



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE
QUITO**

CARRERA DE ELECTRICIDAD

MODELO DE ESCENARIO PARA LA TRANSICIÓN ÓPTIMA HACIA TECNOLOGÍAS DE FUSIÓN NUCLEAR “ITER TOKAMAK” EN EL CONTEXTO ECUATORIANO BASADO EN LÓGICA DIFUSA.

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniero Eléctrico

AUTOR: JUAN JOSÉ SALVADOR AGUAS

TUTOR: CRISTIAN CRISTÓBAL CUJI CUJI

Quito -Ecuador

2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Juan José Salvador Aguas con documento de identificación N° 1719002907 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 20 de junio del año 2024

Atentamente,



Juan José Salvador Aguas

1719002907

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Yo, Juan Jose Salvador Aguas con documento de identificación No. 1719002907, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Artículo Académico : “Modelo de escenario para la transición óptima hacia tecnologías de fusión nuclear “iter tokamak” en el contexto ecuatoriano basado en lógica difusa”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 20 de junio del año 2024

Atentamente,



Juan Jose Salvador Aguas
1719002907

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Cristian Cristóbal Cuji Cuji, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: MODELO DE ESCENARIO PARA LA TRANSICIÓN ÓPTIMA HACIA TECNOLOGÍAS DE FUSIÓN NUCLEAR “ITER TOKAMAK” EN EL CONTEXTO ECUATORIANO BASADO EN LÓGICA DIFUSA, realizado por Juan José Salvador Aguas con documento de identificación N° 1719002907, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 20 de junio del año 2024

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Cristian Cuji', is written over a light blue rectangular background. Below the signature is a horizontal dashed line.

Ing. Cristian Cristóbal Cuji Cuji, MSc

1718002221

ÍNDICE GENERAL

1	Introducción	2
2	Marco teórico.....	2
2.1	Infraestructura Actual Caso Ecuador	3
2.2	Nuevas tecnologías de Generación Eléctrica	4
2.3	Centrales Térmicas y su funcionamiento	5
2.3.1	Ecuaciones de funcionamiento de las centrales térmicas	5
2.4	Futuras Promesas	6
2.5	ITER.....	6
2.5.1	Aspectos técnicos del ITER.....	7
2.6	¿Qué es la Fusión?	8
2.7	Funcionamiento de un reactor.....	8
2.8	La energía en la fusión nuclear.....	11
2.9	La generación en centrales nucleares	11
2.10	Comparativo combustible tradicional a tritio o deuterio	13
2.11	Comparativa ITER y Central térmica.....	13
2.12	DEMO (futuro para analizar la generación eléctrica con fusión nuclear).....	14
2.13	Perspectivas de integración.....	15
2.14	Aspecto medio ambiental	15
2.15	Aspecto Salud	16
3	Desarrollo.....	16
3.1	El futuro del consumo energético en el Ecuador.....	17
3.2	Método y materiales.....	17
3.3	Condiciones iniciales.....	18
3.1	Caracterización Diagrama SNI	18
3.1.1	Lógica difusa	20
3.1.2	Reglas o funcionamiento de la lógica difusa.....	21
4	Resultados.....	22
4.1	Caso base.....	23
4.2	Caso con aumento carga	24
4.2.1	Lógica difusa en una central aleatoria (Termo Esmeraldas).....	26
4.3	Análisis de población	26

4.3.1	Futuro del consumo energético en el Ecuador.....	27
4.4	Previsión del ITER.....	27
5	Conclusiones.....	28
6	Trabajo a futuro.....	28
7	Referencias.....	28

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.Fuentes de energía	2
Figura 2.Centrales de generación renovable	3
Figura 3.Producción de electricidad 2022.....	3
Figura 4.Centrales de generación no renovable	4
Figura 5.Diagrama proceso del ITER	7
Figura 6.ITER.....	7
Figura 7. diferencias entre fisión y fusión nuclear	8
Figura 8. Diagrama de flujo del desarrollo	16
Figura 9.Desarrollo.....	17
Figura 10.Evolución de la demanda nacional de energía eléctrica.	17
Figura 11.Diagrama General SNI.....	18
Figura 12.Grafico de función de membresía Generación Eléctrica.	20
Figura 13.Gráfico de función de membresía Año de inauguración.	20
Figura 14.Gráfico de función de membresía Emisiones CO2.....	20
Figura 15.Gráfico de función de membresía resultados.....	21
Figura 16. Perfiles de carga de las centrales	23
Figura 17. Ángulo del rotor externo caso base.....	23
Figura 18. Velocidad caso base.....	24
Figura 19. Previsión del incremento de carga en Ecuador.....	24
Figura 20. Perfiles de carga de las centrales con aumento de carga	24
Figura 21. Ángulo del rotor externo caso aumento de carga	25
Figura 22. Velocidad caso aumento de carga.....	26
Figura 23. Crecimiento Poblacional Ecuador hasta 2020	26
Figura 24. Previsión Crecimiento Poblacional Ecuador hasta 2070	27

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Aspectos técnicos de ITER	7
Tabla 2. Comparación Deuterio y combustible tradicional.....	13
Tabla 3. Comparación Central Térmica e ITER	13
Tabla 4. Crecimiento del consumo energético en el Ecuador.....	17
Tabla 5. Cantidad de elementos encontrados dentro del diagrama del SNI.....	18
Tabla 6. Datos de generación general del diagrama.....	19
Tabla 7. Función de membresía generación en MW	20
Tabla 8. Función de membresía año de inauguración.....	20
Tabla 9. Función de membresía Emisiones CO ₂	21
Tabla 10. Función de membresía Resultados.....	21
Tabla 11. Información de la lógica difusa	21
Tabla 12. Función de membresía Emisiones CO ₂ del generador C Sele III	23
Tabla 13. Función de membresía Emisiones CO ₂ del generador Jara.....	25
Tabla 14. Resultados lógica difusa, Termo Esmeraldas.....	26

MODELO DE ESCENARIO PARA LA TRANSICIÓN ÓPTIMA HACIA TECNOLOGÍAS DE FUSIÓN NUCLEAR “ITER TOKAMAK” EN EL CONTEXTO ECUATORIANO BASADO EN LÓGICA DIFUSA

Resumen

Esta publicación presenta un enfoque innovador para la transición hacia tecnologías de fusión nuclear en Ecuador, utilizando la lógica difusa. El estudio se centra en el proyecto "ITER Tokamak", que ha despertado un gran interés en la nación. Este modelo estratégico utiliza la lógica difusa y la teoría de escenarios para proporcionar una hoja de ruta completa que tiene en cuenta una variedad de factores técnicos, sociales, regulatorios y económicos.

En este contexto, el uso de la lógica difusa permite abordar la incertidumbre y la ambigüedad que acompañan a los procesos de transición hacia tecnologías emergentes. La lógica difusa permite capturar la complejidad de la transición hacia la fusión nuclear al tomar en cuenta varias variables y factores tales como crecimiento poblacional, crecimiento de consumo eléctrico o factores económicos. Además, proporciona un marco flexible para evaluar una variedad de estrategias y opciones de implementación.

Además de su aplicabilidad en el contexto ecuatoriano, el enfoque basado en la lógica difusa puede ser extrapolado a otros países y contextos interesados en la implementación de tecnologías de fusión nuclear. Los desafíos y oportunidades asociados con la adopción de esta fuente de energía limpia y sostenible pueden ser abordados de manera más precisa y efectiva a través del uso de la lógica difusa.

Palabras Clave: tecnologías de fusión, Generación, Recursos Renovables.

Abstract

This publication presents an innovative approach for the transition towards nuclear fusion technologies in Ecuador, using fuzzy logic. The study focuses on the "ITER Tokamak" project, which has aroused great interest in the nation. This strategic model uses fuzzy logic and scenario theory to provide a comprehensive roadmap that considers a variety of technical, social, regulatory, and economic factors.

In this context, the use of fuzzy logic makes it possible to address the uncertainty and ambiguity that accompany the transition processes towards emerging technologies. Fuzzy logic allows capturing the complexity of the transition to nuclear fusion by considering several variables and factors such as population growth, growth in electricity consumption or economic factors. In addition, it provides a flexible framework for evaluating a variety of strategies and implementation options.

In addition to its applicability in the Ecuadorian context, the approach based on fuzzy logic can be extrapolated to other countries and contexts interested in the implementation of nuclear fusion technologies. The challenges and opportunities associated with the adoption of this clean and sustainable energy source can be more accurately and effectively addressed through the use of fuzzy logic.

Keywords: fusion technologies, Generation, Renewable Resources.

1 Introducción

Actualmente, El desarrollo de fuentes de energía eficientes y sostenibles es una prioridad global [1].

A medida que se hacen evidentes los efectos negativos de las fuentes tradicionales de energía, como los derivados del petróleo, surge la necesidad de explorar alternativas más limpias y seguras. A pesar de la amplia gama de opciones disponibles, cada una de ellas tiene restricciones importantes[2].

A pesar de su amplia disponibilidad, Los combustibles fósiles producen grandes cantidades de gases de efecto invernadero y otros contaminantes que son dañinos para la salud humana y el medio ambiente. Por otro lado, las energías renovables, como la solar y la eólica, tienen limitaciones en cuanto a la capacidad de almacenamiento a gran escala y su dependencia de los factores climáticos [3].

Además, la energía hidráulica puede encontrar dificultades durante períodos de sequía y puede afectar negativamente los ecosistemas fluviales[4].

La energía de fusión nuclear ha emergido como una alternativa viable para cubrir las crecientes necesidades de energía de manera sostenible[5].

La fusión nuclear, que se basa en la recreación de las reacciones nucleares que ocurren en el Sol, es el origen de la promesa de una fuente de energía limpia y segura prácticamente ilimitada. Varios proyectos internacionales, incluyendo el ITER (Reactor Experimental Termonuclear Internacional) en Francia, el NIF (Centro Nacional de Ignición) en Estados Unidos y el Láser Mégajoule (LMJ) en Francia, se enfocan en la investigación y el avance de la tecnología de fusión nuclear[6].

Es necesario realizar un análisis y evaluación de la posibilidad y los efectos de implementar tecnologías de fusión nuclear en diversas naciones y áreas debido en este contexto. Es fundamental tener en cuenta un modelo de escenario que permita una transición óptima.

La tecnología de fusión nuclear basada en el "ITER Tokamak" puede ser una alternativa ideal para el futuro. En el caso de Ecuador, siendo un país que enfrenta desafíos energéticos y busca reducir su dependencia de combustibles fósiles[7].

Se busca Explorar la idea de transición hacia estas nuevas tecnologías de fusión. Mediante el análisis de un caso específicos en cierta Central térmica en la cual se analizará la factibilidad de realizar el cambio mediante lógica difusa (Matlab y Power Factory). Ciertos Factores para tomar en cuenta serán las emisiones de gases, el crecimiento de consumo eléctrico en el Ecuador, de igual manera el crecimiento poblacional y la antigüedad de las centrales energéticas. De igual manera se analizará las ventajas propuestas que tienen estas nuevas tecnologías de fusión nuclear frente a las centrales térmicas[8].



Figura 1. Fuentes de energía

2 Marco teórico

Desde el momento en que en el mundo se utilizó electricidad de manera masiva, se encontró varios retos de generar energía de manera eficiente, una de las fuentes de generación más confiables es la generación en plantas térmicas, las que utilizan combustible fósil para su funcionamiento, esta fuentes tienen un gran perjuicio para el medio ambiente lo cual puede llevar a afectar la calidad de vida para el ser humano y todas las criaturas vivientes esta

realidad ha llevado al ser humano a buscar nuevas alternativas de generación eléctrica, más confiables, más ecológicas y más baratas[9].

El Ecuador se destaca en este aspecto ya que la mayoría de las fuentes de generación del país son renovables, siendo el 92% hidroeléctrica, el 7% de térmicas y el 1% de no convencionales[10].

Ecuador en este aspecto es un país privilegiado ya que debido a su fácil acceso a grandes cuerpos acuáticos le permite implementar este tipo de tecnologías de generación. Pero en el resto del mundo la historia es diferente ya que el 83,1% de la generación eléctrica mundial es basada en combustibles fósiles[11].

2.1 Infraestructura Actual Caso Ecuador

El Ecuador presento en el informe de la CENACE en el año 2020 una producción energética neta de 26979,76 GWh[12]

Esta generación se distribuyó de la siguiente manera:

- Generación Hidroeléctrica: 24168,66 GWh
- Generación Termoeléctrica: 2159,64 GWh
- Generación no convencional: 400,866 GWh
- Importación desde Colombia: 250,79 GWh

En relación con los siguientes años siendo el 2021 y 2022 el Ecuador bajo su nivel de producción, en 2021 las centrales cubrieron el 90% de la demanda eléctrica mientras que a finales del 2022 El Ecuador llego a cubrir el 75% de la demanda eléctrica[13].



Figura 2. Centrales de generación renovable

Esto se puede dar gracias a diferentes factores como es la erosión que ocurrió en la central Coca Codo Sinclair lo que ocasionó que la central baje su capacidad de producción haciendo que genere solamente la mitad de su capacidad[14].

Energía generada en 2022

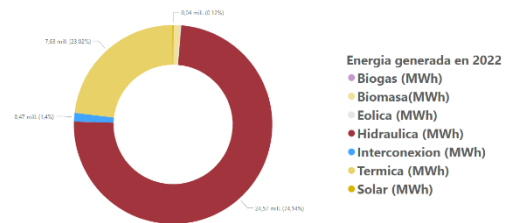


Figura 3. Producción de electricidad 2022

Debido a la falta de lluvias las fuentes de generación hidráulica y a la falla en la central más grande del Ecuador (Coca Codo) las centrales termoeléctricas se vieron obligadas a aumentar su producción en un 238% lo que se traduce en una mayor contaminación para el medio ambiente. Esto también es una consecuencia de la falta de ejecución de los proyectos hidroeléctricos ya plateados, algunos faltando su firma de contrato y otros proyectos ya con 13 años de retraso.

En la Figura 2 Podemos observar las centrales de generación renovable en el territorio ecuatoriano.

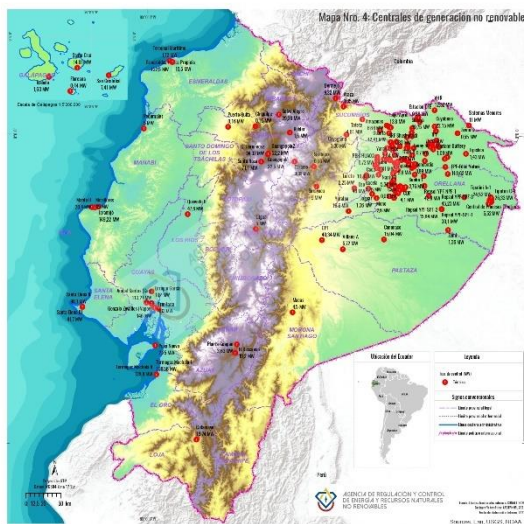


Figura 4. Centrales de generación no renovable

2.2 Nuevas tecnologías de Generación Eléctrica

La supeditación del petróleo junto con los efectos de los combustibles fósiles en el medio ambiente ha hecho que varios esfuerzos de investigación se enfoquen en nuevas tecnologías de generación eléctrica[15].

En todo el mundo, se están creando y poniendo en uso nuevas tecnologías de generación de electricidad. Algunos de estos son:

- Los paneles fotovoltaicos, usan energía solar para convertir la luz solar en electricidad. A medida que el precio de la tecnología fotovoltaica continúa cayendo, la energía solar[16]. Una fuente renovable y limpia de energía, está ganando popularidad[17].
- La utilización de la energía eólica implica el empleo de turbinas eólicas para producir electricidad. Otra fuente de energía utilizando con mayor frecuencia es la energía eólica, ya que el precio de la tecnología de turbinas eólicas cae[18].

- La utilización de la energía potencial del agua que cae para producir electricidad se conoce como energía hidroeléctrica. Aunque se ha utilizado durante muchos años, la energía hidroeléctrica depende de la presencia de fuentes de agua[19].
- Energía geotérmica: este método consiste en producir electricidad aprovechando el calor obtenido de las profundidades del núcleo de la tierra. En algunas regiones del mundo, como Islandia, la energía geotérmica es excepcionalmente abundante. Es limpio y renovable[20].
- La utilización de la energía producida por los procesos nucleares para generar electricidad se conoce como la energía nuclear que conocida como una fuente de energía controvertida debido a los desechos radiactivos que produce, pero también es un medio muy eficaz para producir grandes cantidades de electricidad[21].
- La utilización de biomasa, o materia orgánica, como fuente de energía se conoce como bioenergía. Se puede utilizar una variedad de productos, que incluyen madera, desechos agrícolas e incluso basura, para crear bioenergía. Aunque es una fuente de energía renovable, no produce cero emisiones[22].
- El proceso de fusión nuclear. Tiene el potencial de ser energía limpia y potencialmente ilimitada aquí en el mundo y es el mismo proceso que impulsa al sol y otras estrellas[23].

A pesar de la existencia de diferentes fuentes, en el Ecuador la fuente más confiable de energía eléctrica son las **centrales térmicas**.

2.3 Centrales Térmicas y su funcionamiento

Las centrales térmicas son instalaciones que utilizan calor para generar energía. En general, los siguientes pasos son necesarios para que una central térmica funcione correctamente:

Generación de calor: La mayoría de las centrales térmicas generan calor mediante la combustión de combustibles fósiles como el carbón, el gas natural o el petróleo [24].

Producción de vapor: el calor producido se utiliza para calentar agua y producir vapor a alta presión [25].

Expansión del vapor: Las turbinas pasan vapor a alta presión, transformando la energía térmica en energía mecánica. Los generadores están conectados a las turbinas para convertir la energía mecánica en electricidad [26].

Condensación del vapor: Después de pasar por las turbinas, el vapor se enfría y condensa de nuevo a líquido para que pueda ser recalentado y recirculado en el sistema [27].

Generación de electricidad: Un generador transforma finalmente la energía mecánica rotativa en electricidad [28].

Distribución de electricidad: Una red de distribución eléctrica transporta la electricidad generada a los consumidores finales [29].

Es importante señalar que el diseño y funcionamiento de las centrales térmicas pueden variar según el tipo de combustible utilizado, el ciclo de generación de energía y los sistemas de control de emisiones. Además, las centrales térmicas contemporáneas con frecuencia incorporan tecnologías sofisticadas para aumentar la eficiencia y reducir las emisiones contaminantes.

La reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes, así como la incorporación de fuentes de energía renovable en el sistema eléctrico para lograr una generación más sostenible, son desafíos actuales para las centrales térmicas [30].

2.3.1 Ecuaciones de funcionamiento de las centrales térmicas

Eficiencia de conversión térmica a eléctrica (Eficiencia de Carnot): La eficiencia de Carnot define el límite teórico de eficiencia para la conversión de calor en trabajo en un ciclo termodinámico entre dos temperaturas [31].

Se expresa como:

$$Eff_{Carnot} = 1 - \frac{T_C}{T_H}$$

Siendo:

- T_C : temperatura del sumidero de calor
- T_H : temperatura de la fuente de calor

Potencia eléctrica generada: La potencia eléctrica producida por la central térmica se relaciona con la tasa de transferencia de energía térmica y la eficiencia de conversión [32].

Se expresa como:

$$P_{elec} = \eta \cdot \dot{Q}$$

Siendo:

- η : Eficiencia de conversión de calor a electricidad
- \dot{Q} : Es la tasa de transferencia de energía térmica al sistema

Eficiencia real de la central térmica:

La eficiencia real de la central térmica tiene en cuenta las pérdidas de calor y otras consideraciones prácticas [33].

Se puede expresar como:

$$Eff_{real} = Eff_{Carnot} \times \frac{T_H - T'_C}{T_H - T_C}$$

Siendo

- T'_C es la temperatura real del sumidero de calor, que puede diferir de la temperatura ideal T_C Debido a las pérdidas de calor y otros factores.

2.4 Futuras Promesas

El experimento más destacado en la actualidad que sigue en construcción es ITER. ITER promete que producirá 10 veces más energía de la que ingresa ósea un valor de Q de 10 [34].

Esto puede significar que estamos cerca de lograr una fusión nuclear óptima, pero la realidad es muy diferente. Por lo general la mayoría de literatura como la que asegura que existirá un valor de $Q=10$ en ITER no se refiere a la ganancia de energía total en la maquina si no en el plasma, y ese valor siempre será el mayor pero para poder construir una central eléctrica, que es el objetivo final de esta máquina, se necesita el valor de Q total que siempre es menor al valor de Q en el plasma, también el valor de Q en el plasma tampoco toma en cuenta que al generar energía eléctrica, siendo optimistas el 50% de la energía generada en la maquina puede ser aprovechada como energía eléctrica, eso hace que el valor verdadero de la Q total de la maquina sea mucho más bajo que el valor de Q en el plasma [35].

2.5 ITER

Un proyecto global de fusión nuclear llamado ITER tiene como objetivo demostrar la viabilidad científica y tecnológica de la fusión como fuente de energía limpia y sostenible. La construcción se lleva a cabo en Cadarache, en el sur de Francia, con la colaboración de 35 países, entre ellos la Unión Europea, Rusia, China, Estados Unidos, Japón y Corea del Sur [36].

El objetivo principal de ITER es producir y mantener una reacción de fusión nuclear controlada en un plasma de hidrógeno calentado a temperaturas excepcionalmente altas. Utiliza un enfoque similar al de un tokamak, en el que el plasma se confina y maneja a través de campos magnéticos creados por grandes bobinas superconductoras [37].

El plasma llega a una temperatura superior a los 150 mil. de grados centígrados, más alta que el núcleo solar. Los átomos de hidrógeno se ionizan y se convierten en un estado de plasma altamente energético a estas temperaturas. En

estas condiciones, los núcleos de hidrógeno se fusionan y liberan partículas cargadas y calor [38].

El diseño de ITER permite mantener el plasma confinado durante largos períodos de tiempo, lo que es necesario para obtener una producción neta de energía a partir de fusión nuclear. El plasma se confina y se mantiene estable gracias a los campos magnéticos generados por las bobinas superconductoras. Estas bobinas se enfrían a gracias al helio líquido para lograr la superconductividad, lo que reduce la pérdida de energía y permite mantener los campos magnéticos necesarios para controlar el plasma [39].

ITER podría producir 500 megavatios de potencia de fusión, lo que marcaría un hito en la exploración de la energía de fusión viable. Además de su propósito científico, ITER es un esfuerzo colaborativo internacional que fomenta el apoyo entre las naciones participantes [40].

La finalización de la construcción de las instalaciones principales y la instalación de componentes cruciales, como las bobinas superconductoras y el recipiente de vacío, son algunas de las etapas importantes del proyecto ITER. Antes de comenzar las operaciones de fusión nuclear, hoy en día se está haciendo el montaje y prueba de los sistemas.

En síntesis, ITER es un hito en la investigación de la fusión nuclear y tiene como objetivo demostrar la viabilidad científica y tecnológica de la energía de fusión como una fuente de energía limpia y sostenible. Se espera que ITER, un proyecto de colaboración internacional, promueva la cooperación entre los países participantes para abordar los desafíos energéticos globales e impulse importantes avances en el campo de investigación de la energía de fusión nuclear [28][6][29].

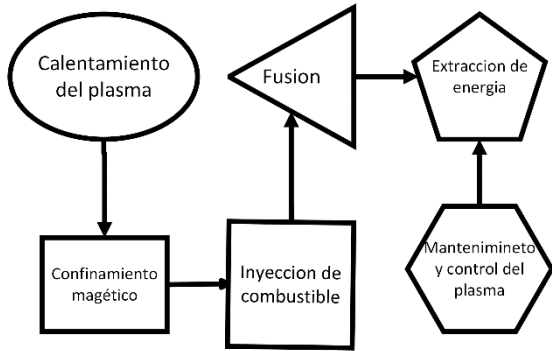


Figura 5. Diagrama proceso del ITER

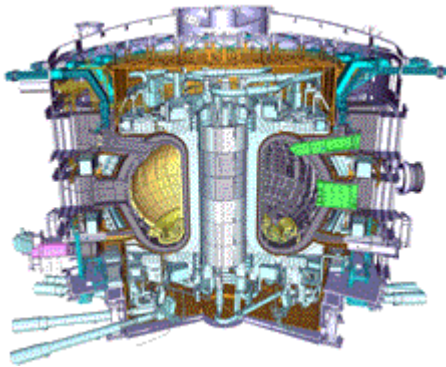


Figura 6. ITER

2.5.1 Aspectos técnicos del ITER

De acuerdo con el jefe de la división de Ingeniería Eléctrica del Proyecto ITER, ITER consumirá 440 MW mientras produce energía de fusión, pero este dato ya da confusión porque 120 de estos MW se consumirán ya sea que exista plasma dentro del reactor o no, lo que lleva a la suposición que la máquina funcionara de manera permanente. El plan es que ITER genere 500 MW en calor, **asumiendo una eficiencia de 50% al convertir este calor en energía eléctrica tendríamos un total 250MW de energía** [41]

2.5.1.1 Componentes del proyecto ITER (TOKAMAK)

- Imanes: La función magnética de ITER es la grande del todo el mundo, este compuesto por magnetos, con una energía magnética almacenada de 51 giga Joules este sistema sirve para controlar, iniciar y dar forma al plasma que se generaría en el TOKAMAK [42].

- Cámara de vacío: Las reacciones de ITER serán conducidos en una cámara de vacío hecha de acero sellada herméticamente que sirve también como la primera barrera de seguridad, cuenta con 44 puertos para dar acceso para operaciones de la máquina [43]

- Envoltura: está compuesta por 400 módulos que cubren las paredes interiores de la cámara de vacío en su totalidad, sirve para la protección de la estructura magnetos, debido a que es uno de los componentes que interactúan de manera directa con el plasma, es uno de los elementos con más desafíos en el proyecto. Durante las siguientes etapas de ITER se cambiarán ciertos módulos con la finalidad de implementar módulos especializados para la creación de tritio, esto es vital ya que para que la maquina pueda ser autosustentable, esta debe poder crear átomos de tritio [44].

- Difusor: El difusor está situado en el fondo de la máquina y ayuda a reducir la contaminación del plasma al extraer el calor y la ceniza producidos por la reacción de fusión [45].

- Criostato: provee un entorno ultra frio para el recipiente de vacío y los magnetos cuenta con 30 metros de ancho y largo, la estructura soportara una presión de 1×10^{-4} Pa [46].

Tabla 1. Aspectos técnicos de ITER

Aspecto Técnico	Descripción
Nombre	ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor)

Ubicación	Cadarache, Francia
Tipo de Reactor	Tokamak
Objetivo	Demostrar la viabilidad de la fusión nuclear como fuente de energía
Principio	Fusión nuclear controlada
Combustible	Deuterio y Tritio
Potencia teórica	500 megavatios de potencia de fusión ($Q = 10$)
Estructura	Imán superconductor de toroide
Dimensiones	<p>Diámetro mayor de la cámara de plasma: 6,2 metros</p> <p>Altura de la cámara de plasma: 2 metros</p> <p>Longitud del campo magnético: 25 metros</p>
Costo estimado	Aproximadamente 20 mil millones de euros
Colaboradores	Unión Europea, Estados Unidos, China, Rusia, India, Japón y Corea del Sur
Estado actual	En construcción; primera operación de plasma programada para 2025

2.6 ¿Qué es la Fusión?

La fusión nuclear, un proceso en el que los núcleos atómicos se unen para formar un núcleo más grande, libera una gran cantidad de energía. Los científicos están tratando de aprovechar este mecanismo, que alimenta al sol y otras estrellas, como una fuente de energía limpia que puede ser aprovechada en la Tierra de manera casi infinita[47].

La fusión nuclear es el proceso en el que dos núcleos atómicos se combinan para formar un núcleo más pesado y liberar energía. Esto ocurre cuando la energía cinética de los núcleos en colisión supera la fuerza fuerte, que normalmente une los protones en un núcleo atómico. La fusión nuclear libera más energía que la división de un núcleo atómico en núcleos

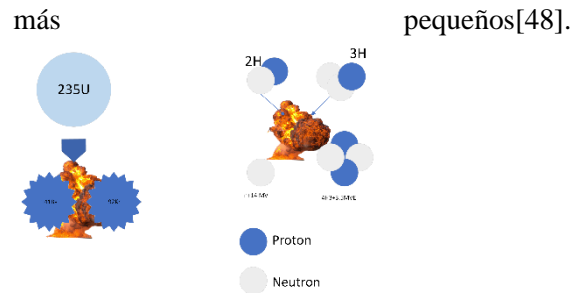


Figura 7. diferencias entre fisión y fusión nuclear

La fusión de dos núcleos ligeros, uno de deuterio (un isótopo de hidrógeno con un protón y un neutrón) y otro de tritio ocurre en la reacción de fusión de deuterio-tritio. La fusión produce un núcleo de helio con dos protones y dos neutrones, así como un neutrón libre [49].

2.7 Funcionamiento de un reactor

A diferencia de los reactores de fisión, los reactores de fusión no generan desechos radiactivos de alta actividad ni de larga duración. El helio, un gas inerte, es el combustible "quemado" en un reactor de fusión. La activación por neutrones rápidos en las superficies del material producirá desechos de actividad muy baja, baja o media [50].

Debido a que la vida media de la mayoría de los radioisótopos contenidos en estos desechos es inferior a diez años, todos los materiales de desecho serán tratados, empaquetados y almacenados en el sitio. Dentro de 100 años, la radiactividad de los materiales habrá disminuido de manera tan significativa que los materiales se pueden reciclar para su uso en otras plantas de fusión. Para dispositivos futuros, este cronograma de 100 años podría reducirse mediante el desarrollo continuo de materiales de "baja activación", que son una parte importante de la investigación y el desarrollo de la fusión en la actualidad [39].

Hay distintos principios físicos que interactúan cuando viene en consideración el funcionamiento de un reactor, tales como:

1. Ecuación, de la conservación de la energía en el sistema del reactor de fusión se muestra en la función. Toma en cuenta no solo la producción de energía de las reacciones de fusión, sino también las pérdidas de energía por radiación, conducción de calor y otros procesos [51].

$$\frac{\partial E}{\partial t} = P_{fus} - P_{rad} - P_{cond} - P_{otros} \quad (1)$$

Siendo:

- $\frac{\partial E}{\partial t}$: Tasa de cambio del sistema energético.
- P_{fus} : Energía producida en la reacción de fusión nuclear.
- P_{rad} : Energía perdida por radiación
- P_{cond} : Pérdida energética por conducción de calor.
- P_{otros} : Energía perdida por otros procesos como pérdida energética.

El balance de energía del reactor de fusión se calcula utilizando esta ecuación, así como varios procesos afectan la producción o pérdida de energía.

2. Ecuación de conservación de la masa: La conservación de masa en el sistema del reactor de fusión se describe en esta ecuación. Considera la producción de masa por reacciones de fusión y la pérdida de masa por radiación, entre otros procesos [52].

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \frac{dM_{fus}}{dt} - \frac{dM_{rad}}{dt} \quad (2)$$

Siendo:

- $\frac{\partial M}{\partial t}$: Es la tasa en la que se produce el cambio de masa del sistema.
- $\frac{dM_{fus}}{dt}$: Es la tasa de producción en masa producida por reacciones de fusión nuclear.
- $\frac{dM_{rad}}{dt}$: Es la tasa a la que se reduce la masa como resultado de la radiación.

Esta ecuación se aplica para entender cómo cambia la masa total del sistema debido a las reacciones de fusión y las pérdidas por radiación.

3. Ecuación de conservación del momento: En el sistema del reactor de fusión, esta ecuación muestra la conservación del momento. Considera el flujo de masa y energía, así como su relación con los campos magnéticos y eléctricos del reactor [53].

$$\frac{\partial(\rho \mathbf{v})}{\partial t} = -\nabla \cdot \mathbb{T} - \nabla \cdot \mathbb{P} + \mathbb{F}_{ext} + \mathbb{F}_{mag} \quad (3)$$

Siendo:

- ρ : Densidad del plasma.
- \mathbf{v} : Velocidad del plasma
- \mathbb{T} : Es el tensor de esfuerzo, que explica cómo la presión afecta el plasma.
- \mathbb{P} : Es el vector de presión, que representa los gradientes de presión presentes en el plasma.
- \mathbb{F}_{ext} : Es el vector de las fuerzas externas que influyen en el plasma.
- \mathbb{F}_{mag} : Es el vector de fuerzas magnéticas producidas por el plasma cuando interactúa con campos magnéticos.

Esta ecuación se aplica para entender cómo se mueve y cómo se distribuye el momento en el plasma del reactor de fusión debido a diferentes fuerzas.

4. Ecuaciones de transporte: Estas ecuaciones describen cómo las partículas cargadas como los iones y los electrones se mueven en el plasma del reactor. Aunque las ecuaciones de transporte varían según el fenómeno modelado [54]. Una forma común de estas ecuaciones es:

$$\frac{\partial n_i}{\partial t} + \nabla \cdot (n_i v_i) = S_i - \nabla \cdot F_i \quad (4)$$

$$\frac{\partial n_e}{\partial t} + \nabla \cdot (n_e v_e) = S_e - \nabla \cdot F_e \quad (5)$$

Siendo:

- n_e y n_i : son las densidades de los electrones y los iones.
- v_e y v_i : son las velocidades de los electrones y los iones.
- S_e y S_i : Fuentes de electrones y iones.
- F_e y F_i : Flujo de electrones e Iones.

Estas ecuaciones se aplican para describir cómo se transportan las partículas cargadas en el plasma del reactor de fusión y cómo cambia su densidad debido a las fuentes y flujos.

5. Ecuaciones de equilibrio del plasma: Estas ecuaciones representan el estado de equilibrio del plasma en el reactor de fusión [55].

En este caso, se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$\nabla \cdot B = 0 \quad (6)$$

$$\nabla \times B = \mu_0 J \quad (7)$$

$$\nabla \cdot P = 0 \quad (8)$$

Siendo:

- B : Campo Magnético.
- J : Densidad de corriente.
- P : Tensor de presión. es un tensor de segundo orden simétrico que indica el estado de la presión en el plasma. Debido a la presencia de campos magnéticos y otros factores, la presión del plasma se distribuye de manera anisotrópica. Como resultado, los componentes del tensor de presión se encuentran en diferentes direcciones espaciales.

Estas ecuaciones se aplican para describir el equilibrio magnético y la presión en el plasma del reactor de fusión, lo que es esencial para mantener el plasma confinado y estable.

6. Ley de Ohm: La ley de Ohm explica las relaciones entre la corriente eléctrica, el voltaje y la resistencia en el plasma y los sistemas de bobinas magnéticas utilizados para confinar y controlar el plasma [56].

La ley de Ohm en plasma se puede expresar de la siguiente manera:

$$J = \sigma(E + v \times B) \quad (9)$$

Siendo:

- J : Densidad de la corriente.
- σ : Conductividad del plasma.
- E : Campo eléctrico.
- v : Velocidad del plasma.

- B : Campo magnético.

Esta ecuación es fundamental para entender cómo se comporta la corriente eléctrica en el plasma y cómo interactúa con los campos eléctricos y magnéticos presentes en el reactor de fusión.

Es importante destacar que estos conjuntos de ecuaciones son parte de una formulación teórica más completa para describir el comportamiento del plasma en un reactor de fusión nuclear. La complejidad y detalles específicos pueden variar según el diseño del reactor y las condiciones de operación. Estas ecuaciones son fundamentales para comprender y controlar el plasma y, por lo tanto, el proceso de generación de energía en un reactor de fusión [57].

2.8 La energía en la fusión nuclear

Algo que es una preocupación en la comunidad científica es la gran desinformación o la omisión de la divulgación de la información cuando se trata de fusión nuclear. Los beneficios de la investigación en este tema han sido comunicados de manera incorrecta por mucho tiempo, este tipo de desinformación hace que las investigaciones parezcan más

prometedoras de lo que en realidad son.

Uno de los aspectos más importantes a tomar en cuenta es: cuánta energía entra en un reactor y cuánta sale [58].

Esto se cuantifica mediante la ganancia de energía que es la proporción de cuánta energía sale en relación con la energía que entra que se denota usualmente como:

$$Q = \frac{\text{ENERGIA SALIDA}}{\text{ENERGIA ENTRADA}} \quad (10)$$

Si la ganancia de energía es 1 se crea ganancia de energía se generaría energía neta, el punto en el que Q llega a uno se le conoce como punto de equilibrio o break even, actualmente el récord de ganancia de energía lo tiene el NIF o -Instalación Nacional de Ignición en los Estados Unidos con un valor de Q de 0.7 en 2021 el anterior récord era del JET: Joint European Torus con un valor de Q de 0.67 en 1997 [59].

2.9 La generación en centrales nucleares

La generación de energía nuclear implica la producción de electricidad a través de la fisión nuclear, que es el proceso en el que se libera una gran cantidad de energía cuando se divide un núcleo atómico. Este proceso se lleva a cabo en una central nuclear, que es una instalación diseñada específicamente para albergar reactores nucleares y generar electricidad de manera controlada y segura [60].

A continuación, se proporciona información sobre la generación de centrales nucleares.

1. **Eficiencia energética:** Las centrales nucleares son conocidas por su alta eficiencia en la generación de energía. Tienen una capacidad operativa continua, lo que significa que pueden proporcionar una cantidad constante de energía eléctrica sin interrupciones. Esto contrasta con las fuentes de energía renovable como la solar y la eólica, que pueden depender de las condiciones climáticas y ambientales. Debido a su alta eficiencia y capacidad de carga base, las centrales nucleares son una fuente confiable de energía para satisfacer la demanda de electricidad en momentos de pico [61].
2. **Seguridad y fiabilidad:** A pesar de los temores iniciales sobre la seguridad de la energía nuclear, los avances tecnológicos y los estándares de seguridad estrictos han hecho que las centrales nucleares modernas sean muy

seguras. La eficiencia en este contexto también se relaciona con la capacidad de estas centrales para operar de manera estable y segura a lo largo del tiempo, con un riesgo mínimo de accidentes o interrupciones [62].

3. **Impacto ambiental:** Las centrales nucleares no emiten gases de efecto invernadero durante la generación de energía, lo que las convierte en una opción atractiva desde el punto de vista medioambiental[63]. En comparación con las centrales eléctricas de combustibles fósiles. Sin embargo, la gestión segura de los residuos nucleares y la preocupación por los posibles desastres nucleares siguen siendo importantes consideraciones en términos de sostenibilidad [64].

4. **Costos:** La construcción inicial de una central nuclear puede ser costosa, pero en términos de costos operativos a largo plazo, las centrales nucleares son relativamente más económicas en comparación con las centrales de energía renovable, como la solar y la eólica, en ciertos contextos. Sin embargo, el costo de desmantelamiento y eliminación de desechos nucleares sigue siendo una preocupación importante [65].

Es esencial señalar que la generación de energía nuclear implica desafíos significativos, como la gestión segura de los residuos nucleares y la proliferación de armas nucleares, que deben abordarse cuidadosamente para garantizar la seguridad y la sostenibilidad a largo plazo [66].

Hablemos de algunas ecuaciones clave relacionadas con la generación de energía nuclear:

Ecuación de Einstein (relación masa-energía): La ecuación de Einstein, $E = mc^2$, describe la equivalencia entre la masa y la energía, donde:

- E es la energía.
- m es la masa.
- c^2 es la velocidad de la luz en el vacío.

Esta ecuación subraya el potencial energético masivo encerrado en cantidades relativamente pequeñas de masa, lo que es fundamental para entender la inmensa cantidad de energía que se libera en la fisión nuclear [67].

Ecuación de generación de energía en un reactor nuclear: La energía eléctrica generada por un reactor nuclear puede calcularse mediante la fórmula general de potencia, que es $P = \eta \cdot \varepsilon$ [68].

Donde:

- P es la potencia eléctrica generada.
- η es la eficiencia del ciclo termodinámico.
- ε es la tasa de liberación de energía por fisión nuclear.

Ecuación de la ley de enfriamiento de un reactor nuclear: La ley de enfriamiento de un reactor nuclear describe cómo disminuye la temperatura de un reactor con el tiempo después de su apagado [69].

Una forma de esta ecuación es $T = T_0 \cdot e^{-kt}$, donde.

- T es la temperatura en un momento dado.
- T_0 es la temperatura inicial,
- k es la constante de enfriamiento.
- t es el tiempo transcurrido desde el apagado del reactor.

Estas ecuaciones son fundamentales para comprender el fundamento teórico y los cálculos asociados con la generación de energía

en una central nuclear. Sin embargo, ten en cuenta que la aplicación de estas ecuaciones es más compleja y requiere considerar una variedad de factores adicionales y parámetros específicos del reactor en cuestión [70].

2.10 Comparativo combustible tradicional a tritio o deuterio

El barril de combustible tradicional tiene un costo promedio de 110 dólares estadounidenses [71].

Mientras que el precio de deuterio puede llegar a ser 1200 dólares estadounidenses por litro [72].

El deuterio es un isótopo del hidrógeno que se encuentra de forma natural en el agua. Aproximadamente uno de cada 6,420 átomos de hidrógeno en la Tierra es deuterio. Aunque es un componente natural del agua, el deuterio también se puede obtener en pequeñas cantidades mediante métodos de separación de isótopos[73].

El método más común para obtener deuterio es a través de la separación isotópica del agua, ya sea por electrolisis o por destilación fraccionada. Estos procesos permiten aislar el deuterio y producirlo en cantidades específicas para su uso en aplicaciones industriales y científicas. El deuterio se utiliza en reactores de fusión nuclear, en la producción de deuterio de litio para aplicaciones en reactores de fisión, así como en diversas investigaciones científicas y médicas[74].

Tabla 2.Comparasion Deuterio y combustible tradicional

Aspecto	Deuterio	Combustible Tradicional (Diesel)
Emissiones de CO2	Nulas	10.15 kg/gal
Disponibilidad	Limitada	1,65 billones de barriles (2014)
Eficiencia Energética	4 MWh/kg	0.0125 MWh/kg

Infraestructura requerida	Especializada	Estándar
Tecnología de producción	Avanzada	Convencional
Investigación y Desarrollo	Activa	Estable
Uso en la Industria	Experimental/limitado	Establecido
Costo de Producción	1288 USD/litro	110 USD/barril

2.11 Comparativa ITER y Central térmica

En el panorama energético actual, la búsqueda de fuentes de energía sostenibles y eficientes se ha vuelto crucial para mitigar el impacto ambiental y abordar los desafíos del cambio climático [75]. En esta comparativa, se examinan dos tipos de tecnologías energéticas prominentes: las centrales térmicas convencionales, que dependen de la combustión de recursos fósiles, y el proyecto ITER, una iniciativa de fusión nuclear a gran escala.

Tabla 3. Comparación Central Térmica e ITER

Característica	Central Térmica	ITER
Fuente de Energía	de Combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas)	Fusión nuclear
Emissiones de CO2	de 0.01001 ton CO2/gal (diésel)	Cero emisiones de CO2
Materia Prima	Combustibles fósiles	Isótopos de hidrógeno, deuterio y tritio
Generación de Energía	de Genera electricidad de manera continua	Se espera que produzca grandes cantidades de energía de manera continua
Residuos Radiactivos	No produce residuos radiactivos	Genera residuos radiactivos, pero en cantidades mucho menores que las centrales nucleares de fisión

Complejidad Tecnológica	Tecnología madura y estable	Tecnología experimental, con numerosos desafíos técnicos pendientes
Disponibilidad de Recursos	Dependiente de reservas limitadas de combustibles fósiles	Utiliza isótopos de hidrógeno, que son relativamente abundantes
Costos Operativos	Altos costos operativos debido al combustible y mantenimiento	Costos operativos significativos debido a la naturaleza experimental y de investigación
Impacto Ambiental	Alta contaminación del aire y del agua, impacto en la salud humana	Bajo impacto ambiental directo, pero riesgos asociados a la tecnología experimental y la gestión de residuos radiactivos
Madurez Tecnológica	Tecnología consolidada y en operación en muchas partes del mundo	Tecnología en desarrollo y todavía no ha alcanzado el estado de madurez para implementaciones a gran escala

la producción neta de energía a partir de la fusión nuclear [77].

El objetivo principal de DEMO es mostrar que la energía de fusión puede ser una fuente de electricidad futura práctica y competitiva.

características y objetivos de DEMO:

- **Tamaño y capacidad:** Se espera que DEMO sea más grande que ITER y pueda generar una cantidad de cientos de megavatios de electricidad. Se espera que sea el primer reactor de fusión nuclear en generar energía eléctrica de manera continua, siendo un reactor de fusión a escala de demostración [78].
- **Tecnología de fusión:** Aunque el diseño exacto de DEMO aún no se ha determinado, se espera que se base en la tecnología del tokamak, similar a la que se utiliza en ITER. Sin embargo, en comparación con ITER, DEMO buscará mejorar la eficiencia, la estabilidad y la capacidad de generar energía [79].
- **Sostenibilidad y seguridad:** la sostenibilidad y la seguridad se considerarán al diseñar DEMO. Se buscarán soluciones para garantizar la operación segura y confiable del reactor y reducir los riesgos y los desechos radiactivos [80].
- **Componentes y materiales avanzados:** DEMO requerirá la creación de componentes y materiales sofisticados que puedan soportar las altas temperaturas y niveles de radiación presentes en el reactor. El uso de materiales resistentes a la radiación y la creación de sistemas de refrigeración y manejo de calor eficientes serán parte de esto [81].

2.12 DEMO (futuro para analizar la generación eléctrica con fusión nuclear)

Un proyecto llamado DEMO: DEMONstration Power Plant tiene como objetivo construir un reactor de fusión nuclear a gran escala y producir una gran cantidad de energía eléctrica. Se considera un paso importante después del proyecto ITER para demostrar que la energía de fusión es viable y económica a escala comercial [76].

DEMO se basa en la información recopilada durante la construcción y operación de ITER y tiene como objetivo superar los obstáculos científicos y técnicos que quedan para alcanzar

- Integración con la red eléctrica: DEMO se diseñará para funcionar con la infraestructura de la red eléctrica existente. Para garantizar que la energía generada por DEMO se utilice, se buscará desarrollar sistemas de conversión y transmisión eficientes [82].

Para determinar sus especificaciones y requisitos, DEMO está en fase de estudio y se están realizando investigaciones y colaboraciones en todo el mundo. Se espera que la construcción de DEMO comience después de la finalización de ITER y que entre en funcionamiento en las próximas décadas.

El desarrollo de DEMO es un paso crucial hacia la energía de fusión que sea comercialmente viable. Si DEMO tiene éxito, proporcionará pruebas concretas de que la fusión nuclear puede ser una fuente de energía a gran escala limpia, segura y sostenible. Esto abrirá la puerta a una adopción más amplia de la energía de fusión en el futuro.

2.13 Perspectivas de integración

Teniendo en cuenta que requiere la creación de nueva infraestructura, tecnología y legislación, la integración de nuevas fuentes de energía en los sistemas energéticos actuales puede ser una tarea desafiante. Las características únicas de la nueva fuente de energía y del actual sistema energético determinarán las dificultades específicas y factores para tener en cuenta a la hora de integrar la nueva fuente de generación [83].

Los retos que se pueden presentar en la integración de una nueva de generación pueden ser:

- Dificultades técnicas: para que la nueva fuente de energía se incorpore con éxito

al sistema energético, es posible que sea necesario desarrollar nuevas tecnologías o modificar las tecnologías actuales [84].

- Cuestiones de infraestructura: para que la nueva fuente de energía se integre con éxito en el sistema energético, es posible que sea necesario desarrollar infraestructura adicional, como líneas de transmisión o instalaciones de almacenamiento [84].
- Dificultades financieras: encontrar financiamiento para estos proyectos puede ser difícil ya que los gastos relacionados con la creación y el despliegue de la nueva fuente de energía pueden ser altos [84].
- Obstáculos de política: para garantizar que una nueva fuente de energía se integre de manera eficiente y sostenible, puede ser necesario crear nuevas leyes y reglamentos o modificar los ya existentes [84].

2.14 Aspecto medio ambiental

El proyecto ITER al ser uno de los proyectos internacionales más grandes, ha sido sujeto de una gran cantidad de regulaciones ambientales lo que lo convierte en un estándar de seguridad nuclear, seguridad ambiental y protección radiológica para todos los involucrados [85].

Algunos de los mayores problemas que el ITER se encuentra tratando de solucionar con sus pruebas es, un diseño conservativo de las reglase de diseño para dar confianza a las barreras de confinamiento del plasma a generar [39].

Uno de los mayores problemas ambientales con ITER es el manejo del tritio que es el combustible principal para poder poner en funcionamiento al ITER-TOKAMAK. Lo que podría llevar a un gran problema de contaminación ambiental en el sitio [81].

2.15 Aspecto Salud

En la comunidad mundial hay cierto recelo hacia este tipo de energías de procedencia nuclear, con antecedentes existentes como Chernóbil o Fukushima, ambos siendo accidentes catastróficos. Pero el diseño y funcionamiento de ITER está pensado de tal forma que ningún evento inesperado pueda terminar en desgracia ya sea la falla del sistema de enfriamiento o un desastre natural, el funcionamiento de un reactor de fusión es de tal forma que en el momento que este deje de recibir combustible, este dejara de funcionar casi de inmediato haciendo que sea incluso más seguro que las centrales térmicas [86].

3 Desarrollo

Para el desarrollo del análisis se necesitó diferentes datos en el contexto ecuatoriano, estos datos son las centrales de generación en el Ecuador, y su nivel de contaminación. Estos datos son valiosos para poder generar un criterio en el momento del análisis de sus efectos en el cambio de las fuentes de generación como el ITER. Debido a que es una fuente de generación en fase experimental se mantiene como un tema especulativo dado que los resultados finales de esta fuente de generación todavía es algo incierto.

Contamos con un diagrama del SNI ecuatoriano, que podremos manipular para poder analizar los efectos de los cambios.

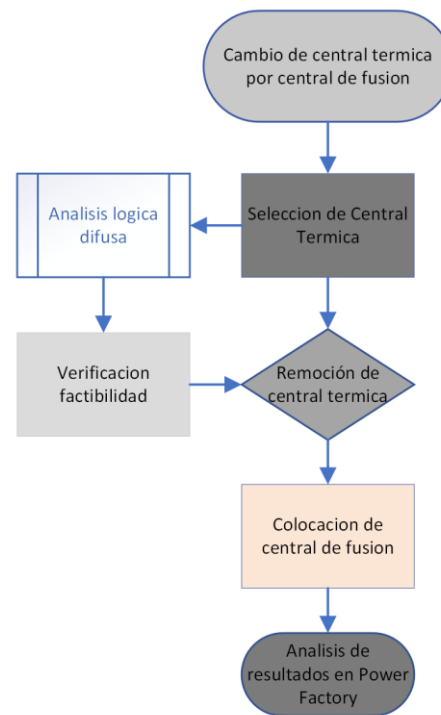


Figura 8. Diagrama de flujo del desarrollo

De igual manera nos apoyamos en la lógica difusa; la cual puede capturar y manejar información que es difícil de articular con precisión, haciéndola útil en la toma de decisiones. Permite la representación y el procesamiento de nociones ambiguas o subjetivas como "alto" o "bajo", de una manera más realista y humana.

Se pueden considerar múltiples factores y variables y atribuirles grados de relevancia o importancia cuando se emplea la lógica difusa. Esto permite que la toma de decisiones tenga en cuenta el contexto y la ambigüedad, lo que es especialmente importante en circunstancias complicadas o cuando se trata de información insuficiente.

Solo es lógico pensar que los primeros resultados de este proyecto sea dejar de depender de combustibles fósiles, por lo que en este modelo de transición analizaremos los efectos de cambiar a estas fuentes de generación en fase experimental [18].

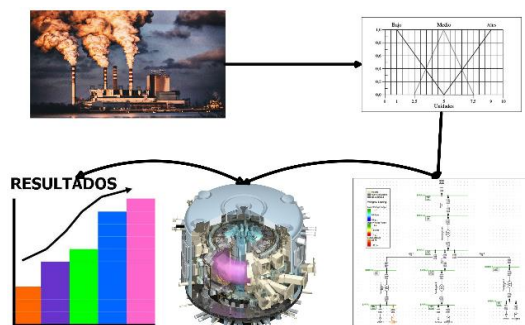


Figura 9.Desarrollo

3.1 El futuro del consumo energético en el Ecuador

- Se según datos Tabla 4 del instituto de investigación geológico y energético anualmente desde el año 2008 al año 2018 hubo un incremento promedio del 3,96% de consumo de energía eléctrica con una variación de 1,55% [87].

Tabla 4. Crecimiento del consumo energético en el ecuador

Año	GWh	Tasa de variación anual
2008	16,315	5,6%
2009	16,877	3,4%
2010	17,594	4,2%
2011	18,645	6,0%
2012	19,547	4,8%
2013	20,269	3,7%
2014	21,461	5,9%
2015	22,481	4,8%
2016	22,355	0,6%
2017	23,031	3,0%
2018	24,062	4,5%

Estimando que el promedio de la tasa de aumento de consumo eléctrico en el ecuador sea constante, es decir: un 3,96% de incremento de consumo por habitante cada 10 años, es primordial la planificación temprana de la construcción, obtención y optimización de diferentes fuentes de generación.

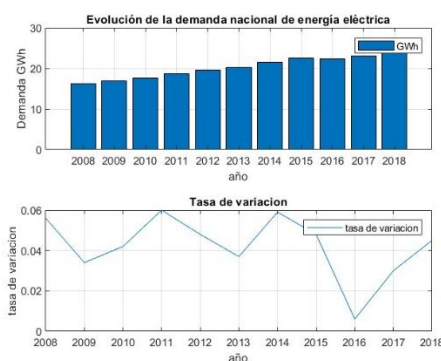


Figura 10.Evolución de la demanda nacional de energía eléctrica.

3.2 Método y materiales

El método que se utilizó en este trabajo de titulación fue el método cuantitativo. El método cuantitativo de investigación se basa en la recopilación y análisis de datos numéricos para responder preguntas de investigación y probar hipótesis. En un trabajo de titulación, el método cuantitativo puede ser utilizado para recopilar y analizar datos de manera sistemática y objetiva con el objetivo de llegar a conclusiones y resultados cuantitativos. Mediante el uso de lógica difusa se utilizará un sistema de puntaje de las diferentes fuentes de generación en el ecuador basados en su índice de contaminación. Entonces con ayuda del programa, Power Factory DigSilent se realizará una simulación de un reemplazo de las fuentes de generación térmicas en el SEP del ecuador seleccionará las centrales térmicas que representen un mayor valor en relación con su índice de contaminación mediante lógica difusa.

3.3 Condiciones iniciales

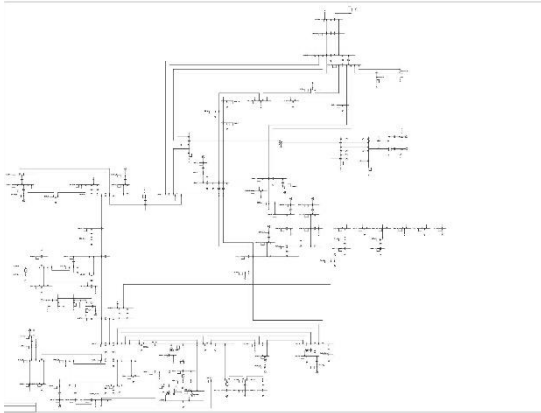


Figura 11. Diagrama General SNI

En esta imagen Figura 11 se ilustra el diagrama general del SNI realizado para este proyecto, datos obtenidos del plan maestro de electricidad [88]. La cantidad de elementos específicos se pueden apreciar en la Tabla 5

Se precisa realizar un flujo de potencia en potencia máxima lo que nos permitirá llevar a cabo una observación óptima de los retos y requisitos necesarios para un cambio de fuentes de generación.

Tabla 5. Cantidad de elementos encontrados dentro del diagrama del SNI

Cantidad de elementos encontrados dentro del diagrama del SNI	
Cantidad de subestaciones	2
Total, de barras	122
Total, de terminales	39
Número de líneas	130
Transformadores bifásicos	41
Transformadores trifásicos	5
Maquinas síncronas	22
Maquinas asíncronas	0
Numero de cargas	59
Derivaciones/filtros	12
Sistema Var estático	0

En la Tabla 5 enumera de manera general los elementos activos en el diagrama general del SNI, las maquinas síncronas se pueden considerar como centrales de generación, de igual manera los transformadores pueden considerarse subestaciones ya sean elevadoras o de distribución o transmisión. Y las cargas pueden ser las ciudades o clientes grandes en el sistema nacional interconectado. En la Tabla 6 se logra encontrar los datos y resultados del flujo de potencia en el diagrama general del SNI en esta tabla podemos observar cuanta es la generación de potencia activa, reactiva y aparente. También podemos observar las cargas, las pérdidas de red y a capacidad instalada en el SNI.

3.1 Caracterización Diagrama SNI

En la

Tabla 6 se observa los resultados del flujo de potencia general de todo el SIN en un escenario de demanda mínima. Observando la potencia total que suministra al mismo con sus pérdidas por red y potencia instalada entre muchos otros aspectos del sistema.

Tabla 6. Datos de generación general del diagrama

Datos de generación general del diagrama SNI			
Potencia	Activa	Reactiva	Aparente
Generación	2831,26 MW,	196,08 Mvar	2838,04 MVA
Alimentación externa	0,00 MW	0 Mvar	0,00 MVA
Carga P(U)	2739,56 MW	666,12 Mvar	2819,38 MVA
Carga P(Un)	2781,08 MW	676,56 Mvar	2862,19 MVA
Carga P(Un-U)	41,52 MW	10,44 Mvar	
Carga del motor	0,00 MW	0 Mvar	0,00 MVA
Pérdidas de red	91,71 MW	-745,49 Mvar	
Carga de línea	-1816,19 Mvar		
Compensación ind	428,25 Mvar		
Límite de compensación.	-152,8 Mvar		
Capacidad instalada	5143,02 MW		

3.1.1 Lógica difusa

En la lógica difusa, se tienen diferentes reglas establecidas en relación con la generación, emisión de gases y año de inauguración.

Tabla 7. Función de membresía generación en MW

Nombre	Tipo	Parámetros
Bajo	Triangular	[-625 0 625]
Medio	Triangular	[125 750 1375]
alto	Triangular	[875 1500 2125]

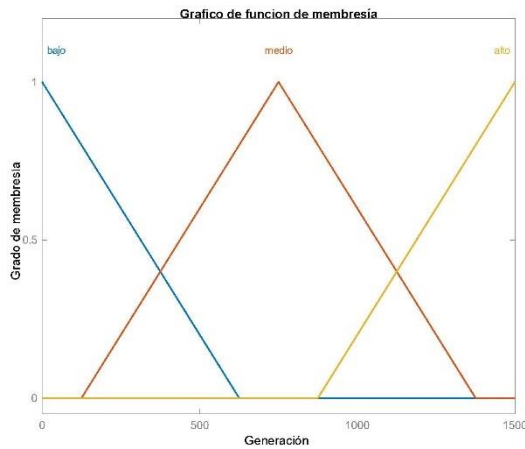


Figura 12. Gráfico de función de membresía Generación Eléctrica.

Esto nos permite definir las reglas a seguir en la lógica difusa.

En la Tabla 4 encontramos las propiedades de la función de membresía de generación, esta función de membresía tiene un rango de 0 a 1500 MW siendo 1500 la central de generación más grande Coca Codo Sinclair [54].

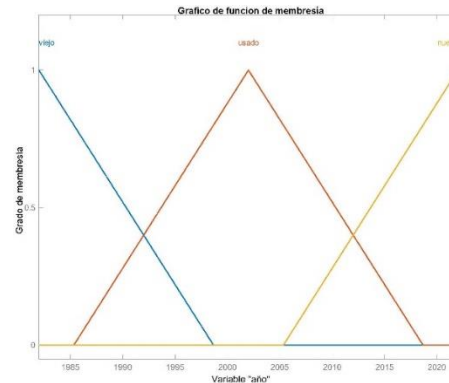


Figura 13. Gráfico de función de membresía Año de inauguración.

En esta imagen Figura 12 se ilustra de manera más general la función de membresía de generación. y podemos observar los rangos en los que estará funcionando la lógica difusa.

Tabla 8. Función de membresía año de inauguración

Nombre	Tipo	Parámetros
Viejo	Triangular	[1965 1982 1998]
Usado	Triangular	[1985 2002 2018]
Nuevo	Triangular	[2005 2022 2038]

Otro aspecto que se tomó en cuenta es la contaminación de las centrales siendo las emisiones.

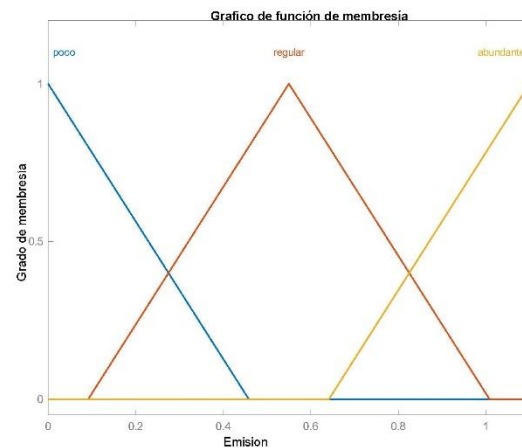


Figura 14. Gráfico de función de membresía Emisiones CO2.

En la Figura 14 se logra observar el grafico de función de membrecía de las emisiones de toneladas de CO2. Con sus respectivos rangos que se explican en la Tabla 9

Tabla 9. Función de membrecía Emisiones CO2

Nombre	Tipo	Parámetros
Poco	Triangular	[-236532 0 236532]
Regular	Triangular	[47306.4 283839 520371]
Abundante	Triangular	[331145 567677 804209]

En la Tabla 9 se observan los rangos de los parámetros del factor de emisión que se pueden encontrar en las diferentes centrales de generación que se basan en las toneladas de CO2 generadas por los galones utilizados.

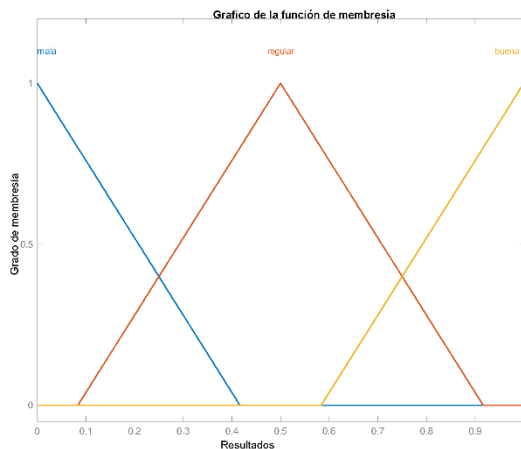


Figura 15. Gráfico de función de membrecía resultados

En la Figura 15 se logra observar el grafico de la función de membrecía de los resultados de la lógica difusa, los límites de estos valores son de 0 a 1 a continuación se demuestra cómo se divide los valores y como se interpretan **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Tabla 10. Función de membrecía Resultados

Nombre	Tipo	Parámetros
--------	------	------------

Mala	Triangular	[-0.416667 0 0.416667]
Regular	Triangular	[0.083333 0.5 0.916667]
Buena	Triangular	[0.583333 1 1.416667]

Tabla 11. Información de la lógica difusa

Generación	Año	Emisión	Resultado
bajo	viejo	poco	mala
medio	viejo	poco	buena
alto	viejo	poco	buena
bajo	usado	poco	regular
medio	usado	poco	regular
alto	usado	poco	buena
bajo	nuevo	poco	buena
medio	nuevo	poco	buena
alto	nuevo	poco	buena
bajo	viejo	regular	mala
medio	viejo	regular	regular
alto	viejo	regular	regular
bajo	usado	regular	regular
medio	usado	regular	regular
alto	usado	regular	regular
bajo	nuevo	regular	regular
medio	nuevo	regular	regular
alto	nuevo	regular	buena
bajo	viejo	abundante	mala
medio	viejo	abundante	mala
alto	viejo	abundante	regular
bajo	usado	abundante	mala
medio	usado	abundante	regular
alto	usado	abundante	regular
bajo	nuevo	abundante	mala
medio	nuevo	abundante	regular
alto	nuevo	abundante	buena

Como se observa en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** los resultados tienen 3 posibilidades: mala, regular y buena. Si el resultado de la central es “buena” entonces se puede considerar que no hay que reemplazar esa central, por el contrario, en caso de ser “regular” o “mala” se puede considerar que es más conveniente realizar el cambio de central.

3.1.2 Reglas o funcionamiento de la lógica difusa

La lógica difusa de Mamdani modela sistemas complejos y toma decisiones en condiciones

imprecisas o vagas utilizando reglas lingüísticas basadas en la teoría de conjuntos difusos[89]. En la lógica difusa Mamdani, la estructura general de las reglas incluye:

- Los conjuntos difusos: se definen primero para las variables de entrada y salida del sistema. Las funciones de membresía de estos conjuntos difusos asignan grados de pertenencia a los valores en un rango determinado.
- La base de reglas: de la lógica difusa Mamdani es un conjunto de reglas condicionales que describen cómo se comportará el sistema para una variedad de combinaciones de entradas difusas. Estas reglas son como "Si A es X y B es Y, entonces C es Z", donde A y B son conjuntos difusos de entrada, C es un conjunto difuso de salida, y X, Y e Z son etiquetas lingüísticas que representan los grados de pertenencia a los conjuntos difusos.
- El proceso de inferencia: en la lógica difusa Mamdani utiliza operaciones de lógica difusa como la composición de conjuntos difusos y el cálculo de intersecciones y uniones difusas para evaluar las reglas definidas en la base de las reglas.
- La etapa de defuzzificación: se lleva a cabo después de evaluar todas las reglas para obtener un valor nítido o preciso de la salida difusa. La lógica difusa de Mamdani utiliza varios métodos de defuzzificación, incluido el centroide, el método del punto máximo y el método de suma de máximos, entre otros.

- La lógica difusa Mamdani requiere el uso de una variedad de ecuaciones y algoritmos para evaluar las reglas, la composición y la defuzzificación de los conjuntos difusos. Sin embargo, las ecuaciones y fórmulas utilizadas pueden variar según el software o la implementación del sistema difuso en particular [90].

4 Resultados

En la siguiente sección, se llevarán a cabo dos casos de estudio. El primer caso corresponderá al escenario base, que es el Sistema Nacional Interconectado (SNI) en sus condiciones iniciales. El segundo caso se refiere al SNI con un incremento de la demanda del 39.42%.

Para cada uno de estos casos de estudio, se realizará un análisis de estabilidad del generador que presente una elevada carga y, además, se llevará a cabo un análisis de estabilidad con su generador ITER de reemplazo, con una capacidad de 250 MW, esta capacidad ha sido seleccionada por la literatura. Esto permitirá evaluar el impacto de la demanda adicional en el sistema y determinar si el generador ITER es capaz de mantener la estabilidad en ambas situaciones.

Para seleccionar el generador que se reemplazará por un generador ITER, se llevará a cabo inicialmente un análisis de contingencia. **Este análisis determinará el nivel de carga de cada generador, y aquel que presente la mayor carga se considerará como el candidato para el reemplazo.** Es importante destacar que se priorizará la selección de una central térmica para el reemplazo.

4.1 Caso base

En la Figura 16, se pueden observar los niveles de carga de cada central posterior al análisis de contingencias. La primera central, 'G hemb misf u1', no fue seleccionada debido a que se trata de una central hidroeléctrica. Por lo tanto, se procederá a trabajar con la segunda central, denominada 'C SELE III' que sí es térmica.

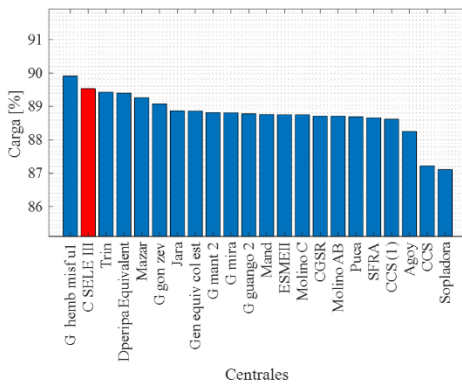


Figura 16. Perfiles de carga de las centrales

A continuación, se llevará a cabo un análisis de lógica difusa para evaluar el estado del generador seleccionado. Los datos relevantes que se utilizarán para este análisis incluyen la potencia del generador, el año de implementación y la cantidad de emisiones que el generador emite durante su funcionamiento. Estos datos se encuentran detallados en la Tabla 12 a continuación:

Tabla 12. Función de membresía Emisiones CO2 del generador C Sele III

Nombre	Potencia [MVA]	Año	Emisiones [ton CO2]
CSELE III	80.66	2011	48323.2

Una vez completado el análisis de lógica difusa, se ha obtenido un valor de salida de 0.5 para el generador C SELE III. Este valor indica claramente que se puede requerir un cambio en este generador, ya que se encuentra en

condiciones subóptimas. En una escala de 0 a 1, donde 0 representa la necesidad de un cambio y 1 indica que no es necesario realizar ningún cambio, el valor de 0.5 refuerza la decisión de reemplazar este generador por uno que esté en mejores condiciones.

En la Figura 17 se revela un comportamiento dinámico durante el período de tiempo registrado, que va desde 0 hasta 4.091667 segundos. Ambos generadores muestran una fase inicial de estabilidad en sus ángulos de rotor, seguida de oscilaciones significativas, siendo el generador ITER el que experimenta cambios más pronunciados en magnitud. Sin embargo, ambos convergen eventualmente hacia un valor cercano a 0 grados, lo que sugiere un retorno al estado de equilibrio en su funcionamiento. Estas oscilaciones y estabilizaciones pueden ser indicativas de la respuesta dinámica de los generadores en el sistema eléctrico, y podrían requerir un análisis adicional para comprender completamente su impacto en la operación del sistema.

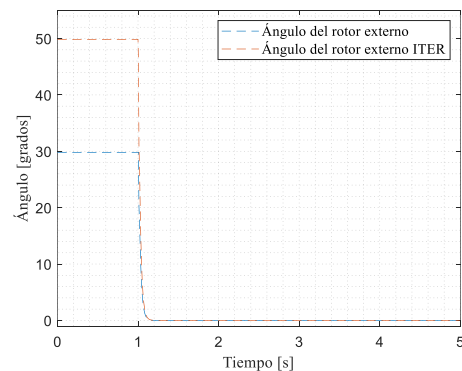


Figura 17. Ángulo del rotor externo caso base

En la Figura 18 se muestra que tanto el generador C SELEC III como el generador ITER mantienen una velocidad constante de 1.0 p.u. durante el primer segundo de la simulación. Sin embargo, a partir de aproximadamente 2 segundos, el

generador ITER comienza a superar al generador C SELEC III en términos de estabilidad, ya que su velocidad se mantiene más constante y no muestra fluctuaciones significativas a lo largo de toda la simulación. Esto sugiere que el generador ITER es más robusto y tiene un mejor rendimiento en condiciones de carga variable en comparación con el generador C SELEC III, que experimenta pequeñas oscilaciones en su velocidad.

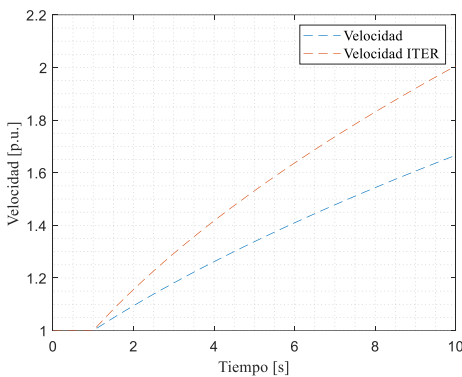


Figura 18. Velocidad caso base

4.2 Caso con aumento carga

En la Figura 19, se aprecia la proyección del aumento anual de la carga eléctrica en Ecuador hasta el año 2040. En el año 2023, se presenta una carga de 27.9 Gwh, mientras que, en el año 2040, la carga alcanza los 38.9 Gwh. Durante este período, se registra un incremento porcentual del 39.42%. Este porcentaje de aumento es utilizado en la simulación de este caso de estudio.

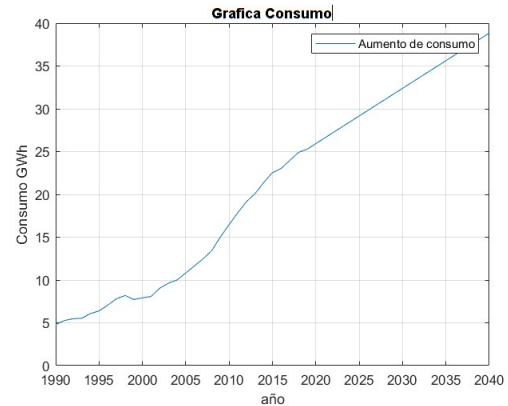


Figura 19. Previsión del incremento de carga en Ecuador

En la Figura 20, se presentan los niveles de carga de cada central después de realizar el análisis de contingencias. Las cuatro primeras centrales (CCS, Molino C, Molino AB y G hemb misf u1) han sido excluidas de consideración debido a que son centrales hidroeléctricas. Por lo tanto, se continuará el trabajo focalizándonos en la quinta central, denominada "Jara", la cual es de tipo térmico y cumple con los criterios establecidos.

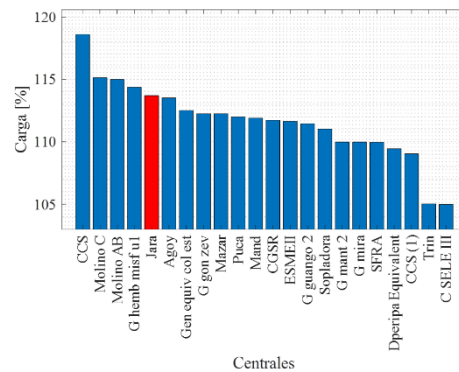


Figura 20. Perfiles de carga de las centrales con aumento de carga

A continuación, se llevará a cabo un análisis de lógica difusa para evaluar el estado del generador seleccionado. Los datos relevantes que se

utilizarán para este análisis incluyen la potencia del generador, el año de implementación y la cantidad de emisiones que el generador emite durante su funcionamiento. Estos datos se encuentran detallados en la Tabla 13 que se presenta a continuación.

Tabla 13. Función de membresía Emisiones CO2 del generador Jara

Nombre	Potencia [MVA]	Año	Emisiones [Ton CO2]
Jara	175.6	2012	373946.8

Una vez que se ha completado el análisis de lógica difusa, se ha obtenido un valor de salida de 0.145 para el generador "Jara". Este resultado claramente indica que se requiere un cambio en este generador, dado que se encuentra en condiciones subóptimas. En una escala que va de 0 a 1, donde 0 representa la necesidad de un cambio y 1 indica que no es necesario realizar ningún cambio, el valor de 0.145 refuerza la decisión de reemplazar este generador por uno en mejores condiciones.

En la Figura 21 se aprecia las mediciones de ángulo en dos generadores, JARA e ITER, en función del tiempo. Se observó que el ángulo del rotor externo del generador JARA se mantuvo constante en -24.47 grados durante todo el período de tiempo, lo que indica que no hubo cambios significativos en su posición angular. Por otro lado, en el generador ITER, el ángulo del rotor externo cambió a lo largo del tiempo, comenzando en 22.66 grados y disminuyendo gradualmente. Esto sugiere que el generador ITER experimentó una variación en su posición angular a lo largo del tiempo.

Una ventaja del generador ITER sobre el generador JARA podría estar relacionada con su capacidad de adaptación y control de la posición

angular del rotor externo. Mientras que JARA mantuvo su ángulo constante, ITER tuvo la capacidad de ajustarse y cambiar su ángulo según las condiciones o requerimientos. Esto podría ser beneficioso en situaciones en las que se requiere una mayor flexibilidad en la operación del generador.

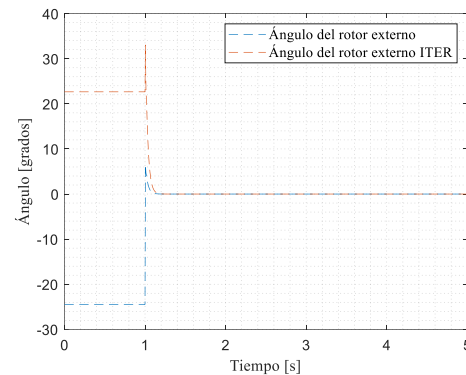


Figura 21. Ángulo del rotor externo caso aumento de carga

En la Figura 22 se muestra que tanto el generador Jara como el generador ITER mantienen una velocidad constante de 1.0 p.u. durante el primer segundo de la simulación. Sin embargo, a partir de aproximadamente 2 segundos, el generador ITER comienza a superar al generador Jara en términos de estabilidad, ya que su velocidad se mantiene más constante y no muestra fluctuaciones significativas a lo largo de toda la simulación. Esto sugiere que el generador ITER es más robusto y tiene un mejor rendimiento en condiciones de carga variable en comparación con el generador Jara, que experimenta pequeñas oscilaciones en su velocidad.

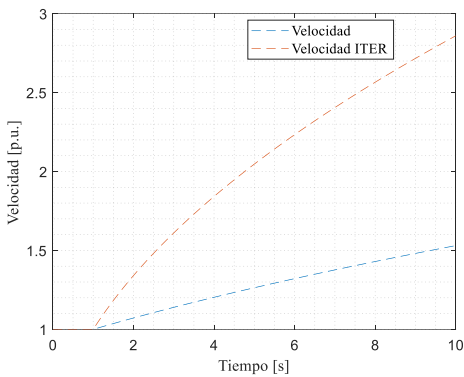


Figura 22. Velocidad caso aumento de carga

El cambio que se hizo en la simulación demuestra claramente que los componentes utilizados para generar energía han aumentado significativamente su capacidad. Este avance ofrece una oportunidad importante para fomentar el desarrollo de la matriz productiva y cubrir las necesidades energéticas cada vez mayores de la población.

4.2.1 Lógica difusa en una central aleatoria (Termo Esmeraldas)

De acuerdo con el resultado de la lógica difusa Tabla 14, la central termo esmeraldas resulta ser una central regular por los resultados establecidos. Por lo que reemplazar esta fuente de generación debe conllevar un análisis más profundo que conlleve presupuestos, impactos ambientales y viabilidad del proyecto.

Tabla 14. Resultados lógica difusa, Termo Esmeraldas.

Cuando		
La Generación	Es	alta
Año	Es	viejo
emisión	Es	abundante
Entonces:		
Resultado	Es	regular

Es importante resaltar que el consumo eléctrico en Ecuador ha experimentado un aumento anual promedio cercano al 4%. La simulación mostró

que una fuente aislada en la región de termo Esmeraldas es capaz de producir 194 MW de energía, basándose en esta realidad. Sin embargo, la instalación de una central de fusión nuclear tokamak con una capacidad de 250 MW.[91] Lo que sería una solución altamente efectiva para garantizar un suministro de energía estable durante al menos 50 años.

4.3 Análisis de población

Esta proyección espera un crecimiento poblacional estable y una desviación mínima en los resultados.

Es importante destacar que la edificación de una central de fusión nuclear de la capacidad de un ITER tokamak no solo satisface las demandas energéticas actuales, sino que también ofrece una perspectiva a largo plazo. Contar con fuentes de energía confiables y sostenibles es esencial debido al constante aumento de la población y la necesidad de energía.

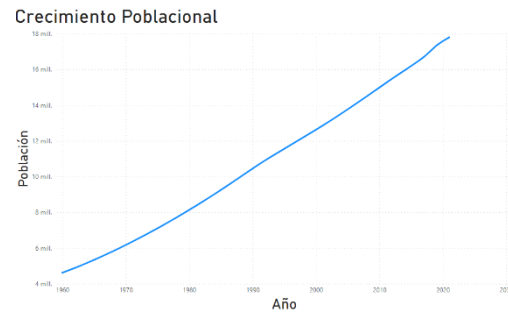


Figura 23. Crecimiento Poblacional Ecuador hasta 2020

De igual manera hay que tener en cuenta el crecimiento que tendrá la población en el Ecuador aproximadamente en los próximos años.

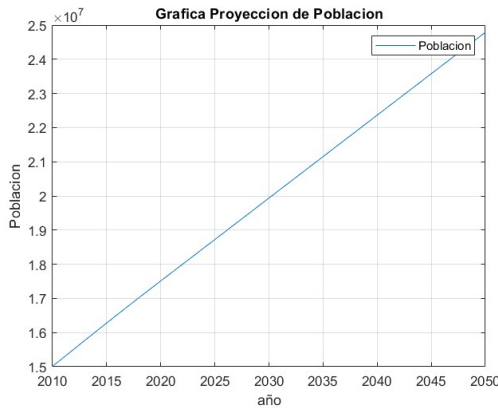


Figura 24. Previsión Crecimiento Poblacional Ecuador hasta 2050

Como se observa en la imagen Figura 24 se logra apreciar que en los siguientes años la población del Ecuador se estima que crecerá en más de un 60% para el año 2070 lo que significa que hay que prever un escenario de transición hacia nuevas tecnologías de generación más eficientes.

4.3.1 Futuro del consumo energético en el Ecuador

En la imagen Figura 19 se observa una previsión del consumo energético del Ecuador. La cual se realizó a partir de datos históricos, desde 1990 con la función PREVISIÓN.ETS que se puede hallar en el programa de Microsoft Excel también conocida como la predicción de suavizado exponencial. Siendo su Ecuación:

$$\sqrt{\frac{\sum_{t=1}^T (c_t - r_t)^2}{T}}$$

Siendo: T el número de periodos, ct el valor ajustado del exponencial, rt el valor sin procesar en el tiempo t.

Esta toma los valores previos de generación y realiza una estimación en base a estos. Tomando el valor máximo de la previsión, se aprecia que existe la posibilidad que para el 2040 el consumo energético en el Ecuador pueda elevarse hasta en más del 100% actual lo que demuestra la

necesidad del aumento de fuentes de generación más confiables, eficientes y accesibles. Siendo el ITER una fase experimental se prevé que cuando la necesidad de estas nuevas fuentes de generación aparezca, la tecnología de fusión sea más accesible y eficiente en cuanto a generación eléctrica. Con los datos obtenidos hasta la fecha es necesario analizar más escenarios de transición para asegurar un cambio en fuentes de generación más eficiente.

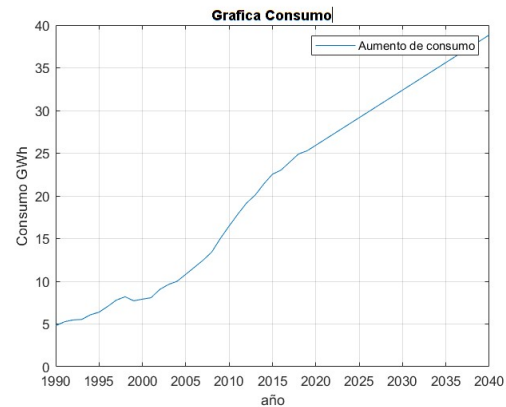


Figura 19. Previsión del incremento de carga en Ecuador

4.4 Previsión del ITER

La tecnología de fusión utilizada en el ITER Tokamak aún es una tecnología experimental. No obstante, se prevé que en el futuro será necesario debido al aumento en la necesidad de fuentes de generación de energía, ya sea debido a la escasez de hidrocarburos o por las circunstancias ambientales y el aumento de la población del país. Como resultado, es necesario estudiar y prever varios modelos de transición. El modelo que se presenta en este documento proporciona una variedad de herramientas que pueden utilizarse para llegar a las mejores conclusiones y planificar un escenario ideal para preservar la soberanía energética del país de la mejor manera posible.

5 Conclusiones

La del Instituto de Investigación Geológica y Energética muestra un aumento promedio anual del 3,96% en el uso de energía eléctrica en Ecuador entre 2008 y 2018, con una variación del 1,55%. Se espera un aumento del 3,96% en el consumo por habitante cada 10 años, lo que indica que este aumento constante podría mantenerse en el futuro. Esta proyección sugiere que la planificación anticipada para la construcción, adquisición y optimización de múltiples fuentes de generación de energía es fundamental. Para satisfacer las demandas crecientes de una población en crecimiento, este enfoque temprano y estratégico es esencial. En conclusión, los datos examinados destacan la importancia de tomar medidas proactivas para el desarrollo.

Una inspección minuciosa de centrales eléctricas reveló que el generador térmico 'C SELEC III' funciona de manera subóptima y debe ser reemplazado. Además, se observaron oscilaciones notables y fases de estabilidad en los ángulos del rotor de los generadores, lo que podría afectar la operación del sistema. Por último, los generadores 'ITER' mostraron una mayor estabilidad y rendimiento bajo condiciones cambiantes de carga. Estos hallazgos resaltan la importancia de realizar evaluaciones regulares de las centrales eléctricas, implementar medidas correctivas para mejorar su funcionamiento y tener en cuenta la capacidad de respuesta de los generadores frente a variaciones en la carga. Esto es esencial para asegurar la estabilidad y eficiencia del sistema eléctrico en su totalidad.

planificar la infraestructura energética considerando un crecimiento poblacional estable y mínimo desvío en los resultados. Propone la construcción de una central de fusión nuclear, similar al ITER tokamak, no solo para cubrir las demandas actuales de energía, sino también para abordar futuras necesidades energéticas. Ante un escenario de crecimiento constante de la

población y la demanda energética en Ecuador, se enfatiza la necesidad de transitar hacia tecnologías energéticas más eficientes y sostenibles. La planificación estratégica y la adopción proactiva de tecnologías avanzadas se presentan como elementos esenciales para garantizar un suministro energético confiable en el futuro. En resumen, la anticipación y la implementación de soluciones energéticas sostenibles se vuelven cruciales para mantener un equilibrio entre oferta y demanda energética a largo plazo en Ecuador.

6 Trabajo a futuro

Hay más de 208 centrales térmicas en el Ecuador. Si se utiliza las herramientas demostradas en este trabajo, nos permitirá una gran oportunidad para analizar un escenario optimo en el cambio de fuentes de generación por centrales de energía de fusión.

En un Futuro se tendrá los datos reales de generación de DEMO lo que representaría de necesidad de realizar un análisis parecido con los datos que se obtengan.

7 Referencias

- [1] Y. Wang, "Discussion on sustainable use of energy based on circular economy — A case study of Beijing," in *2011 Second International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering*, IEEE, Jul. 2011, pp. 3060–3063. doi: 10.1109/MACE.2011.5987635.
- [2] E. M. I. S. Cazorla and K. C. I. S. Carrillo, "Evaluación de emisiones no reguladas para centrales termoeléctricas, a través de la aplicación de índices de calidad para la

- determinación de límites máximos permisibles,” vol. 2017, no. 1, pp. 1–9, 2020.
- [3] S. K. Gill, K. Vu, and C. Aimone, “Quantifying fossil fuel savings from investment in renewables and energy storage,” in *2017 Saudi Arabia Smart Grid (SASG)*, IEEE, Dec. 2017, pp. 1–6. doi: 10.1109/SASG.2017.8356488.
- [4] F. Lionetto *et al.*, “EL USO DE LA ENERGÍA HIDRÁULICA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA COMO ESTRATEGIA PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL EN EL ECUADOR,” *Compos Part A Appl Sci Manuf*, vol. 68, no. 1, pp. 1–12, 2020, [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ndteint.2014.07.001><https://doi.org/10.1016/j.ndteint.2017.12.003><http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2017.02.024>
- [5] K. Shibanuma *et al.*, “Recent developments in remote maintenance for Fusion Experimental Reactor in JAERI,” in *[Proceedings] The 14th IEEE/NPSS Symposium Fusion Engineering*, IEEE, pp. 592–595. doi: 10.1109/FUSION.1991.218851.
- [6] R. Aymar, P. Barabaschi, and Y. Shimomura, “The ITER design,” *Plasma Phys Control Fusion*, vol. 44, no. 5, pp. 519–565, 2002, doi: 10.1088/0741-3335/44/5/304.
- [7] E. (Universitetet i S. Einerkjaer, “The dream of imitating our Sun: The hopes and prospects for unlimited energy,” 2017.
- [8] C. Franco-Crespo, J. Guamán Pozo, J. Chuqui, and R. Tufiño, “Measuring Climate Change Effects on Traditional Crops of the Highlands, Ecuador 2 3,” Quito, Mar. 2023. [Online]. Available: <https://ssrn.com/abstract=4396486>
- [9] D. E. Carlson, “Fossil fuels, the greenhouse effect and photovoltaics,” *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, vol. 4, no. 12, pp. 3–7, Dec. 1989, doi: 10.1109/62.46982.
- [10] “ECUADOR CONSOLIDA LA PRODUCCIÓN ELÉCTRICA A PARTIR DE FUENTES RENOVABLES – Ministerio de Energía y Minas”.
- [11] Robert Rapier, “Highlights From The BP Statistical Review Of World Energy 2021,” *Forbes*, Jul. 2021.
- [12] CENACE, “INFORME ANUAL 2022,” 2022. Accessed: Nov. 30, 2023. [Online]. Available: <https://www.cenace.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/04/P arte-1-Informe-Anual-2022.pdf>
- [13] Mónica Orozco, “Peor estiaje en seis años lleva a Ecuador a importar electricidad,” *Primicias*, Accessed: Nov. 30, 2023. [Online]. Available: <https://www.primicias.ec/noticias/economia/electricidad-demanda-lluvias-estiaje-ecuador/>
- [14] Fernando Soto Estevez, “Riesgo de explosión en Coca Codo Sinclair, advierte ministro,” *Los Andes*, Dec. 2022, Accessed: Nov. 30, 2023. [Online]. Available:

- <https://www.diariolosandes.com.ec/riesgo-de-explosion-en-coca-codo-sinclair-advierte-ministro/#:~:text=Por%20el%20aumentode%20los,hidroel%C3%A9ctrica%20m%C3%A1s%20grande%20del%20pa%C3%ADs.>
- [15] S. Pazouki, M.-R. Haghifam, and S. Pazouki, “Transition from fossil fuels power plants toward Virtual Power Plants of distribution networks,” in *2016 21st Conference on Electrical Power Distribution Networks Conference (EPDC)*, IEEE, Apr. 2016, pp. 82–86. doi: 10.1109/EPDC.2016.7514787.
- [16] C. Cuji and J. Villarreal, “Diseño y Evaluación de un Sistema Fotovoltaico Aislado para Iluminación en Vías Rurales y Carga de Vehículos Eléctricos Basado En Un Enfoque Multipropósito,” *Revista Técnica “energía,”* vol. 20, no. 2, pp. 47–57, Jan. 2024, doi: 10.37116/revistaenergia.v20.n2.2024.614.
- [17] P. Salazar and P. Vasquez, “Desarrollo de un modelo de evaluación técnico – económico para la optimización de inversiones en micro generación fotovoltaica – caso usuarios comerciales en Ecuador,” Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), Nov. 2022, pp. 1–7. doi: 10.1109/argencon55245.2022.9940151.
- [18] Shi Xuewei *et al.*, “2020 10th International Conference on Power and Energy Systems (ICPES).,” 2020.
- [19] W. Li, D. Liu, X. Yang, and Y. Huang, “The impact of hydroelectric energy development on fish habitat,” in *Proceedings - 2010 International Conference on Digital Manufacturing and Automation, ICDMA 2010*, 2010, pp. 696–698. doi: 10.1109/ICDMA.2010.367.
- [20] Óbudai Egyetem, Zero Energy Buildings First Italian Network, IEEE Hungary Section, IEEE Industrial Electronics Society, and Institute of Electrical and Electronics Engineers, *IEEE CANDO-EPE 2018: IEEE International Conference and Workshop in Óbuda on Electrical and Power Engineering: proceedings: November 20-21, 2018, Budapest, Hungary.*
- [21] T. Denisa, N. A. Ionut, and B. Nicu, “Generation IV Nuclear Energy Systems-Alternative Solutions to Carbon Emission Energy Sources,” in *2022 14th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence, ECAI 2022*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2022. doi: 10.1109/ECAI54874.2022.9847457.
- [22] Z. Gao, “Analysis of biomass energy development in Heilongjiang province according to the reserve and distribution of biomass resources,” in *Proceedings - 2011 4th International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering, ICIII 2011*, 2011, pp. 275–278. doi: 10.1109/ICIII.2011.70.

- [23] E. Union and U. States, “The way to new energy,” 2019, Accessed: Nov. 30, 2023. [Online]. Available: <https://www.iter.org/>
- [24] P. Ramadhani *et al.*, “Analysis on the implementation of energy management and conservation: Case study: Pamaron gas power plant,” in *2017 International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems (ICHVEPS)*, 2017, pp. 225–229. doi: 10.1109/ICHVEPS.2017.8225947.
- [25] “IEEE Draft Standard Specifications for Maintenance and Test of Distributed Control Systems in Thermal Power Stations: Operation Service and Management,” *IEEE P1865.2/D6, September 2019*, pp. 1–116, 2019.
- [26] W. Yousef, M. A. Elsadd, A. Y. Abdelaziz, and M. A. Badr, “Simulation of large thermal power plant for protection purposes using ATP/EMTP,” in *2017 Nineteenth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON)*, 2017, pp. 1183–1189. doi: 10.1109/MEPCON.2017.8301332.
- [27] X. Wang *et al.*, “Complementary Operation Optimization of Multi-energy Power Systems Considering Water Sensitivity of Pumped Storage and Deep Regulation of Thermal Power Plants,” in *2022 IEEE/IAS Industrial and Commercial Power System Asia (I&CPS Asia)*, 2022, pp. 484–489. doi: 10.1109/ICPSAsia55496.2022.9949929.
- [28] Z. Hu, W. Ding, T. Yang, X. Luo, Y. Tao, and Z. Shen, “Electromagnetic Safety Assessment of Low-voltage Distribution System Buildings in Thermal Power Plants in Case of Lightning Strike,” in *2019 IEEE International Conference on Power, Intelligent Computing and Systems (ICPICS)*, 2019, pp. 681–685. doi: 10.1109/ICPICS47731.2019.8942534.
- [29] K. Xu, C. Guo, M. Bao, Y. Ding, and K. Wang, “Joint Optimal Scheduling of Heat and Power Considering Multiple Flexible Resources of a Virtual Power Plant,” in *2021 International Conference on Power System Technology (POWERCON)*, 2021, pp. 898–902. doi: 10.1109/POWERCON53785.2021.9697676.
- [30] V. B. Tupov and A. B. Mukhametov, “Influence of the placement of buildings outside the territory of the thermal power station sanitary protection zone on noise reduction,” in *2023 5th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE)*, 2023, pp. 1–5. doi: 10.1109/REEPE57272.2023.10086736.
- [31] R. Beniugă, O. Beniugă, F. Băiceanu, and M. Istrate, “The Influence of Feedwater Preheaters on the Power Plant Thermal Efficiency,” in *2021 9th International Conference on Modern Power Systems (MPS)*, 2021, pp. 1–5.

- doi:
10.1109/MPS52805.2021.9492627.
- [32] “IEEE Draft Standard Specifications for Maintenance and Test of Distributed Control Systems in Thermal Power Stations: Operation Service and Management,” *IEEE P1865.2/D6*, September 2019, pp. 1–116, 2019.
- [33] K. Yamashita, R. Minami, T. Inoue, T. Ohno, H. Ichimiya, and H. Kamei, “A study on dynamic behavior of coal-fired thermal power plant during significant system frequency rise after system separation,” in *2011 IEEE Power and Energy Society General Meeting*, 2011, pp. 1–8. doi: 10.1109/PES.2011.6039350.
- [34] T. Schild *et al.*, “Preparation of the ITER Central Solenoid Assembly,” *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, vol. 30, no. 4, pp. 1–5, 2020, doi: 10.1109/TASC.2020.2970925.
- [35] M. Walsh *et al.*, “Integration of diagnostics on ITER,” in *2015 IEEE 26th Symposium on Fusion Engineering (SOFE)*, 2015, pp. 1–8. doi: 10.1109/SOFE.2015.7482260.
- [36] I. Kuehn *et al.*, “Status on Design and Construction of the ITER Buildings and Plant Systems,” *IEEE Transactions on Plasma Science*, vol. 46, no. 7, pp. 2647–2652, 2018, doi: 10.1109/TPS.2017.2774861.
- [37] D. Rathi *et al.*, “Development of & integration of the IC H&CD system configuration in the ITER Tokamak complex and auxiliary buildings,” in *2011 IEEE/NPSS 24th Symposium on Fusion Engineering*, 2011, pp. 1–6. doi: 10.1109/SOFE.2011.6052322.
- [38] N. Taylor *et al.*, “Preliminary safety analysis of iter,” *Fusion Science and Technology*, vol. 56, no. 2, pp. 573–580, 2009, doi: 10.13182/FST56-573.
- [39] S. J. Piet, H. W. Bartels, C. W. Gordon, A. E. Poucet, and L. N. Topilski, “ITER principal safety functions: radiological confinement, heat removal, and shutdown,” in *Proceedings - Symposium on Fusion Engineering*, IEEE, 1995, pp. 301–304. doi: 10.1109/fusion.1995.534227.
- [40] T. Schild *et al.*, “Start of the ITER Central Solenoid Assembly,” *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, vol. 32, no. 6, pp. 1–5, 2022, doi: 10.1109/TASC.2022.3153236.
- [41] G. Khankari and S. Karmakar, “4-E analysis of a Kalina cycle system 11 integrated 500MWe combined thermal power plant,” in *TENCON 2017 - 2017 IEEE Region 10 Conference*, 2017, pp. 93–98. doi: 10.1109/TENCON.2017.8227843.
- [42] N. Mitchell *et al.*, “The ITER Magnet System,” *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, vol. 18, no. 2, pp. 435–440, Jun. 2008, doi: 10.1109/TASC.2008.921232.
- [43] J. Reich *et al.*, “Three dimensional tolerance investigations on assembly of ITER vacuum vessel,” in *2009 23rd*

- IEEE/NPSS Symposium on Fusion Engineering*, IEEE, Jun. 2009, pp. 1–4. doi: 10.1109/FUSION.2009.5226502.
- [44] A. R. Raffray *et al.*, “ITER blanket engineering challenges and solutions,” in *2013 IEEE 25th Symposium on Fusion Engineering (SOFE)*, IEEE, Jun. 2013, pp. 1–8. doi: 10.1109/SOFE.2013.6635371.
- [45] M. Nieto-Perez, G. Ramos, and J. P. Allain, “Modeling of Surface Composition Dynamics in the ITER Divertor Region,” *IEEE Transactions on Plasma Science*, vol. 38, no. 3, pp. 414–418, Mar. 2010, doi: 10.1109/TPS.2009.2039006.
- [46] G. Vitupier *et al.*, “ITER Cryostat structural analysis,” in *2015 IEEE 26th Symposium on Fusion Engineering (SOFE)*, IEEE, May 2015, pp. 1–5. doi: 10.1109/SOFE.2015.7482339.
- [47] H. Fox and R. Bass, “Cold versus hot fusion deuterium branching ratios,” in *Proceedings of 16th International Symposium on Fusion Engineering*, 1995, pp. 1622–1625 vol.2. doi: 10.1109/FUSION.1995.534535.
- [48] M. E. Sawan and H. Y. Khater, “Nuclear analysis for the blanket and shield of the KrF laser driven inertial fusion reactor SOMBRERO,” in *15th IEEE/NPSS Symposium. Fusion Engineering*, 1993, pp. 769–772 vol.2. doi: 10.1109/FUSION.1993.518441.
- [49] M. E. Sawan, E. P. Marriott, C. S. Aplin, and L. L. Snead, “Mobile tiles for inertial fusion first wall/blanket,” in *2009 23rd IEEE/NPSS Symposium on Fusion Engineering*, IEEE, Jun. 2009, pp. 1–4. doi: 10.1109/FUSION.2009.5226442.
- [50] M. E. Sawan, E. P. Marriott, C. S. Aplin, and L. L. Snead, “Mobile tiles for inertial fusion first wall/blanket,” in *2009 23rd IEEE/NPSS Symposium on Fusion Engineering*, 2009, pp. 1–4. doi: 10.1109/FUSION.2009.5226442.
- [51] K. Shibanuma *et al.*, “Recent developments in remote maintenance for Fusion Experimental Reactor in JAERI,” in *[Proceedings] The 14th IEEE/NPSS Symposium Fusion Engineering*, 1991, pp. 592–595 vol.1. doi: 10.1109/FUSION.1991.218851.
- [52] C. A. Gentile, W. R. Blanchard, T. Kozub, C. Priniski, I. Zatz, and S. Obenschain, “Conceptual engineering method for attenuating He ion interactions on first wall components in the Fusion Test Facility (FTF) employing a low-pressure noble gas,” in *2009 23rd IEEE/NPSS Symposium on Fusion Engineering*, 2009, pp. 1–3. doi: 10.1109/FUSION.2009.5226438.
- [53] A. Abanades, F. Sordo, J. Munoz, A. Lafuente, and J. Martinez-Val, “Application of Computational Fluid Dynamics analysis to the design of liquid metal technology for fusion devices,” in *2007 IEEE 22nd Symposium on Fusion Engineering*, 2007, pp. 1–4. doi: 10.1109/FUSION.2007.4337914.
- [54] M. Zucchetti, L. Di Pace, B. N. Kolbasov, and V. Massaut, “Critical issues for disposal, recycling, and

- clearance of fusion radioactive materials: The European viewpoint,” in *2009 23rd IEEE/NPSS Symposium on Fusion Engineering*, 2009, pp. 1–4. doi: 10.1109/FUSION.2009.5226497.
- [55] J. H. Choi *et al.*, “Superconducting magnet power supply system for the KSTAR 1st plasma experiment and engineering,” in *2009 23rd IEEE/NPSS Symposium on Fusion Engineering*, 2009, pp. 1–4. doi: 10.1109/FUSION.2009.5226386.
- [56] M. E. Sawan, C. S. Aplin, G. Sviatoslavsky, and A. R. Raffray, “Neutronics Analysis of a Molten Salt Blanket for the HAPL Laser Fusion Power Plant with Magnetic Intervention,” in *2007 IEEE 22nd Symposium on Fusion Engineering*, 2007, pp. 1–5. doi: 10.1109/FUSION.2007.4337949.
- [57] Y.-S. Lee, L. Terzolo, D.-S. Lee, and J.-H. Han, “A tool for blanket design & nuclear analysis based On MCNP code,” in *2009 23rd IEEE/NPSS Symposium on Fusion Engineering*, 2009, pp. 1–4. doi: 10.1109/FUSION.2009.5226366.
- [58] D. Clery, “More delays for ITER fusion project: Review notes progress but estimates ‘first plasma’ will take 6 years longer than planned,” *Science*, vol. 350, no. 6264. American Association for the Advancement of Science, p. 1011, Nov. 27, 2015. doi: 10.1126/science.350.6264.1011.
- [59] C. C. Chan, “Sustainable energy and mobility, and challenges to power electronics,” *Conference Proceedings - IPEMC 2006: CES/IEEE 5th International Power Electronics and Motion Control Conference*, vol. 1, pp. 57–62, 2007, doi: 10.1109/IPEMC.2006.297044.
- [60] D. C. Rodriguez *et al.*, “Developing Delayed Gamma-ray Spectroscopy for Reprocessing Plant Nuclear Safeguards: Fissile Nuclide Content Analysis,” in *2021 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference (NSS/MIC)*, 2021, pp. 1–3. doi: 10.1109/NSS/MIC44867.2021.9875724.
- [61] C. J. Nodari, P. L. da Cruz Saladanha, and G. Silva Fontes, “Safety Aspects in Dry Storage of Spent Nuclear Fuel in Long Term Operation for Brazilian Nuclear Power Plants,” *IEEE Latin America Transactions*, vol. 18, no. 10, pp. 1807–1816, 2020, doi: 10.1109/TLA.2020.9387672.
- [62] Y. G. Oh, S. R. Galin, and S. J. Lee, “An Advanced NSSS Integrity Monitoring System for Shin-Kori Nuclear Units 3 and 4,” *IEEE Trans Nucl Sci*, vol. 57, no. 6, pp. 3661–3666, 2010, doi: 10.1109/TNS.2010.2072516.
- [63] S. Serrano-Vincenti, T. Condom, L. Campozano, J. Guamán, and M. Villacís, “An Empirical Model for Rainfall Maximums Conditioned to Tropospheric Water Vapor Over the Eastern Pacific Ocean,” *Front Earth Sci (Lausanne)*, vol. 8, Jul. 2020, doi: 10.3389/feart.2020.00198.

- [64] F. Iacoangeli *et al.*, “A smart adjustable Inelastic Nuclear Interactions counter based on compact Arduino control system and readout,” in *2017 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference (NSS/MIC)*, 2017, pp. 1–4. doi: 10.1109/NSSMIC.2017.8532668.
- [65] A. Ohzu, M. Maeda, M. Komeda, and Y. Toh, “Improvement of detection limit in differential die-away analysis system for nuclear non-proliferation and nuclear security,” in *2019 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference (NSS/MIC)*, 2019, pp. 1–4. doi: 10.1109/NSS/MIC42101.2019.9059900.
- [66] B. Quiter, B. Ludewigt, V. Mozin, and S. G. Prussin, “Nuclear resonance fluorescence for materials assay,” in *2009 1st International Conference on Advancements in Nuclear Instrumentation, Measurement Methods and their Applications*, 2009, pp. 1–5. doi: 10.1109/ANIMMA.2009.5503658.
- [67] W. Wu and L. Yan, “Evaluation Algorithm of In-Plant Emergency Management Capability for Nuclear Power Emergency Incidents Based on Big Data,” in *2023 International Conference on Networking, Informatics and Computing (ICNETIC)*, 2023, pp. 54–58. doi: 10.1109/ICNETIC59568.2023.00017.
- [68] H. Zhou *et al.*, “Study on Baseline Subtraction of Nuclear Pulses Based on Trapezoidal Shaping,” in *2021 5th International Conference on Automation, Control and Robots (ICACR)*, 2021, pp. 89–92. doi: 10.1109/ICACR53472.2021.9605193.
- [69] H. Sha, G. Tian, J. Zhou, J. Fu, and S. Shao, “Underwater Image Processing Method of Boric Acid Pool in Nuclear Power Plant Based on Machine Vision,” in *2023 IEEE 3rd International Conference on Electronic Technology, Communication and Information (ICETCI)*, 2023, pp. 1035–1038. doi: 10.1109/ICETCI57876.2023.10176682.
- [70] Z. HAO *et al.*, “Modeling and simulation of loss of power in nuclear power plant,” in *2018 International Conference on Power System Technology (POWERCON)*, 2018, pp. 4708–4714. doi: 10.1109/POWERCON.2018.8602036.
- [71] A. Y. U. Vlasova, A. A. Chichirov, S. M. Vlasov, O. E. Babikov, and A. V. Nizamaeva, “Microbiological studies of ion exchange and combined water treatment plants,” in *2022 4th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE)*, 2022, pp. 1–6. doi: 10.1109/REEPE53907.2022.9731503.
- [72] “INFORME ESTADÍSTICO SUBGERENCIA DE PLANIFICACIÓN Y CONTROL DE GESTIÓN JEFATURA CORPORATIVA DE PLANIFICACIÓN MARZO 2022

- Información Provisional ENERO-FEBRERO 2022.”
- [73] C. Cuji and D. Polanco, “Estimación Del Tiempo De Recuperación De Energía Aplicado En Producción De Hidrogeno Con Fines De Generación Eléctrica,” *Revista Técnica “energía,”* vol. 18, no. 2, pp. 74–84, Jan. 2022, doi: 10.37116/revistaenergia.v18.n2.2022.492.
- [74] C. Cuji and H. D. Sisa, “Evaluación del consumo de energía eléctrica de acuerdo a la arquitectura bioclimático mediante el Modelo ASHRAE y Gauss T-Student,” *I+D Tecnológico*, vol. 17, no. 1, Jan. 2021, doi: 10.33412/idt.v17.1.2926.
- [75] “Centrales_Eléctricas”.
- [76] G. Janeschitz, “The physics and technology basis of ITER and its mission on the path to demo,” in *2009 IEEE International Conference on Plasma Science - Abstracts*, IEEE, Jun. 2009, pp. 1–1. doi: 10.1109/PLASMA.2009.5227240.
- [77] “ITER ... and then what_”.
- [78] J. Hourtoule *et al.*, “ITER electrical distribution system,” in *2013 IEEE 25th Symposium on Fusion Engineering (SOFE)*, IEEE, Jun. 2013, pp. 1–5. doi: 10.1109/SOFE.2013.6635314.
- [79] F. F. Chen, *Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion*. Cham: Springer International Publishing, 2016. doi: 10.1007/978-3-319-22309-4.
- [80] U. Prasad *et al.*, “Preliminary Design of Central Solenoid of SST-2 and Demo,” *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, vol. 26, no. 4, pp. 1–4, Jun. 2016, doi: 10.1109/TASC.2016.2516106.
- [81] P. Castro, M. Velarde, J. Ardao, J. M. Perlado, and L. Sedano, “Tritium extraction system pipe break environmental impact by atmospheric modelling of tritium forms transport,” in *2013 IEEE 25th Symposium on Fusion Engineering, SOFE 2013*, 2013. doi: 10.1109/SOFE.2013.6635497.
- [82] V. L. Vdovin, “Current generation by helicons and lower hybrid waves in modern tokamaks and reactors ITER and DEMO. Scenarios, modeling and antennae,” *Plasma Physics Reports*, vol. 39, no. 2, pp. 95–119, Feb. 2013, doi: 10.1134/S1063780X13020037.
- [83] D. M. Somma, M. C. Falvo, G. Graditi, M. Manganelli, M. Scanzano, and M. Valenti, “Integration of renewable energy source in transmission grids: Issues and perspectives,” in *21st IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2021 5th IEEE Industrial and Commercial Power System Europe, IEEEIC / I and CPS Europe 2021 - Proceedings*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2021. doi: 10.1109/IEEEIC/ICPSEurope51590.2021.9584553.
- [84] M. Sadiq *et al.*, “Future Greener Seaports: A Review of New

- Infrastructure, Challenges, and Energy Efficiency Measures,” *IEEE Access*, vol. 9. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., pp. 75568–75587, 2021. doi: 10.1109/ACCESS.2021.3081430.
- [85] “Safety and Environment”.
- [86] S. J. Piet, H.-W. Bartels, C. W. Gordon, A. E. Poucet, and L. N. Topilski, “ITER principal safety functions: radiological confinement, heat removal, and shutdown,” in *Proceedings of 16th International Symposium on Fusion Engineering*, IEEE, pp. 301–304. doi: 10.1109/FUSION.1995.534227.
- [87] Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables, “Plan Maestro de Electricidad,” Quito, 2018.
- [88] Panchi Vergara and David Mauricio, “Implementación de una herramienta para la evaluación de la seguridad dinámica en línea del Sistema Nacional Interconectado usando simulación digital en tiempo real,” masterThesis, EPN, Quito, 2023.
- [89] C. Cuji and E. Mediavilla, “Controlador Difuso Para Gestión De La Energía En Un Proceso De Transición De Central De Generación Térmica A Renovables,” *Revista Técnica “energía,”* vol. 18, no. 2, pp. 61–73, Jan. 2022, doi: 10.37116/revistaenergia.v18.n2.2022.491.
- [90] G. Gerla, *Fuzzy Logic*, vol. 11. Dordrecht: Springer Netherlands, 2001. doi: 10.1007/978-94-015-9660-2.
- [91] S. Ecuador, M. Automotriz Del Ecuador, and A. L. Torres, “UNIVERSIDAD ANDINA SIMÓN BOLÍVAR,” 2008.