

Presentado por: Ramiro Andrés Medina Moreno  
Código: 201113790

# Proyecto: Campo magnético en planetas

---

## Tabla de contenido

Marco teórico: .....	1
Resultados.....	2
Análisis de resultados .....	3
Conclusiones:.....	3
Bibliografía:.....	3

## Marco teórico:

El campo magnético es generado por el movimiento convectivo del fluido que se encuentra entre las capas externa e interna de un planeta. Esta convección se genera debido a la diferencia de temperatura ocasionada por la solidificación y enfriamiento del núcleo central (interior), generando de esta manera transferencia de calor a través del fluido envolvente produciendo un dínamo autosostenido.

Los dínamos se pueden aproximar muy bien al comportamiento del campo magnético de planetas terrestres (las aproximaciones funcionan para planetas rocosos). Así, se realizan simulaciones computacionales las cuales, arrojan resultados útiles para el análisis y comprensión de los campos magnéticos en planetas y en el caso específico de este trabajo, de la tierra. Las simulaciones se realizan a través del software MagIc, el cual utiliza un método numérico pseudo espectral, que usa los armónicos esféricos  $\theta$  y  $\phi$  debido a la simetría esférica, y

en el eje radial se utilizan los polinomios de Chebichev.

Estas simulaciones se realizan asignando parámetros adimensionales los cuales configuran el comportamiento del campo magnético. Estos parámetros se enuncian a continuación:

- $R_a \equiv \text{Número de Rayleigh}$  : Es la razón entre la transferencia de calor por conducción y convección.
- $E \equiv \text{Número de Ekman}$ : Es la razón entre las fuerzas viscosas y las de coriolis.
- $P_r \equiv \text{Número de Prandtl}$  : Es la razón entre la difusividad de momentum y difusividad térmica.
- $P_m \equiv \text{Número de Prandtl magnético}$  : Es la razón entre la difusividad de momentum y la difusividad magnética.

Para lo anterior, es importante tener claridad sobre los siguientes conceptos:

Energía poloidal magnética: Es la energía en la dirección polar de un planeta (dirección de zenith).

Colatitud del dipolo-polo: Magnitud del campo magnético en la dirección polar de un planeta (dirección del zenith).

## Resultados

A continuación se ilustra los resultados de dos simulaciones realizadas, asignando parámetros adimensionales los cuales configuran el comportamiento del campo magnético. Parámetros como el número de Eckman (E), el número de Prandtl ( $P_r$ ) y el número de Prandtl magnético se mantuvieron invariantes para ambas corridas, mientras se variaba el valor del número de Rayleigh ( $R_a$ ).

Los resultados obtenidos para dos números de Rayleigh se ilustran a continuación:

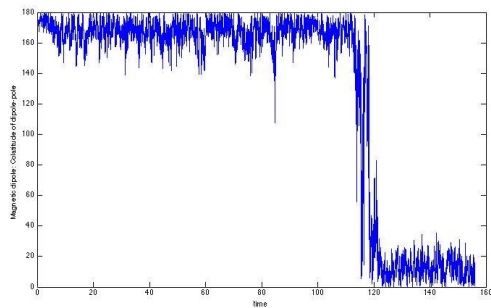


Ilustración 1 Colatitud del dipolo magnético para  $R_a = 3.6 \times 10^5$

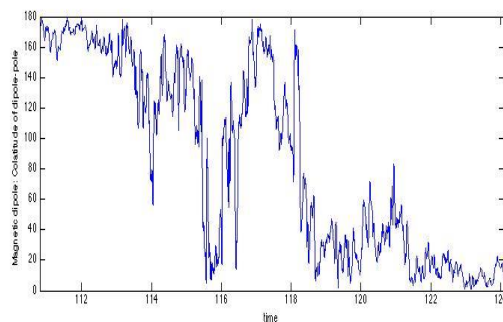


Ilustración 2 Inversión de campo magnético para  $R_a = 3.6 \times 10^5$

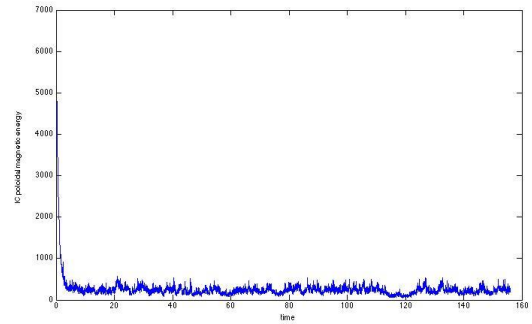


Ilustración 3 Energía poloidal magnética del núcleo interno.  $R_a = 3.6 \times 10^5$

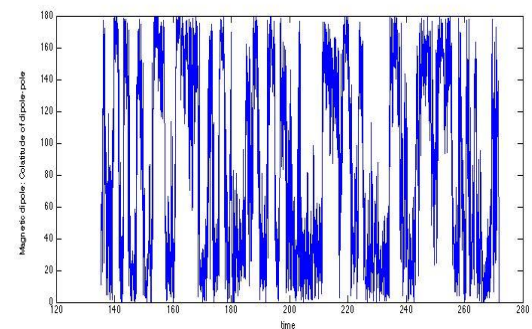


Ilustración 4 Colatitud del dipolo magnético para  $R_a = 5.88 \times 10^5$

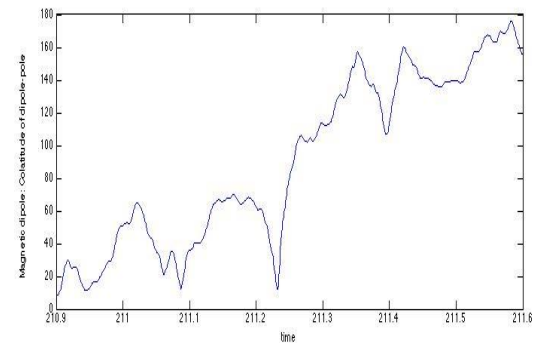


Ilustración 5 Inversión de campo magnético para  $R_a = 5.88 \times 10^5$

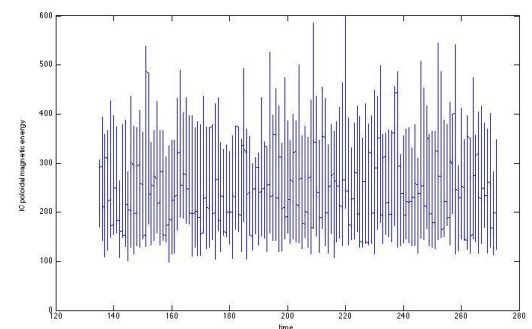


Ilustración 6 Energía poloidal magnética del núcleo interno.  $R_a = 5.88 \times 10^5$

## Análisis de resultados

- i. Tomando como referencia la Ilustración 1, se evidencia que ocurre una inversión en la colatitud del campo magnético, cuyo intervalo de ocurrencia es de 12 tiempos de difusión magnética (en donde el tiempo de difusión magnética se define como  $t_v = D^2/\nu$ , en donde  $\nu = \frac{2m^2}{s}$ ,  $D = 0.5m$ ) para un número de Rayleigh de  $3.6 * 10^5$ . Realizando un mayor acercamiento de esta región (Ilustración 2), se aprecia una región de alta variación, en la cual el campo magnético al final de este período de inversión se estabiliza en su nuevo estado.
- ii. Analizando la colatitud del dipolo-polo para un número de Rayleigh de  $5.88 * 10^5$ , se evidencia que las inversiones de campo magnético ocurre en períodos mucho menores que el hallado para un Rayleigh de  $3.6 * 10^5$ . El período aproximado (basado en la Ilustración 5) es de 0.7 tiempos de difusión magnética.
- iii. En cuanto a la energía poloidal magnética, se aprecia que para ambas corridas el valor de estabilización es aproximadamente el mismo, a pesar de que para  $R_a = 3.6 * 10^5$  ocurre un pico al comienzo de la simulación.
- iv. Correlacionando la energía poloidal magnética y la colatitud del dipolo magnético en las regiones donde ocurren estas inversiones, se evidencia que la energía presenta variaciones en su comportamiento como consecuencia de estas inversiones.

## Conclusiones:

- i. Dado a que el número de Rayleigh define la tasa de transferencia de calor realizada por convección, se

evidencia que entre mayor sea este número, mayor será la cantidad de inversiones que se presenten en un determinado intervalo para dos números de Rayleigh como los simulados para este proyecto, debido a que habrá mayor actividad en el núcleo.

- ii. Las inversiones de campo magnético tienen repercusión sobre la energía poloidal magnética, en cuanto se observan perturbaciones en los períodos donde ocurren inversiones de la colatitud de dipolo-polo.
- iii.

## Bibliografía

- Pérez, N. G. (2007). Planetary magnetic fields in the solar system: A numerical study of dynamo models. Edmonton, Alberta, Canada.
- Wicht, J. (02 de Julio de 2006). *MAGIC3*. Recuperado el 14 de Noviembre de 2013, de A numerical computer program for simulating selfconsistent dynamo. action in rotating spherical shells: <http://www.mps.mpg.de/homes/wicht/MAGIC3/magicManual.pdf>