

Fusión Nuclear: Confinamiento magnético en ITER

Joseph Panana Vera

Departamento de Física, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú

joseph.panana@unmsm.edu.pe

Abstract

Este trabajo trata sobre la fusión nuclear y el confinamiento magnético como una técnica principal en la cual se pueda basar un reactor de fusión. Esta técnica ha demostrado ser muy eficiente para el control del plasma y su aislamiento de las paredes del reactor.

Keywords

Fusión nuclear, Confinamiento magnético, Reactor nuclear.

Introducción

El hombre debido a sus necesidades cada vez más está requiriendo una mayor demanda de energía y a esto debemos agregarle el problema del aumento de la población. Sin embargo, es innegable pensar que los recursos de los cuales hoy en día disponemos no se agotarán.

Recursos tales como los obtenidos a partir de combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas) [2], de los cuales aún en pleno siglo XXI dependemos enormemente, pero que nos dejan como consecuencia la contaminación del medio ambiente. Luego tenemos las energías renovables como la eólica, solar, hidráulica, etc, que si bien son mucho más limpias (no contaminantes) que los combustibles fósiles no lograrán satisfacer la demanda masiva en una población futura. Además, existe la energía nuclear de fisión que presenta una enorme ventaja con respecto a los recursos anteriores en cuanto a demanda y baja contaminación, pero también presenta algunas dificultades tales como la manipulación de los residuos de alta actividad.

Por ultimo y como principal alternativa ante la gran demanda de energía y cuidado del medio ambiente [2], la fusión nuclear es la más óptima. La producción de energía por medio de reactores de fusión es mucho más segura a comparación de la obtenida en reactores de fisión. Otro punto a favor, es que genera una baja producción de residuos debido a que el producto que se obtiene de las reacciones es helio, el cual

es un gas inerte y no radioactivo. Además, también cuenta con la ventaja que el combustible principal para dicho reactor lo podemos encontrar en los océanos y su obtención no es costosa. Pero la producción de energía aún presenta cierta complejidad y se necesita de un mayor desarrollo tecnológico.

Sin embargo, ya se ha hecho uso de un reactor de ensayo de fusión nuclear, el llamado TFTR o Tokamak, el cual trata de un reactor de confinamiento magnético con una geometría toroidal y que opera con dos campos magnéticos para confinar el plasma [3]. Este primer reactor fue desarrollado por la URSS, el cual tuvo un periodo de funcionamiento de 1982 a 1997 en Princeton. Actualmente para tan extraordinaria hazaña se está realizando el proyecto ITER [4], el cual tiene como objetivo la construcción del primer reactor de fusión (**Figura 1**) y que además será útil para el campo de la investigación.

Basado en la fusión nuclear, el cual se explica a partir de la energía de enlace por nucleón en función del número de masa A del núcleo. Este fenómeno sucede cuando dos núcleos ligeros se unen. La reacción más interesante para este tipo de reactores es la del deuterio (D) y tritio (T) [4]:

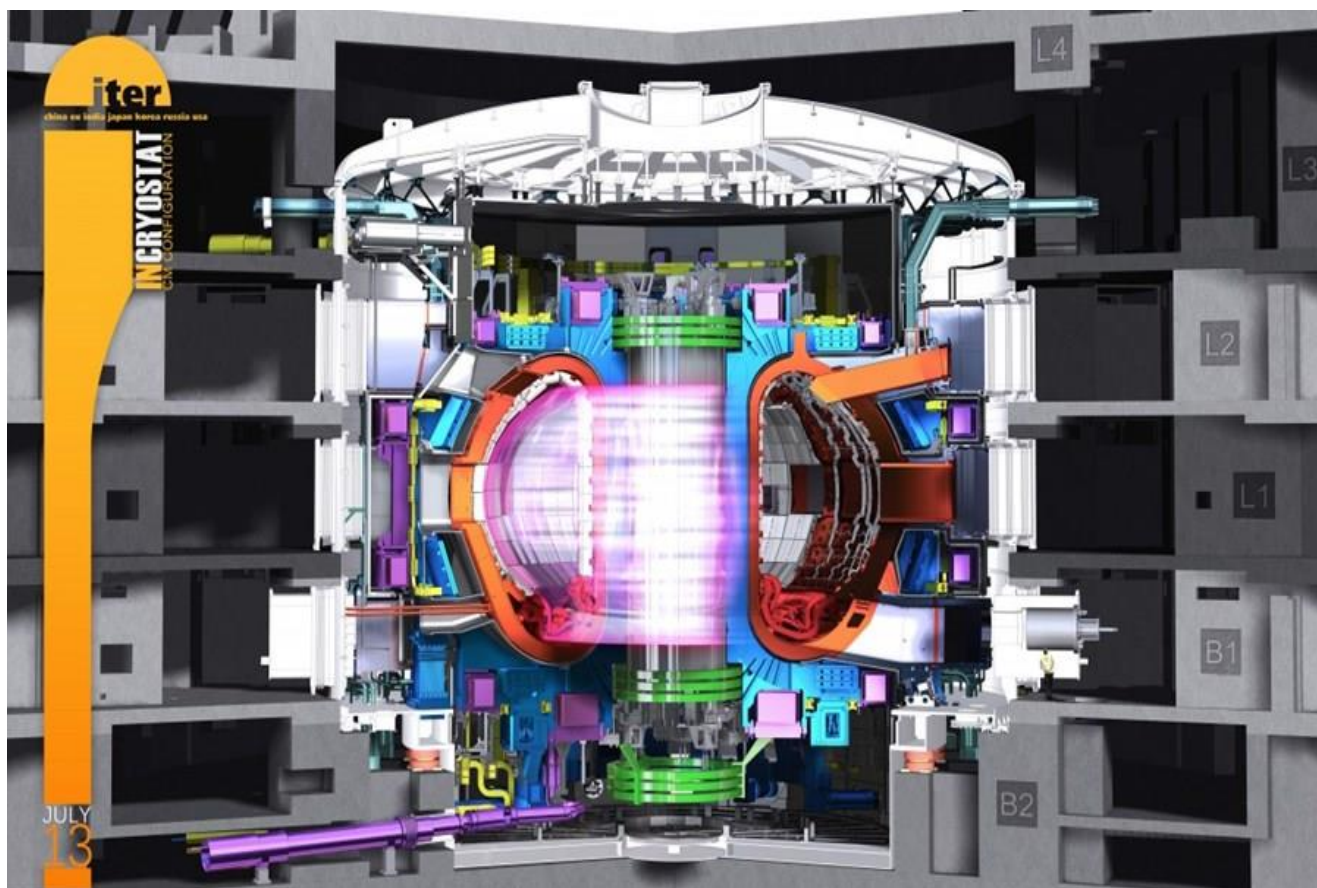
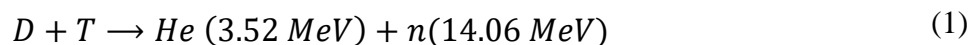


Figura 1: Modelo del tokamak ITER. Recuperado de www.iter.org/proj/inafewlines.

Construcción

Para la construcción del reactor de fusión ITER, se requiere básicamente las siguientes componentes (**Figura 2**):

1. Divertor

Esta enorme pieza está hecha de acero inoxidable, aunque también contiene blindaje de tungsteno que cumple la función de soportar el bombardeo de los neutrones de alta energía convirtiendo su energía cinética en calor [4].

Para refrigerarlo, debido a las altas temperaturas que alcanza, se usa agua.

2. Cámara de vacío

Esta tiene una forma toroidal [4], ya que contribuye a la estabilización del gas. Es aquí donde se dará la reacción y la formación del plasma, además debe estar limitada por una pared metálica.

El plasma debe encontrarse en el interior, esto con el objetivo de evitar que se enfríe por interacción con moléculas del aire.

3. Criostato

Su función en el reactor es la de brindar el alto vacío de tal manera que se den las condiciones necesarias para que en la cámara de vacío se produzca la fusión.

4. Imanes

Estos tienen la función de producir campos magnéticos lo suficientemente intensos como para confinar el plasma en el interior de la cámara de vacío, además de estabilizarlo con el fin de que no toque las paredes del contenedor. También ayuda a calentar el plasma lo suficiente como para que se pueda producir la reacción de fusión mediante el efecto Joule.

Estos imanes están usualmente fabricados por la aleación de niobio y estaño, de tal manera que cuando se enfríen con helio estos logren alcanzar la fase superconductora.

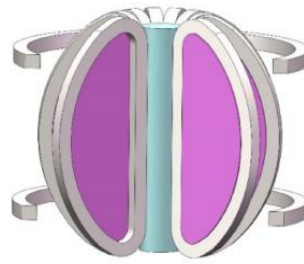
5. Manto

Este es un componente que se encuentra como primera barrera de seguridad ya que sobre él impactan directamente los neutrones de alta energía. Además, cumple una función sustancial como la regeneración de tritio ya que este se usa como combustible.

La regeneración es posible debido a que se recubre la capa interna del manto con litio, que al interactuar con los neutrones de alta energía producirá núcleos de tritio.



a)



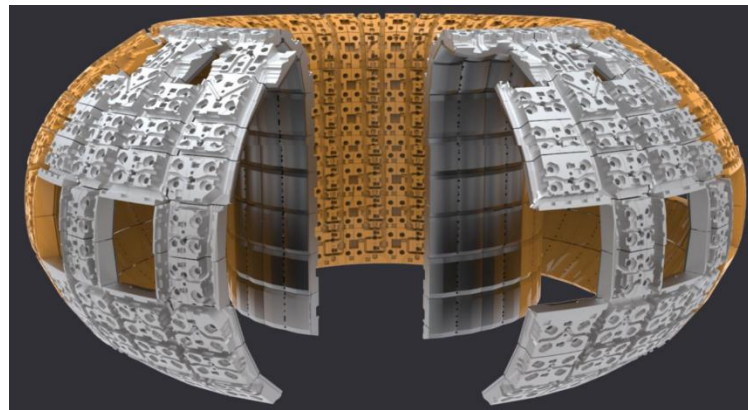
b)



c)



d)



e)

Figura 2: Componentes del reactor de fusión ITER: (a) Divertor; (b) Cámara de vacío [2]; (c) Criostato; (d) Imán; (e) Manto. Recuperado de www.iter.org.

Confinamiento magnético del plasma

Es el principal método por el cual se logra alcanzar la fusión en un reactor. Para lograr esto debe ser necesario generar un campo magnético toroidal muy intenso mediante imanes, de tal manera que los núcleos logren vencer la repulsión coulombiana y se acerquen lo suficiente para que se dé la fusión.

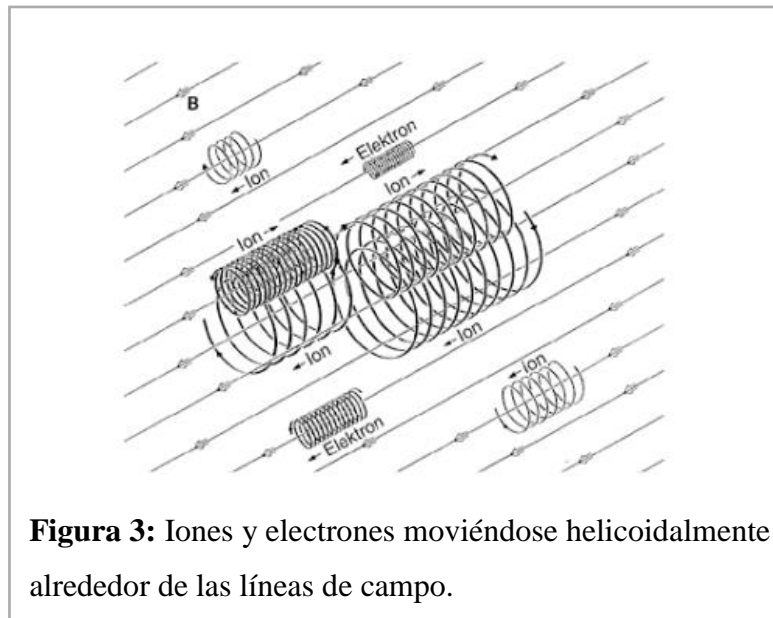
Es en dicho campo donde se debe inyectar gas de hidrógeno o deuterio, con el objetivo de obtener una gran cantidad de núcleos, que se calienta inicialmente mediante radiación de microondas. De tal manera que la temperatura del gas se eleve lo suficiente para lograr que los átomos se ionicen, es decir, para que logren perder sus electrones asociados. El gas ionizado que obtenemos como resultado es el llamado plasma [5].

Es importante tener en cuenta que se debe evitar que el plasma interactúe directamente con las paredes [5], ya que se enfriaría inmediatamente, es por ello que usamos campos magnéticos para confinarlo y aislarlo térmicamente.

El plasma alcanza una configuración exitosa cuando:

- a) Esta en un estado de equilibrio independientemente del tiempo
- b) El equilibrio debe ser macroscópicamente estable
- c) La fuga de energía del plasma a la pared debe ser pequeña o nula.

Las partículas cargadas que se encuentran en este plasma, tanto iones como electrones, se verán forzadas por los campos magnéticos a tener orbitas circulares y a tener un movimiento helicoidal alrededor de las líneas de campo [5], evitando que el plasma ocupe todo el espacio disponible (**Figura 3**).



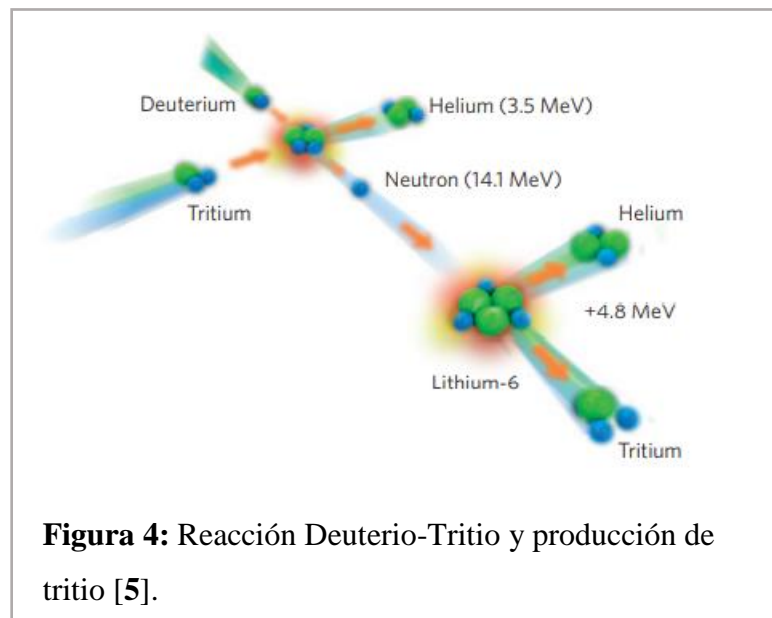
Sin embargo, los campos magnéticos por los cuales las partículas cargadas describen orbitas circulares no es suficiente para confinar el plasma. Debemos tener en cuenta que la intensidad del campo decrece hacia el exterior en un campo anular puro, como consecuencia las partículas saldrían empujadas hacia las paredes del reactor. Este problema podemos salvarlo generando superficies magnéticas, distribuidas como capas, en las cuales la densidad y la temperatura permanezcan constantes. Con ello lo que realmente estamos generando es la ausencia de la componente radial del campo.

Un criterio que es imprescindible para el confinamiento es los balances de energía conocido como ignición. A partir de la reacción Deuterio-Tritio se produce un núcleo de helio o partícula alfa y un neutrón, ambas partículas tendrán parte de la energía total producida por la reacción [5]. La partícula alfa contiene el 20% de la energía total, mientras que el neutrón el 80%.

Como la partícula alfa tiene carga positiva, esta quedara atrapada en la cámara de vacío debido al campo magnético y la energía que contiene será aprovechada para calentar el plasma. Inicialmente el plasma se calienta con radiación de microondas, pero a medida que aumenta la temperatura aumentará el número de reacciones de fusión con lo cual las partículas alfa proporcionarán mayor energía para el calentamiento hasta lograr alcanzar una temperatura suficiente para que la reacción de fusión se auto-mantenga. Este fenómeno es conocido como ignición. La condición de ignición se puede expresar como

$$n\tau_E T > 6 \times 10^{22} \text{ m}^{-3} \text{ s}^{-1} \quad (2)$$

Por otro lado, el neutrón que carece de carga eléctrica no resulta afectado por el campo magnético. Por tanto, logra escapar del plasma penetrando en el manto, al cual le transfiere su energía y reacciona con el litio produciendo el combustible tritio (**Figura 4**). Una parte de su energía se convertirá en calor que posteriormente será aprovechado como electricidad.



Conclusiones

Teniendo en cuenta las condiciones, que son las más óptimas, que nos brinda el método mostrado tales como: el total aislamiento térmico del plasma evitando que choque con las paredes, la generación de la temperatura ideal para la reacción de fusión, la autoconsistencia de la temperatura (fenómeno de ignición) y la generación del combustible tritio, mediante la reacción neutrón-litio, para que la reacción se mantenga; este es el ideal para su aplicación en un reactor de fusión como el ITER.

Además, la geometría de los elementos de construcción del reactor de fusión juegan un rol muy importante ya que permiten aprovechar al máximo la reacción. En especial la forma toroidal de la cámara de vacío, ya que si no fuera así no nos permitiría controlar el plasma y por ende estabilizarlo.

Por ello podemos tener muy en claro que el reactor de fusión ITER es el ideal para la obtención de energía que logre satisfacer la gran demanda energética de la población actual y futura.

Referencias

1. International Journal of Atomic and Nuclear Physics.
2. Huang,C.(2018).Magnetic confinement fusion: a brief review.*Front.Energy*.12,305–313.
3. Laval,G.(2019).The birth of the research on the magnetic confinement for nuclear fusion.*C.R.Physique*.20,706-713.
4. Litaudon,X.(2017).Overview of the JET results in support to ITER.*Nucl.Fusion*.57,1-42.
5. Ongena,J.,Koch,R.,Wolf,R. and Zohm,H.(2016).Magnetic-confinement fusion.*Nature Phys*.12,398-410.