

Determinación de la Rosa de Robustez para la Matriz Eléctrica del Ecuador

Oscullo, José¹; Romero, Luis¹

¹Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Quito, Ecuador

Resumen: El adecuado análisis en la expansión de la generación de un país, en un determinado periodo, permite conocer el nivel de seguridad para el suministro de energía eléctrica; por medio de lo que se garantiza el abastecimiento del consumo de la misma para las diferentes actividades requeridas por la sociedad. El desarrollo de la matriz eléctrica se basa en la accesibilidad a las diferentes fuentes con fines de producción eléctrica, siempre y cuando se cuente con un adecuado nivel de disponibilidad de la tecnología de generación considerada en la planificación de la expansión del parque generador. Sin embargo, en cualquier país existen momentos, políticos, económicos y ambientales que determinan de manera tácita el nivel de seguridad energético, el cual no es determinado explícitamente en la planificación, y en la práctica es analizado considerando por lo general la dimensión técnica. Al ser el abastecimiento un tema transversal es necesario tomar en cuenta las diferentes aristas de la expansión. En el presente trabajo se muestra un análisis para el periodo 2011-2015 mediante la evolución de indicadores electro-energéticos del Sistema Nacional Interconectado (SNI) del Ecuador considerando las diferentes fuentes disponibles de producción de energía eléctrica y el consumo. Mediante un conjunto adecuadamente seleccionado de indicadores que son función de la expansión y operación de los distintos recursos de generación; lo cuales, estructurados adecuadamente y dispuestos gráficamente determinan la robustez para un sistema eléctrico, es decir, la adaptabilidad del mismo ante variaciones del entorno. Esta disposición gráfica del valor en porcentaje de cada indicador en un eje, se lo conoce como la herramienta denominada "Rosa de Robustez"; donde cada indicador a ser considerado se obtiene en base a la información disponible en documentos oficiales de las instituciones del sector energético.

Palabras clave: Indicadores energéticos, gerenciamiento de la seguridad, economía de sistemas de potencia, expansión de generación.

Determination of the Rose of Robustness for the Electrical Matrix of Ecuador

Abstract: The adequate analysis in the expansion of generation for a country that allows knowing the level of security for the supply of electrical energy, and that is guaranteed the supply of consumption for the different activities required by society. The development of the electrical matrix is based on the accessibility to the different sources for the purpose of electricity production that it is provided, there is an adequate level of availability of the generation technology considered in the planning expansion of generator park. However, any country there are political, economic and environmental moments, which tacitly determine level of energy security that is not explicitly determined in planning, and in practice is analyzed considering technical dimension in general. As supply is a cross-cutting issue, it is necessary to take into account the different edges of the expansion.

The present work an analysis is shown for 2011-2015 through evolution of electro-energy indicators for the National Interconnected System (SNI) of Ecuador considering different available sources of electricity production and consumption. Through a suitably selected set of indicators that are a function of expansion and operation different generation resources; which, suitably structured and graphically arranged, determine the robustness of an electrical system, its adaptability to environmental variations. This graphic layout of percentage value of each indicator on an axis is known as the tool called "Rose of robustness"; where each indicator can be considered and must be obtained in based on information available in official documents of institutions the energy sector.

Keywords: Power generation indicators, security management, power system economics, expansion of generation.

1. INTRODUCCIÓN

La característica principal de una matriz eléctrica es presentar el nivel más alto posible de la oferta para asegurar el suministro de energía eléctrica para el consumo de las diferentes actividades de la sociedad. Esta característica del

sistema eléctrico depende de variables económicas y técnicas, las mismas son derivadas de la planificación de la expansión del sistema la cual está sujeta a decisiones del ámbito político, económico y ambiental. Así, la seguridad de suministro de energía eléctrica dada por un sistema eléctrico, es una de las componentes, en búsqueda de la sostenibilidad de energía de

jose.oscullo@epn.edu.ec

Recibido: 09/01/2018

Aceptado: 20/07/2018

Publicado: 31/07/2018

un país, la misma ha sido tratada de diversas formas, dadas las coyunturas que cada ámbito puede ser analizado a través de diferentes indicadores (DNETN, 2007; Blanco, 2015).

El término seguridad de suministro de energía eléctrica representa la garantía de obtener energía eléctrica con calidad a un nivel de precios que los consumidores puedan acceder. Cada matriz eléctrica busca garantizar la oferta, la cual depende de las centrales existentes, proyectos en construcción, disponibilidad y diversidad de los combustibles de acuerdo a las fuentes primarias que disponga o pueda acceder el país (Retamales, 2005). En cada caso se considera una adecuada y adaptada expansión del sistema de transmisión que permita utilizar la energía de las distintas centrales; la cual sale del alcance del trabajo propuesto.

Mientras que el término robustez del sistema eléctrico, en el presente trabajo, se entiende como la adaptabilidad del mismo ante variaciones del entorno; mediante el análisis de los diferentes ámbitos de seguridad del suministro eléctrico. (Molina, 2005).

La matriz eléctrica de un país se planifica, aunque sea de forma indirecta el nivel de seguridad del suministro de acuerdo a la disponibilidad de recursos técnicos y económicos con los que cuenta el sector eléctrico, esta realidad determina que la seguridad de suministro no trate de incrementar la autosuficiencia del país por medio de solo un tipo de tecnología para el suministro de energía y reducir al máximo la dependencia energética de los recursos energéticos que no cuenta el país, sino que busque balancear la diversidad de tecnologías de producción de energía eléctrica en la matriz (Retamales, 2005).

Como se indicó anteriormente cada decisión ejecutada en la matriz eléctrica puede ser evaluada mediante el establecimiento de indicadores para determinar la seguridad en el suministro, para lo cual es necesario contar con información a detalle para determinar el indicador respectivo y que adecuadamente engranados permita conocer el grado de seguridad de suministro del sistema eléctrico de un país.

De acuerdo a la realidad del sector eléctrico de cada país, los pocos estudios existentes respecto a este tema han planteado un conjunto de indicadores para determinar el nivel de seguridad de suministro eléctrico; pero solo se colocando énfasis en uno de ellos (Retamales, 2005; Blanco, 2015).

Sin embargo, en un sistema hidrotérmico debido a que la energía disponible depende de la aleatoriedad de los caudales afluentes a las centrales hidroeléctricas esta situación compromete la seguridad del abastecimiento de la demanda y cuyo análisis debe ser ágil y rápido; estas características deben ser plasmadas en las herramientas que permitan ser observadas de manera gráfica, esto se lo consigue a través de la ubicación espacial de indicadores de las principales variables técnico-económica de la expansión y operación de un sistema eléctrico, siendo los principales: la diversidad de fuentes de producción de energía, energía firme y el impacto económico de contar con estas fuentes energéticas. Como segundo paso la herramienta debe ser fácilmente replicable en cada escenario

analizado; mediante lo cual evaluar el nivel de seguridad en el suministro eléctrico.

El conjunto de indicadores dispuestos gráficamente permite determinar la robustez del sistema, por medio del valor de un indicador ubicado en cada eje que en conjunto con otros determinan un polinomio al cual se lo denomina “Rosa de Robustez” (DNETN, 2007).

En este trabajo se presenta la aplicación de la herramienta Rosa de Robustez para determinar el nivel de seguridad de suministro de energía eléctrica del SNI del Ecuador en el periodo 2011-2015 considerando los siguientes indicadores:

- La diversidad de fuentes de producción de energía,
- Energía firme, de las tecnologías de producción eléctrica en base a fuentes autóctonas,
- Valor presente de los costos de operación e inversiones de los proyectos en construcción, y;
- Generación del valor agregado del sector eléctrico en la economía nacional;

Debido a que el acceso a la información requerida para determinar los distintos indicadores debe basarse en análisis de datos proveniente de documentos oficiales disponibles de las instituciones del estado. Es así que en la Sección II se presenta a la Rosa de Robustez como la herramienta que determina la seguridad a través de un conjunto de indicadores. En la Sección III, se introduce la metodología para la determinación de la Rosa de Robustez. Dicha metodología es aplicada para el periodo 2011-2015 y se obtiene la Rosa de Robustez del sistema eléctrico ecuatoriano, comparándola con la Rosa de Robustez del sistema eléctrico uruguayo y del sistema eléctrico chileno para un horizonte que contenga el periodo de estudio realizado. Finalmente, en la Sección IV, se presentan las conclusiones y recomendaciones del trabajo, así como futuras líneas de desarrollo.

2. INDICADOR DE ROBUSTEZ PARA UN SISTEMA ELÉCTRICO MEDIANTE ROSA DE ROBUSTEZ

El indicador de robustez fue planteado por primera vez por la Dirección Nacional de Energía y Tecnología Nuclear de Uruguay para analizar diferentes estrategias de expansión de la oferta de generación a través de la determinación de 5 indicadores para analizar las variables técnicas y económicas de la misma (DNETN, 2007).

El indicador de cada variable analizada se coloca en un eje en una escala de 0 a 1; cada nivel del indicador representa la contribución a la robustez del sistema y la unión de cada uno de los niveles alcanzados determina un polígono donde a mayor área del mismo, es decir mayor perímetro determina la mayor robustez, y si un indicador está ubicado internamente afecta a la robustez del sistema; como se observa en la figura 1 (DNETN, 2007; Molina, 2005; Mosto, 2008).

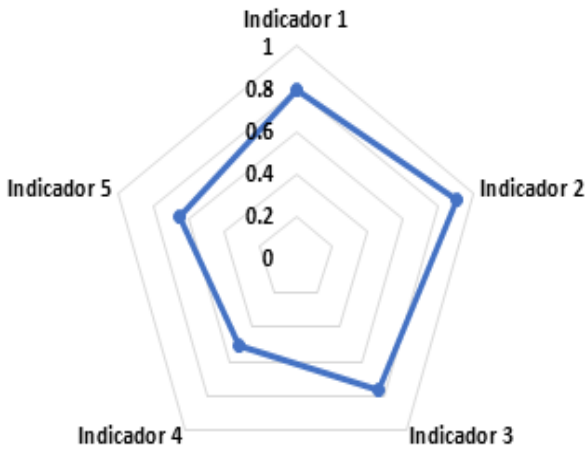


Figura 1. Rosa de Robustez para un año t

A continuación, se presentan los indicadores de cada eje de la rosa de robustez:

2.1 Diversidad de fuentes (IDF): Este indicador determina la diversidad de las fuentes de producción de energía eléctrica con que cuenta una matriz eléctrica, en la ecuación 1 se muestra la determinación del indicador de diversidad de fuentes.

$$IDF = \sum_{t-1}^t \left(1 - \frac{\sigma}{Max(\sigma)}\right) \quad (1)$$

En la ecuación 2 se determina la desviación estándar dado el aporte de cada fuente.

$$\sigma = \sqrt{\sum_i \left(\frac{EFA_i}{EFT} - \frac{1}{NFP}\right)^2} \quad (2)$$

La máxima desviación estándar se presenta en la ecuación 3.

$$Max(\sigma) = \sqrt{\left(1 - \frac{1}{NFP}\right)^2 + (NFP - 1)\left(\frac{1}{NFP}\right)^2} \quad (3)$$

Siendo:

EFA: La energía firme anual de la generación de clase i
 EFT: Energía firme total de la matriz eléctrica
 NFP: Número de fuentes primarias existentes en la matriz eléctrica
 t : Periodo de análisis.

2.1.1 Energía Firme de una central se la entiende como la mínima energía no interrumpible y garantizada de acuerdo a la disponibilidad de la infraestructura y el acceso al recurso para la producción de energía eléctrica en todo momento.

La energía firme, presenta ciertas características particulares según el tipo de generación. Para el caso de las centrales hidroeléctricas se tiene principalmente dos tipos de centrales, sin embalse de regulación también conocidas como de “pasada” y con embalse de regulación.

Para el caso de las centrales de pasada al no tener embalse el cual sirva para el almacenamiento de agua, situación que determina que se transforme la energía potencial del agua en energía eléctrica inmediatamente; lo cual determina que la energía firme corresponda a la mínima producción del periodo de análisis.

Para el caso de las centrales con embalse es necesario determinar el caudal mínimo histórico del periodo y considerar el factor de planta de la misma a fin de determinar la energía mínima del periodo en base a las características físicas del embalse de la central.

Para las centrales térmicas el factor de planta del periodo determina el consumo de combustible debido a las condiciones operativas del sistema, las mismas que son controlables y planificadas por el operador de la central, es decir; la energía firme de este tipo de tecnología depende de la potencia disponible en el periodo en función de su factor de planta.

2.2 Fuentes autóctonas (FA): Este indicador determina la proporción de la energía firme de fuentes locales respecto del total de generación de la matriz eléctrica, como se muestra en la ecuación 4.

$$FA = \sum_i \frac{EFAA_i}{EFT} \quad (4)$$

Siendo:

EFAAi: La energía firme anual de la generación local de la clase i

2.3 Energía firme del territorio nacional (EFTN): Este indicador determina la energía firme, entendida como la mínima energía posible de una central de generación para la menor disponibilidad de la fuente del recurso de producción energética, respecto al consumo de energía eléctrica en un periodo de tiempo como se muestra en la ecuación 5.

$$EFTN = \sum_i \frac{Energía_Firme_i}{Consumo_Energía_Anual} \quad (5)$$

2.4 Valor presente de los costos (IVPC): Este indicador determina el costo total de la operación y del escenario de inversión de los proyectos de generación realizada para cada año considerando una tasa de descuento. Si el costo es el menor posible permite a los consumidores acceder al suministro de energía eléctrica, como se muestra en la ecuación 6.

$$IVPC = \frac{\sum_j VPCO + VPI_j}{Max(VPCO + VPI_j)} \quad (6)$$

Siendo:

VPCO: Valor presente de los costos de operación del periodo de análisis.

VPCIj: Valor presente de la inversión del escenario j en el periodo de análisis.

Para transferir una cantidad de dinero a valor presente es necesario considerar el efecto de la inflación anual del periodo en análisis.

2.5 Generación de valor agregado (IGVA): Este indicador muestra el impacto del sector eléctrico respecto al valor agregado nacional, como se presenta en la ecuación 7.

$$IGVA = \frac{VPASE}{Max(CVAGNSE)} \quad (7)$$

Siendo:

VPASE: Valor presente del agregado del sector eléctrico en el periodo de análisis.

CVAGNSE: Valor agregado nacional codificado del sector eléctrico

3. APLICACIÓN DE LA ROSA DE ROBUSTEZ AL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO DEL ECUADOR

En el numeral anterior se presentó los indicadores que conforman la rosa de robustez, mas la construcción de los mismos requiere el procesamiento de información de acuerdo a las características del sistema eléctrico, para el caso de un sistema hidrotérmico. La información es obtenida de documentos públicos de entidades del sector eléctrico y económico del país.

Para el caso de la energía firme de la generación hidráulica se determina la energía anual con probabilidad de excedencia del 90%, o el percentil del 10% de la fuente primaria de producción de energía y a través de las funciones de producción respectivas obtener la mínima energía que garantiza anualmente suministrar la central.

Para el caso de la generación térmica se determina la potencia efectiva considerando la tasa de salida forzada (FOR) que disminuye la potencia nominal de la central o unidad, como se indica en la ecuación 8, para las 8760 horas que posee un año.

$$EFGT = PN(1 - FOR) * 8760 \quad (8)$$

Siendo:

EFGT : Energía firme de generación térmica.

PN : Potencia nominal de la central o unidad.

Para las centrales fotovoltaicas y eólicas disponibles en el despacho centralizado del SNI al representar un porcentaje reducido de la potencia instalada del sistema eléctrico, la energía firme se la considera como si fuese una central hidroeléctrica de pasada, es decir, como la menor energía suministrada hacia el sistema eléctrico en el periodo de análisis.

Dado el hecho de que se analiza la evolución de las inversiones realizadas y los costos operativos de cada año es necesario analizarlo al año más actual lo cual se utiliza la inflación para determinar el valor presente de los montos de dinero.

Se calcula para cada año los diferentes indicadores con la información de la disponibilidad de las unidades de generación y energía producida, mediante lo cual se construye la rosa de robustez para cada uno. Mientras que, para definir la rosa de robustez del periodo total de análisis se considera el valor promedio ponderado en base a la demanda del mismo.

La herramienta rosa de robustez se aplica al SNI del Ecuador, considerando la operación de las centrales y unidades disponibles obtenidas de los informes anuales del Operador Nacional de Electricidad (CENACE) e inversiones y fechas de los proyectos de generación realizadas en cada año en base a información del operador del sistema eléctrico y de la agencia de regulación y control eléctrico (ARCONEL).

A fin de contrastar la información económica se utilizó la documentación pública del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER), Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos (MICSE) y del Banco Central del Ecuador (BCE).

Con la información de ARCONEL (n.d.) y CENACE (n.d.) en la tabla 1, la energía firme anual de las centrales y unidades del SNI donde se considera como energías renovables la central eólica Villonaco de 15 MW y las centrales solares.

Tabla 1. Datos del SNI, Ecuador 2011-2015.

Año	DEMANDA (GWh)	TÉRMICA (GWh)	HIDRAÚLICA (GWh)	ENERGÍA RENOVABLE (GWh)
2011	17747,80	3876,6	5156,88	0,12
2012	18605,91	4512,12	5145,48	22,8
2013	19458,95	3022,44	4335,36	209,88
2014	20882,55	2985,48	4658,52	406,08
2015	21934,39	3498,96	6301,44	594,96

Fuente: En base a datos de ARCONEL Y CENACE.

En la tabla 2, se presenta el consolidado de la inversión, costos operativos y el valor agregado del suministro eléctrico para cada uno de los años, así como el valor presente de los mismos considerando la inflación de los años respectivos. Donde se observa que en los años 2013 y 2014 debido a que los caudales afluentes a las centrales hidroeléctricas disminuyeron los costos operativos incrementaron debido a la operación de centrales térmicas a fin de abastecer la demanda (MICSE, n.d.; MEER, n.d.; BCE, n.d.; INEC, n.d.).

Tabla 2. Monto de la Inversión, Costos Operativos y valor Agregado del Sector Eléctrico 2011-2015

Año	Inflación (%)	Costo de Operación e Inversión (Miles de Dólares)	Valor Agregado de Suministro Eléctrico (Miles de Dólares)
2011	5,41	1 479 570,0	927 655,0
2012	4,16	1 747 370,0	1 046 322,0
2013	2,70	2 200 440,0	1 065 528,0
2014	3,67	2 258 970,0	1 301 923,0
2015	3,38	1 924 800,0	1 557 354,0

Fuente: En base a datos de BCE, INEC, MEER y MICSE.

En la tabla 3, se muestra los indicadores obtenidos mediante el procesamiento de la información de los documentos oficiales, para el caso de los valores monetarios los mismos se encuentran trasladados al año 2015 por medio de la inflación. Considerando que el SNI cuenta con siete fuentes primarias y secundarias de energía; con la información de las tablas 1 y 2, mediante la aplicación de las ecuaciones anteriores se determina los indicadores de la rosa de robustez.

Tabla 3. Indicadores de la Rosa de Robustez del SNI, Ecuador 2011-2015

Año	IDF (%)	EFTN (%)	IVPC (MM\$)	FA (%)	IGVA (MM\$)
2011	0,757	0,85	1267,42	0,442	805,13
2012	0,758	1,03	1582,44	0,387	947,58
2013	0,766	0,90	2048,04	0,392	991,76
2014	0,797	0,90	2182,62	0,389	1.257,92
2015	0,790	1,08	1924,8	0,450	1.557,35

Al normalizar los mismos respecto al máximo valor de cada uno en el periodo de análisis; cuyos valores se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Indicadores Normalizados Rosa de Robustez del SNI, Ecuador 2011-2015

Año	IDF (%)	EFTN (%)	IVPC (%)	FA (%)	IGVA (%)
2011	0,95	0,79	0,59	0,98	0,52
2012	0,95	0,95	0,73	0,86	0,61
2013	0,96	0,83	0,94	0,87	0,64
2014	1,00	0,83	1,00	0,86	0,81
2015	0,99	1,00	0,88	1,00	1,00

La figura 2, presenta las rosas de robustez de las matrices eléctricas de los sistemas ecuatoriano, uruguayo y chileno; donde los indicadores IGVA y EFTN presenta un comportamiento similar, mientras que los otros tres indicadores son diferentes en las matrices eléctricas, las siguientes figuras analizan de manera individual cada rosa de robustez de cada sistema eléctrico.

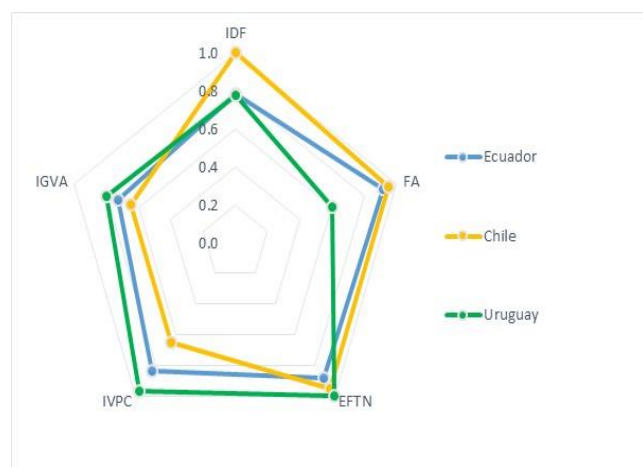


Figura 2. Comparación de Rosa de Robustez.

En la figura 3, se presenta la rosa de robustez obtenida para el SNI para el periodo 2011-2015, donde se observa que la misma

muestra una matriz eléctrica que cuenta con una alta diversidad de fuentes ya que en el sistema existen dos tipos de centrales hidráulicas (embalse y pasada); diferente tipo de tecnología de centrales térmicas como son residuo, diésel, nafta; centrales en base a fuentes de energía renovables e interconexiones eléctricas. Debido a la alta participación de la generación hidráulica del sistema los costos de energía son bajos, dado que en el periodo ha existido una buena hidrología. Si bien en el periodo la energía firme se ha incrementado; es necesario tener presente que la misma se debe a la participación de centrales hidráulicas de pasada, centrales eólicas y solares, cuya energía depende de la disponibilidad estocástica del recurso renovable (agua, viento y radiación solar respectivamente). En el periodo el indicador presenta un alto valor, es debido a la reducida demanda frente a la potencia instalada existente, para el caso del indicador de fuentes autóctonas este se ha incrementado debido al bajo despacho en el periodo de la interconexión eléctrica internacional e importación de diésel, lo cual es función de la hidrología que depende del nivel de lluvias en los sitios donde están ubicados las centrales hidroeléctricas.

A fin de mostrar la característica de análisis de esta herramienta para determinar de manera gráfica la robustez de una matriz eléctrica, en la figura 3 se muestra la rosa de robustez para el sistema eléctrico del Uruguay establecida en (DNETN, 2007) para el periodo 2007-2025 para la expansión del sistema en base a centrales de gas natural, donde se ve que una mejor robustez del sistema ecuatoriano debido a que la rosa de robustez está en el perímetro externo, en especial los indicadores de fuentes autóctonas y diversidad de fuentes del territorio nacional, mientras que no existe diversidad de fuentes. Los indicadores económicos del sistema eléctrico uruguayo muestran un mejor desempeño lo cual es una medida de que la expansión del sistema considero un mejor aprovechamiento para el financiamiento de los proyectos.



Figura 3. Rosa de Robustez del SNI, Ecuador 2011-2015.

En la figura 4, se presenta la rosa de robustez para el sistema eléctrico chileno establecida en Molina (2005) para 2007-2025 en base a la planificación de la expansión del sistema eléctrico chileno, donde se presenta una rosa de robustez de comportamiento muy semejante a la de la matriz eléctrica ecuatoriana, en la cual dos de los cinco indicadores son aproximadamente iguales, fuentes autóctonas y energía firme

del territorio nacional. Mientras que, para los indicadores económicos presenta un mejor desempeño el sistema eléctrico ecuatoriano lo que da una medida de que la expansión del sistema considero un mejor aprovechamiento del financiamiento de los proyectos.

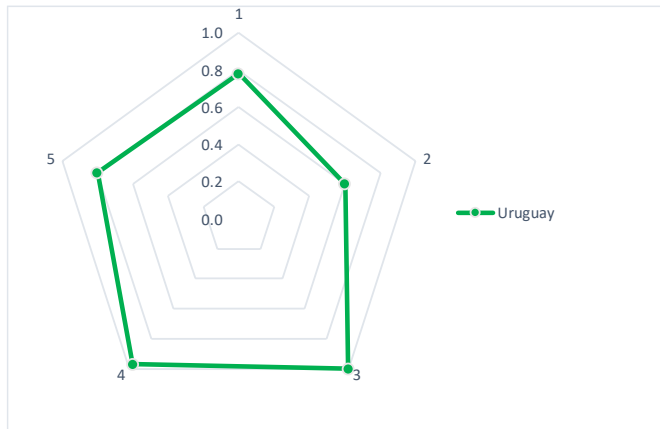


Figura 4. Rosa de Robustez del Sistema Eléctrico Uruguayo 2007-2025.

El análisis de la rosa de robustez permite establecer lineamientos para la expansión de la generación y para el caso del sistema eléctrico ecuatoriano es posible determinar los siguientes lineamientos:

- Las instituciones estatales deben invertir recursos a fin de contar con un catálogo de proyectos de la cadena de producción eléctrica con estudios actualizados y con una base de datos de información pública sobre el potencial de los recursos energéticos con fines de generación eléctrica existentes en el país.
- Mantener y continuar en la senda de la diversificación de fuentes de generación eléctrica, se recomienda incentivar la expansión del parque generador mediante el uso energías renovables de manera masiva por medio de generación distribuida.
- Optimizar la planificación de expansión del sector eléctrico considerando el uso eficiente de recursos energéticos y económicos, a fin de incrementar el índice IDF.
- Revisar los esquemas de comercialización local e internacional de energía eléctrica: analizar esquemas de contrato a largo plazo, mediante lo cual puede mejorar el valor agregado de cada kWh de energía eléctrica.

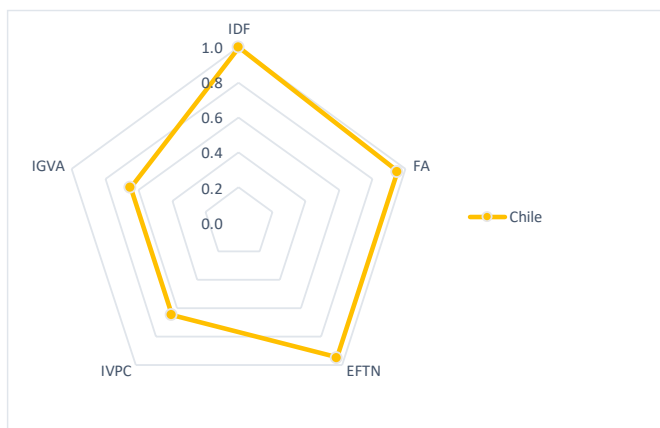


Figura 5. Rosa de Robustez del Sistema Eléctrico Chileno 2007-2025.

4. CONCLUSIONES

Se mostró que la herramienta Rosa de Robustez permite determinar de manera gráfica la robustez del sistema eléctrico respecto a variables técnicas y económicas; así como comparar esta característica entre sistemas colocándole en una base que no depende del nivel de consumo o de oferta de generación.

Mediante el conjunto de indicadores, estos permiten evaluar el grado de robustez alcanzado en un periodo por un país y mediante el cual es posible plantear lineamientos, políticas para la planificación de la expansión del mismo, así como determinar metas para el cumplimiento de las mismas.

La seguridad de suministro en el abastecimiento de la energía eléctrica debe buscar un equilibrio entre las fuentes primarias en base a recursos estocásticos y el nivel de energía térmica dada por fuentes autóctonas que demandan la producción de combustibles en refinerías locales. Dada la dinámica de la demanda se requiere que el sistema lleve una continua planificación, desarrollo y construcción de proyectos eléctricos de bajo costo operativo y de un alto impacto en el valor agregado del país.

Para trabajos futuros se recomienda colocar indicadores del nivel de CO₂ emitido por la operación de la matriz eléctrica; así como incluir la elaboración de escenarios para analizar la expansión en un tipo o mix de tecnologías de producción de generación eléctrica.

REFERENCIAS

- Agencia Nacional de Regulación y Control de Electricidad (n.d.). Información estadística del sector eléctrico ecuatoriano, Obtenido de: <http://www.arconel.gob.ec> (Mayo, 2017).
- Banco Central del Ecuador (n.d.). Información de la Política Económica Obtenido de: <http://www.bce.fin.ec> (Mayo, 2017).
- Blanco, N. (2015). Análisis de seguridad y productividad del suministro de energía eléctrica en el sistema eléctrico de Nicaragua en el periodo comprendido desde el año 2010 hasta el 2018, Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático, Vol.1, N° 2, pp. 20-53.
- DNEN (2007). Robustez del Sistema Eléctrico Nacional: Aporte Metodológico y Ejercicio de Aplicación, Nota Técnica, Dirección Nacional de Energía y Tecnología Nuclear, Ministerio de Industria, Energía y Minería Uruguay.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (n.d.). Información estadística del país, Obtenido de: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec> (Mayo, 2017).
- Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos (n.d.). Información Energética de Sectores Estratégicos, Obtenido de: <http://www.sectoresestrategicos.gob.ec> (Mayo, 2017).
- Ministerio de Electricidad y Energía Renovables (n.d.). Información del sector eléctrico, Obtenido de: <http://www.energia.gob.ec> (Mayo, 2017).
- Molina, J., Martínez, V., y Rudnick H. (2005). Indicadores de Seguridad Energética: Aplicación al Sector Energético de Chile, PUC-Chile.
- Mosto, P. (2008). Robustez de Sistemas Eléctricos: Conclusiones del Aporte Metodológico y ejercicio de aplicación para el Sistema Uruguayo, Revista Energía - CEDDET, N° 2, pp. 14-17.
- Operador Nacional de Electricidad (n.d.). Información sobre la operación del SNI, Obtenido de: <http://www.cenace.org.ec> (Mayo, 2017).
- Retamales, G. (2005). Indicadores de Seguridad de Suministro Eléctrico (SSE) en Chile, Tesis Universidad de Chile.

BIOGRAFÍAS



Oscullo Lala José. Nació en Sangolquí, Ecuador, en 1971. Recibió su título de ingeniero eléctrico en la Escuela Politécnica Nacional en 1996, Master en ingeniería eléctrica de la Universidad Estatal de Campinas, Sao Paulo Brasil en 2002. Actualmente se desempeña como

profesor titular del Departamento de Energía Eléctrica de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Escuela Politécnica Nacional. Su campo de investigación se encuentra relacionado a la aplicación de herramientas de inteligencia computacional para la estabilidad de sistemas eléctricos de potencia.



Romero Luis. Nació en Quito, Ecuador, en 1990. Recibió el título de ingeniero eléctrico en la Escuela Politécnica Nacional en 2018. Actualmente se encuentra ejerciendo el libre ejercicio profesional en el campo de la eficiencia energética. Sus áreas de interés son: Economía de la Energía, Eficiencia

Energética y Optimización de la planificación de largo, mediano y corto plazo de sistemas hidrotérmicos.