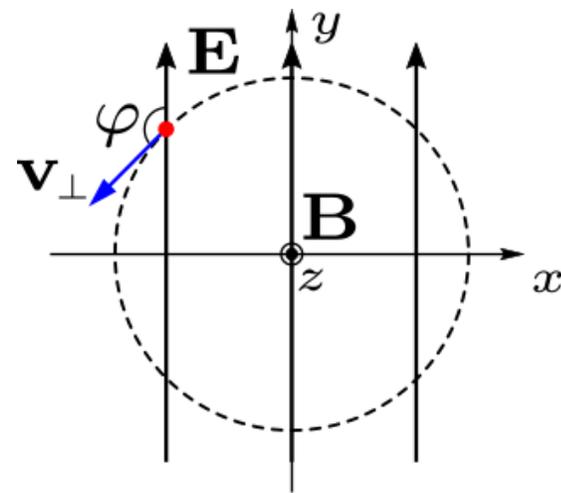
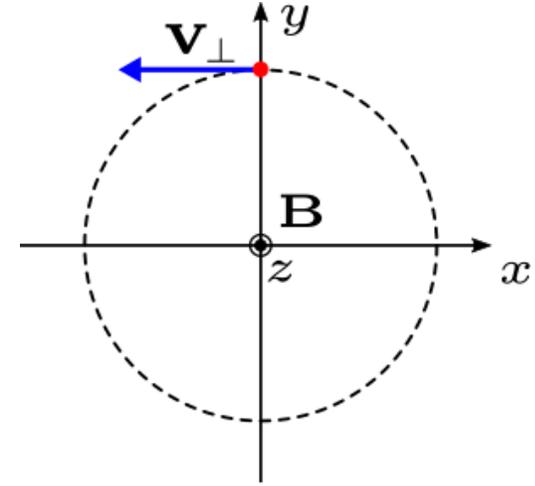
$$\frac{d\vec{v}}{dt} = -\frac{q}{m_e} \vec{v} \times \vec{B} \quad \Rightarrow \quad \Omega_{c0} = \frac{eB_0}{m_e}$$

Si introducimos $\vec{E}_{\perp} = E_0 \cos(\omega t)$

$$\frac{d}{dt}(\gamma\vec{v}) = -\frac{q}{m_e} (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) \quad \Rightarrow \quad \Omega_c = \frac{\Omega_{c0}}{\gamma}$$

Condición ECR $\omega = \Omega_c$ \Rightarrow $\frac{\pi}{2} \leq \varphi \leq \frac{3\pi}{2}$

Banda de Aceleración



Autoresonancia temporal – Mecanismo Gyroc



Universidad
Industrial de
Santander

Dinámica electrónica:

$$\frac{d}{dt}(\gamma \vec{v}) = -\frac{q}{m_e}(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$



$$\Omega_{c0} = \frac{e B(t)}{\gamma m_e}$$

$$\vec{E} = \vec{E}^{hf}$$

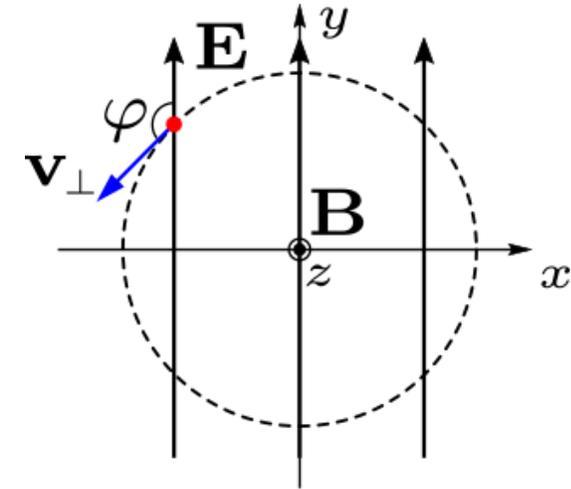
$$\vec{B} = \vec{B}^{hf} + \vec{B}^{Ext}$$

$$\dot{\varphi} = [b(\tau) - (\gamma - 1)] \frac{1}{\gamma} + g_0 (\gamma^2 - 1)^{-\frac{1}{2}} \sin \varphi$$

$$\dot{\gamma} = g_0 \left(1 - \frac{1}{\gamma^2}\right)^{\frac{1}{2}} \cos \varphi$$

Condición de Captura

$$\alpha = 1.19 g_0^{4/3}$$



$$\vec{E}^{hf} = E_0 (\sin \varphi \hat{r} + \cos \varphi \hat{\theta})$$

$$\vec{B}^{hf} = B_z \hat{k}$$

$$\vec{B}^{Ext} = B_0 (1 + b(t)) \hat{k}$$

Somos **el mejor** escenario
de creación e innovación.

www.uis.edu.co

Modo Cilíndrico TE_{011}



Universidad
Industrial de
Santander

La expresión que define el campo eléctrico viene dada por

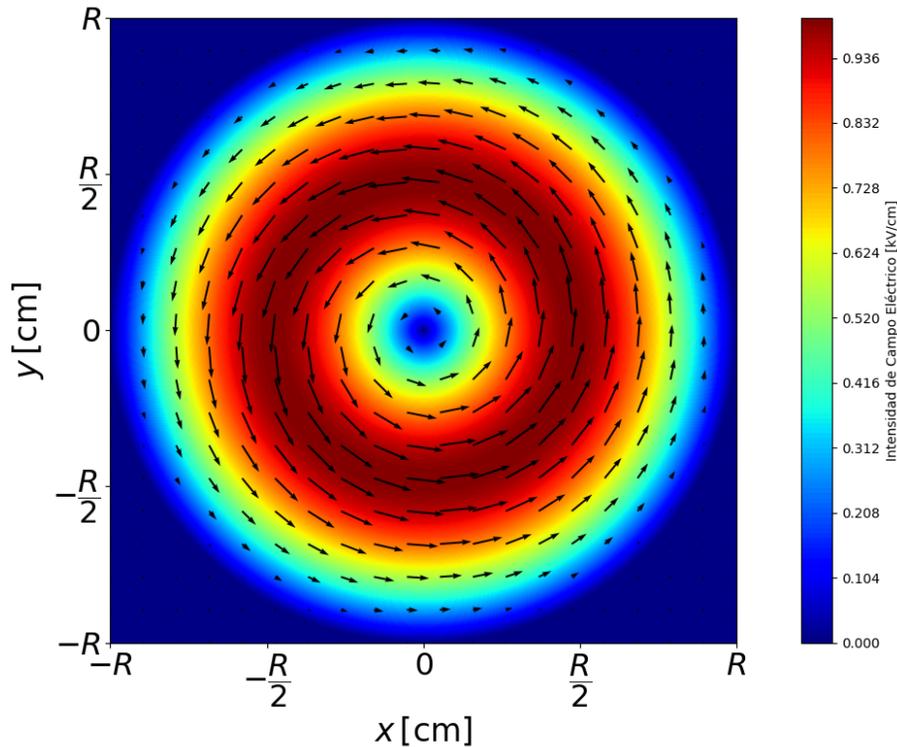
$$\vec{E}^{hf}(\vec{r}, t) = \frac{E_0}{J_1(p_{01})} J_1\left(\frac{q_{01}}{R} r\right) \sin\left(\frac{\pi}{L} z\right) \cos(\omega t) \hat{\theta}$$

donde E_0 es la amplitud del campo eléctrico de microondas, $q_{01}=3.83171$, $p_{01}=1.84118$, R y L el radio y la longitud de la recámara.

$$\vec{E}^{hf} = \vec{E}^r + \vec{E}^l$$

$$\vec{E}^r = \frac{E_0}{2 J_1(p_{01})} J_1\left(\frac{q_{01}}{R} r\right) \sin\left(\frac{\pi}{L} z\right) [-\sin(\beta + \theta) \hat{i} + \cos(\beta + \theta) \hat{j}]$$

$$\vec{E}^l = \frac{E_0}{2 J_1(p_{01})} J_1\left(\frac{q_{01}}{R} r\right) \sin\left(\frac{\pi}{L} z\right) [\sin(\beta - \theta) \hat{i} + \cos(\beta - \theta) \hat{j}]$$

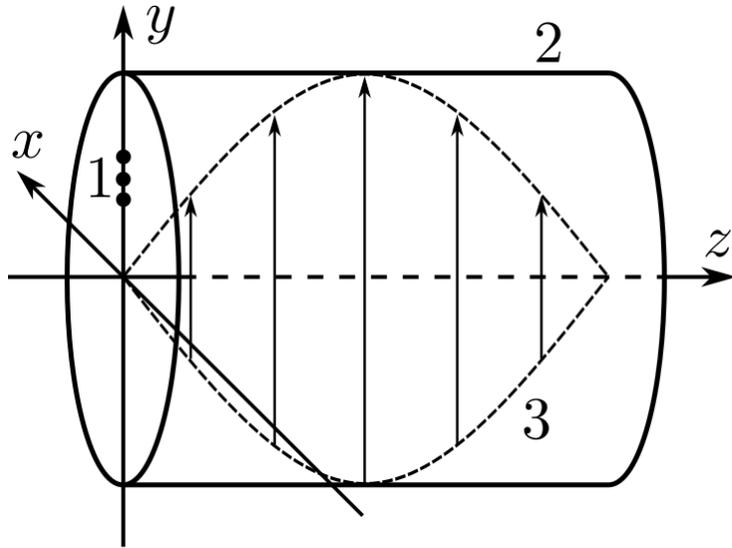


Somos **el mejor** escenario
de creación e innovación.

www.uis.edu.co

Sistema Físico

Se desarrollaron experimentos numéricos en tres esquemas:



Puntos de Inyección:

$$P_1 = \frac{R}{2}, P_2 = \frac{3R}{8} \text{ y } P_3 = \frac{9R}{16}$$

Parámetros del sistema:

$$E_0 = 14 \frac{kV}{cm} \text{ y } 1 \frac{kV}{cm}, f = 2.45GHz, R = 7.81 \text{ cm y } L = 20 \text{ cm}$$

Campo
Electromagnético

$$\vec{E} = \vec{E}^{hf}$$

$$\vec{B} = \vec{B}^{hf} + \vec{B}^{Ext}$$

Sistema 1

$$\vec{B}^{Ext} = B_0 \hat{k}$$

Sistema 2

$$\vec{B}^{Ext} = 1.1425 B_0 \hat{k}$$

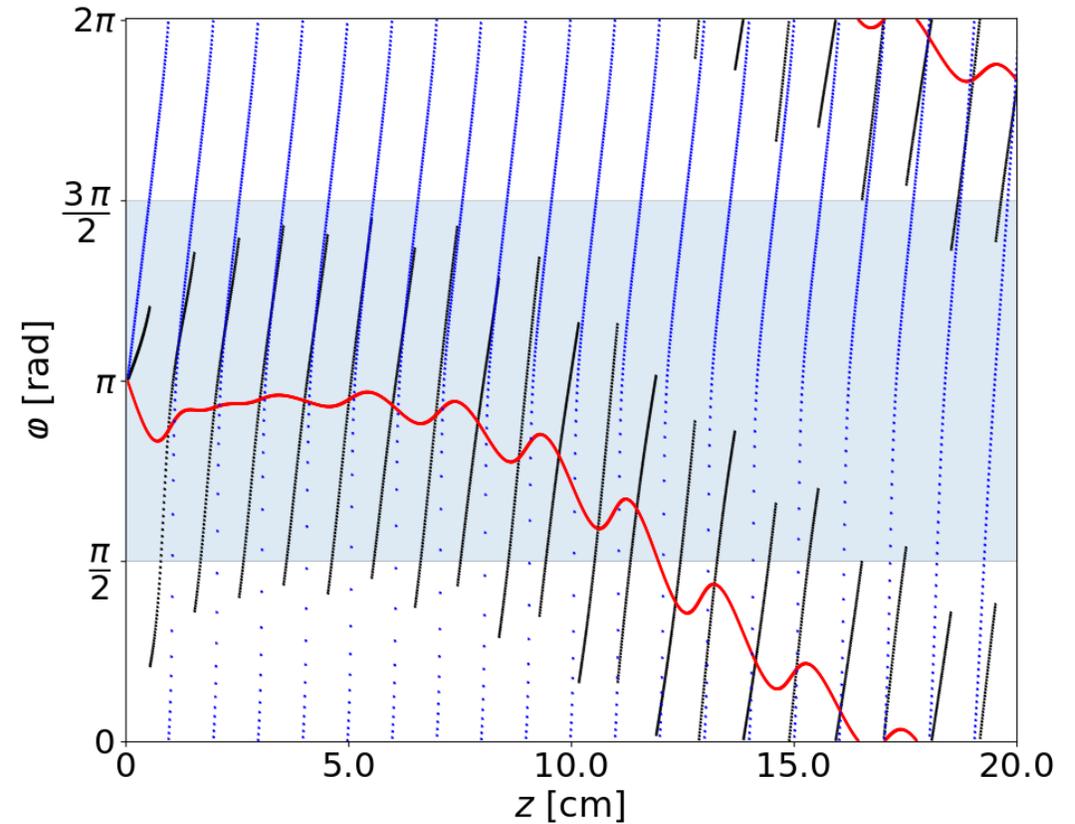
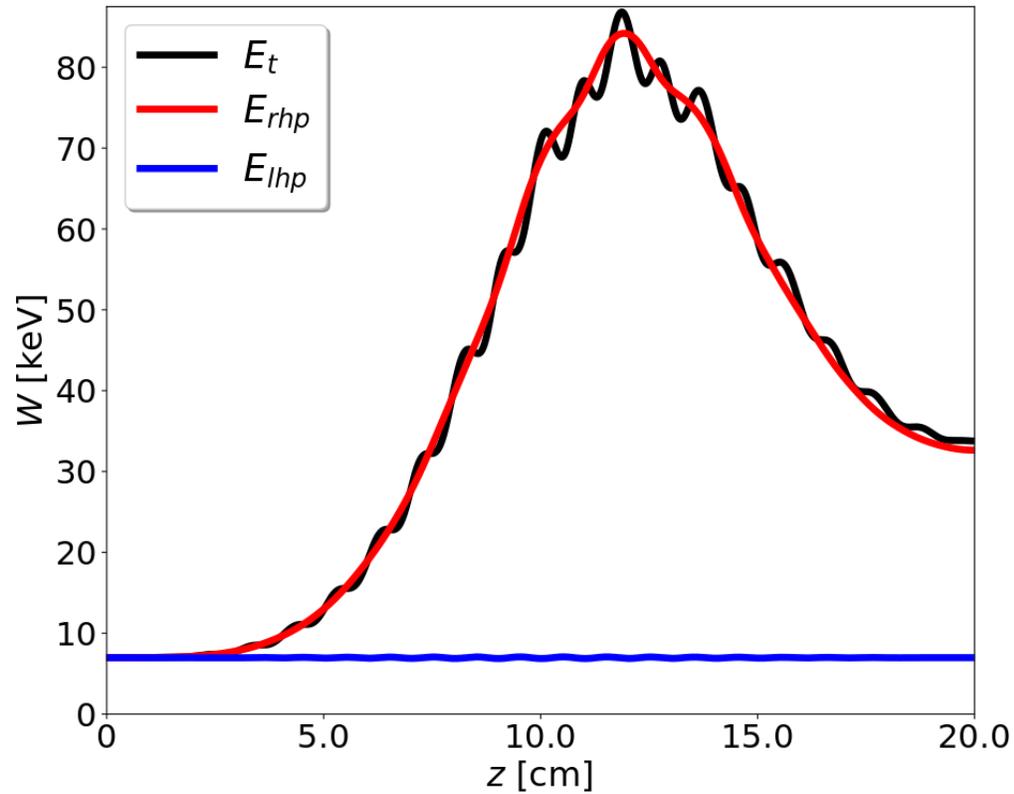
Sistema 3

$$\vec{B}^{Ext} = B_0(1 + \alpha\tau) \hat{k}$$

$$\alpha = 2.25 \times 10^{-4}$$

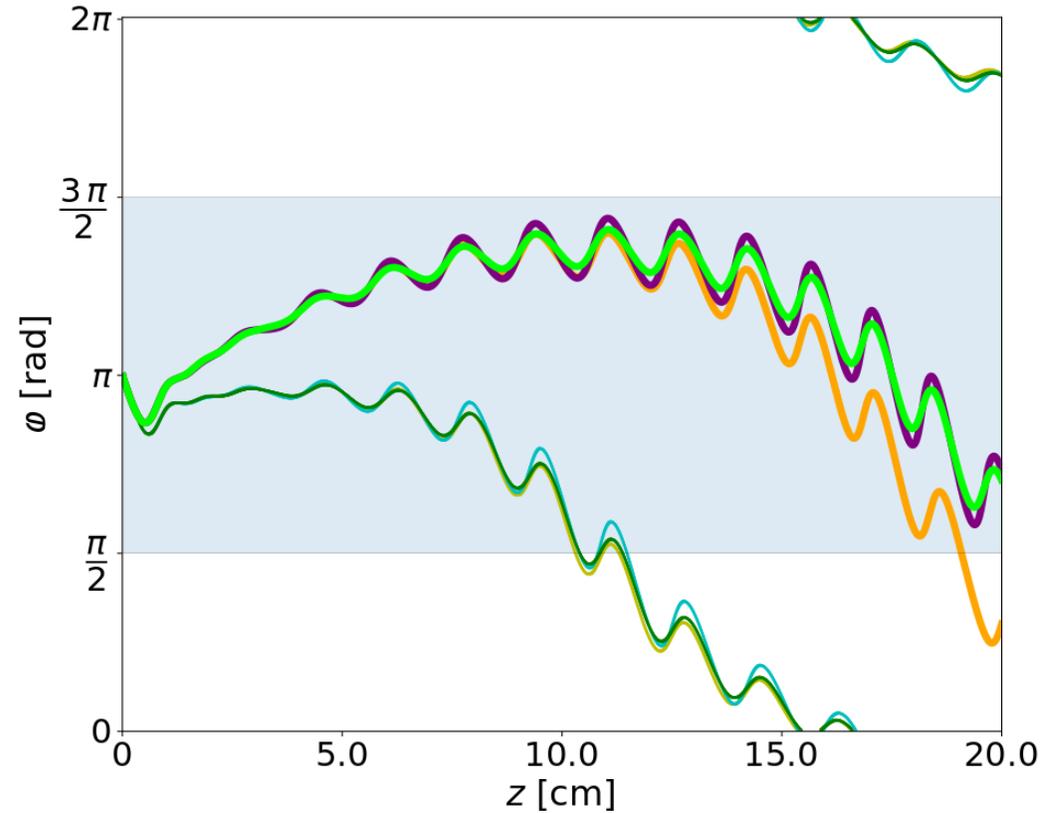
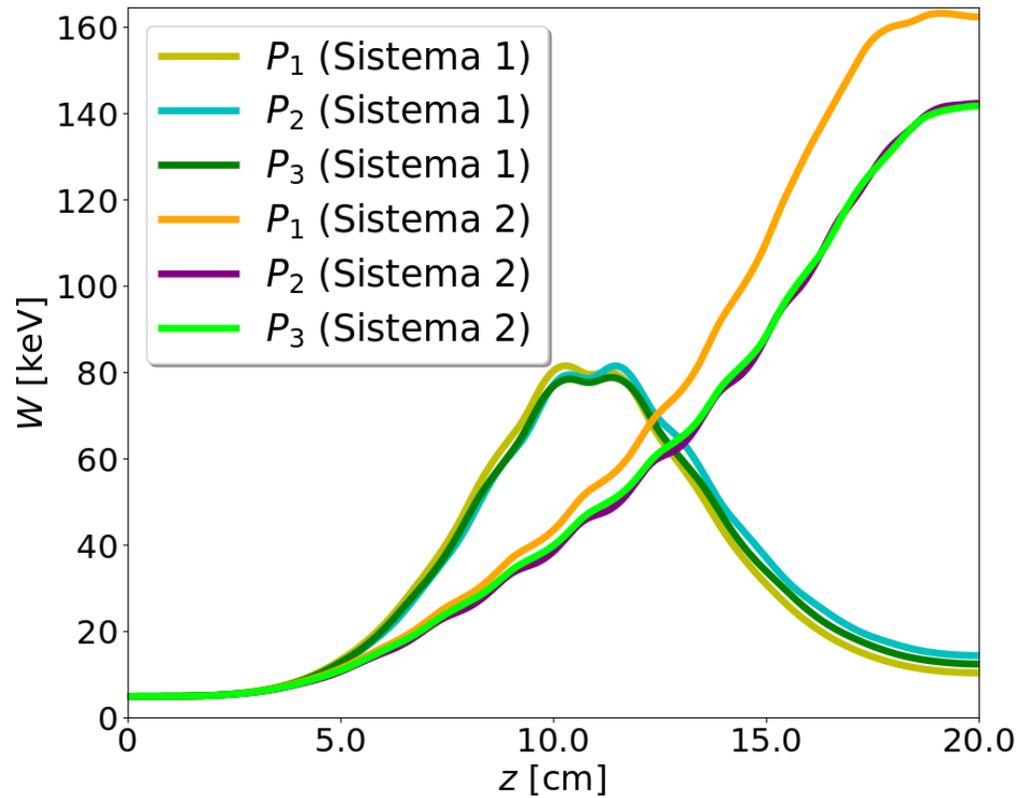
Resultados (Sistema 1)

En este caso, los electrones son inyectados en P_1 con una energía de 7 keV.



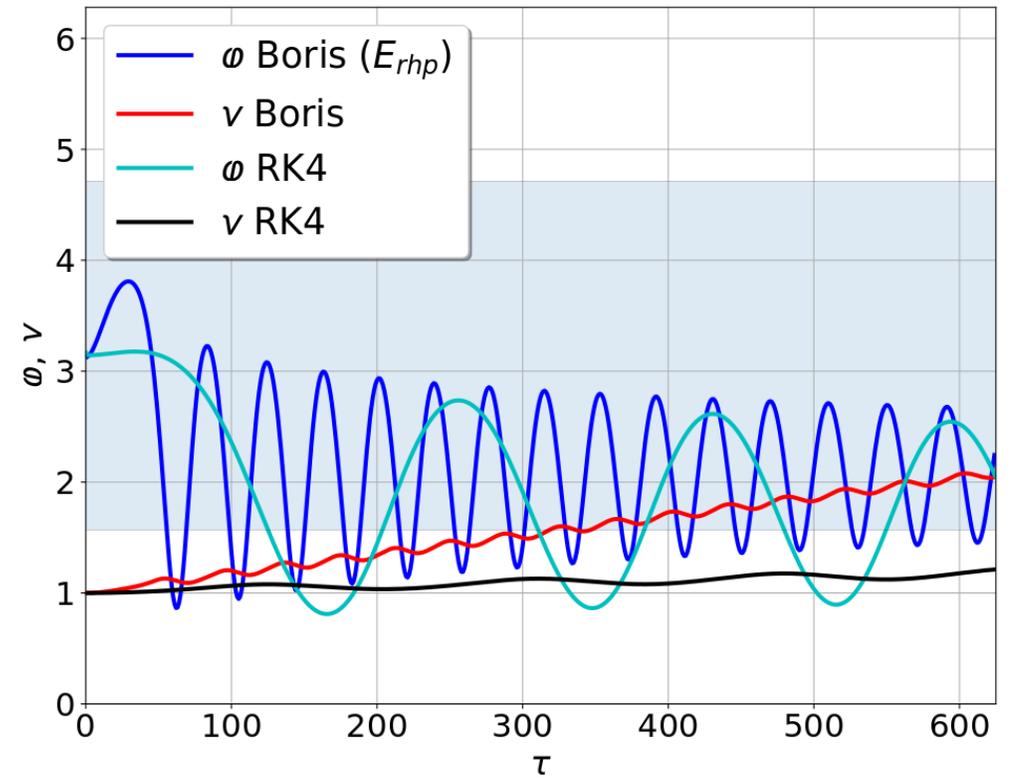
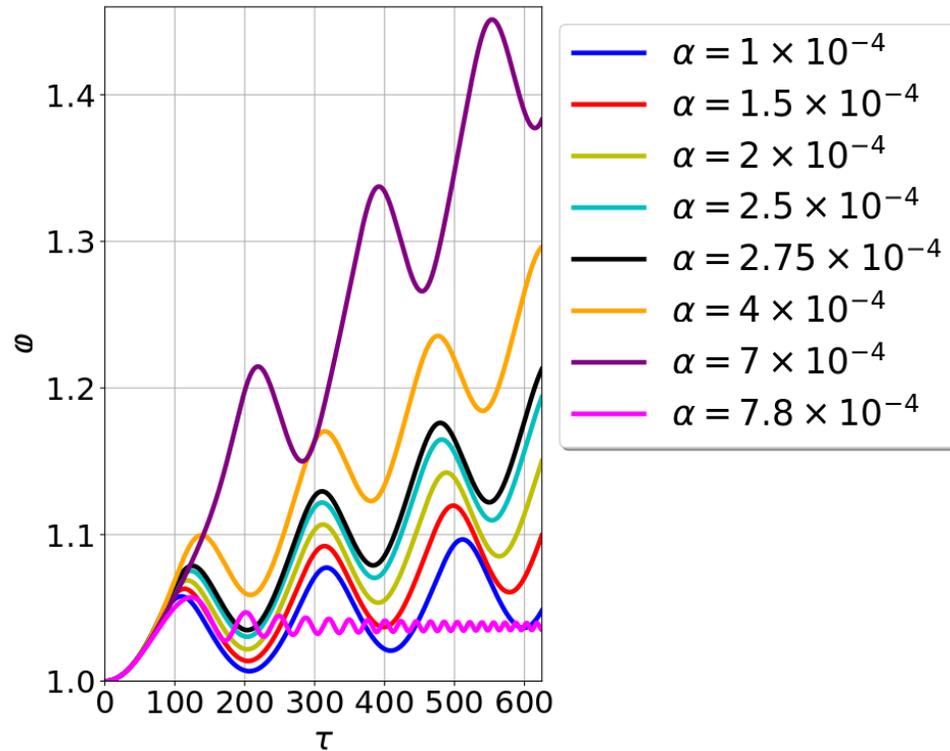
Resultados (Sistema 2)

En este caso, los electrones son inyectados en P_1 , P_2 y P_3 con una energía de 5 keV.



Resultados (Sistema 3)

En este caso, los electrones son inyectados en P_1 y parten del reposo.



Conclusiones

- Es posible acelerar electrones utilizando el modo cilíndrico TE_{011} .
- La descomposición del campo eléctrico en dos ondas polarizadas circularmente, una de derecha y una de izquierda permiten comprender el proceso a través del cual el electrón gana energía.
- Es posible sostener la interacción resonante mediante el adecuado incremento del campo magnético externo, es decir, generar un regimen autoresonante.

Proyectos Futuros

Simular la dinámica de una nube de electrones en condiciones de autoresonancia temporal usando el modo cilíndrico TE_{011} y evaluar los niveles de energía que alcancen las partículas en comparación con las obtenidas para el modo cilíndrico TE_{111} .



Universidad
Industrial de
Santander

Somos **el mejor** escenario
de creación e innovación.

www.uis.edu.co



Universidad
Industrial de
Santander

#LaUISqueQueremos

iGracias!

