

Sobre la influencia del calentamiento en la turbulencia de plasmas

Las reacciones de fusión son las que liberan la energía que alimenta el sol y las estrellas. Para que pueda ocurrir la fusión, los núcleos reaccionantes deben vencer la repulsión electrostática y acercarse lo suficiente como para permitir que entre en juego la fuerza nuclear atractiva. La comunidad científica internacional trabaja en distintas alternativas, con diferente grado de desarrollo, hacia la realización práctica de la energía de fusión. En el caso de la estrategia basada en el confinamiento magnético se requiere calentar los núcleos reaccionantes a temperaturas unas 10 veces mayores que la del centro del Sol (estimada en unos 15 millones de grados) y aislarlos térmicamente del ambiente circundante mediante un intenso campo magnético [del orden de 5-7 T, es decir, unas 100.000 veces el campo magnético terrestre].

Los principales desafíos pendientes en la fusión nuclear incluyen la integración y optimización de criterios de física y tecnología. Desde el punto de vista de la física de plasmas se requiere confinar eficientemente un plasma en ignición; es decir, suficientemente reactivo como para producir sustancialmente más energía que la consumida en el proceso de generación del plasma. Alcanzar estas condiciones requiere controlar el confinamiento de impurezas, dado que su presencia contribuye a pérdidas de energía por radiación afectando a los límites de operación accesibles. Una de los actuadores empíricos más efectivos para controlar el transporte de impurezas es el calentamiento del plasma a la frecuencia ciclotrónica de los electrones [ECRH]. En este contexto permanecen abiertas preguntas de carácter básico tales como: *¿Por qué es tan efectivo ECRH para controlar transporte?*; *¿Es la turbulencia inducida por ECRH un mecanismo dominante para controlar el transporte de impurezas?* y en caso afirmativo *¿Por qué es ECRH efectivo para modificar la turbulencia del plasmas?* [1].

Con la finalidad de responder a estas cuestiones tal esenciales para entender la operación de dispositivos de fusión nuclear, se ha investigado la influencia de ECRH en turbulencia y las escalas temporales involucradas [2]. Los resultados obtenidos muestran que la turbulencia de alta frecuencia aumenta tanto en la región interior como en la región periférica del plasma cuando la potencia de calentamiento se incrementa [Fig. 1]. Adicionalmente, el estudio de la evolución temporal del potencial del plasma y la turbulencia en respuesta a la modulación de la potencia de calentamiento ECRH, muestra dos escalas temporales: una rápida en el rango de los 100 microsegundos y otra más lenta en el rango de las escalas del transporte (milisegundos).

Adicionalmente en colaboración con los grupo del Instituto Kurchatov de Moscú y el Instituto Tecnológico de Kharkon en Ucrania, se han investigado los contornos 2-D de potencial de plasma, densidad y sus fluctuaciones en plasmas generados y mantenidos con calentamiento ECRH [Fig. 2]. Estas medidas, singulares en la comunidad de fusión nuclear, muestran la influencia de la topología magnética en los contornos equipotenciales y la influencia combinada de gradientes de densidad y temperatura en los niveles de turbulencia [3].

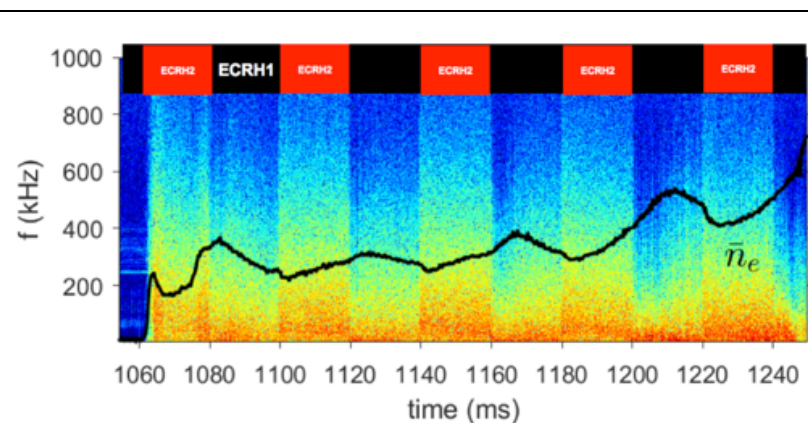
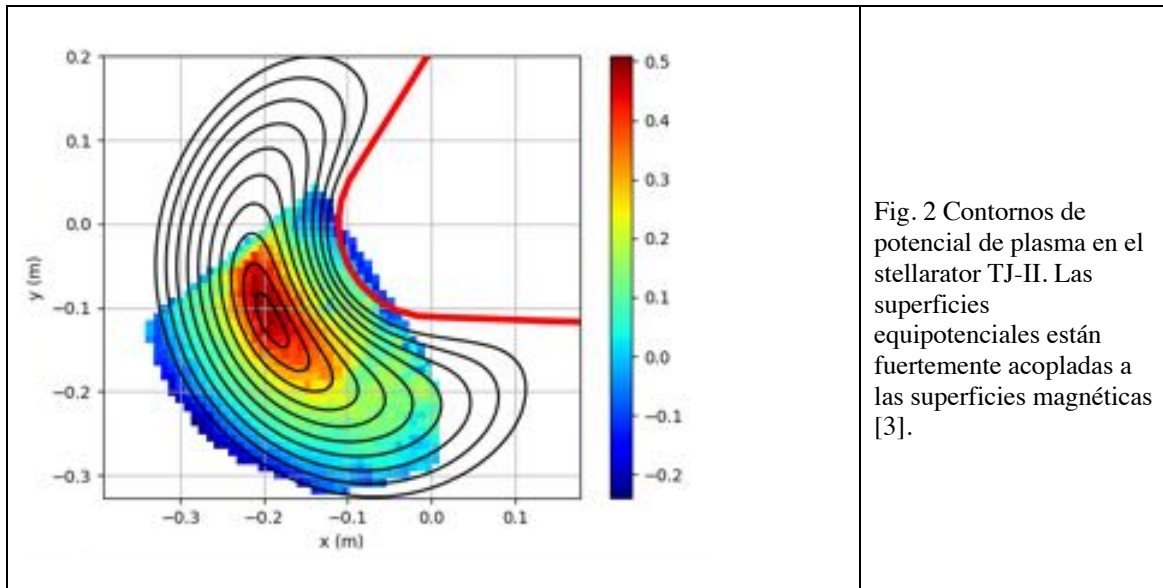


Fig.1 Influencia de modulación de la potencia ECRH en turbulencia medida en el borde del plasmas del stellarator TJ-II [#47654].



Actualmente se investiga el papel de la turbulencia generada por gradientes de temperatura electrónica y de densidad así como efectos cinéticos inducidos por ECRH para dar cuenta de las observaciones experimentales. Las conclusiones obtenidas en plasmas de fusión serán potencialmente relevantes en los dispositivos de propulsión donde se utiliza el calentamiento ECRH.

[1] E. Sánchez, T. Estrada, J.L. Velasco, I. Calvo, A. Cappa, A. Alonso, J.M. García-Regaña, R. Kleiber, J. Riemann and the TJ-II Team, Validation of global gyrokinetic simulations in stellarator configurations, [Nucl. Fusion 59 \(2019\) 076029](#)

[2] I. Voldiner, B. van Milligen, U. Losada, A. Cappa, M. A. Ochando, F. Medina, J.L. de Pablos, C. Hidalgo, L. Eliseev, M. Drabinskii, P.O. Khabanov, A. Melnikov, A. Chmyga, A.S. KozachekD. Poljak, A. Rubić, S. Sesnic, R. Sánchez, On the time response and radial propagation of turbulence during ECRH power modulation in the TJ-II stellarator, [Conferencia EPS \(2020\)](#).

[3] R. Sharma, P.O. Khabanov, A.V. Melnikov, C. Hidalgo, A. Cappa, A. Chmyga, L.G. Eliseev, T. Estrada, N.K. Kharchev, A.S. Kozachek, L.I. Krupnik, A. Malaquias, B van Milligen, A. Molinero, J.L. de Pablos, I. Pastor, V.N. Zenin, Measurements of 2D poloidal plasma profiles and fluctuations in ECRH plasmas using the Heavy Ion Beam Probe system in the TJ-II stellarator, [Physics of Plasmas \[2020\]](#) en prensa.