

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA:  
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:  
INGENIERO ELÉCTRICO**

**TEMA:  
EVALUACIÓN DE LA CONFIABILIDAD DE GENERACIÓN MEDIANTE EL  
ÍNDICE DE PÉRDIDA ESPERADA DE CARGA (LOLE) USANDO UNA  
FORMULACIÓN PROBABILÍSTICA**

**AUTOR:  
DAYANA MICHELLE ASECIO CÓNDOR**

**TUTOR:  
CARLOS ANDRÉS BARRERA SINGAÑA**

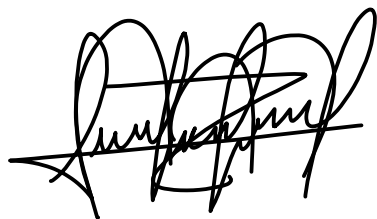
**Quito D.M., diciembre de 2020**

## **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR**

Yo Dayana Michelle Asencio Córdor, con documento de identificación N° 1721399655, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación: *EVALUACIÓN DE LA CONFIABILIDAD DE GENERACIÓN MEDIANTE EL ÍNDICE DE PÉRDIDA ESPERADA DE CARGA (LOLE) USANDO UNA FORMULACIÓN PROBABILÍSTICA*, mismo que 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 aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito D.M., diciembre de 2020



-----  
Dayana Michelle Asencio Córdor  
C.C.: 1721399655

## DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo, Carlos Andrés Barrera Singaña declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Proyecto Técnico, *EVALUACIÓN DE LA CONFIABILIDAD DE GENERACIÓN MEDIANTE EL ÍNDICE DE PÉRDIDA ESPERADA DE CARGA (LOLE) USANDO UNA FORMULACIÓN PROBABILÍSTICA* realizado por Dayana Michelle Asencio Córdor, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito D.M., diciembre de 2020



---

Carlos Andrés Barrera Singaña  
C.I. 0503503336

## **DEDICATORIA**

A mis padres, quienes estuvieron conmigo apoyándome incondicionalmente, pero de manera especial a mi madre por luchar día a día conmigo. A mi hermana por toda su ayuda y sacrificio para lograr que culmine mis estudios.

A mi abuelita por confiar en mí, por cada palabra de aliento, por su amor infinito; a ella con todo mi amor. A mi familia por brindarme su ayuda cuando más lo necesite. A Jonathan, a su mamá la Sra. Yoconda quienes fueron un apoyo para mí en este largo camino.

Dayana Asencio

## **AGRADECIMIENTOS**

Con este trabajo quiero expresar mis más sinceros agradecimientos:

A Dios por guairar cada paso que he dado, por la fuerza y fortaleza para no rendirme y alcanzar una meta más en mi vida. A mi mamá quien ha estado conmigo en este largo y difícil camino, por enseñarme a luchar por lo que anhelo, pero sobre todo por enseñarme a no rendirme jamás. A mis hermanos por estar conmigo en los buenos y malos momentos. A mi padre por apoyarme. A mi abuelita a quien amo y respeto mucho. A mis compañeros de aula con quienes durante 5 años compartimos momentos únicos. A Jonathan por estar a mi lado siempre, por no dejarme bajar los brazos, por su apoyo incondicional, por su cariño y amor. A su familia, en especial a su mamá la Sra. Yoconda quien confió en mí y me brindó todo su cariño, ayuda y apoyo. Quiero expresar mis más sinceros agradecimientos al Ingeniero Mario Pazmiño quien durante toda la carrera me brindó su amistad y su apoyo incondicional en todo momento. Finalmente quiero expresar mis más sinceros agradecimientos al Ing. Carlos Barrera por su apoyo y paciencia en el presente trabajo.

Dayana Asencio

## ÍNDICE

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	i
DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR.....	ii
DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTOS .....	iv
ÍNDICE .....	v
GLOSARIO .....	xii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT .....	xv
INTRODUCCIÓN .....	xvi
CAPÍTULO I.....	1
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.1    Objetivos.....	1
1.2    Descripción del problema.....	1
1.3    Alcance.....	2
CAPÍTULO II .....	3
MARCO TEÓRICO.....	3
2.1    Confiabilidad de sistemas eléctricos de potencia .....	3
2.1.1    Confiabilidad de generación .....	4
2.1.2    Confiabilidad de transmisión .....	4
2.1.3    Confiabilidad de distribución.....	5
2.2    Tasa forzada de salida (FOR).....	6
2.3    Tabla de probabilidad de pérdida de capacidad .....	7
2.3.1    Distribución binomial.....	9
2.3.2    Enumeración de estados.....	10

2.3.3	Algoritmo recursivo .....	11
2.4	Loss of load expectation (LOLE) .....	11
2.4.1	Modelo de la carga para confiabilidad .....	12
2.4.2	Cálculo del LOLE .....	13
CAPÍTULO III .....		14
IMPLEMENTACIÓN EN EL SOFTWARE MATLAB .....		14
3.1	Sistemas de prueba .....	15
3.1.1	Sistema 1 .....	15
3.1.2	Sistema 2 .....	16
3.2	Sistemas de expansión .....	17
3.2.1	Sistema de expansión para 8 años .....	17
3.2.2	Sistema de expansión con horizonte de 15 años .....	17
CAPÍTULO IV .....		19
ANÁLISIS DE RESULTADOS .....		19
4.1	Sistema 1 .....	19
4.2	Sistema 2 .....	23
4.3	Sistema de expansión para 8 años .....	38
4.3.1	Sistema de expansión con horizonte de 15 años .....	45
CONCLUSIONES .....		75
RECOMENDACIONES .....		76
REFERENCIAS .....		77
ANEXOS .....		80

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Tipos de índices de confiabilidad [2]. .....	xvii
<b>Figura 2.</b> Zonas funcionales para un sistema eléctrico de potencia [2]. .....	3
<b>Figura 3.</b> Zonas funcional de generación .....	4
<b>Figura 4.</b> Zonas funcional de generación y transmisión .....	5
<b>Figura 5.</b> Zonas funcional de los tres niveles jerárquicos [1]. .....	5
<b>Figura 6.</b> Cálculo de la probabilidad individual por medio de las FOR .....	7
<b>Figura 7.</b> Suma de probabilidades.....	8
<b>Figura 8.</b> Construcción de la probabilidad acumulada.....	8
<b>Figura 9.</b> Modelo de dos estados [3]......	9
<b>Figura 10.</b> Reacción entre la capacidad, reserva y carga [10].....	12
<b>Figura 11.</b> Curva de carga .....	13
<b>Figura 12.</b> Diagrama unifilar de un sistema con capacidades idénticas [20]......	16
<b>Figura 13.</b> Diagrama unifilar de un sistema con diferente capacidad. ....	16
<b>Figura 14.</b> Variación del LOLE para unidades idénticas con dos tipos de tasas de salida forzada (FOR). .....	23
<b>Figura 15.</b> Variación del LOLE para unidades diferentes con tres tipos de tasas de salida forzada (FOR).....	38
<b>Figura 16.</b> Proyección del LOLE para 8 años .....	45
<b>Figura 17.</b> Proyección del LOLE para 15 años .....	74
<b>Figura 18.</b> Cumplimiento del criterio de riesgo .....	74



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Enumeración de estados.....	10
<b>Tabla 2.</b> Disponibilidad e indisponibilidades en unos y ceros .....	10
<b>Tabla 3.</b> Datos del sistema de capacidades diferentes.....	16
<b>Tabla 4.</b> Cálculo del LOLE para expansión de generación [12]. .....	17
<b>Tabla 5.</b> Datos de los generadores.....	17
<b>Tabla 6.</b> Unidades de expansión.....	18
<b>Tabla 7.</b> Tabla de capacidad del sistema idéntico con carga lineal de 100% a 85% con FOR= 0.05.....	19
<b>Tabla 8.</b> Tabla de capacidad del sistema idéntico con carga lineal de 100% a 80% con FOR= 0.05.....	19
<b>Tabla 9.</b> Tabla de capacidad del sistema idéntico con carga lineal de 100% a 75% con FOR= 0.05.....	20
<b>Tabla 10.</b> Tabla de capacidad del sistema idéntico con carga lineal de 100% a 70% con FOR= 0.05.....	20
<b>Tabla 11.</b> Tabla de capacidad del sistema idéntico con carga lineal de 100% a 65% con FOR= 0.05.....	20
<b>Tabla 12.</b> Tabla de capacidad del sistema idéntico con carga lineal de 100% a 85% con FOR= 0.07.....	20
<b>Tabla 13.</b> Tabla de capacidad del sistema idéntico con carga lineal de 100% a 80% con FOR= 0.07.....	21
<b>Tabla 14.</b> Tabla de capacidad del sistema idéntico con carga lineal de 100% a 75% con FOR= 0.07.....	21
<b>Tabla 15.</b> Tabla de capacidad del sistema idéntico con carga lineal de 100% a 70% con FOR= 0.07.....	21
<b>Tabla 16.</b> Tabla de capacidad del sistema idéntico con carga lineal de 100% a 65% con FOR= 0.07.....	21
<b>Tabla 17.</b> Variación de la carga para dos tipos de FOR.....	22
<b>Tabla 18.</b> Tabla de capacidad del sistema de capacidad distinto con carga lineal de 100% a 85% con FOR= 0.03. ....	23
<b>Tabla 19.</b> Tabla de capacidad del sistema de capacidad distinto con carga lineal de 100% a 80% con FOR= 0.03. ....	24

<b>Tabla 20.</b> Tabla de capacidad del sistema de capacidad distinto con carga lineal de 100% a 75% con FOR= 0.03. ....	25
<b>Tabla 21.</b> Tabla de capacidad del sistema de capacidad distinto con carga lineal de 100% a 70% con FOR= 0.03. ....	26
<b>Tabla 22.</b> Tabla de capacidad del sistema de capacidad distinto con carga lineal de 100% a 65% con FOR= 0.03. ....	27
<b>Tabla 23.</b> Tabla de capacidad del sistema de capacidad distinto con carga lineal de 100% a 85% con FOR= 0.04. ....	28
<b>Tabla 24.</b> Tabla de capacidad del sistema de capacidad distinto con carga lineal de 100% a 80% con FOR= 0.04. ....	29
<b>Tabla 25.</b> Tabla de capacidad del sistema de capacidad distinto con carga lineal de 100% a 75% con FOR= 0.04. ....	30
<b>Tabla 26.</b> Tabla de capacidad del sistema de capacidad distinto con carga lineal de 100% a 70% con FOR= 0.04. ....	31
<b>Tabla 27.</b> Tabla de capacidad del sistema de capacidad distinto con carga lineal de 100% a 65% con FOR= 0.04. ....	32
<b>Tabla 28.</b> Tabla de capacidad del sistema de capacidad distinto con carga lineal de 100% a 85% con FOR= 0.05. ....	33
<b>Tabla 29.</b> Tabla de capacidad del sistema de capacidad distinto con carga lineal de 100% a 80% con FOR= 0.05. ....	34
<b>Tabla 30.</b> Tabla de capacidad del sistema de capacidad distinto con carga lineal de 100% a 75% con FOR= 0.05. ....	34
<b>Tabla 31.</b> Tabla de capacidad del sistema de capacidad distinto con carga lineal de 100% a 70% con FOR= 0.05. ....	35
<b>Tabla 32.</b> Tabla de capacidad del sistema de capacidad distinto con carga lineal de 100% a 65% con FOR= 0.05. ....	36
<b>Tabla 33.</b> Variación de la carga para tres tipos de FOR.....	37
<b>Tabla 34.</b> Expansión de generación para el año 1 para una capacidad instalada de 200 MW y una carga máxima de 160 MW. ....	39
<b>Tabla 35.</b> Expansión de generación para el año 2 para una capacidad instalada de 200 MW y una carga máxima de 176 MW. ....	39
<b>Tabla 36.</b> Expansión de generación para el año 2 para una capacidad instalada de 250 MW y una carga máxima de 176 MW. ....	39

<b>Tabla 37.</b> Expansión de generación para el año 3 para una capacidad instalada de 250 MW y una carga máxima de 193.6 MW.....	39
<b>Tabla 38.</b> Expansión de generación para el año 4 para una capacidad instalada de 250 MW y una carga máxima de 213 MW.....	40
<b>Tabla 39.</b> Expansión de generación para el año 4 para una capacidad instalada de 300 MW y una carga máxima de 213 MW.....	40
<b>Tabla 40.</b> Expansión de generación para el año 5 para una capacidad instalada de 300 MW y una carga máxima de 234.3 MW.....	41
<b>Tabla 41.</b> Expansión de generación para el año 6 para una capacidad instalada de 300 MW y una carga máxima de 257.4 MW.....	41
<b>Tabla 42.</b> Expansión de generación para el año 6 para una capacidad instalada de 350 MW y una carga máxima de 257.4 MW.....	42
<b>Tabla 43.</b> Expansión de generación para el año 7 para una capacidad instalada de 350 MW y una carga máxima de 283.1 MW.....	42
<b>Tabla 44.</b> Expansión de generación para el año 8 para una capacidad instalada de 350 MW y una carga máxima de 311.4 MW.....	43
<b>Tabla 45.</b> Crecimiento anual al 10% tomando en cuenta el criterio de riesgo.....	44
<b>Tabla 46.</b> Cálculo del LOLE para el año 1.....	45
<b>Tabla 47.</b> Expansión de 40 MW para el año 1.....	46
<b>Tabla 48.</b> Expansión de 50 MW para el año 1.....	46
<b>Tabla 49.</b> Cálculo del LOLE para el año 2.....	47
<b>Tabla 50.</b> Cálculo de LOLE para el año 3.....	47
<b>Tabla 51.</b> Expansión de 40 MW para el año 3.....	48
<b>Tabla 52.</b> Cálculo del LOLE para el año 4.....	49
<b>Tabla 53.</b> Expansión de 50 MW para el año 4.....	49
<b>Tabla 54.</b> Cálculo del LOLE para el año 5.....	50
<b>Tabla 55.</b> Cálculo del LOLE para el año 6.....	51
<b>Tabla 56.</b> Expansión de 40 MW para el año 6.....	52
<b>Tabla 57.</b> Cálculo de LOLE para el año 7.....	53
<b>Tabla 58.</b> Cálculo del LOLE para el año 8.....	54
<b>Tabla 59.</b> Expansión de 50 MW para el año 8.....	54
<b>Tabla 60.</b> Cálculo del LOLE para el año 9.....	55
<b>Tabla 61.</b> Expansión de 40 MW para el año 9.....	56

<b>Tabla 62.</b> Cálculo del LOLE para el año 10.....	58
<b>Tabla 63.</b> Expansión de 50 MW para el año 10 .....	59
<b>Tabla 64.</b> Cálculo del LOLE para el año 11 .....	60
<b>Tabla 65.</b> Cálculo del LOLE para el año 12.....	61
<b>Tabla 66.</b> Expansión de 40 MW para el año 12 .....	62
<b>Tabla 67.</b> Cálculo del LOLE para el año 13.....	64
<b>Tabla 68.</b> Expansión de 50 MW para el año 13 .....	65
<b>Tabla 69.</b> Cálculo del LOLE para el año 14.....	66
<b>Tabla 70.</b> Expansión de 40 MW para el año 14 .....	68
<b>Tabla 71.</b> Cálculo del LOLE para el año 15.....	69
<b>Tabla 72.</b> Expansión de 50 MW para el año 15 .....	71
<b>Tabla 73.</b> Crecimiento anual de demanda .....	72
<b>Tabla 74.</b> Expansión de unidades para un horizonte de 15 años.....	73

## GLOSARIO

- **Sistema eléctrico:** es el recorrido que realiza la electricidad mediante conductores, desde la fuente de energía hasta su lugar de consumo [1].
- **Confiabilidad:** es aquella que garantiza la continuidad del servicio eléctrico pese a las fallas a las que el sistema este expuesto: fallas internas o externas (factores medio ambientales) [2].
- **Adecuación:** es la capacidad del sistema para responder a la demanda de los usuarios pese a las fallas que pueda sufrir el sistema [2].
- **Seguridad:** es la habilidad del sistema para reaccionar adecuadamente a ciertos daños o fallas que puedan producirse en los equipos o en la red. Para garantizar la seguridad en el sistema es necesario emplear sistemas de protección [2].
- **NERC (North American Reliability Council):** entidad reguladora internacional, encargada principalmente de asegurar la reducción efectiva y eficiente de los riesgos para la confiabilidad y seguridad de la red [3].
- **Probabilidad:** es la posibilidad de ocurrencia o no ocurrencia de un evento o suceso [4].
- **Fallas:** característica empleada en el desempeño de un componente. Incapacidad de una maquina o elemento de cumplir con su función o trabajo dentro de los límites especificados [5].
- **FOR (Tasa de salida forzada):** es la probabilidad de indisponibilidad por falla o mantenimiento no programado de una maquina en un periodo de tiempo [6].

- **LOLE (Pérdida de carga esperada):** número de días al año en que la carga puede ser mayor que la generación [7].
- **Criterio de riesgo:** son aquellos límites permitidos o tolerados en los que un equipo, instrumento o maquina puede funcionar sin problema alguno [7].

## RESUMEN

Los sistemas eléctricos de potencia al ser los elementos fundamentales en la distribución de energía eléctrica deben ser diseñados para puedan cumplir con los parámetros requeridos de confiabilidad y seguridad. Garantizando que el consumo eléctrico no se vea afectado por daños que puedan producirse, para ello es necesario utilizar enfoques probabilísticos relacionados a la ocurrencia de fallas que garanticen un sistema estable, seguro y sobre todo confiable.

Por lo expuesto, el presente trabajo se enfoca en realizar un estudio del indicador de confiabilidad LOLE, el cual permite controlar el criterio de riesgo de los equipos o elementos del sistema de potencia. Para ello se ha elaborado un modelo matemático genérico simulado en Matlab, el cual mediante la construcción de tablas de pérdida de capacidad permiten introducir datos para  $n$  generadores, además, usa diferentes tasas forzadas de salida (FOR), esto para elaborar planes de expansión de generación. Se debe agregar también que permite modificar la carga lineal que puede tener y los crecimientos anuales que se van a realizar para proyecciones futuras que permitan el incremento de unidades adicionales con el fin de garantizar un criterio de riesgo confiable y seguro.

**Palabras Clave:** Tasa Forzada de Salida, Máxima carga, Criterio de Riesgo, Confiabilidad, LOLE.

## **ABSTRACT**

Electrical power systems, as they are the fundamental elements in the distribution of electrical energy, must be designed to meet the required parameters of reliability and safety. Ensuring that electricity consumption is not affected by damage that may occur, it is necessary to use probabilistic approaches related to the occurrence of failures to ensure a stable, safe and above all reliable system.

Therefore, the present work is focused on carrying out a study of the reliability indicator LOLE, which allows controlling the risk criteria of the equipment or elements of the power system. For this reason, a generic mathematical model simulated in Matlab has been elaborated, which by means of the construction of tables of capacity loss allows to introduce data for  $n$  generators, in addition, uses different forced rates of exit (FOR), this to elaborate plans of expansion of generation. It should also be added that it allows the modification of the linear load that it may have and the annual growths that are going to be made for future projections that allow the increase of additional units in order to guarantee a reliable and safe risk criterion.

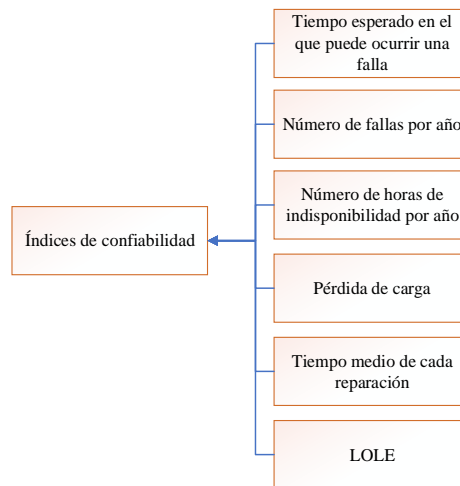
***Keywords:*** Forced Exit Rate, Maximum load, Risk Criteria, Reliability, LOLE.



## INTRODUCCIÓN

Los sistemas eléctricos de potencia tienen como función principal abastecer de energía eléctrica a todos los usuarios. Constituido fundamentalmente por una red de componentes eléctricos encargados de generar y suministrar energía eléctrica de calidad, es por ello por lo que en los sistemas de transmisión eléctrica se analiza que tan confiables son los subsistemas los cuales son indispensables y desempeñan una determinada función en nuestro sistema, pues por medio de estos se puede abastecer la demanda y se compone por los siguientes niveles: generación, transmisión y distribución. Juntos cada uno de estos subsistemas deben garantizar que el sistema brinde confiabilidad y seguridad a la red y a su vez al consumidor final, por tanto, se dice que un sistema es confiable cuando todos los componentes pueden seguir operando por un determinado periodo de tiempo a pesar de que estos sufran fallas en la red; garantizando los requerimientos de calidad y seguridad importantes en todo sistema de potencia [1].

La NERC (North American Reliability) define a la confiabilidad en términos de adecuación y seguridad, debido a estrechos lazos que ambas tienen, es decir, una depende de la otra para ser considerados sistemas confiables. Para el análisis de confiabilidad del sistema eléctrico de potencia se requiere un enfoque de tipo probabilístico, permita entender el porqué de las salidas repentinas del sistemas o fallas en los elementos, el tiempo aproximando en el que la falla puede ocurrir, el periodo de tiempo que puede llegar a durar la falla y sobre todo en que elementos puede producirse daños o fallas propias o por factores externos. Es importante mencionar que, existen otras medidas que no están asociadas a la probabilidad pero que deben ser contempladas para garantizar la confiabilidad, estas medidas a su vez se asocian a promedios estadísticos o valores esperados denominados índices de confiabilidad, mismo que se explican en la Figura 1 [2].



**Figura 1.**Tipos de índices de confiabilidad [2].  
Elaborado por: Dayana Asencio

Los sistemas de potencia al tener que transportar energía a largas distancias son susceptibles a diferentes tipos de perturbaciones, las cuales son ocasionadas por fallas en algún elemento del sistema o por causas externas, que desembocan en la pérdida de estabilidad y esto a su vez reduce la confiabilidad y sobre todo la seguridad de los sistemas [1][3]. Por tal motivo se emplean índices de confiabilidad, los cuales permiten realizar un análisis de funcionamiento de los elementos del sistema, este análisis permite planificar una expansión y desarrollo de los sistemas instalados

Estos índices pueden ser determinados mediante pruebas probabilísticas las cuales permiten determinar el grado de confiabilidad de un elemento, empleando para ello,  $n$  generadores con diferentes tasas de salida forzada (FOR), con la finalidad de determinar tablas de pérdidas de capacidad de energía y por medio de ellas encontrar el LOLE. Por lo tanto, es posible determinar fallas o daños que puedan suscitarse por medio de indicadores probabilísticos. Este indicador va a depender del tiempo en el que la falla se suscita, es decir que al estar ligado a las tasas de salida forzada consigue que mientras más pequeño sea el tiempo de desconexión de un elemento de la red, menor será el valor del indicador, por el contrario si el tiempo de desconexión incrementa de manera porcentual el LOLE de la misma manera incrementara su valor[3][4].

Es decir, el LOLE permite obtener el número de días al año en el que la carga es mucho mayor a la generación y como el mismo puede ser corregido mediante algoritmos que permitan realizar expansiones de unidades de generación para lograr una reducción en el indicador cuando este no cumpla los parámetros de riesgo

establecidos. Finalmente a través del LOLE es posible obtener curvas características basadas en los picos de las cargas y consumos diarios [2][3][5].

El presente artículo se enfoca en la obtención del LOLE mediante el cálculo de tablas de pérdida de capacidad o generación mediante el método de enumeración de estados considerando sistemas iguales y sistemas diferentes, aplicando siempre el concepto de distribución binomial para cualesquiera de los dos casos. El trabajo se basa principalmente en los sistemas modelados [12], los cuales permiten una comprobación de resultados con ayuda del Matlab.

El proyecto se desarrollará en su totalidad en el software Matlab, obteniéndose como resultado final un código que permita hallar tablas de pérdida de capacidad o generación mediante el método de enumeración de estados para varios generadores, idénticos o diferentes; con varias tasas de salida forzada (FOR), asimismo nos permite estudiar la confiabilidad de generación a través de la obtención del índice LOLE, el cual será calculado por medio del método antes mencionado.

El trabajo de investigación es aplicado en el sistema eléctrico de prueba para generadores idénticos, distintos y dos modelos de expansión; el primer caso un modelo establecido del libro [12] y el segundo caso para una expansión de 15 años. Es importante acotar que, el modelo genérico realizado en Matlab servirá para que pueda ser utilizado por los estudiantes de Ingeniería Eléctrica, para los estudios de confiabilidad.

La distribución del presente trabajo se realizó de la siguiente manera: Capítulo I: introducción y antecedentes de la confiabilidad de sistemas eléctricos de potencia. Capítulo II: marco teórico relacionado a la confiabilidad, probabilidad, índices de confiabilidad, en nuestro caso sobre el LOLE y finalmente, la tabla de pérdida de capacidad o generación. Capítulo III: implementación del modelo matemático. Capítulo IV: análisis de resultados en los sistemas de prueba propuestos. Finalmente, las conclusiones, recomendaciones, referencias y anexos.

# CAPÍTULO I

## DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

### 1.1 Objetivos

#### General

- Calcular el índice LOLE asociado a la probabilidad de pérdida intempestiva del sistema generación y/o mantenimientos programados del mismo, para realizar su expansión.

#### Específicos

- Estudiar el cálculo del índice LOLE mediante el método de enumeración de estados sobre una carga que tenga el modelo de variación del pico diario.
- Diseñar un código genérico en Matlab que permita la obtención del índice LOLE mediante tablas de pérdida de capacidad.
- Desarrollar la expansión de un sistema de generación hasta diez años en base al cálculo del índice LOLE.

### 1.2 Descripción del problema

La Ingeniería eléctrica dentro de sus múltiples líneas de trabajo e investigación tiene a la Confiabilidad de Sistemas Eléctricos de Potencia, donde se evalúa la probabilidad de que cada sistema cumpla con su función. Las aplicaciones de la confiabilidad entre otras es la propuesta de escenarios de expansión del sistema de generación. Esta expansión puede ser realizada tomando como base un criterio de cumplimiento del índice de pérdida de carga LOLE a causa de que la generación sea desconectada por motivos diversos.

El cálculo que conlleva este índice con propósitos de expansión, donde deben irse añadiendo unidades resulta demasiado extenso e impráctico de realizarse manualmente. Desde un punto de vista académico, es importante que los estudiantes de Ingeniería Eléctrica estén en capacidad de entender y formular una expansión de generación técnicamente adecuada.

Por ende, el producto de este proyecto tiene como objetivo que los estudiantes de confiabilidad de sistemas eléctricos de potencia puedan hacer uso de un programa genérico realizado en su totalidad en Matlab, el cual permita realizar tablas de pérdida de capacidad que puedan ser utilizadas para obtener el índice LOLE y posteriormente realizar la expansión de generación; siendo este un material de apoyo didáctico.

### **1.3 Alcance**

En este trabajo se realizará una revisión bibliográfica sobre la confiabilidad de generación, particularmente en el cálculo del índice LOLE y sus aplicaciones. Se empleará el método de enumeración de estados para generar tablas de probabilidad de pérdida de capacidad, las cuales serán empleadas posteriormente para el cálculo del mencionado índice.

Esto será programado enteramente en Matlab, obteniéndose un código general, aplicable a varias unidades, tanto idénticas como distintas en capacidad y tasas forzadas de salida.

Se probará el código implementado en sistemas de prueba con unidades idénticas y distintas, además de varios escenarios de carga anuales, realizando su expansión de generación, usando el modelo de carga pico máximo.

## CAPÍTULO II

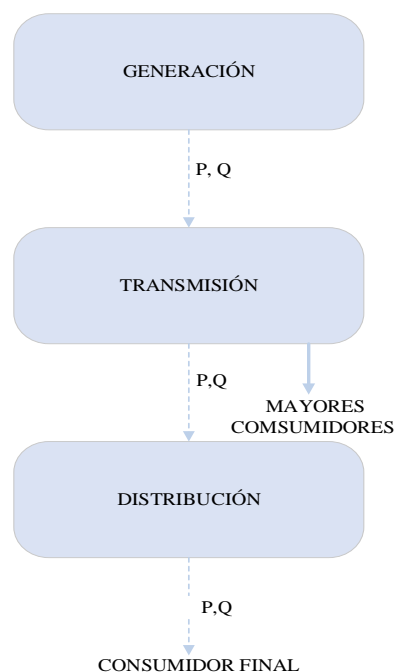
### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Confiabilidad de sistemas eléctricos de potencia

Es la capacidad de un elemento o sistema para realizar o cumplir su función, por un período de tiempo y sujeto a condiciones operativas en el servicio, acatando en todo momento los requerimientos de calidad y seguridad necesarios para el sistema eléctrico de potencia. La confiabilidad en un sistema eléctrico de potencia está definida por la adecuación y la seguridad.

En donde la adecuación no es nada más que la encargada de satisfacer la demanda de los usuarios pese a que está, este expuesta a fallos e interrupciones programadas y no programadas de los elementos [6]. En tanto que la seguridad hace referencia a la capacidad que tiene el sistema de potencia para tolerar las perturbaciones repentinas que suelen aparecer en el sistema.

La confiabilidad puede ser cuantificada mediante índices que pueden ser de tipo probabilístico, estadísticas descriptivas, medidas operativas e índices determinísticos.



**Figura 2.** Zonas funcionales para un sistema eléctrico de potencia [2].  
Elaborado por: Dayana Asencio

Para los análisis de confiabilidad de los sistemas eléctricos de potencia, suelen dividirse en zonas funcionales de generación, transmisión y distribución, tal como se muestra en la Figura 2.

### 2.1.1 Confiabilidad de generación

Debido a su gran importancia es el primer nivel del sistema jerárquico, pues es fundamental considerar la capacidad que posee el sistema para suministrar la carga total requerida, en la Figura 3 se observa cómo está formado este nivel. Para este estudio es fundamental asumir que el sistema transmisión es confiable en un 100% con el fin de poder asegurar posibles fallencias que puedan producirse en el sistema de transmisión que no puedan ser detectadas con facilidad por medio de índices generales[1][6].



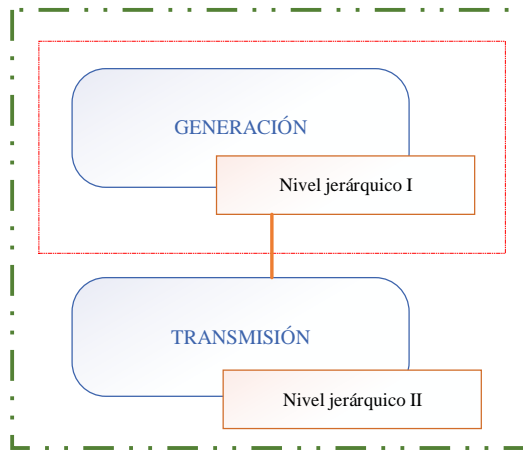
**Figura 3.** Zonas funcional de generación  
Elaborado por: Dayana Asencio

Los estudios de confiabilidad en generación se logran a través pruebas de capacidad que se realizan a los sistemas para abastecer la demanda, tomando en cuenta las tasas de salida forzadas (FOR) e indisponibilidades programadas tales como las exigencias de los mantenimientos, con lo cual se puede evaluar la capacidad de generación para abastecer la demanda necesaria del sistema además de conseguir una capacidad apta para los eventos de bajas contingencias e indisponibilidades. Los métodos probabilísticos muestran factores auténticos que intervienen en el comportamiento y operación del sistema para mantener los parámetros de calidad y seguridad necesarios para la confiabilidad del sistema.

### 2.1.2 Confiabilidad de transmisión

El segundo nivel jerárquico constituido principalmente por unidades de generación que están conformadas por reactancias, capacidades máximas y probabilidades de falla para lograr unirse con la carga [6].

Al estar enlazado con el sistema jerárquico de generación, como se muestra en la Figura 4, es posible obtener los índices que se tienen por año y que constantemente se emplea a partir de valores picos registrados, consecuentemente estos índices garantizan un análisis del nivel jerárquico de distribución de una manera más clara y detallada.

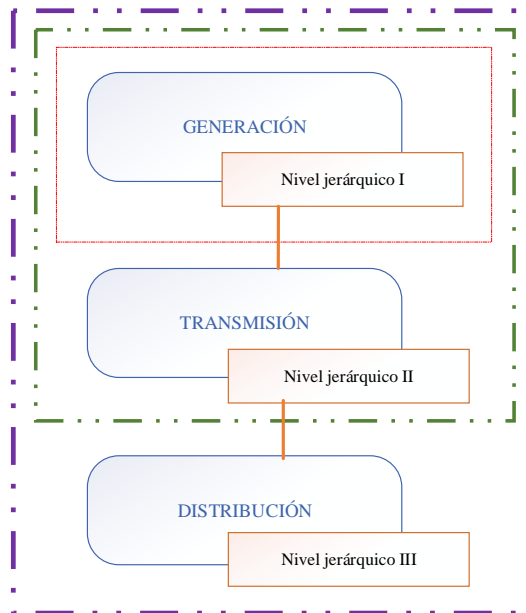


**Figura 4.** Zonas funcional de generación y transmisión  
Elaborado por: Dayana Asencio

Es importante analizar ciertas complicaciones que se presenta en este sistema, ya que su complejidad es alta debido a la capacidad de respuesta del sistema debido perturbaciones transitorias, análisis de contingencias y los cálculos para flujo de carga.

### 2.1.3 Confiabilidad de distribución

Es este nivel se analiza los tres niveles jerárquicos, comenzando por generación y concluyendo en el consumidor final, como se muestra en la Figura 5 [1][4][6].



**Figura 5.** Zonas funcional de los tres niveles jerárquicos [1].  
Elaborado por: Dayana Asencio

La confiabilidad en el sistema de distribución implica los índices de capacidad real del consumo y sobre todo la confiabilidad que deben otorgar las subestaciones, las cuales son los principales focos de distribución hacia los usuarios [6]. La importancia de este nivel es fundamental, pues mediante un estudio adecuado es posible localizar



fallas o problemas que puede presentar el sistema y ser solucionados de manera pronta, garantizando un sistema seguro y confiable.

## 2.2 Tasa forzada de salida (FOR)

Es el parámetro básico de una unidad generadores y se emplea para evaluaciones estáticas o inmóviles, es decir, es la probabilidad de hallar una unidad en corte forzado en algún periodo de tiempo; por lo tanto, se define como indisponibilidad de la unidad o tasa de salida forzada. En tanto se debe tomar en cuenta que esta tasa no tiene relación con la confiabilidad sino más bien con la relación de valores de tiempo (1) [5][7][8].

$$FOR = U = \frac{\lambda}{\lambda + u} = \frac{r}{m + r} = \frac{t}{T} \quad (1)$$

Donde:

- U Tasa de reparación
- Tasa de falla
- R Duración del estado de no operación
- M Duración del estado de operación
- T Tiempo del ciclo
- T Tiempo medio entre fallas
- F Ciclo de frecuencia

La indisponibilidad es también reconocida por sus siglas en inglés como Forced Outage Rate, mismo que se lo puede definir como la probabilidad de que una unidad de generación no esté disponible debido a salidas forzadas del sistema (2).

$$FOR = \frac{FOH}{FOH + SH} \quad (2)$$

Donde:

- FOH Número de horas en el período en el que la unidad se encuentra en salida forzada
- SH Horas de operación

Si la unidad no ésta trabajando en su plena capacidad, si no por el contrario, en una capacidad menor (3), el índice se define como EFOR [2][7][9].

$$EFOR = \frac{FOH + EFDH}{FOH + SH + EFDHRS} \times 100 \quad (3)$$

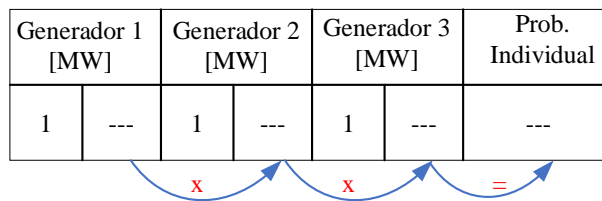
Donde:

- FOH      Número de horas en el período en el que la unidad se encuentra en salida forzada
- SH       Horas de operación
- EFDH    Suma de horas equivalente de operación limitada durante las horas de servicio y horas en reserva fría
- EFDHRS Suma de horas equivalente de operación limitada correspondiente a horas en reserva fría

### 2.3 Tabla de probabilidad de pérdida de capacidad

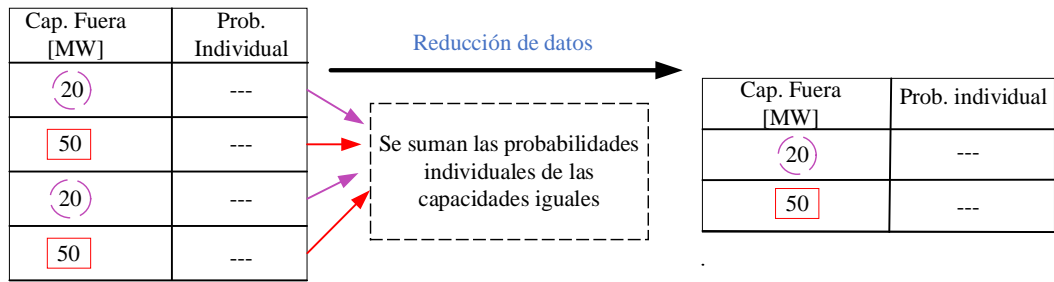
Permite realizar un análisis en función de la capacidad que poseen los generadores y tasas forzadas de salida (FOR) encargadas de representar el tiempo de indisponibilidad o de mantenimiento de los equipos, en función a estos datos es factible construir una tabla de pérdida de capacidad basada principalmente en la enumeración de estados detallada de mejor manera en la Tabla 1. Es decir, comprende tantos unos y tantos ceros como  $n$  generadores se tengan, entiéndase como unos la probabilidad de ocurrencia ( $q$ ) y ceros la de no ocurrencia ( $p$ ) de un evento [10][11].

Al mismo tiempo, esta tabla muestra la capacidad fuera y capacidad disponible, las cuales serán trabajadas en función de la capacidad de los generadores ya sean estos idénticos o diferentes. De igual forma, es posible obtener la probabilidad individual; que puede ser calculada aplicando la fórmula de distribución binomial (4) o en función a las FOR esto es, una multiplicación de las disponibilidades o indisponibilidades según sea el caso de cada generador, así como se indica en la Figura 6.



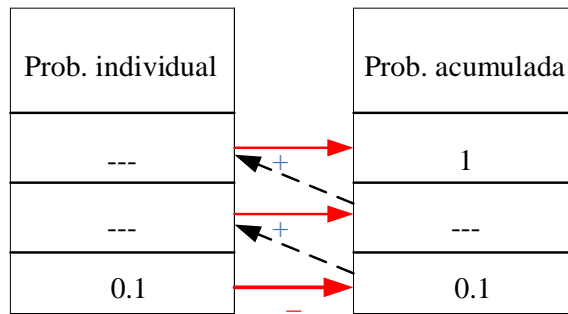
**Figura 6.** Cálculo de la probabilidad individual por medio de las FOR  
Elaborado por: Dayana Asencio

Debe señalarse que en caso de que la capacidad fuera tuviese dentro de su columna unidades de generación repetidas, las probabilidades individuales de las mismas deben sumarse y solo se conserva una unidad de generación tal como se puede observar en la Figura 7, logrando de esta forma una reducción de datos [12][13].



**Figura 7.** Suma de probabilidades  
Elaborado por: Dayana Asencio

Con la probabilidad individual ordenada y reducida se parte al análisis de la probabilidad acumulada, la cual para ser llenada depende estrictamente de los datos de la probabilidad individual. Dicho de este modo, el último dato de la probabilidad individual es el mismo dato para la probabilidad acumulada y a su vez este se suma con el anterior dato de la probabilidad individual así hasta llenar la columna de la probabilidad acumulada, teniendo como primer resultado igual o aproximado a uno, como se detalla en la Figura 8.



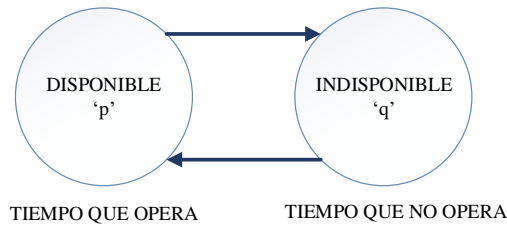
**Figura 8.** Construcción de la probabilidad acumulada  
Elaborado por: Dayana Asencio

Finalmente se reconstruye la tabla en donde se obtiene la capacidad fuera en MW ordenada de manera descendente comenzando por la menor capacidad, en este caso 0, la capacidad disponible también en MW, la probabilidad individual y finalmente la probabilidad acumulada. Como consecuencia, resulta una tabla final en la que se incluye todos los datos antes mencionados introduciendo ahora 2 nuevas columnas; una para el  $T_k$  que representa el tiempo en el que se desconecta una carga y produce una pérdida y otra la pérdida de capacidad esperada que se obtiene de la multiplicación de la probabilidad individual con el  $T_k$ .

El indicador LOLE se obtiene sumando los datos obtenidos en la pérdida de carga esperada por 365 días sobre 100 obteniendo un resultado en días por año [14][15].

### 2.3.1 Distribución binomial

Por sus características es considerada parte de las distribuciones discretas por ende una de las probabilidades más útiles. Se puede utilizar para la construcción de tablas de pérdida o disponibilidad de capacidad [16]. Cuenta el número de ocurrencias y no ocurrencias de un evento. Denominando “éxito” a la ocurrencia de un evento y “fracaso” a la no ocurrencia del mismo evento como lo explica la Figura 9 [3][9][16].



**Figura 9.** Modelo de dos estados [3].  
Elaborado por: Dayana Asencio

Además, sea  $p$  la probabilidad de éxito cuando el experimento se lleve a cabo y  $1 - p$  la probabilidad de fracaso. La importancia está en determinar la probabilidad de obtener nuestra variable aleatoria exacta ( $X$ ), misma que es igual a  $x$  éxitos durante los  $n$  ensayos. Las dos suposiciones claras para distribución binomial es:

1. La probabilidad de éxito  $p$  permanece constante para cada experimento que se vaya a realizar
2. Los  $n$  experimentos son independientes entre sí.

Por tanto, se dice que la probabilidad de ocurrencia de un evento  $p$ , y la probabilidad de no ocurrencia es  $(1 - p) = q$ , entonces la probabilidad de  $x$  ocurrencias en  $n$  ensayos es una secuencia de Bernoulli y está representada por una distribución binomial con función de probabilidad. Por consiguiente, la distribución de probabilidad viene dada por la ecuación (4) [7][17][18].

$$p(X = r) = \binom{n}{r} p^r (1 - p)^{n-r} \quad (4)$$

La cual expresada en términos factoriales está dada por la ecuación (5):

$$p(x = r) = \frac{n!}{(n - x)! r!} p^r (1 - p)^{n-r} \quad (5)$$

Donde:

- $x$  Variable aleatoria
- $r$  Todos los valores posibles que  $x$  puede tomar
- $n$  Número de experimentos a realizar

- p Probabilidad de éxito
- q Probabilidad de fracaso
- ! Factorial

### 2.3.2 Enumeración de estados

Para realizar la enumeración de estados, es fundamental considerar 2 tipos de operaciones que deben ser estudiadas indistintamente, pues para cada caso de estudio existe un método de resolución que debe ser tomado en cuenta para su solución [13][19]. Como primer caso de estudio se debe estimar el caso de unidades idénticas, mismo que puede ser resuelto con la ecuación (4) explicada anteriormente para soluciones binomiales, la cual dependerá de los  $n$  ensayos que se presenten.

El segundo caso posible de estudio se presenta cuando se conserva unidades de diferente valor, con lo cual se debe realizar un análisis que dependerá del número de generadores, además el FOR (Tasa forzada de salida) para cada unidad será aleatoria [20][21]. Por ende, se tiene la siguiente solución (6):

$$2^n \tag{7}$$

Donde 2 es la base que se va a utilizar siempre para el análisis de unidades diferentes y el número de generadores es  $n$ , por lo tanto, se procede a colocar la mitad de unos y ceros a partir del número total de  $n$  que se presenten y se tiene que  $p$  es 0 y  $q$  es 1. Si el caso de análisis fuese para 3 generadores se debería realizar la siguiente operación considerando la ecuación (8) y se obtiene la Tabla 1, con la respectiva enumeración:

**Tabla 1.** Enumeración de estados

Generador 1	Generador 2	Generador 3
1	1	1
1	1	0
1	0	1
1	0	0
0	1	1
0	1	0
0	0	1
0	0	0

Elaborado por: Dayana Asencio

Los unos y ceros están ligados a la tasa de salida forzada (FOR), en tanto que los unos representan la probabilidad de disponibilidad o de ocurrencia de un evento, mientras que los ceros representan la probabilidad de indisponibilidad o de que el evento no se dé. Si para el caso anterior los tres generadores se tienen una FOR de 0.1; 0.15; 0.18 la Tabla 2 queda definida de la siguiente forma:

**Tabla 2.** Disponibilidad e indisponibilidades en unos y ceros

Generador 1		Generador 2		Generador 3	
1	0.9	1	0.85	1	0.82
1	0.9	1	0.85	0	0.18
1	0.9	0	0.15	1	0.82
1	0.9	0	0.15	0	0.18
0	0.1	1	0.85	1	0.82
0	0.1	1	0.85	0	0.18
0	0.1	0	0.15	1	0.82
0	0.1	0	0.15	0	0.18

Elaborado por: Dayana Asencio

### 2.3.3 Algoritmo recursivo

Un modelo de capacidad se puede establecer mediante el uso de un algoritmo recursivo para la construcción de modelos de capacidad, el cual permite que se utilicen unidades de multiestados, es decir, una unidad en la que puedan existir una o varias salidas limitadas o un fragmento de estados, así como los estados que pueden estar absolutamente hacia arriba y hacia abajo. Para ello se tiene 2 casos [8][22].

El caso 1, estudia los estados sin reducir, es decir que es la probabilidad acumulada de los estados de corte particular de X [MW], luego de una unidad de capacidad C [MW], con una tasa de interrupción forzada U agregada se tiene (9):

$$P(X) = (1 - U)P'(X) + (U)P'(X - C) \quad (10)$$

Donde:

P(X) Probabilidad acumulativa del corte de capacidad de estado  
P'(X)

Para el caso 2 la ecuación (10) debe ser modificada para que se pueda hacer la inclusión de las unidades multiestatales (11):

$$P(X) = \sum_{i=1}^n P_i P'(X - C_j) \quad (11)$$

Donde:

n Número de unidades de estado  
P<sub>i</sub> Probabilidad de existencia de las unidades de estado i  
C<sub>j</sub> Corte de capacidad del estado j para la unidad que se agrega

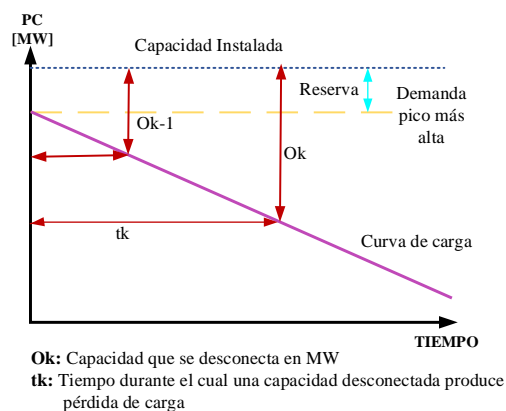
### 2.4 Loss of load expectation (LOLE)

Es el índice de confiabilidad de generación más utilizado debido a su importancia; corresponde al valor esperado del número de días u horas en un periodo de tiempo en el cual el pico de carga horaria excede la capacidad disponible de la generación que se

puede tener. El número de días al año en el que la demanda es mayor que la generación, es decir la energía esperada que no se suministra debido a su demanda además nos permite obtener la variación de la carga máxima de la curva diaria [16][17][23].

El índice de confiabilidad LOLE es el que permite garantizar los criterios de riesgos establecidos, por ende, cuando este no cumple con este requisito es necesario realizar un análisis de expansión de capacidad, esto no es más que la adición de unidades de generación con el objetivo principal de que el LOLE se reduzca al nivel de riesgos requerido en cada caso. De donde resulta que, el LOLE tiende a crecer cuando se reduce reserva caso contrario se tiene que mientras menos reserva se tenga el LOLE será mayor [24].

Las interrupciones que son menores que la reserva no afectan o contribuyen al sistema, mientras que las que excedan provocan un número de unidades de tiempo durante las cuales existe pérdidas de carga como se observa en la Figura 10.



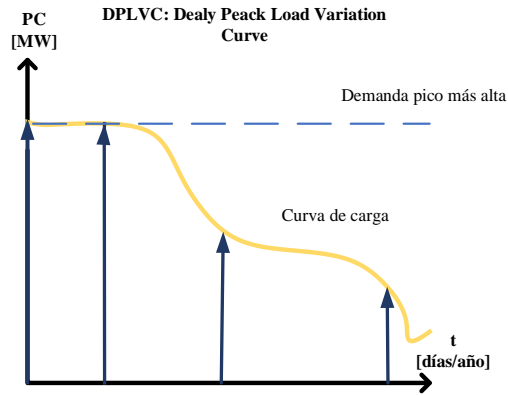
**Figura 10.** Reacción entre la capacidad, reserva y carga [10].  
Elaborado por: Dayana Asencio

### 2.4.1 Modelo de la carga para confiabilidad

La carga en un sistema de potencia para un determinado periodo de tiempo representa un proceso estocástico, es decir, no se puede obtener mediante la aplicación de algún modelo matemático sencillo. Se construyen distintos modelos derivados de los datos de la carga, los cuales crean un mínimo de datos necesarios para establecer una carga diaria (DPLCV) y principalmente de la necesidad de calcular la confiabilidad. La medida que se utiliza para cuantificar la confiabilidad de un sistema viene dada por lo general en varios índices de confiabilidad, los cuales permiten evaluar el rendimiento en los sistemas de generación [25][26].

El modelo de carga depende del índice de confiabilidad requerido, en otras palabras, este representa cada día de la carga máxima diaria mientras que otros pueden

representar la carga tomando valores de manera individual. Para la pérdida del método de carga, la carga diaria por horas es combinada con la tabla de pérdida de generación, para poder obtener un numero esperado de días u horas en el tiempo en el que la carga excede la capacidad de la demanda la demanda, el índice que nos permite obtener este dato es el LOLE [27][28], como se muestra en la Figura 11.



**Figura 11.** Curva de carga  
Elaborado por: Dayana Asencio

#### 2.4.2 Cálculo del LOLE

Las pérdidas de carga pueden ser expresadas matemáticamente mediante probabilidades individuales, las cuales están asociadas con los estados de interrupción de capacidad (12) y probabilidades acumuladas (13) [24][29].

$$LOLE = \sum_{k=1}^n P_k t_k \quad [\text{días/año}] \quad (12)$$

$$LOLE = \sum_{k=1}^n (t_k - t_{k-1}) P_k \quad (13)$$

Donde:

- $P_k$  Probabilidad de ocurrencia de la K-esima salida de generación
- $t_k$  Número de unidades de tiempo o porcentaje que resultaría en una magnitud de  $O_k$



## CAPÍTULO III

### IMPLEMENTACIÓN EN EL SOFTWARE MATLAB

La modelación matemática propuesta en este artículo de investigación es resuelta de manera completa y detallada en el software MATLAB. El modelo matemático realizado es general de tal forma que pueda ser aplicado a  $n$  generadores dentro del sistema eléctrico de potencia con la finalidad de poder determinar la tabla de pérdida de capacidad o generación y obtener mediante la misma el índice de confiabilidad (LOLE). A continuación, se describe el algoritmo implementado para calcular el LOLE, mediante la creación de tablas de pérdidas de capacidad, las cuales son almacenadas en hojas de Excel.

---

#### Algoritmo genérico: Cálculo de LOLE

---

**Paso 1:** *Ingreso de Datos*

- Número de generadores ( $n$ ).
- Capacidad de cada generador ( $V_{gen}$ ).
- Taza forzada de salida (FOR).

**Paso 2:** *Formación de la matriz lógica ( $M_{log}$ )*

$$M_{log} = [\text{filas, columnas}]$$

**Paso 3:** *Determinación de Probabilidad individual ( $P_{ind}$ ), a acumulada ( $P_{acu}$ ).*

$$P_{acu}(i) = P_{acu}(i+1) + P_{ind}(i)$$

**Paso 4:** *Cálculo de la capacidad disponible ( $Cap_{disp}$ ) y capacidad fuera ( $Cap_{fuera}$ )*

**Paso 5:** *INICIACION*

- Reducción de generadores de la misma capacidad, con la finalidad de mostrar en la tabla2 los resultados obtenidos.

**Paso 6:** *Determinación de LOLE, mediante el uso de variables*

- Potencia instalada ( $P_{inst} = \sum V_{gen}(i)$ )
- Potencia de carga al 100% ( $Pc_{100}$ )
- Potencia lineal x % ( $Pc_x$ )

**Paso 7:** *Cálculo de  $tk(i)$*

- 1)  $Ccap_{disp}(i) \geq Pc_{100}$  ;  $tk(i)=0$ .
- 2)  $Ccap_{disp}(i) \geq Pc_x$ ;  
 $Angulo = \tan^{-1}(Pc_{loss} - Pc_x / 100)$ ;  
 $Tk(i) = (Pc_{100} - Ccap_{disp}(i) / \tan(angulo))$
- 3)  $Ccap_{disp}(i) \geq Pc_0$  ;  $tk(i)=100$ .

**Paso 8:** *Cálculo de pérdida de capacidad*

$$Pc_{loss}(i) = P_{ind}(i) * tk(i)$$

**Paso 9:** *Cálculo de LOLE (días/año)*

$$lole = \sum (Pc_{loss}(i))$$
$$T_{lole} = lole * (365/100)$$

---

---

**Paso 10: Fin de cálculo LOLE**

Se muestra el valor del LOLE (días/año) y se procede a realizar los análisis relacionados a mejorar la confiabilidad.

**Paso 11:**

Se procede a generar tablas y graficas de los resultados obtenidos por el proceso genérico.

**Tabla1:** Muestra la formación de los valores de matriz lógica (M\_log), probabilidad individual (P\_ind), probabilidad acumulada (P\_acu), capacidad disponible (C\_disp) y capacidad fuera (C\_fuera)

**Tabla2:** Muestra la formación de los valores de matriz lógica reducida, P\_ind, C\_disp, C\_fuera, tk(%), pérdida de capacidad (Pc\_loss) y valor LOLE

---

### 3.1 Sistemas de prueba

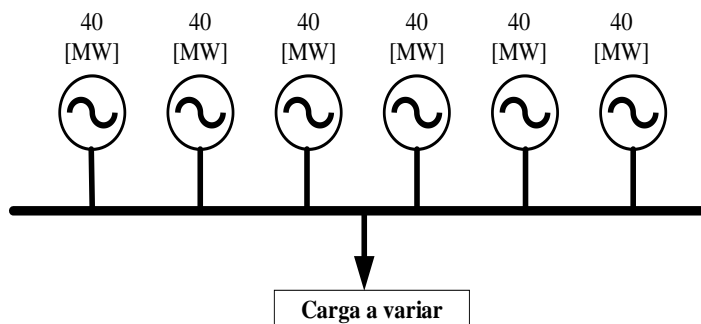
Considerando todos los casos de estudio analizados en el presente artículo, se proponen tres sistemas de prueba en los cuales se puede verificar la alteración que sufre el indicador LOLE debido a la variación de las cargas. Como primer caso de estudio se plantea un sistema de seis generadores idénticos con distintas FOR, con la finalidad de analizar las variaciones del LOLE.

De manera semejante al primer caso se formula un segundo, constituido por seis generadores, cada uno de distinta capacidad y FOR, finalmente se aborda el análisis del tercer sistema el cual tiene como objetivo principal realizar una comprobación de un modelo establecido en el libro [12] con la ayuda del modelo planteado en Matlab.

#### 3.1.1 Sistema 1

El primer análisis a estudiar está dado por un sistema eléctrico de potencia, mostrado en la Figura 12, el cual está constituido por seis generadores idénticos de 40 MW cada uno, con una Tasa Forzada de Salida (FOR) de 0.05 y 0.07 respectivamente. Se debe mencionar, además, que posee una carga lineal de 100% a 85% con decrementos de 5%.

La variación de la carga que se realiza nos permite verificar el impacto que tiene el LOLE en días por año. Cabe recalcar que el LOLE tiende a modificarse cuando su capacidad cambia y en especial cuando se alteran los valores de las Tasas Forzadas de Salida (FOR). En este caso el cambio o variación que sufre el LOLE se debe únicamente al FOR y a la variación de la carga.



**Figura 12.** Diagrama unifilar de un sistema con capacidades idénticas [20].  
Elaborado por: Dayana Asencio

### 3.1.2 Sistema 2

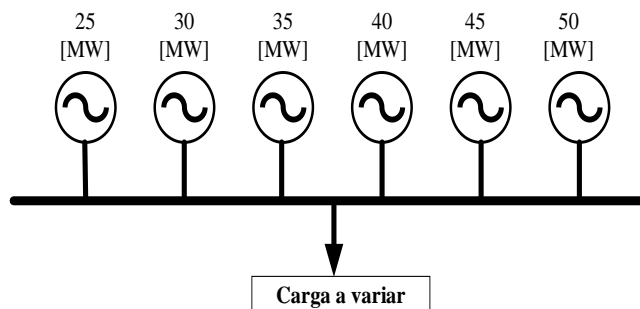
El sistema unifilar expuesto en la Figura 13 representa seis generadores de distintas capacidades, con FOR de 0.03; 0.04 y 0.05 respectivamente, por otra parte, la carga lineal al igual que es sistema 1 va de 100% a 85% con decrementos del 5% en cada caso, como se detalla en la Tabla 1.

**Tabla 3.** Datos del sistema de capacidades diferentes.

Número de Generadores	Capacidad [MW]	FOR	FOR	FOR
1	25	0.03	0.04	0.05
2	30	0.03	0.04	0.05
3	35	0.03	0.04	0.05
4	40	0.03	0.04	0.05
5	45	0.03	0.04	0.05
6	50	0.03	0.04	0.05

Elaborado por: Dayana Asencio

El análisis antes visto en el sistema 1 es aplicable para este caso, no obstante, las capacidades de los seis generadores están dadas por diferentes valores a su vez se emplea tres Tasas Forzadas de Salida (FOR), por lo que es posible apreciar de manera más evidente la alteración del LOLE, al variar estos tres factores: carga, FOR y capacidad.



**Figura 13.** Diagrama unifilar de un sistema con diferente capacidad.  
Elaborado por: Dayana Asencio

## 3.2 Sistemas de expansión

### 3.2.1 Sistema de expansión para 8 años

El siguiente modelo se propone en el libro “Reliability Evaluation of Power Systems” [12] segunda edición, página 48. En el cual se plantea un sistema de 5 generadores de 40 MW con un FOR= 0.01 con demanda máxima de 160, carga lineal de 100% al 40%, crecimiento de demanda anual del 10%.

Se desea conocer cuántas unidades de 50 MW son necesarias para cumplir el criterio de riesgo de 0.15 [días/ año]. En la Tabla 2 se detallan las unidades de generación y sus respectivos indicadores, en donde se aprecia cuando las unidades cumplen con el criterio y cuando es necesario añadir unidades.

**Tabla 4.** Cálculo del LOLE para expansión de generación [12].

Carga máxima del sistema (MW)	Capacidad			
	200 MW	250 MW	300 MW	350 MW
100	0.00121	*	*	*
120	0.00200	*	*	*
140	0.08689	0.00130	*	*
160	0.15056	0.00262	*	*
180	3.44654	0.06858	*	*
200	6.08332	0.15057	0.00299	*
220	*	2.05838	0.03615	*
240	*	4.85348	0.13610	0.00298
250	*	6.08332	0.18008	0.00417
260	*	*	0.66124	0.01188
280	*	*	3.56593	0.10747
300	*	*	6.08333	0.20940
320	*	*	*	2.24767
340	*	*	*	4.87999
350	*	*	*	6.08333

### 3.2.2 Sistema de expansión con horizonte de 15 años

En este caso se analiza un sistema propuesto de expansión con un horizonte de 15 años un criterio de LOLE  $\leq 0.15$  días/año. Con una capacidad instalada de 210 [MW], un crecimiento anual de demanda de 9%. Tiene una demanda máxima de 181.65 [MW] con una carga lineal entre 100% a 45%. Para ello se utilizará 5 generadores de distintas capacidades y FOR cada uno respectivamente, como se detalla a continuación:

**Tabla 5.** Datos de los generadores

Número de Generadores	Capacidad del Generador (MW)	FOR
1	30	0.02
2	40	0.03
3	40	0.03

4	50	0.05
5	50	0.05

Elaborado por: Dayana Asencio

Y de éste se obtienen las siguientes unidades disponibles, mismas que permitirán la expansión con la finalidad de lograr el criterio de riesgo antes establecido.

**Tabla 6.** Unidades de expansión

<b>Número de Generadores</b>	<b>Capacidad del Generador (MW)</b>	<b>FOR</b>
1	40	0.03
2	50	0.04

Elaborado por: Dayana Asencio

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

Como resultado de la aplicación del modelo matemático propuesto en el sistema eléctrico de prueba, es posible apreciar que gracias a la construcción de la tabla de pérdida de capacidad podemos llegar a obtener un índice de confiabilidad que nos permite evaluar que tan seguro es un elemento o dispositivo. En este caso el indicador empleado es el LOLE, el cual posee estrecha relación con la carga empleada, con la capacidad que posean los generadores y en especial con las Tasas Forzadas de Salida (FOR). Por lo que indiscutiblemente, es preciso mostrar los resultados obtenidos en cada sistema analizado para poder comprender de mejor manera lo expresado anteriormente.

Dicho todo esto, se procede a realizar un análisis gráfico de cada sistema propuesto en puntos anteriores, obteniendo tabulaciones de los resultados del LOLE a medida que variamos la carga, la FOR y la capacidad al igual que los resultados obtenidos cuando realizamos expansiones en los sistemas.

#### 4.1 Sistema 1

Al tener un sistema de generación idéntico se procede a generar tablas de pérdida de capacidad para una FOR de 0.05 y 0.07 con su respectiva variación en la carga lineal de donde obtienen las siguientes tablas.

**Tabla 7.** Tabla de capacidad del sistema idéntico con carga lineal de 100% a 85% con FOR= 0.05

C_Disb	C_Fuera	Prob_Ind	Tk_porct	Pc_loss
240	0	0.735091891	0	0
200	40	0.232134281	0	0
160	80	0.030543984	74.07407407	2.262517361
120	120	0.002143438	100	0.21434375
80	160	8.46094E-05	100	0.008460938
40	200	1.78125E-06	100	0.000178125
0	240	1.5625E-08	100	1.5625E-06

**LOLE: 9.07208133680556 días/año**

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 8.** Tabla de capacidad del sistema idéntico con carga lineal de 100% a 80% con FOR= 0.05.

C_Disb	C_Fuera	Prob_Ind	Tk_porct	Pc_loss
240	0	0.735091891	0	0
200	40	0.232134281	0	0
160	80	0.030543984	55.55555556	1.696888021
120	120	0.002143438	100	0.21434375

80	160	8.46094E-05	100	0.008460938
40	200	1.78125E-06	100	0.000178125
0	240	1.5625E-08	100	1.5625E-06

**LOLE: 7.007534245 días/año**

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 9.** Tabla de capacidad del sistema idéntico con carga lineal de 100% a 75% con FOR= 0.05.

C_Displ	C_Fuera	Prob_Ind	Tk_porct	Pc_loss
240	0	0.735091891	0	0
200	40	0.232134281	0	0
160	80	0.030543984	44.44444444	1.357510417
120	120	0.002143438	100	0.21434375
80	160	8.46094E-05	100	0.008460938
40	200	1.78125E-06	100	0.000178125
0	240	1.5625E-08	100	1.5625E-06

**LOLE: 5.76880599 días/año**

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 10.** Tabla de capacidad del sistema idéntico con carga lineal de 100% a 70% con FOR= 0.05

C_Displ	C_Fuera	Prob_Ind	Tk_porct	Pc_loss
240	0	0.735091891	0	0
200	40	0.232134281	0	0
160	80	0.030543984	37.03703704	1.131258681
120	120	0.002143438	100	0.21434375
80	160	8.46094E-05	100	0.008460938
40	200	1.78125E-06	100	0.000178125
0	240	1.5625E-08	100	1.5625E-06

**LOLE: 4.942987153 días/año**

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 11.** Tabla de capacidad del sistema idéntico con carga lineal de 100% a 65% con FOR= 0.05

C_Displ	C_Fuera	Prob_Ind	Tk_porct	Pc_loss
240	0	0.735091891	0	0
200	40	0.232134281	0	0
160	80	0.030543984	31.74603175	0.969650298
120	120	0.002143438	95.23809524	0.204136905
80	160	8.46094E-05	100	0.008460938
40	200	1.78125E-06	100	0.000178125
0	240	1.5625E-08	100	1.5625E-06

**LOLE: 4.31586157 días/año**

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 12.** Tabla de capacidad del sistema idéntico con carga lineal de 100% a 85% con FOR= 0.07

C_Displ	C_Fuera	Prob_Ind	Tk_porct	Pc_loss
240	0	0.646990183	0	0
200	40	0.292189115	0	0
160	80	0.054981823	74.07407407	4.07272761

120	120	0.005517889	100	0.551788902
80	160	0.000311494	100	0.031149374
40	200	9.37831E-06	100	0.000937831
0	240	1.17649E-07	100	1.17649E-05

**LOLE: 16.99664651 días/año**

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 13.** Tabla de capacidad del sistema idéntico con carga lineal de 100% a 80% con FOR= 0.07.

C_Disb	C_Fuera	Prob_Ind	Tk_porct	Pc_loss
240	0	0.646990183	0	0
200	40	0.292189115	0	0
160	80	0.054981823	55.55555556	3.054545708
120	120	0.005517889	100	0.551788902
80	160	0.000311494	100	0.031149374
40	200	9.37831E-06	100	0.000937831
0	240	1.17649E-07	100	1.17649E-05

**LOLE: 13.28028256 días/año**

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 14.** Tabla de capacidad del sistema idéntico con carga lineal de 100% a 75% con FOR= 0.07

C_Disb	C_Fuera	Prob_Ind	Tk_porct	Pc_loss
240	0	0.646990183	0	0
200	40	0.292189115	0	0
160	80	0.054981823	44.44444444	2.443636566
120	120	0.005517889	100	0.551788902
80	160	0.000311494	100	0.031149374
40	200	9.37831E-06	100	0.000937831
0	240	1.17649E-07	100	1.17649E-05

**LOLE: 11.0504642 días/año**

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 15.** Tabla de capacidad del sistema idéntico con carga lineal de 100% a 70% con FOR= 0.07.

C_Disb	C_Fuera	Prob_Ind	Tk_porct	Pc_loss
240	0	0.646990183	0	0
200	40	0.292189115	0	0
160	80	0.054981823	37.03703704	2.036363805
120	120	0.005517889	100	0.551788902
80	160	0.000311494	100	0.031149374
40	200	9.37831E-06	100	0.000937831
0	240	1.17649E-07	100	1.17649E-05

**LOLE: 9.563918617 días/año**

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 16.** Tabla de capacidad del sistema idéntico con carga lineal de 100% a 65% con FOR= 0.07.

C_Disb	C_Fuera	Prob_Ind	Tk_porct	Pc_loss
240	0	0.646990183	0	0
200	40	0.292189115	0	0



160	80	0.054981823	31.74603175	1.74545469
120	120	0.005517889	95.23809524	0.52551324
80	160	0.000311494	100	0.031149374
40	200	9.37831E-06	100	0.000937831
0	240	1.17649E-07	100	1.17649E-05
<b>LOLE: 8.406194181 días/año</b>				

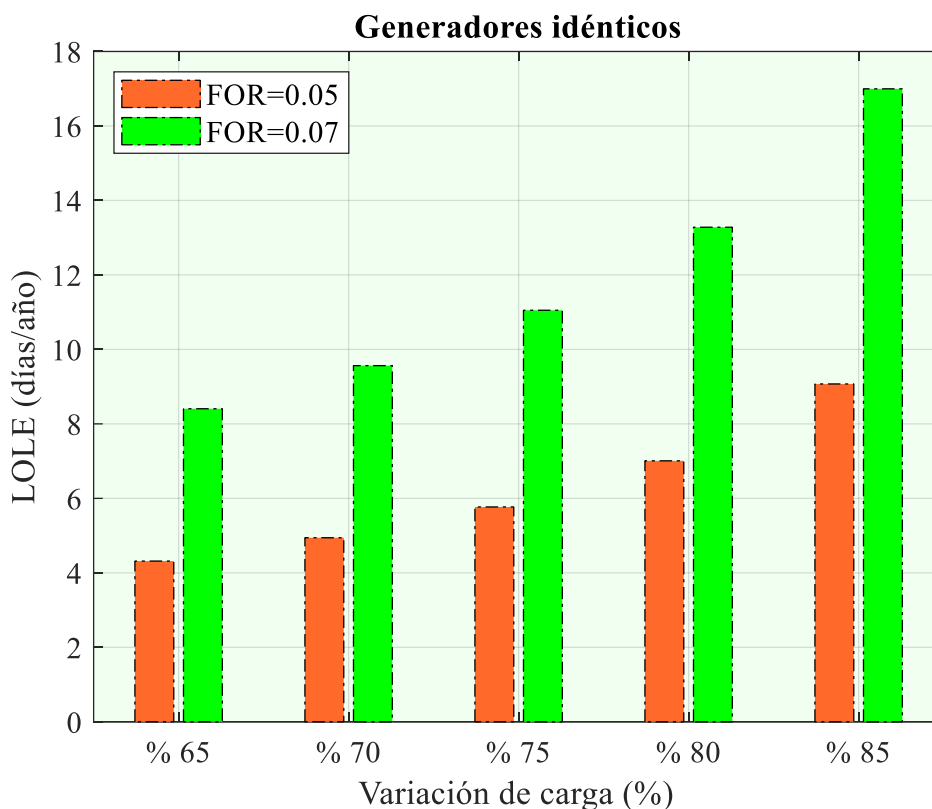
Considerando los resultados que se obtienen de las tablas de pérdida de capacidad, es posible apreciar que al emplear una FOR de 0,05 los resultados de LOLE son mucho más bajos en comparación al FOR de 0,07 pese a que la capacidad de los generadores son iguales. A continuación, se detalla en la Tabla 17 la alteración que se tiene al variar la carga de manera mucho más detallada.

**Tabla 17.** Variación de la carga para dos tipos de FOR.

Variación de la carga	LOLE (FOR=0,05)	LOLE (FOR=0,07)
(100%-85%)	9.072	16.997
(100%-80%)	7.008	13.280
(100%-75%)	5.769	11.050
(100%-70%)	4.943	9.564
(100%-65%)	4.316	8.406

Elaborado por: Dayana Asencio

De lo mencionado anteriormente, las alteraciones que se producen en el LOLE para cada una de las FOR es evidente. La reducción de las cargas tanto para la FOR de 0.05 y 0.07 son las mismas, sin embargo, la diferencia de ambos es notoria, pues es posible observar que para la primera carga se tiene un LOLE de 9.072 mientras que el otro es de 16.997; esto se debe a que mientras más bajo sea el tiempo de desconexión de un equipo o sistema este se vuelve más seguro y por ende confiable, por esta razón resulta mucho más eficaz utilizar una FOR pequeña.



**Figura 14.** Variación del LOLE para unidades idénticas con dos tipos de tasas de salida forzada (FOR).

Elaborado por: Dayana Asencio

En cuanto a lo mostrado en la Figura 14 se tiene que:

- a) El sistema es más confiable cuando se emplea una carga lineal de 100%- 65% con una tasa de salida forzada de 0.05
- b) Al emplear una tasa de salida forzada de 0.07 el sistema se vuelve riesgoso por lo que su confiabilidad no es adecuada en los equipos y debe tomarse medidas correctivas para que el indicador cumpla los requisitos necesarios.

Cuando un indicador no cumple los parámetros necesarios de seguridad es necesario incrementar unidades de generación al sistema que permitirán que el indicador mejore su confiabilidad y garantice su seguridad.

#### 4.2 Sistema 2

Conforme a lo antes ya mencionado, se procede a realizar la obtención de las tablas de pérdida de capacidad para 3 distintas FOR con variación en la carga como se muestra a continuación.

**Tabla 18.** Tabla de capacidad del sistema de capacidad distinto con carga lineal de 100% a 85% con FOR= 0.03.

C_Dispon	C_Fuera	Prob_Ind	Tk_porct	Pc_loss
225	0	0.832972005	0	0

200	25	0.025762021	0	0
195	30	0.025762021	0	0
190	35	0.025762021	0	0
185	40	0.025762021	0	0
180	45	0.025762021	0	0
175	50	0.025762021	18.51851852	0.477074459
170	55	0.000796764	37.03703704	0.02950976
165	60	0.000796764	55.55555556	0.044264641
160	65	0.001593527	74.07407407	0.118039041
155	70	0.001593527	92.59259259	0.147548802
150	75	0.002390291	100	0.239029059
145	80	0.001593527	100	0.159352706
140	85	0.001593527	100	0.159352706
135	90	0.000821406	100	0.08214057
130	95	0.000821406	100	0.08214057
125	100	4.92843E-05	100	0.004928434
120	105	7.39265E-05	100	0.007392651
115	110	7.39265E-05	100	0.007392651
110	115	7.39265E-05	100	0.007392651
105	120	7.39265E-05	100	0.007392651
100	125	4.92843E-05	100	0.004928434
95	130	2.54043E-05	100	0.00254043
90	135	2.54043E-05	100	0.00254043
85	140	1.52426E-06	100	0.000152426
80	145	1.52426E-06	100	0.000152426
75	150	2.28639E-06	100	0.000228639
70	155	1.52426E-06	100	0.000152426
65	160	1.52426E-06	100	0.000152426
60	165	7.62129E-07	100	7.62129E-05
55	170	7.62129E-07	100	7.62129E-05
50	175	2.3571E-08	100	2.3571E-06
45	180	2.3571E-08	100	2.3571E-06
40	185	2.3571E-08	100	2.3571E-06
35	190	2.3571E-08	100	2.3571E-06
30	195	2.3571E-08	100	2.3571E-06
25	200	2.3571E-08	100	2.3571E-06
0	225	7.29E-10	100	7.29E-08
<b>LOLE: 5.781474548 días/año</b>				

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 19.** Tabla de capacidad del sistema de capacidad distinto con carga lineal de 100% a 80% con FOR= 0.03.

C_Dis	C_Fuera	Prob_Ind	Tk_porct	Pc_loss
225	0	0.832972005	0	0
200	25	0.025762021	0	0
195	30	0.025762021	0	0
190	35	0.025762021	0	0
185	40	0.025762021	0	0

180	45	0.025762021	0	0
175	50	0.025762021	13.88888889	0357805844
170	55	0.000796764	27.77777778	0.02213232
165	60	0.000796764	41.66666667	0.03319848
160	65	0.001593527	55.55555556	0.088529281
155	70	0.001593527	69.44444444	0.110661601
150	75	0.002390291	83.33333333	0.199190882
145	80	0.001593527	97.22222222	0.154926242
140	85	0.001593527	100	0.159352706
135	90	0.000821406	100	0.08214057
130	95	0.000821406	100	0.08214057
125	100	4.92843E-05	100	0.004928434
120	105	7.39265E-05	100	0.007392651
115	110	7.39265E-05	100	0.007392651
110	115	7.39265E-05	100	0.007392651
105	120	7.39265E-05	100	0.007392651
100	125	4.92843E-05	100	0.004928434
95	130	2.54043E-05	100	0.00254043
90	135	2.54043E-05	100	0.00254043
85	140	1.52426E-06	100	0.000152426
80	145	1.52426E-06	100	0.000152426
75	150	2.28639E-06	100	0.000228639
70	155	1.52426E-06	100	0.000152426
65	160	1.52426E-06	100	0.000152426
60	165	7.62129E-07	100	7.62129E-05
55	170	7.62129E-07	100	7.62129E-05
50	175	2.3571E-08	100	2.3571E-06
45	180	2.3571E-08	100	2.3571E-06
40	185	2.3571E-08	100	2.3571E-06
35	190	2.3571E-08	100	2.3571E-06
30	195	2.3571E-08	100	2.3571E-06
25	200	2.3571E-08	100	2.3571E-06
0	225	7.29E-10	100	7.29E-08
<b>LOLE: 4.874910119 días/año</b>				

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 20.** Tabla de capacidad del sistema de capacidad distinto con carga lineal de 100% a 75% con FOR= 0.03.

C_Displ	C_Fuera	Prob_Ind	Tk_porct	Pc_loss
225	0	0.832972005	0	0
200	25	0.025762021	0	0
195	30	0.025762021	0	0
190	35	0.025762021	0	0
185	40	0.025762021	0	0
180	45	0.025762021	0	0
175	50	0.025762021	11.11111111	0.286244675
170	55	0.000796764	22.22222222	0.017705856
165	60	0.000796764	33.33333333	0.026558784

160	65	0.001593527	44.44444444	0.070823425
155	70	0.001593527	55.55555556	0.088529281
150	75	0.002390291	66.66666667	0.159352706
145	80	0.001593527	77.77777778	0.123940993
140	85	0.001593527	88.88888889	0.14164685
135	90	0.000821406	100	0.08214057
130	95	0.000821406	100	0.08214057
125	100	4.92843E-05	100	0.004928434
120	105	7.39265E-05	100	0.007392651
115	110	7.39265E-05	100	0.007392651
110	115	7.39265E-05	100	0.007392651
105	120	7.39265E-05	100	0.007392651
100	125	4.92843E-05	100	0.004928434
95	130	2.54043E-05	100	0.00254043
90	135	2.54043E-05	100	0.00254043
85	140	1.52426E-06	100	0.000152426
80	145	1.52426E-06	100	0.000152426
75	150	2.28639E-06	100	0.000228639
70	155	1.52426E-06	100	0.000152426
65	160	1.52426E-06	100	0.000152426
60	165	7.62129E-07	100	7.62129E-05
55	170	7.62129E-07	100	7.62129E-05
50	175	2.3571E-08	100	2.3571E-06
45	180	2.3571E-08	100	2.3571E-06
40	185	2.3571E-08	100	2.3571E-06
35	190	2.3571E-08	100	2.3571E-06
30	195	2.3571E-08	100	2.3571E-06
25	200	2.3571E-08	100	2.3571E-06
0	225	7.29E-10	100	7.29E-08
<b>LOLE: 4.104779149 días/año</b>				

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 21.** Tabla de capacidad del sistema de capacidad distinto con carga lineal de 100% a 70% con FOR= 0.03.

C_Dispon	C_Fuera	Prob_Ind	Tk_porct	Pc_loss
225	0	0.832972005	0	0
200	25	0.025762021	0	0
195	30	0.025762021	0	0
190	35	0.025762021	0	0
185	40	0.025762021	0	0
180	45	0.025762021	0	0
175	50	0.025762021	9.259259259	0.238537229
170	55	0.000796764	18.51851852	0.01475488
165	60	0.000796764	27.77777778	0.02213232
160	65	0.001593527	37.03703704	0.059019521
155	70	0.001593527	46.2962963	0.073774401
150	75	0.002390291	55.55555556	0.132793922
145	80	0.001593527	64.81481481	0.103284161

140	85	0.001593527	74.07407407	0.118039041
135	90	0.000821406	83.33333333	0.068450475
130	95	0.000821406	92.59259259	0.076056083
125	100	4.92843E-05	100	0.004928434
120	105	7.39265E-05	100	0.007392651
115	110	7.39265E-05	100	0.007392651
110	115	7.39265E-05	100	0.007392651
105	120	7.39265E-05	100	0.007392651
100	125	4.92843E-05	100	0.004928434
95	130	2.54043E-05	100	0.00254043
90	135	2.54043E-05	100	0.00254043
85	140	1.52426E-06	100	0.000152426
80	145	1.52426E-06	100	0.000152426
75	150	2.28639E-06	100	0.000228639
70	155	1.52426E-06	100	0.000152426
65	160	1.52426E-06	100	0.000152426
60	165	7.62129E-07	100	7.62129E-05
55	170	7.62129E-07	100	7.62129E-05
50	175	2.3571E-08	100	2.3571E-06
45	180	2.3571E-08	100	2.3571E-06
40	185	2.3571E-08	100	2.3571E-06
35	190	2.3571E-08	100	2.3571E-06
30	195	2.3571E-08	100	2.3571E-06
25	200	2.3571E-08	100	2.3571E-06
0	225	7.29E-10	100	7.29E-08
<b>LOLE: 3.476097029 días/año</b>				

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 22.** Tabla de capacidad del sistema de capacidad distinto con carga lineal de 100% a 65% con FOR= 0.03.

<b>C_Dis</b>	<b>C_Fuera</b>	<b>Prob_Ind</b>	<b>Tk_porct</b>	<b>Pc_loss</b>
225	0	0.832972005	0	0
200	25	0.025762021	0	0
195	30	0.025762021	0	0
190	35	0.025762021	0	0
185	40	0.025762021	0	0
180	45	0.025762021	0	0
175	50	0.025762021	7.936507937	0.204460482
170	55	0.000796764	15.87301587	0.01264704
165	60	0.000796764	23.80952381	0.01897056
160	65	0.001593527	31.74603175	0.050588161
155	70	0.001593527	39.68253968	0.063235201
150	75	0.002390291	47.61904762	0.113823361
145	80	0.001593527	55.55555556	0.088529281
140	85	0.001593527	63.49206349	0.101176321
135	90	0.000821406	71.42857143	0.058671836
130	95	0.000821406	79.36507937	0.065190929
125	100	4.92843E-05	87.3015873	0.004302601

120	105	7.39265E-05	95.23809524	0.00704062
115	110	7.39265E-05	100	0.007392651
110	115	7.39265E-05	100	0.007392651
105	120	7.39265E-05	100	0.007392651
100	125	4.92843E-05	100	0.004928434
95	130	2.54043E-05	100	0.00254043
90	135	2.54043E-05	100	0.00254043
85	140	1.52426E-06	100	0.000152426
80	145	1.52426E-06	100	0.000152426
75	150	2.28639E-06	100	0.000228639
70	155	1.52426E-06	100	0.000152426
65	160	1.52426E-06	100	0.000152426
60	165	7.62129E-07	100	7.62129E-05
55	170	7.62129E-07	100	7.62129E-05
50	175	2.3571E-08	100	2.3571E-06
45	180	2.3571E-08	100	2.3571E-06
40	185	2.3571E-08	100	2.3571E-06
35	190	2.3571E-08	100	2.3571E-06
30	195	2.3571E-08	100	2.3571E-06
25	200	2.3571E-08	100	2.3571E-06
0	225	7.29E-10	100	7.29E-08
<b>LOLE: 2.99967448 días/año</b>				

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 23.** Tabla de capacidad del sistema de capacidad distinto con carga lineal de 100% a 85% con FOR= 0.04.

<b>C_Dis</b>	<b>C_Fuera</b>	<b>Prob_Ind</b>	<b>Tk_porct</b>	<b>Pc_loss</b>
225	0	0.78275779	0	0
200	25	0.032614908	0	0
195	30	0.032614908	0	0
190	35	0.032614908	0	0
185	40	0.032614908	0	0
180	45	0.032614908	0	0
175	50	0.032614908	18.51851852	0.603979776
170	55	0.001358954	37.03703704	0.050331648
165	60	0.001358954	55.55555556	0.075497472
160	65	0.002717909	74.07407407	0.201326592
155	70	0.002717909	92.59259259	0.25165824
150	75	0.004076863	100	0.407686349
145	80	0.002717909	100	0.271790899
140	85	0.002717909	100	0.271790899
135	90	0.001415578	100	0.14155776
130	95	0.001415578	100	0.14155776
125	100	0.000113246	100	0.011324621
120	105	0.000169869	100	0.016986931
115	110	0.000169869	100	0.016986931
110	115	0.000169869	100	0.016986931
105	120	0.000169869	100	0.016986931

100	125	0.000113246	100	0.011324621
95	130	5.89824E-05	100	0.00589824
90	135	5.89824E-05	100	0.00589824
85	140	4.71859E-06	100	0.000471859
80	145	4.71859E-06	100	0.000471859
75	150	7.07789E-06	100	0.000707789
70	155	4.71859E-06	100	0.000471859
65	160	4.71859E-06	100	0.000471859
60	165	2.3593E-06	100	0.00023593
55	170	2.3593E-06	100	0.00023593
50	175	9.8304E-08	100	9.8304E-06
45	180	9.8304E-08	100	9.8304E-06
40	185	9.8304E-08	100	9.8304E-06
35	190	9.8304E-08	100	9.8304E-06
30	195	9.8304E-08	100	9.8304E-06
25	200	9.8304E-08	100	9.8304E-06
0	225	4.096E-09	100	4.096E-07
<b>LOLE: 9.207845212 días/año</b>				

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 24.** Tabla de capacidad del sistema de capacidad distinto con carga lineal de 100% a 80% con FOR= 0.04.

<b>C_Dis</b>	<b>C_Fuera</b>	<b>Prob_Ind</b>	<b>Tk_porct</b>	<b>Pc_loss</b>
225	0	0.78275779	0	0
200	25	0.032614908	0	0
195	30	0.032614908	0	0
190	35	0.032614908	0	0
185	40	0.032614908	0	0
180	45	0.032614908	0	0
175	50	0.032614908	13.88888889	0.452984832
170	55	0.001358954	27.77777778	0.037748736
165	60	0.001358954	41.66666667	0.056623104
160	65	0.002717909	55.55555556	0.150994944
155	70	0.002717909	69.44444444	0.18874368
150	75	0.004076863	83.33333333	0.339738624
145	80	0.002717909	97.22222222	0.264241152
140	85	0.002717909	100	0.271790899
135	90	0.001415578	100	0.14155776
130	95	0.001415578	100	0.14155776
125	100	0.000113246	100	0.011324621
120	105	0.000169869	100	0.016986931
115	110	0.000169869	100	0.016986931
110	115	0.000169869	100	0.016986931
105	120	0.000169869	100	0.016986931
100	125	0.000113246	100	0.011324621
95	130	5.89824E-05	100	0.00589824
90	135	5.89824E-05	100	0.00589824
85	140	4.71859E-06	100	0.000471859



80	145	4.71859E-06	100	0.000471859
75	150	7.07789E-06	100	0.000707789
70	155	4.71859E-06	100	0.000471859
65	160	4.71859E-06	100	0.000471859
60	165	2.3593E-06	100	0.00023593
55	170	2.3593E-06	100	0.00023593
50	175	9.8304E-08	100	9.8304E-06
45	180	9.8304E-08	100	9.8304E-06
40	185	9.8304E-08	100	9.8304E-06
35	190	9.8304E-08	100	9.8304E-06
30	195	9.8304E-08	100	9.8304E-06
25	200	9.8304E-08	100	9.8304E-06
0	225	4.096E-09	100	4.096E-07
<b>LOLE: 7.852980163 días/año</b>				

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 25.** Tabla de capacidad del sistema de capacidad distinto con carga lineal de 100% a 75% con FOR= 0.04.

C_Dis	C_Fuera	Prob_Ind	Tk_porct	Pc_loss
225	0	0.78275779	0	0
200	25	0.032614908	0	0
195	30	0.032614908	0	0
190	35	0.032614908	0	0
185	40	0.032614908	0	0
180	45	0.032614908	0	0
175	50	0.032614908	11.11111111	0.362387866
170	55	0.001358954	22.22222222	0.030198989
165	60	0.001358954	33.33333333	0.045298483
160	65	0.002717909	44.44444444	0.120795955
155	70	0.002717909	55.55555556	0.150994944
150	75	0.004076863	66.66666667	0.271790899
145	80	0.002717909	77.77777778	0.211392922
140	85	0.002717909	88.88888889	0.24159191
135	90	0.001415578	100	0.14155776
130	95	0.001415578	100	0.14155776
125	100	0.000113246	100	0.011324621
120	105	0.000169869	100	0.016986931
115	110	0.000169869	100	0.016986931
110	115	0.000169869	100	0.016986931
105	120	0.000169869	100	0.016986931
100	125	0.000113246	100	0.011324621
95	130	5.89824E-05	100	0.00589824
90	135	5.89824E-05	100	0.00589824
85	140	4.71859E-06	100	0.000471859
80	145	4.71859E-06	100	0.000471859
75	150	7.07789E-06	100	0.000707789
70	155	4.71859E-06	100	0.000471859
65	160	4.71859E-06	100	0.000471859

60	165	2.3593E-06	100	0.00023593
55	170	2.3593E-06	100	0.00023593
50	175	9.8304E-08	100	9.8304E-06
45	180	9.8304E-08	100	9.8304E-06
40	185	9.8304E-08	100	9.8304E-06
35	190	9.8304E-08	100	9.8304E-06
30	195	9.8304E-08	100	9.8304E-06
25	200	9.8304E-08	100	9.8304E-06
0	225	4.096E-09	100	4.096E-07
<b>LOLE: 6.654269051 días/año</b>				

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 26.** Tabla de capacidad del sistema de capacidad distinto con carga lineal de 100% a 70% con FOR= 0.04.

C_Dis	C_Fuera	Prob_Ind	Tk_porct	Pc_loss
225	0	0.78275779	0	0
200	25	0.032614908	0	0
195	30	0.032614908	0	0
190	35	0.032614908	0	0
185	40	0.032614908	0	0
180	45	0.032614908	0	0
175	50	0.032614908	9.259259259	0.301989888
170	55	0.001358954	18.51851852	0.025165824
165	60	0.001358954	27.77777778	0.037748736
160	65	0.002717909	37.03703704	0.100663296
155	70	0.002717909	46.2962963	0.12582912
150	75	0.004076863	55.55555556	0.226492416
145	80	0.002717909	64.81481481	0.176160768
140	85	0.002717909	74.07407407	0.201326592
135	90	0.001415578	83.33333333	0.1179648
130	95	0.001415578	92.59259259	0.131072
125	100	0.000113246	100	0.011324621
120	105	0.000169869	100	0.016986931
115	110	0.000169869	100	0.016986931
110	115	0.000169869	100	0.016986931
105	120	0.000169869	100	0.016986931
100	125	0.000113246	100	0.011324621
95	130	5.89824E-05	100	0.00589824
90	135	5.89824E-05	100	0.00589824
85	140	4.71859E-06	100	0.000471859
80	145	4.71859E-06	100	0.000471859
75	150	7.07789E-06	100	0.000707789
70	155	4.71859E-06	100	0.000471859
65	160	4.71859E-06	100	0.000471859
60	165	2.3593E-06	100	0.00023593
55	170	2.3593E-06	100	0.00023593
50	175	9.8304E-08	100	9.8304E-06
45	180	9.8304E-08	100	9.8304E-06

40	185	9.8304E-08	100	9.8304E-06
35	190	9.8304E-08	100	9.8304E-06
30	195	9.8304E-08	100	9.8304E-06
25	200	9.8304E-08	100	9.8304E-06
0	225	4.096E-09	100	4.096E-07
<b>LOLE: 5.657256776 días/año</b>				

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 27.** Tabla de capacidad del sistema de capacidad distinto con carga lineal de 100% a 65% con FOR= 0.04.

<b>C_Dis</b>	<b>C_Fuera</b>	<b>Prob_Ind</b>	<b>Tk_porct</b>	<b>Pc_loss</b>
225	0	0.78275779	0	0
200	25	0.032614908	0	0
195	30	0.032614908	0	0
190	35	0.032614908	0	0
185	40	0.032614908	0	0
180	45	0.032614908	0	0
175	50	0.032614908	7.936507937	0.258848475
170	55	0.001358954	15.87301587	0.021570706
165	60	0.001358954	23.80952381	0.032356059
160	65	0.002717909	31.74603175	0.086282825
155	70	0.002717909	39.68253968	0.107853531
150	75	0.004076863	47.61904762	0.194136357
145	80	0.002717909	55.55555556	0.150994944
140	85	0.002717909	63.49206349	0.17256565
135	90	0.001415578	71.42857143	0.101112686
130	95	0.001415578	79.36507937	0.112347429
125	100	0.000113246	87.3015873	0.009886574
120	105	0.000169869	95.23809524	0.01617803
115	110	0.000169869	100	0.016986931
110	115	0.000169869	100	0.016986931
105	120	0.000169869	100	0.016986931
100	125	0.000113246	100	0.011324621
95	130	5.89824E-05	100	0.00589824
90	135	5.89824E-05	100	0.00589824
85	140	4.71859E-06	100	0.000471859
80	145	4.71859E-06	100	0.000471859
75	150	7.07789E-06	100	0.000707789
70	155	4.71859E-06	100	0.000471859
65	160	4.71859E-06	100	0.000471859
60	165	2.3593E-06	100	0.00023593
55	170	2.3593E-06	100	0.00023593
50	175	9.8304E-08	100	9.8304E-06
45	180	9.8304E-08	100	9.8304E-06
40	185	9.8304E-08	100	9.8304E-06
35	190	9.8304E-08	100	9.8304E-06
30	195	9.8304E-08	100	9.8304E-06
25	200	9.8304E-08	100	9.8304E-06

0	225	4.096E-09	100	4.096E-07
<b>LOLE: 4.895896977 días/año</b>				

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 28.** Tabla de capacidad del sistema de capacidad distinto con carga lineal de 100% a 85% con FOR= 0.05.

C_Disb	C_Fuera	Prob_Ind	Tk_porct	Pc_loss
225	0	0.735091891	0	0
200	25	0.038689047	0	0
195	30	0.038689047	0	0
190	35	0.038689047	0	0
185	40	0.038689047	0	0
180	45	0.038689047	0	0
175	50	0.038689047	18.51851852	0.716463831
170	55	0.002036266	37.03703704	0.075417245
165	60	0.002036266	55.55555556	0.113125868
160	65	0.004072531	74.07407407	0.301668981
155	70	0.004072531	92.59259259	0.377086227
150	75	0.006108797	100	0.610879688
145	80	0.004072531	100	0.407253125
140	85	0.004072531	100	0.407253125
135	90	0.002143438	100	0.21434375
130	95	0.002143438	100	0.21434375
125	100	0.000214344	100	0.021434375
120	105	0.000321516	100	0.032151563
115	110	0.000321516	100	0.032151563
110	115	0.000321516	100	0.032151563
105	120	0.000321516	100	0.032151563
100	125	0.000214344	100	0.021434375
95	130	0.000112813	100	0.01128125
90	135	0.000112813	100	0.01128125
85	140	1.12813E-05	100	0.001128125
80	145	1.12813E-05	100	0.001128125
75	150	1.69219E-05	100	0.001692188
70	155	1.12813E-05	100	0.001128125
65	160	1.12813E-05	100	0.001128125
60	165	5.64063E-06	100	0.000564063
55	170	5.64063E-06	100	0.000564063
50	175	2.96875E-07	100	2.96875E-05
45	180	2.96875E-07	100	2.96875E-05
40	185	2.96875E-07	100	2.96875E-05
35	190	2.96875E-07	100	2.96875E-05
30	195	2.96875E-07	100	2.96875E-05
25	200	2.96875E-07	100	2.96875E-05
0	225	1.5625E-08	100	1.5625E-06
<b>LOLE: 13.2837574 días/año</b>				

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 29.** Tabla de capacidad del sistema de capacidad distinto con carga lineal de 100% a 80% con FOR= 0.05.

C_Disb	C_Fuera	Prob_Ind	Tk_porct	Pc_loss
225	0	0.735091891	0	0
200	25	0.038689047	0	0
195	30	0.038689047	0	0
190	35	0.038689047	0	0
185	40	0.038689047	0	0
180	45	0.038689047	0	0
175	50	0.038689047	13.88888889	0.537347873
170	55	0.002036266	27.77777778	0.056562934
165	60	0.002036266	41.66666667	0.084844401
160	65	0.004072531	55.55555556	0.226251736
155	70	0.004072531	69.44444444	0.28281467
150	75	0.006108797	83.33333333	0.509066406
145	80	0.004072531	97.22222222	0.395940538
140	85	0.004072531	100	0.407253125
135	90	0.002143438	100	0.21434375
130	95	0.002143438	100	0.21434375
125	100	0.000214344	100	0.021434375
120	105	0.000321516	100	0.032151563
115	110	0.000321516	100	0.032151563
110	115	0.000321516	100	0.032151563
105	120	0.000321516	100	0.032151563
100	125	0.000214344	100	0.021434375
95	130	0.000112813	100	0.01128125
90	135	0.000112813	100	0.01128125
85	140	1.12813E-05	100	0.001128125
80	145	1.12813E-05	100	0.001128125
75	150	1.69219E-05	100	0.001692188
70	155	1.12813E-05	100	0.001128125
65	160	1.12813E-05	100	0.001128125
60	165	5.64063E-06	100	0.000564063
55	170	5.64063E-06	100	0.000564063
50	175	2.96875E-07	100	2.96875E-05
45	180	2.96875E-07	100	2.96875E-05
40	185	2.96875E-07	100	2.96875E-05
35	190	2.96875E-07	100	2.96875E-05
30	195	2.96875E-07	100	2.96875E-05
25	200	2.96875E-07	100	2.96875E-05
0	225	1.5625E-08	100	1.5625E-06
<b>LOLE: 11.42566502 días/año</b>				

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 30.** Tabla de capacidad del sistema de capacidad distinto con carga lineal de 100% a 75% con FOR= 0.05.

C_Disb	C_Fuera	Prob_Ind	Tk_porct	Pc_loss
225	0	0.735091891	0	0

200	25	0.038689047	0	0
195	30	0.038689047	0	0
190	35	0.038689047	0	0
185	40	0.038689047	0	0
180	45	0.038689047	0	0
175	50	0.038689047	11.11111111	0.429878299
170	55	0.002036266	22.22222222	0.045250347
165	60	0.002036266	33.33333333	0.067875521
160	65	0.004072531	44.44444444	0.181001389
155	70	0.004072531	55.55555556	0.226251736
150	75	0.006108797	66.66666667	0.407253125
145	80	0.004072531	77.77777778	0.316752431
140	85	0.004072531	88.88888889	0.362002778
135	90	0.002143438	100	0.21434375
130	95	0.002143438	100	0.21434375
125	100	0.000214344	100	0.021434375
120	105	0.000321516	100	0.032151563
115	110	0.000321516	100	0.032151563
110	115	0.000321516	100	0.032151563
105	120	0.000321516	100	0.032151563
100	125	0.000214344	100	0.021434375
95	130	0.000112813	100	0.01128125
90	135	0.000112813	100	0.01128125
85	140	1.12813E-05	100	0.001128125
80	145	1.12813E-05	100	0.001128125
75	150	1.69219E-05	100	0.001692188
70	155	1.12813E-05	100	0.001128125
65	160	1.12813E-05	100	0.001128125
60	165	5.64063E-06	100	0.000564063
55	170	5.64063E-06	100	0.000564063
50	175	2.96875E-07	100	2.96875E-05
45	180	2.96875E-07	100	2.96875E-05
40	185	2.96875E-07	100	2.96875E-05
35	190	2.96875E-07	100	2.96875E-05
30	195	2.96875E-07	100	2.96875E-05
25	200	2.96875E-07	100	2.96875E-05
0	225	1.5625E-08	100	1.5625E-06
<b>LOLE: 9.732736406 días/año</b>				

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 31.** Tabla de capacidad del sistema de capacidad distinto con carga lineal de 100% a 70% con FOR= 0.05.

C_Dis	C_Fuera	Prob_Ind	Tk_porct	Pc_loss
225	0	0.735091891	0	0
200	25	0.038689047	0	0
195	30	0.038689047	0	0
190	35	0.038689047	0	0
185	40	0.038689047	0	0

180	45	0.038689047	0	0
175	50	0.038689047	9.259259259	0.358231916
170	55	0.002036266	18.51851852	0.037708623
165	60	0.002036266	27.77777778	0.056562934
160	65	0.004072531	37.03703704	0.150834491
155	70	0.004072531	46.2962963	0.188543113
150	75	0.006108797	55.55555556	0.339377604
145	80	0.004072531	64.81481481	0.263960359
140	85	0.004072531	74.07407407	0.301668981
135	90	0.002143438	83.33333333	0.178619792
130	95	0.002143438	92.59259259	0.198466435
125	100	0.000214344	100	0.021434375
120	105	0.000321516	100	0.032151563
115	110	0.000321516	100	0.032151563
110	115	0.000321516	100	0.032151563
105	120	0.000321516	100	0.032151563
100	125	0.000214344	100	0.021434375
95	130	0.000112813	100	0.01128125
90	135	0.000112813	100	0.01128125
85	140	1.12813E-05	100	0.001128125
80	145	1.12813E-05	100	0.001128125
75	150	1.69219E-05	100	0.001692188
70	155	1.12813E-05	100	0.001128125
65	160	1.12813E-05	100	0.001128125
60	165	5.64063E-06	100	0.000564063
55	170	5.64063E-06	100	0.000564063
50	175	2.96875E-07	100	2.96875E-05
45	180	2.96875E-07	100	2.96875E-05
40	185	2.96875E-07	100	2.96875E-05
35	190	2.96875E-07	100	2.96875E-05
30	195	2.96875E-07	100	2.96875E-05
25	200	2.96875E-07	100	2.96875E-05
0	225	1.5625E-08	100	1.5625E-06
<b>LOLE: 8.305663504 días/año</b>				

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 32.** Tabla de capacidad del sistema de capacidad distinto con carga lineal de 100% a 65% con FOR= 0.05.

C_Dispon	C_Fuera	Prob_Ind	Tk_porct	Pc_loss
225	0	0.735091891	0	0
200	25	0.038689047	0	0
195	30	0.038689047	0	0
190	35	0.038689047	0	0
185	40	0.038689047	0	0
180	45	0.038689047	0	0
175	50	0.038689047	7.936507937	0.307055928
170	55	0.002036266	15.87301587	0.032321677
165	60	0.002036266	23.80952381	0.048482515

160	65	0.004072531	31.74603175	0.129286706
155	70	0.004072531	39.68253968	0.161608383
150	75	0.006108797	47.61904762	0.290895089
145	80	0.004072531	55.55555556	0.226251736
140	85	0.004072531	63.49206349	0.258573413
135	90	0.002143438	71.42857143	0.153102679
130	95	0.002143438	79.36507937	0.170114087
125	100	0.000214344	87.3015873	0.01871255
120	105	0.000321516	95.23809524	0.030620536
115	110	0.000321516	100	0.032151563
110	115	0.000321516	100	0.032151563
105	120	0.000321516	100	0.032151563
100	125	0.000214344	100	0.021434375
95	130	0.000112813	100	0.01128125
90	135	0.000112813	100	0.01128125
85	140	1.12813E-05	100	0.001128125
80	145	1.12813E-05	100	0.001128125
75	150	1.69219E-05	100	0.001692188
70	155	1.12813E-05	100	0.001128125
65	160	1.12813E-05	100	0.001128125
60	165	5.64063E-06	100	0.000564063
55	170	5.64063E-06	100	0.000564063
50	175	2.96875E-07	100	2.96875E-05
45	180	2.96875E-07	100	2.96875E-05
40	185	2.96875E-07	100	2.96875E-05
35	190	2.96875E-07	100	2.96875E-05
30	195	2.96875E-07	100	2.96875E-05
25	200	2.96875E-07	100	2.96875E-05
0	225	1.5625E-08	100	1.5625E-06
<b>LOLE: 7.208711164 días/año</b>				

Elaborado por: Dayana Asencio

El sistema 2 plantea un nuevo caso en el cual las unidades de generación son diferentes y se emplean tres tasas de salida forzada, la cual nos muestra un panorama mucho más sólido de la variación del indicador.

Al igual que el análisis antes ya realizado en el sistema uno se aprecia una variación en el indicador LOLE a medida que la carga, la capacidad de generación y las Tasas Forzadas de salida cambian como se evidencia en la Tabla 33.

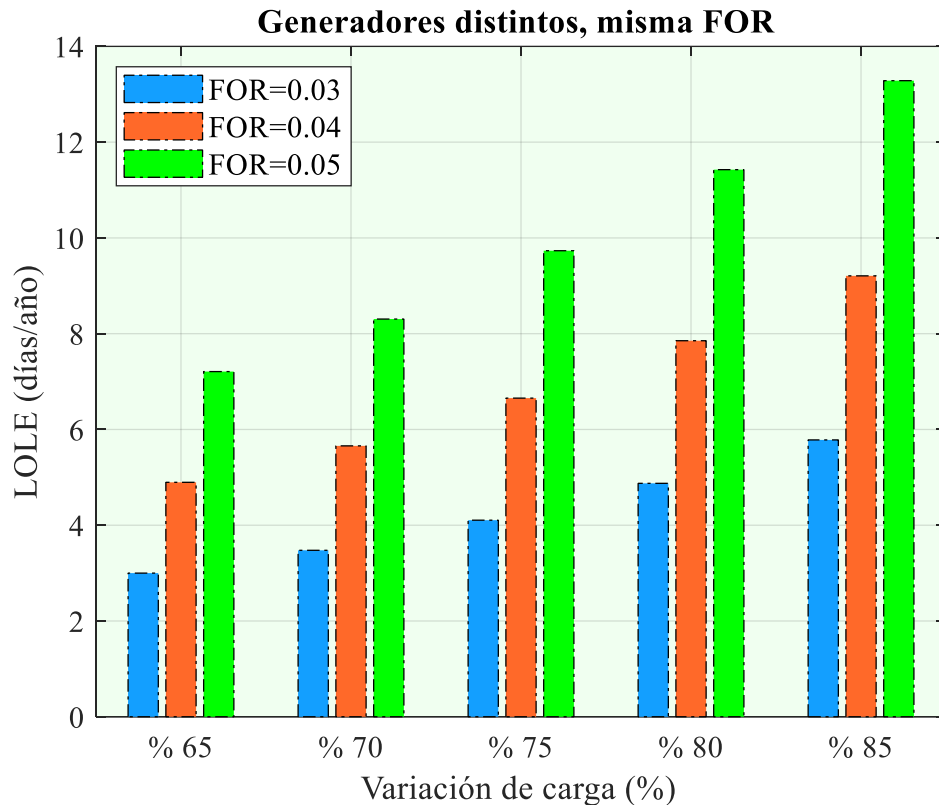
**Tabla 33.** Variación de la carga para tres tipos de FOR.

Variación de la carga	LOLE (FOR=0,03)	LOLE (FOR=0,04)	LOLE (FOR=0,05)
(100%-85%)	5.781	9.208	13.284
(100%-80%)	4.875	7.853	11.426
(100%-75%)	4.105	6.654	9.733
(100%-70%)	3.476	5.657	8.306
(100%-65%)	2.999	4.896	7.209



Elaborado por: Dayana Asencio

Al tener los tres factores incidiendo en el indicador la variación que el mismo sufre es diferente; más aún, su objetivo siempre será mantenerse en sus parámetros de confiabilidad y seguridad. En consecuencia, se garantiza su operabilidad cuando la variación de la carga lineal es de 100%- 65% con una FOR de 0.03; el cual, aunque sea igual alto en comparación a los otros es más seguro como se indica en la Figura 15.



**Figura 15.** Variación del LOLE para unidades diferentes con tres tipos de tasas de salida forzada (FOR)

Elaborado por: Dayana Asencio

Sin embargo, se puede emplear cualesquiera de las Tasas Forzadas de salida considerando siempre que se debe añadir tantas unidades de generación se requieran, para garantizar que el LOLE decrezca y entre en los límites de seguridad permitido.

### 4.3 Sistema de expansión para 8 años

Una vez conocidos los datos necesarios, es conveniente realizar el análisis de las tablas de pérdida de capacidad y mediante estas poder determinar si el LOLE para los ocho años cumple el criterio de riesgo establecido. Dado el caso de que el LOLE para cualesquiera de los 8 años no se cumpliera se procede a realizar la expansión de

unidades de 50 [MW] tantas veces como sea necesario hasta poder cumplir el criterio establecido de 0.15 días/año.

**Tabla 34.** Expansión de generación para el año 1 para una capacidad instalada de 200 MW y una carga máxima de 160 MW.

C_Displ	C_Fuera	Prob_Ind	Tk_porct	Pc_loss
200	0	0.95099005	0	0
160	40	0.048029801	0	0
120	80	0.000970299	41.66666667	0.040429125
80	120	0.000009801	83.33333333	0.00081675
40	160	4.95E-08	100	0.00000495
0	200	1E-10	100	0.00000001
<b>LOLE: 0.150565548 días/año</b>				

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 35.** Expansión de generación para el año 2 para una capacidad instalada de 200 MW y una carga máxima de 176 MW.

C_Displ	C_Fuera	Prob_Ind	Tk_porct	Pc_loss
200	0	0.95099005	0	0
160	40	0.048029801	15.15151515	0.72772425
120	80	0.000970299	53.03030303	0.05145525
80	120	0.000009801	90.90909091	0.000891
40	160	4.95E-08	100	0.00000495
0	200	1E-10	100	0.00000001
<b>LOLE: 2.847275429 días/año</b>				

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 36.** Expansión de generación para el año 2 para una capacidad instalada de 250 MW y una carga máxima de 176 MW.

C_Displ	C_Fuera	Prob_Ind	Tk_porct	Pc_loss
250	0	0.941480149	0	0
210	40	0.047549502	0	0
200	50	0.0095099	0	0
170	80	0.000960596	5.681818182	0.005457932
160	90	0.000480298	15.15151515	0.007277243
130	120	9.70299E-06	43.56060606	0.000422668
120	130	9.70299E-06	53.03030303	0.000514553
90	160	4.9005E-08	81.43939394	3.99094E-06
80	170	9.801E-08	90.90909091	0.00000891
50	200	9.9E-11	100	9.9E-09
40	210	4.95E-10	100	4.95E-08
0	250	1E-12	100	1E-10
<b>LOLE: 0.049951547 días/año</b>				

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 37.** Expansión de generación para el año 3 para una capacidad instalada de 250 MW y una carga máxima de 193.6 MW.

C_Displ	C_Fuera	Prob_Ind	Tk_porct	Pc_loss
250	0	0.941480149	0	0
210	40	0.047549502	0	0

200	50	0.0095099	0	0
170	80	0.000960596	20.31680441	0.019516241
160	90	0.000480298	28.92561983	0.013892918
130	120	9.70299E-06	54.75206612	0.000531259
120	130	9.70299E-06	63.36088154	0.00061479
90	160	4.9005E-08	89.18732782	4.37063E-06
80	170	9.801E-08	97.79614325	0.000009585
50	200	9.9E-11	100	9.9E-09
40	210	4.95E-10	100	4.95E-08
0	250	1E-12	100	1E-10
<b>LOLE: 0.126177663 días/año</b>				

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 38.** Expansión de generación para el año 4 para una capacidad instalada de 250 MW y una carga máxima de 213 MW.

C_Dispon	C_Fuera	Prob_Ind	Tk_porct	Pc_loss
250	0	0.941480149	0	0
210	40	0.047549502	2.34741784	0.11161855
200	50	0.0095099	10.17214397	0.096736077
170	80	0.000960596	33.64632238	0.032320523
160	90	0.000480298	41.47104851	0.019918462
130	120	9.70299E-06	64.94522692	0.000630163
120	130	9.70299E-06	72.76995305	0.000706086
90	160	4.9005E-08	96.24413146	4.71644E-06
80	170	9.801E-08	100	0.000009801
50	200	9.9E-11	100	9.9E-09
40	210	4.95E-10	100	4.95E-08
0	250	1E-12	100	1E-10
<b>LOLE: 0.9560972 días/año</b>				

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 39.** Expansión de generación para el año 4 para una capacidad instalada de 300 MW y una carga máxima de 213 MW.

C_Dispon	C_Fuera	Prob_Ind	Tk_porct	Pc_loss
300	0	0.932065348	0	0
260	40	0.047074007	0	0
250	50	0.018829603	0	0
220	80	0.00095099	0	0
210	90	0.00095099	2.34741784	0.002232371
200	100	9.5099E-05	10.17214397	0.000967361
180	120	9.60596E-06	25.82159624	0.000248041
170	130	1.92119E-05	33.64632238	0.00064641
160	140	4.80298E-06	41.47104851	0.000199185
140	160	4.8515E-08	57.12050078	2.7712E-06
130	170	1.9406E-07	64.94522692	1.26033E-05
120	180	9.70299E-08	72.76995305	7.06086E-06
100	200	9.801E-11	88.41940532	8.66599E-09
90	210	9.801E-10	96.24413146	9.43289E-08
80	220	9.801E-10	100	9.801E-08

50	250	1.98E-12	100	1.98E-10
40	260	4.95E-12	100	4.95E-10
0	300	1E-14	100	1E-12
<b>LOLE: 0.015753419 días/año</b>				

Elaborado: Dayana Asencio

**Tabla 40.** Expansión de generación para el año 5 para una capacidad instalada de 300 MW y una carga máxima de 234.3 MW.

C_Dis	C_Fuera	Prob_Ind	Tk_porct	Pc_loss
300	0	0.932065348	0	0
260	40	0.047074007	0	0
250	50	0.018829603	0	0
220	80	0.00095099	10.17214397	0.009673608
210	90	0.00095099	17.28553137	0.016438368
200	100	9.5099E-05	24.39891877	0.002320313
180	120	9.60596E-06	38.62569356	0.000371037
170	130	1.92119E-05	45.73908095	0.000878736
160	140	4.80298E-06	52.85246835	0.000253849
140	160	4.8515E-08	67.07924314	3.25435E-06
130	170	1.9406E-07	74.19263053	1.43978E-05
120	180	9.70299E-08	81.30601793	7.88911E-06
100	200	9.801E-11	95.53279272	9.36317E-09
90	210	9.801E-10	100	9.801E-08
80	220	9.801E-10	100	9.801E-08
50	250	1.98E-12	100	1.98E-10
40	260	4.95E-12	100	4.95E-10
0	300	1E-14	100	1E-12
<b>LOLE: 0.109360052 días/año</b>				

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 41.** Expansión de generación para el año 6 para una capacidad instalada de 300 MW y una carga máxima de 257.4 MW.

C_Dis	C_Fuera	Prob_Ind	Tk_porct	Pc_loss
300	0	0.932065348	0	0
260	40	0.047074007	0	0
250	50	0.018829603	4.791504792	0.090222133
220	80	0.00095099	24.21652422	0.023029674
210	90	0.00095099	30.69153069	0.02918734
200	100	9.5099E-05	37.16653717	0.003534501
180	120	9.60596E-06	50.11655012	0.000481418
170	130	1.92119E-05	56.59155659	0.001087232
160	140	4.80298E-06	63.06656307	0.000302907
140	160	4.8515E-08	76.01657602	3.68794E-06
130	170	1.9406E-07	82.49158249	1.60083E-05
120	180	9.70299E-08	88.96658897	8.63242E-06
100	200	9.801E-11	100	9.801E-09
90	210	9.801E-10	100	9.801E-08
80	220	9.801E-10	100	9.801E-08
50	250	1.98E-12	100	1.98E-10

40	260	4.95E-12	100	4.95E-10
0	300	1E-14	100	1E-12
<b>LOLE: 0.539739152 días/año</b>				

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 42.** Expansión de generación para el año 6 para una capacidad instalada de 350 MW y una carga máxima de 257.4 MW.

C_Dis	C_Fuera	Prob_Ind	Tk_porct	Pc_loss
350	0	0.922744694	0	0
310	40	0.046603267	0	0
300	50	0.02796196	0	0
270	80	0.00094148	0	0
260	90	0.00141222	0	0
250	100	0.000282444	4.791504792	0.001353332
230	120	9.5099E-06	17.74151774	0.00016872
220	130	2.85297E-05	24.21652422	0.00069089
210	140	1.42649E-05	30.69153069	0.00043781
200	150	9.5099E-07	37.16653717	3.5345E-05
190	160	4.80298E-08	43.64154364	2.09609E-06
180	170	2.88179E-07	50.11655012	1.44425E-05
170	180	2.88179E-07	56.59155659	1.63085E-05
160	190	4.80298E-08	63.06656307	3.02907E-06
150	200	9.70299E-11	69.54156954	6.74761E-09
140	210	1.45545E-09	76.01657602	1.10638E-07
130	220	2.9109E-09	82.49158249	2.40125E-07
120	230	9.70299E-10	88.96658897	8.63242E-08
100	250	2.9403E-12	100	2.9403E-10
90	260	1.47015E-11	100	147015E-09
80	270	9.801E-12	100	9.801E-10
50	300	2.97E-14	100	2.97E-12
40	310	4.95E-14	100	4.95E-12
0	350	1E-16	100	1E-14
<b>LOLE: 0.009936834 días/año</b>				

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 43.** Expansión de generación para el año 7 para una capacidad instalada de 350 MW y una carga máxima de 283.1 MW.

C_Dis	C_Fuera	Prob_Ind	Tk_porct	Pc_loss
350	0	0.922744694	0	0
310	40	0.046603267	0	0
300	50	0.02796196	0	0
270	80	0.00094148	7.712233604	0.007260915
260	90	0.00141222	13.59943483	0.019205397
250	100	0.000282444	19.48663605	0.005503884
230	120	9.5099E-06	31.2610385	0.000297289
220	130	2.85297E-05	37.14823973	0.001059828
210	140	1.42649E-05	43.03544095	0.000613894
200	150	9.5099E-07	48.92264218	4.65249E-05
190	160	4.80298E-08	54.8098434	2.63251E-06

180	170	2.88179E-07	60.69704462	1.74916E-05
170	180	2.88179E-07	66.58424585	1.91882E-05
160	190	4.80298E-08	72.47144707	3.48079E-06
150	200	9.70299E-11	78.3586483	7.60313E-09
140	210	1.45545E-09	84.24584952	1.22615E-07
130	220	2.9109E-09	90.13305075	2.62368E-07
120	230	9.70299E-10	96.02025197	9.31684E-08
100	250	2.9403E-12	100	2.9403E-10
90	260	1.47015E-11	100	1.47015E-09
80	270	9.801E-12	100	9.801E-10
50	300	2.97E-14	100	2.97E-12
40	310	4.95E-14	100	4.95E-12
0	350	1E-16	100	1E-14
<b>LOLE: 0.124213202 días/año</b>				

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 44.** Expansión de generación para el año 8 para una capacidad instalada de 350 MW y una carga máxima de 311.4 MW.

C_Dis	C_Fuera	Prob_Ind	Tk_porct	Pc_loss
350	0	0.922744694	0	0
310	40	0.046603267	0.749304218	0.034920025
300	50	0.02796196	6.1014772	0.170609264
270	80	0.00094148	22.15799615	0.020861314
260	90	0.00141222	27.51016913	0.038850417
250	100	0.000282444	32.86234211	0.009281773
230	120	9.5099E-06	43.56668808	0.000414315
220	130	2.85297E-05	48.91886106	0.001395641
210	140	1.42649E-05	54.27103404	0.000774168
200	150	9.5099E-07	59.62320702	5.67011E-05
190	160	4.80298E-08	64.97538	3.12075E-06
180	170	2.88179E-07	70.32755299	2.02669E-05
170	180	2.88179E-07	75.67972597	2.18093E-05
160	190	4.80298E-08	81.03189895	3.89195E-06
150	200	9.70299E-11	86.38407193	8.38184E-09
140	210	1.45545E-09	91.73624492	1.33517E-07
130	220	2.9109E-09	97.0884179	2.82614E-07
120	230	9.70299E-10	100	9.70299E-08
100	250	2.9403E-12	100	2.9403E-10
90	260	1.47015E-11	100	1.47015E-09
80	270	9.801E-12	100	9.801E-10
50	300	2.97E-14	100	2.97E-12
40	310	4.95E-14	100	4.95E-12
0	350	1E-16	100	1E-14
<b>LOLE: 1.011828291 días/año</b>				

Elaborado por: Dayana Asencio

Organizando la información de las tablas obtenidas con anteriormente es posible plantear la Tabla 45. En la misma se logra apreciar el crecimiento notable de la

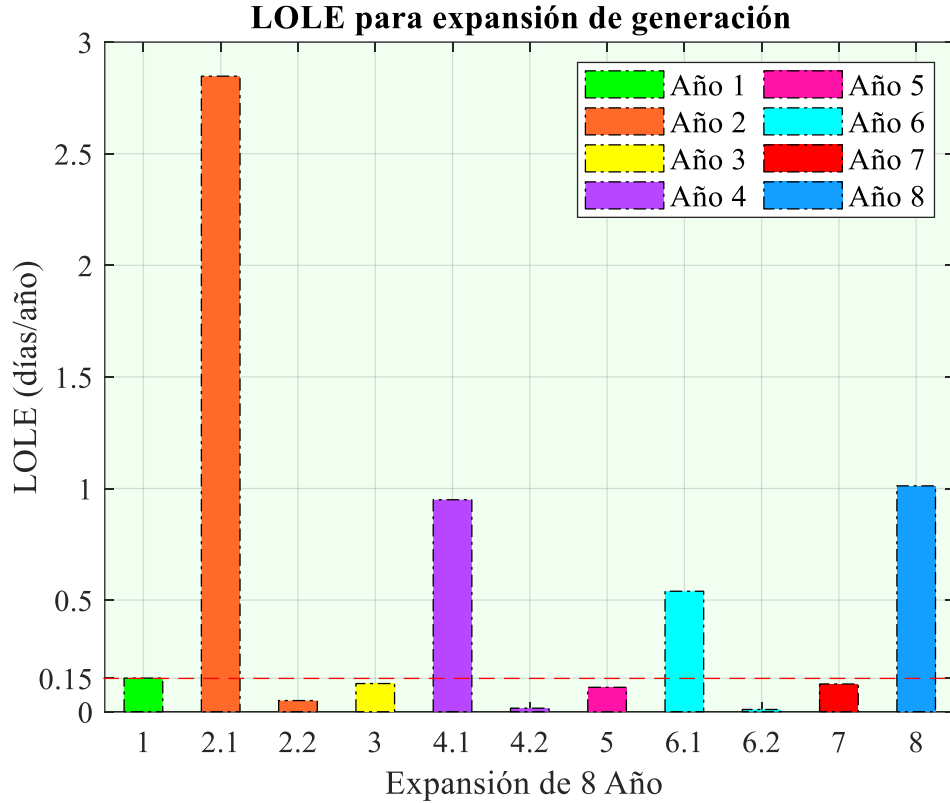
demanda, por lo tanto, es necesario que a la demanda máxima del 100% se le añada el 10% de la misma. Es importante acotar que este incremento se realizara únicamente cuando el criterio de riesgo se cumpla, caso contrario la demanda no puede aumentar. Por consiguiente, es necesario el aumento de 3 unidades de 50MW para lograr que los 8 años cumplan con el criterio establecido.

**Tabla 45.** Crecimiento anual al 10% tomando en cuenta el criterio de riesgo.

Año	Unidad añadida [MW]	Capacidad instalada [MW]	Demanda Máxima [MW]	LOLE [días/año]
1	0	200	160	0.15056555
2	0	200	176	2.84727543
2	50	250	176	0.04995155
3	0	250	193.6	0.12617766
4	0	250	213	0.94959017
4	50	300	213	0.01575342
5	0	300	234.3	0.10936005
6	0	300	257.4	0.53973915
6	50	350	257.4	0.00993683
7	0	350	283.1	0.1242132
8	0	350	311.4	1.01182829

Elaborado por: Dayana Asencio

De esta tabla se obtiene la Figura 16, en la cual se aprecia que el LOLE incrementa en tanto que, la reserva se reduce. De manera que al tener menos reserva más grande es el LOLE. Por tal motivo se necesita añadir tres unidades adicionales en los años dos, cuatro y seis con la finalidad que el LOLE se mantenga en el criterio de riesgo establecido anteriormente de 0.15 [días/año]



**Figura 16.** Proyección del LOLE para 8 años  
Elaborado por: Dayana Asencio

#### 4.3.1 Sistema de expansión con horizonte de 15 años

Una vez analizado el caso de estudio se procede a realizar los cálculos de las tablas de pérdida de capacidad en busca del LOLE para poder verificar si para cada año el criterio de riesgo establecido se cumple, caso contrario es necesario realizar expansiones que garanticen el criterio antes mencionado. En las siguientes tablas se calcula el LOLE para cada año.

**Tabla 46.** Cálculo del LOLE para el año 1

C_Dis	C_Fuera	Prob_Ind	Tk_porct	Pc_loss
210	0	0.832179005	0	0
180	30	0.016983245	1.651527663	0.028048299
170	40	0.05147499	11.66078623	0.600238854
160	50	0.08759779	21.67004479	1.898248033
140	70	0.00105051	41.68856192	0.043794251
130	80	0.002583715	51.69782048	0.133572434
120	90	0.00541842	61.70707905	0.334354871
110	100	0.002305205	71.71633761	0.16532086
100	110	0.000016245	81.72559618	0.001327632
90	120	0.00011058	91.73485474	0.01014404
80	130	0.000130835	100	0.0130835
70	140	0.00014259	100	0.014259
50	160	0.00000171	100	0.000171
40	170	0.00000291	100	0.000291



30	180	0.000002205	100	0.0002205
0	210	0.000000045	100	0.0000045
<b>LOLE:11.83723753 días/año</b>				

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 47.** Expansión de 40 MW para el año 1

C_Dis	C_Fuera	Prob_Ind	Tk_porct	Pc_loss
250	0	0.807213635	0	0
220	30	0.016473748	0	0
210	40	0.07489611	0	0
200	50	0.084969856	0	0
180	70	0.001528492	1.651527663	0.002524347
170	80	0.004050453	11.66078623	0.047231469
160	90	0.007883801	21.67004479	0.170842323
150	100	0.002236049	31.67930336	0.07083647
140	110	4.7273E-05	41.68856192	0.001970741
130	120	0.000184774	51.69782048	0.009552416
120	130	0.000289463	61.70707905	0.017861888
110	140	0.000207468	71.71633761	0.014878877
100	150	4.8735E-07	81.72559618	3.9829E-05
90	160	4.9761E-06	91.73485474	0.000456482
80	170	6.74775E-06	100	0.000674775
70	180	6.41655E-06	100	0.000641655
50	200	5.13E-08	100	0.00000513
40	210	1.3095E-07	100	0.000013095
30	220	6.615E-08	100	0.000006615
0	250	1.35E-09	100	0.000000135
<b>LOLE: 1.232007304 días/año</b>				

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 48.** Expansión de 50 MW para el año 1

C_Dis	C_Fuera	Prob_Ind	Tk_porct	Pc_loss
300	0	0.774925089	0	0
270	30	0.015814798	0	0
260	40	0.071900266	0	0
250	50	0.113859607	0	0
230	70	0.001467352	0	0
220	80	0.004547385	0	0
210	90	0.010564293	0	0
200	100	0.005545401	0	0
190	110	4.5382E-05	0	0
180	120	0.000238523	1.651527663	0.000393927
170	130	0.000439902	11.66078623	0.005129605
160	140	0.000514522	21.67004479	0.011149709
150	150	8.99098E-05	31.67930336	0.00284828
140	160	6.66797E-06	41.68856192	0.000277978
130	170	1.38688E-05	51.69782048	0.000716987
120	180	1.77384E-05	61.70707905	0.001094584
110	190	8.29874E-06	71.71633761	0.000595155

100	200	6.8742E-08	81.72559618	5.61798E-06
90	210	3.24756E-07	91.73485474	2.97914E-05
80	220	3.33414E-07	100	3.33414E-05
70	230	2.56662E-07	100	2.56662E-05
50	250	3.348E-09	100	3.348E-07
40	260	5.238E-09	100	5.238E-07
30	270	2.646E-09	100	2.646E-07
0	300	5.4E-11	100	5.4E-09

**LOLE: 0.081401467 días/año**

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 49.** Cálculo del LOLE para el año 2

<b>C_Dis</b>	<b>C_Fuera</b>	<b>Prob_Ind</b>	<b>Tk_porct</b>	<b>Pc_loss</b>
300	0	0.774925089	0	0
270	30	0.015814798	0	0
260	40	0.071900266	0	0
250	50	0.113859607	0	0
230	70	0.001467352	0	0
220	80	0.004547385	0	0
210	90	0.010564293	0	0
200	100	0.005545401	0	0
190	110	4.5382E-05	7.346189164	0.000333385
180	120	0.000238523	16.52892562	0.003942525
170	130	0.000439902	25.71166208	0.011310616
160	140	0.000514522	34.89439853	0.017953927
150	150	8.99098E-05	44.07713499	0.003962967
140	160	6.66797E-06	53.25987144	0.000355135
130	170	1.38688E-05	62.4426079	0.000866004
120	180	1.77384E-05	71.62534435	0.001270518
110	190	8.29874E-06	80.80808081	0.000670605
100	200	6.8742E-08	89.99081726	6.18615E-06
90	210	3.24756E-07	99.17355372	3.22072E-05
80	220	3.33414E-07	100	3.33414E-05
70	230	2.56662E-07	100	2.56662E-05
50	250	3.348E-09	100	3.348E-07
40	260	5.238E-09	100	5.238E-07
30	270	2.646E-09	100	2.646E-07
0	300	5.4E-11	100	5.4E-09

**LOLE: 0.148789377 días/año**

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 50.** Cálculo de LOLE para el año 3

<b>C_Dis</b>	<b>C_Fuera</b>	<b>Prob_Ind</b>	<b>Tk_porct</b>	<b>Pc_loss</b>
300	0	0.774925089	0	0
270	30	0.015814798	0	0
260	40	0.071900266	0	0
250	50	0.113859607	0	0
230	70	0.001467352	0	0
220	80	0.004547385	0	0

210	90	0.010564293	4.903075795	0.051797532
200	100	0.005545401	13.32760465	0.073906914
190	110	4.5382E-05	21.75213351	0.000987156
180	120	0.000238523	30.17666237	0.007197821
170	130	0.000439902	38.60119123	0.016980748
160	140	0.000514522	47.02572009	0.024195756
150	150	8.99098E-05	55.45024894	0.004985521
140	160	6.66797E-06	63.8747778	0.000425915
130	170	1.38688E-05	72.29930666	0.001002705
120	180	1.77384E-05	80.72383552	0.001431911
110	190	8.29874E-06	89.14836438	0.000739819
100	200	6.8742E-08	97.57289324	6.70736E-06
90	210	3.24756E-07	100	3.24756E-05
80	220	3.33414E-07	100	3.33414E-05
70	230	2.56662E-07	100	2.56662E-05
50	250	3.348E-09	100	3.348E-07
40	260	5.238E-09	100	5.238E-07
30	270	2.646E-09	100	2.646E-07
0	300	5.4E-11	100	5.4E-09

**LOLE: 0.670691579 días/año**

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 51.** Expansión de 40 MW para el año 3

<b>C_Dis</b>	<b>C_Fuera</b>	<b>Prob_Ind</b>	<b>Tk_porct</b>	<b>Pc_loss</b>
340	0	0.751677337	0	0
310	30	0.015340354	0	0
300	40	0.092991011	0	0
290	50	0.110443819	0	0
270	70	0.001897776	0	0
260	80	0.006567971	0	0
250	90	0.013663153	0	0
240	100	0.005379039	0	0
230	110	8.80411E-05	0	0
220	120	0.000367789	0	0
210	130	0.000743634	4.903075795	0.003646093
200	140	0.000665448	13.32760465	0.00886883
190	150	8.8574E-05	21.75213351	0.001926673
180	160	1.36236E-05	30.17666237	0.000411115
170	170	2.66498E-05	38.60119123	0.001028714
160	180	3.26419E-05	47.02572009	0.001535008
150	190	1.07471E-05	55.45024894	0.000595928
140	200	2.66719E-07	63.8747778	1.70366E-05
130	210	7.31077E-07	72.29930666	5.28564E-05
120	220	8.55563E-07	80.72383552	6.90643E-05
110	230	4.97924E-07	89.14836438	4.43891E-05
100	240	2.06226E-09	97.57289324	2.01221E-07
90	250	1.29902E-08	100	1.29902E-06
80	260	1.50833E-08	100	1.50833E-06

70	270	1.02665E-08	100	1.02665E-06
50	290	1.0044E-10	100	1.0044E-08
40	300	2.0952E-10	100	2.0952E-08
30	310	7.938E-11	100	7.938E-09
0	340	1.62E-12	100	1.62E-10

**LOLE: 0.066429206 días/año**

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 52.** Cálculo del LOLE para el año 4

C_Dis	C_Fuera	Prob_Ind	Tk_porct	Pc_loss
340	0	0.751677337	0	0
310	30	0.015340354	0	0
300	40	0.092991011	0	0
290	50	0.110443819	0	0
270	70	0.001897776	0	0
260	80	0.006567971	0	0
250	90	0.013663153	0	0
240	100	0.005379039	0	0
230	110	8.80411E-05	4.050022414	0.000356569
220	120	0.000367789	11.77907282	0.004332209
210	130	0.000743634	19.50812323	0.014506902
200	140	0.000665448	27.23717364	0.018124926
190	150	8.8574E-05	34.96622405	0.003097098
180	160	1.36236E-05	42.69527446	0.000581664
170	170	2.66498E-05	50.42432487	0.001343798
160	180	3.26419E-05	58.15337528	0.001898236
150	190	1.07471E-05	65.88242569	0.000708043
140	200	2.66719E-07	73.61147609	1.96336E-05
130	210	7.31077E-07	81.3405265	5.94662E-05
120	220	8.55563E-07	89.06957691	7.62047E-05
110	230	4.97924E-07	96.79862732	4.81984E-05
100	240	2.06226E-09	100	2.06226E-07
90	250	1.29902E-08	100	1.29902E-06
80	260	1.50833E-08	100	1.50833E-06
70	270	1.02665E-08	100	1.02665E-06
50	290	1.0044E-10	100	1.0044E-08
40	300	2.0952E-10	100	2.0952E-08
30	310	7.938E-11	100	7.938E-09
0	340	1.62E-12	100	1.62E-10

**LOLE: 0.164823151 días/año**

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 53.** Expansión de 50 MW para el año 4

C_Dis	C_Fuera	Prob_Ind	Tk_porct	Pc_loss
390	0	0.721610243	0	0
360	30	0.01472674	0	0
350	40	0.08927137	0	0
340	50	0.13609316	0	0
320	70	0.001821865	0	0

310	80	0.006918867	0	0
300	90	0.016836267	0	0
290	100	0.00958163	0	0
280	110	8.45195E-05	0	0
270	120	0.000428988	0	0
260	130	0.000976607	0	0
250	140	0.001185356	0	0
240	150	0.000300193	0	0
230	160	1.66003E-05	4.050022414	6.72317E-05
220	170	4.02954E-05	11.77907282	0.000474642
210	180	6.10816E-05	19.50812323	0.001191587
200	190	3.69351E-05	27.23717364	0.001006008
190	200	3.79901E-06	34.96622405	0.000132837
180	210	1.24678E-06	42.69527446	5.32316E-05
170	220	1.88733E-06	50.42432487	9.51675E-05
160	230	1.78368E-06	58.15337528	0.000103727
150	240	4.31863E-07	65.88242569	2.84522E-05
140	250	2.31394E-08	73.61147609	1.70332E-06
130	260	4.3723E-08	81.3405265	3.55646E-06
120	270	4.40784E-08	89.06957691	3.92604E-06
110	280	1.9917E-08	96.79862732	1.92794E-06
100	290	1.78913E-10	100	1.78913E-08
90	300	7.20749E-10	100	7.20749E-08
80	310	6.79536E-10	100	6.79536E-08
70	320	4.10659E-10	100	4.10659E-08
50	340	5.5728E-12	100	5.5728E-10
40	350	8.3808E-12	100	8.3808E-10
30	360	3.1752E-12	100	3.1752E-10
0	390	6.48E-14	100	6.48E-12
<b>LOLE: 0.011549324 días/año</b>				

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 54.** Cálculo del LOLE para el año 5

<b>C_Dispon</b>	<b>C_Fuera</b>	<b>Prob_Ind</b>	<b>Tk_porct</b>	<b>Pc_loss</b>
390	0	0.721610243	0	0
360	30	0.01472674	0	0
350	40	0.08927137	0	0
340	50	0.13609316	0	0
320	70	0.001821865	0	0
310	80	0.006918867	0	0
300	90	0.016836267	0	0
290	100	0.00958163	0	0
280	110	8.45195E-05	0	0
270	120	0.000428988	0	0
260	130	0.000976607	0	0
250	140	0.001185356	4.552190653	0.005395968
240	150	0.000300193	11.6428303	0.003495091
230	160	1.66003E-05	18.73346995	0.000310982

220	170	4.02954E-05	25.82410959	0.001040592
210	180	6.10816E-05	32.91474924	0.002010485
200	190	3.69351E-05	40.00538889	0.001477604
190	200	3.79901E-06	47.09602853	0.000178918
180	210	1.24678E-06	54.18666818	6.75588E-05
170	220	1.88733E-06	61.27730783	0.000115651
160	230	1.78368E-06	68.36794747	0.000121947
150	240	4.31863E-07	75.45858712	3.25877E-05
140	250	2.31394E-08	82.54922677	1.91014E-06
130	260	4.3723E-08	89.63986641	3.91933E-06
120	270	4.40784E-08	96.73050606	4.26372E-06
110	280	1.9917E-08	100	1.9917E-06
100	290	1.78913E-10	100	1.78913E-08
90	300	7.20749E-10	100	7.20749E-08
80	310	6.79536E-10	100	6.79536E-08
70	320	4.10659E-10	100	4.10659E-08
50	340	5.5728E-12	100	5.5728E-10
40	350	8.3808E-12	100	8.3808E-10
30	360	3.1752E-12	100	3.1752E-10
0	390	6.48E-14	100	6.48E-12
<b>LOLE: 0.05204779 días/año</b>				

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 55.** Cálculo del LOLE para el año 6

C_Dispon	C_Fuera	Prob_Ind	Tk_porct	Pc_loss
390	0	0.721610243	0	0
360	30	0.01472674	0	0
350	40	0.08927137	0	0
340	50	0.13609316	0	0
320	70	0.001821865	0	0
310	80	0.006918867	0	0
300	90	0.016836267	0	0
290	100	0.00958163	0	0
280	110	8.45195E-05	0	0
270	120	0.000428988	6.173582402	0.002648394
260	130	0.000976607	12.67893794	0.012382345
250	140	0.001185356	19.18429347	0.022740224
240	150	0.000300193	25.689649	0.007711842
230	160	1.66003E-05	32.19500454	0.000534447
220	170	4.02954E-05	38.70036007	0.001559445
210	180	6.10816E-05	45.20571561	0.002761236
200	190	3.69351E-05	51.71107114	0.001909954
190	200	3.79901E-06	58.21642667	0.000221165
180	210	1.24678E-06	64.72178221	8.06938E-05
170	220	1.88733E-06	71.22713774	0.000134429
160	230	1.78368E-06	77.73249328	0.00013865
150	240	4.31863E-07	84.23784881	3.63792E-05
140	250	2.31394E-08	90.74320434	2.09974E-06

130	260	4.3723E-08	97.24855988	4.252E-06
120	270	4.40784E-08	100	4.40784E-06
110	280	1.9917E-08	100	1.9917E-06
100	290	1.78913E-10	100	1.78913E-08
90	300	7.20749E-10	100	7.20749E-08
80	310	6.79536E-10	100	6.79536E-08
70	320	4.10659E-10	100	4.10659E-08
50	340	5.5728E-12	100	5.5728E-10
40	350	8.3808E-12	100	8.3808E-10
30	360	3.1752E-12	100	3.1752E-10
0	390	6.48E-14	100	6.48E-12
<b>LOLE: 0.192983369 días/año</b>				

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 56.** Expansión de 40 MW para el año 6

C_Displ	C_Fuera	Prob_Ind	Tk_porct	Pc_loss
430	0	0.699961936	0	0
400	30	0.014284937	0	0
390	40	0.108241536	0	0
380	50	0.132010365	0	0
360	70	0.002209011	0	0
350	80	0.009389442	0	0
340	90	0.020413974	0	0
330	100	0.009294181	0	0
320	110	0.00013664	0	0
310	120	0.000623684	0	0
300	130	0.001452397	0	0
290	140	0.001437245	0	0
280	150	0.000293722	0	0
270	160	2.8972E-05	6.173582402	0.000178861
260	170	6.83847E-05	12.67893794	0.000867046
250	180	9.48098E-05	19.18429347	0.001818859
240	190	4.48328E-05	25.689649	0.00115174
230	200	4.18305E-06	32.19500454	0.000134673
220	210	2.41824E-06	38.70036007	9.35866E-05
210	220	3.66316E-06	45.20571561	0.000165596
200	230	2.83823E-06	51.71107114	0.000146768
190	240	5.32877E-07	58.21642667	3.10222E-05
180	250	5.98486E-08	64.72178221	3.87351E-06
170	260	9.90313E-08	71.22713774	7.05372E-06
160	270	9.62665E-08	77.73249328	7.48303E-06
150	280	3.22753E-08	84.23784881	2.71881E-06
140	290	8.67727E-10	90.74320434	7.87403E-08
130	300	2.01082E-09	97.24855988	1.95549E-07
120	310	1.9815E-09	100	1.9815E-07
110	320	9.95849E-10	100	9.95849E-08
100	330	5.36738E-12	100	5.36738E-10
90	340	2.70281E-11	100	2.70281E-09

80	350	2.85155E-11	100	2.85155E-09
70	360	1.53997E-11	100	1.53997E-09
50	380	1.67184E-13	100	1.67184E-11
40	390	3.1428E-13	100	3.1428E-11
30	400	9.5256E-14	100	9.5256E-12
0	430	1.944E-15	100	1.944E-13

**LOLE: 0.016825988 días/año**

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 57.** Cálculo de LOLE para el año 7

<b>C_Dis</b>	<b>C_Fuera</b>	<b>Prob_Ind</b>	<b>Tk_porct</b>	<b>Pc_loss</b>
430	0	0.699961936	0	0
400	30	0.014284937	0	0
390	40	0.108241536	0	0
380	50	0.132010365	0	0
360	70	0.002209011	0	0
350	80	0.009389442	0	0
340	90	0.020413974	0	0
330	100	0.009294181	0	0
320	110	0.00013664	0	0
310	120	0.000623684	0	0
300	130	0.001452397	2.775166734	0.004030644
290	140	0.001437245	8.743267237	0.012566213
280	150	0.000293722	14.71136774	0.004321058
270	160	2.89.2E-05	20.67946824	0.000599125
260	170	6.83847E-05	26.64756875	0.001822286
250	180	9.48098E-05	32.61566925	0.003092286
240	190	4.48328E-05	38.58376975	0.00172982
230	200	4.18305E-06	44.55187025	0.000186363
220	210	2.41824E-06	50.51997076	0.000122169
210	220	3.66316E-06	56.48807126	0.000206925
200	230	2.83823E-06	62.45617176	0.000177265
190	240	5.32877E-07	68.42427226	3.64617E-05
180	250	5.98486E-08	74.39237277	4.45228E-06
170	260	9.90313E-08	80.36047327	7.95821E-06
160	270	9.62665E-08	86.32857377	8.31055E-06
150	280	3.22753E-08	92.29667428	2.97891E-06
140	290	8.67727E-10	98.26477478	8.5267E-08
130	300	2.01082E-09	100	2.01082E-07
120	310	1.9815E-09	100	1.9815E-07
110	320	9.95849E-10	100	9.95849E-08
100	330	5.36738E-12	100	5.36738E-10
90	340	2.70281E-11	100	2.70281E-09
80	350	2.85155E-11	100	2.85155E-09
70	360	1.53997E-11	100	1.53997E-09
50	380	1.67184E-13	100	1.67184E-11
40	390	3.1428E-13	100	3.1428E-11
30	400	9.5256E-14	100	9.5256E-12



0	430	1.944E-15	100	1.944E-13
<b>LOLE: 0.105539411 días/año</b>				

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 58.** Cálculo del LOLE para el año 8

C_Dis	C_Fuera	Prob_Ind	Tk_porct	Pc_loss
430	0	0.699961936	0	0
400	30	0.014284937	0	0
390	40	0.108241536	0	0
380	50	0.132010365	0	0
360	70	0.002209011	0	0
350	80	0.009389442	0	0
340	90	0.020413974	0	0
330	100	0.009294181	1.133386444	0.010533899
320	110	0.00013664	6.608683273	0.00090301
310	120	0.000623684	12.0839801	0.007536591
300	130	0.001452397	17.55927693	0.025503045
290	140	0.001437245	23.03457376	0.033106316
280	150	0.000293722	28.50987059	0.008373987
270	160	2.8972E-05	33.98516742	0.000984617
260	170	6.83847E-05	39.46046425	0.002698493
250	180	9.48098E-05	44.93576108	0.004260351
240	190	4.48328E-05	50.41105791	0.002260071
230	200	4.18305E-06	55.88635474	0.000233775
220	210	2.41824E-06	61.36165157	0.000148387
210	220	3.66316E-06	66.8369484	0.000244834
200	230	2.83823E-06	72.31224523	0.000205238
190	240	5.32877E-07	77.78754206	4.14512E-05
180	250	5.98486E-08	83.26283889	4.98316E-06
170	260	9.90313E-08	88.73813572	8.78786E-06
160	270	9.62665E-08	94.21343255	9.0696E-06
150	280	3.22753E-08	99.68872938	3.21749E-06
140	290	8.67727E-10	100	8.67727E-08
130	300	2.01082E-09	100	2.01082E-07
120	310	1.9815E-09	100	1.9815E-07
110	320	9.95849E-10	100	9.95849E-08
100	330	5.36738E-12	100	5.36738E-10
90	340	2.70281E-11	100	2.70281E-09
80	350	2.85155E-11	100	2.85155E-09
70	360	1.53997E-11	100	1.53997E-09
50	380	1.67184E-13	100	1.67184E-11
40	390	3.1428E-13	100	3.1428E-11
30	400	9.5256E-14	100	9.5256E-12
0	430	1.944E-15	100	1.944E-13
<b>LOLE: 0.354271615 días/año</b>				

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 59.** Expansión de 50 MW para el año 8

C_Dis	C_Fuera	Prob_Ind	Tk_porct	Pc_loss
480	0	0.671963459	0	0
450	30	0.01371354	0	0
440	40	0.103911875	0	0
430	50	0.154728428	0	0
410	70	0.002120651	0	0
400	80	0.009585262	0	0
390	90	0.023927076	0	0
380	100	0.014202829	0	0
370	110	0.000131174	0	0
360	120	0.000687098	0	0
350	130	0.001769879	0	0
340	140	0.002196314	0	0
330	150	0.000653741	1.133386444	0.000740941
320	160	3.32787E-05	6.608683273	0.000219928
310	170	9.05967E-05	12.0839801	0.001094769
300	180	0.000149113	17.55927693	0.002618322
290	190	0.000100529	23.03457376	0.00231565
280	200	1.57646E-05	28.50987059	0.000449447
270	210	3.48038E-06	33.98516742	0.000118281
260	220	6.25202E-06	39.46046425	0.000246708
250	230	6.51709E-06	44.93576108	0.00029285
240	240	2.30488E-06	50.41105791	0.000116191
230	250	2.24777E-07	55.88635474	1.25619E-05
220	260	1.918E-07	61.36165157	1.17691E-05
210	270	2.38942E-07	66.8369484	1.59702E-05
200	280	1.44513E-07	72.31224523	1.04501E-05
190	290	2.21481E-08	77.78754206	1.72285E-06
180	300	4.32433E-09	83.26283889	3.60056E-07
170	310	5.86349E-09	88.73813572	5.20316E-07
160	320	4.80667E-09	94.21343255	4.52853E-07
150	330	1.29617E-09	99.68872938	1.29213E-07
140	340	6.0656E-11	100	6.0656E-09
130	350	1.07808E-10	100	1.07808E-08
120	360	9.40438E-11	100	9.40438E-09
110	370	3.98339E-11	100	3.98339E-09
100	380	3.75192E-13	100	3.75192E-11
90	390	1.38283E-12	100	1.38283E-10
80	400	1.23206E-12	100	1.23206E-10
70	410	6.15989E-13	100	6.15989E-11
50	430	8.5536E-15	100	8.5536E-13
40	440	1.25712E-14	100	1.25712E-12
30	450	3.81024E-15	100	3.81024E-13
0	480	7.776E-17	100	7.776E-15

**LOLE: 0.03017475 días/año**

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 60.** Cálculo del LOLE para el año 9

C_Dis	C_Fuera	Prob_Ind	Tk_porct	Pc_loss
480	0	0.671963459	0	0
450	30	0.01371354	0	0
440	40	0.103911875	0	0
430	50	0.154728428	0	0
410	70	0.002120651	0	0
400	80	0.009585262	0	0
390	90	0.023927076	0	0
380	100	0.014202829	0	0
370	110	0.000131174	0	0
360	120	0.000687098	0.979542629	0.000673041
350	130	0.001769879	6.002838162	0.010624297
340	140	0.002196314	11.0261337	0.024216849
330	150	0.000653741	16.04942923	0.010492166
320	160	3.32787E-05	21.07272476	0.000701272
310	170	9.05967E-05	26.09602029	0.002364214
300	180	0.000149113	31.11931583	0.004640304
290	190	0.000100529	36.14261136	0.003633392
280	200	1.57646E-05	41.16590689	0.000648965
270	210	3.48038E-06	46.18920243	0.000160756
260	220	6.25202E-06	51.21249796	0.000320182
250	230	6.51709E-06	56.23579349	0.000366494
240	240	2.30488E-06	61.25908903	0.000141195
230	250	2.24777E-07	66.28238456	1.48987E-05
220	260	1.918E-07	71.30568009	1.36764E-05
210	270	2.38942E-07	76.32897562	1.82382E-05
200	280	1.44513E-07	81.35227116	1.17565E-05
190	290	2.21481E-08	86.37556669	1.91305E-06
180	300	4.32433E-09	91.39886222	3.95239E-07
170	310	5.86349E-09	96.42215776	5.65371E-07
160	320	4.80667E-09	100	4.80667E-07
150	330	1.29617E-09	100	1.29617E-07
140	340	6.0656E-11	100	6.0656E-09
130	350	1.07808E-10	100	1.07808E-08
120	360	9.40438E-11	100	9.40438E-09
110	370	3.98339E-11	100	3.98339E-09
100	380	3.75192E-13	100	3.75192E-11
90	390	1.38283E-12	100	1.38283E-10
80	400	1.23206E-12	100	1.23206E-10
70	410	6.15989E-13	100	6.15989E-11
50	430	8.5536E-15	100	8.5536E-13
40	440	1.25712E-14	100	1.25712E-12
30	450	3.81024E-15	100	3.81024E-13
0	480	7.776E-17	100	7.776E-15

**LOLE: 0.215515018 días/año**

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 61.** Expansión de 40 MW para el año 9

<b>C_Dis</b>	<b>C_Fuera</b>	<b>Prob_Ind</b>	<b>Tk_porct</b>	<b>Pc_loss</b>
520	0	0.651804555	0	0
490	30	0.013302134	0	0
480	40	0.120953423	0	0
470	50	0.150086575	0	0
450	70	0.002468437	0	0
440	80	0.01241506	0	0
430	90	0.027851117	0	0
420	100	0.013776744	0	0
410	110	0.000190859	0	0
400	120	0.000954042	0	0
390	130	0.002434595	0	0
380	140	0.002556509	0	0
370	150	0.000638064	0	0
360	160	5.28932E-05	0.979542629	5.18112E-05
350	170	0.000140975	6.002838162	0.000846251
340	180	0.000210529	11.0261337	0.002321324
330	190	0.000117126	16.04942923	0.0018798
320	200	1.629E-05	21.07272476	0.000343276
310	210	6.09387E-06	26.09602029	0.000159026
300	220	1.05379E-05	31.11931583	0.000327931
290	230	9.33746E-06	36.14261136	0.00033748
280	240	2.70867E-06	41.16590689	0.000111505
270	250	3.22445E-07	46.18920243	1.48935E-05
260	260	3.73606E-07	51.21249796	1.91333E-05
250	270	4.27287E-07	56.23579349	2.40288E-05
240	280	2.09324E-07	61.25908903	1.2823E-05
230	290	2.8227E-08	66.28238456	1.87095E-06
220	300	9.94858E-09	71.30568009	7.09391E-07
210	310	1.28559E-08	76.32897562	9.81274E-07
200	320	8.99787E-09	81.35227116	7.31998E-07
190	330	1.92172E-09	86.37556669	1.6599E-07
180	340	1.88566E-10	91.39886222	1.72347E-08
170	350	2.80478E-10	96.42215776	2.70443E-08
160	360	2.35423E-10	100	2.35423E-08
150	370	7.75239E-11	100	7.75239E-09
140	380	2.18362E-12	100	2.18362E-10
130	390	4.57557E-12	100	4.57557E-10
120	400	4.01641E-12	100	4.01641E-10
110	410	1.79253E-12	100	1.79253E-10
100	420	1.12558E-14	100	1.12558E-12
90	430	4.9782E-14	100	4.9782E-12
80	440	4.9156E-14	100	4.9156E-12
70	450	2.21756E-14	100	2.21756E-12
50	470	2.56608E-16	100	2.56608E-14
40	480	4.52563E-16	100	4.52563E-14
30	490	1.14307E-16	100	1.14307E-14

0	520	2.3328E-18	100	2.3328E-16
---	-----	------------	-----	------------

**LOLE: 0.023556439 días/año**

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 62.** Cálculo del LOLE para el año 10

C_Dis	C_Fuera	Prob_Ind	Tk_porct	Pc_loss
520	0	0.651804555	0	0
490	30	0.013302134	0	0
480	40	0.120953423	0	0
470	50	0.150086575	0	0
450	70	0.002468437	0	0
440	80	0.01241506	0	0
430	90	0.027851117	0	0
420	100	0.013776744	0	0
410	110	0.000190859	0	0
400	120	0.000954042	0	0
390	130	0.002434595	2.087639378	0.005082556
380	140	0.002556509	6.696114825	0.017118679
370	150	0.000638064	11.30459027	0.007213049
360	160	5.28932E-05	15.91306572	0.000841694
350	170	0.000140975	20.52154117	0.002893028
340	180	0.000210529	25.13001661	0.005290605
330	190	0.000117126	29.73849206	0.00348314
320	200	1.629E-05	34.34696751	0.000559514
310	210	6.09387E-06	38.95544296	0.00023739
300	220	1.05379E-05	43.5639184	0.000459071
290	230	9.33746E-06	48.17239385	0.000449808
280	240	2.70867E-06	52.7808693	0.000142966
270	250	3.22445E-07	57.38934474	1.85049E-05
260	260	3.73606E-07	61.99782019	2.31628E-05
250	270	4.27287E-07	66.60629564	2.846E-05
240	280	2.09324E-07	71.21477109	1.4907E-05
230	290	2.8227E-08	75.82324653	2.14026E-06
220	300	9.94858E-09	80.43172198	8.00182E-07
210	310	1.28559E-08	85.04019743	1.09326E-06
200	320	8.99787E-09	89.64867287	8.06648E-07
190	330	1.92172E-09	94.25714832	1.81136E-07
180	340	1.88566E-10	98.86562377	1.86427E-08
170	350	2.80478E-10	100	2.80478E-08
160	360	2.35423E-10	100	2.35423E-08
150	370	7.75239E-11	100	7.75239E-09
140	380	2.18362E-12	100	2.18362E-10
130	390	4.57557E-12	100	4.57557E-10
120	400	4.01641E-12	100	4.01641E-10
110	410	1.79253E-12	100	1.79253E-10
100	420	1.12558E-14	100	1.12558E-12
90	430	4.9782E-14	100	4.9782E-12
80	440	4.9156E-14	100	4.9156E-12

70	450	2.21756E-14	100	2.21756E-12
50	470	2.56608E-16	100	2.56608E-14
40	480	4.52563E-16	100	4.52563E-14
30	490	1.14307E-16	100	1.14307E-14
0	520	2.3328E-18	100	2.3328E-16

**LOLE: 0.160094964 días/año**

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 63.** Expansión de 50 MW para el año 10

C_Dis	C_Fuera	Prob_Ind	Tk_porct	Pc_loss
570	0	0.625732373	0	0
540	30	0.012770048	0	0
530	40	0.116115286	0	0
520	50	0.170155294	0	0
500	70	0.0023697	0	0
490	80	0.012450543	0	0
480	90	0.031575209	0	0
470	100	0.019229137	0	0
460	110	0.000183224	0	0
450	120	0.001014618	0	0
440	130	0.002833814	0	0
430	140	0.003568293	0	0
420	150	0.001163611	0	0
410	160	5.84118E-05	0	0
400	170	0.000173498	0	0
390	180	0.000299492	2.087639378	0.000625231
380	190	0.000214701	6.696114825	0.001437662
370	200	4.1161E-05	11.30459027	0.000465308
360	210	7.96585E-06	15.91306572	0.000126761
350	220	1.57554E-05	20.52154117	0.000323324
340	230	1.73851E-05	25.13001661	0.000436889
330	240	7.28535E-06	29.73849206	0.000216655
320	250	9.61149E-07	34.34696751	3.30125E-05
310	260	6.02417E-07	38.95544296	2.34674E-05
300	270	8.3171E-07	43.5639184	3.62325E-05
290	280	5.74449E-07	48.17239385	2.76726E-05
280	290	1.35445E-07	52.7808693	7.14888E-06
270	300	2.24484E-08	57.38934474	1.2883E-06
260	310	2.72859E-08	61.99782019	1.69166E-06
250	320	2.57294E-08	66.60629564	1.71374E-06
240	330	1.02178E-08	71.21477109	7.2766E-07
230	340	1.3101E-09	75.82324653	9.93362E-08
220	350	6.67202E-10	80.43172198	5.36642E-08
210	360	7.4024E-10	85.04019743	6.29502E-08
200	370	4.34338E-10	89.64867287	3.89378E-08
190	380	7.89652E-11	94.25714832	7.44304E-09
180	390	1.19352E-11	98.86562377	1.17998E-09
170	400	1.50749E-11	100	1.50749E-09

160	410	1.11377E-11	100	1.11377E-09
150	420	3.11176E-12	100	3.11176E-10
140	430	1.35135E-13	100	1.35135E-11
130	440	2.30213E-13	100	2.30213E-11
120	450	1.81945E-13	100	1.81945E-11
110	460	7.17011E-14	100	7.17011E-12
100	470	6.96574E-16	100	6.96574E-14
90	480	2.42574E-15	100	2.42574E-13
80	490	2.07597E-15	100	2.07597E-13
70	500	8.87024E-16	100	8.87024E-14
50	520	1.25038E-17	100	1.25038E-15
40	530	1.81025E-17	100	1.81025E-15
30	540	4.57229E-18	100	4.57229E-16
0	570	9.3312E-20	100	9.3312E-18
<b>LOLE: 0.013742443 días/año</b>				

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 64.** Cálculo del LOLE para el año 11

<b>C_Dis</b>	<b>C_Fuera</b>	<b>Prob_Ind</b>	<b>Tk_porct</b>	<b>Pc_loss</b>
570	0	0.625732373	0	0
540	30	0.012770048	0	0
530	40	0.116115286	0	0
520	50	0.170155294	0	0
500	70	0.0023697	0	0
490	80	0.012450543	0	0
480	90	0.031575209	0	0
470	100	0.019229137	0	0
460	110	0.000183224	0	0
450	120	0.001014618	0	0
440	130	0.002833814	0	0
430	140	0.003568293	0.012684104	4.52606E-05
420	150	0.001163611	4.240718935	0.004934547
410	160	5.84118E-05	8.468753766	0.000494676
400	170	0.000173498	12.6967886	0.002202866
390	180	0.000299492	16.92482343	0.005068848
380	190	0.000214701	21.15285826	0.00454154
370	200	4.1161E-05	25.38089309	0.001044703
360	210	7.96585E-06	29.60892792	0.00023586
350	220	1.57554E-05	33.83696275	0.000533113
340	230	1.73851E-05	38.06499758	0.000661765
330	240	7.28535E-06	42.29303241	0.000308119
320	250	9.61149E-07	46.52106724	4.47137E-05
310	260	6.02417E-07	50.74910207	3.05721E-05
300	270	8.3171E-07	54.9771369	4.5725E-05
290	280	5.74449E-07	59.20517173	3.40104E-05
280	290	1.35445E-07	63.43320656	8.59168E-06
270	300	2.24484E-08	67.66124139	1.51889E-06
260	310	2.72859E-08	71.88927622	1.96156E-06

250	320	2.57294E-08	76.11731105	1.95845E-06
240	330	1.02178E-08	80.34534588	8.20955E-07
230	340	1.3101E-09	84.57338072	1.108E-07
220	350	6.67202E-10	88.80141555	5.92485E-08
210	360	7.4024E-10	93.02945038	6.88641E-08
200	370	4.34338E-10	97.25748521	4.22426E-08
190	380	7.89652E-11	100	7.89652E-09
180	390	1.19352E-11	100	1.19352E-09
170	400	1.50749E-11	100	1.50749E-09
160	410	1.11377E-11	100	1.11377E-09
150	420	3.11176E-12	100	3.11176E-10
140	430	1.35135E-13	100	1.35135E-11
130	440	2.30213E-13	100	2.30213E-11
120	450	1.81945E-13	100	1.81945E-11
110	460	7.17011E-14	100	7.17011E-12
100	470	6.96574E-16	100	6.96574E-14
90	480	2.42574E-15	100	2.42574E-13
80	490	2.07597E-15	100	2.07597E-13
70	500	8.87024E-16	100	8.87024E-14
50	520	1.25038E-17	100	1.25038E-15
40	530	1.81025E-17	100	1.81025E-15
30	540	4.57229E-18	100	4.57229E-16
0	570	9.3312E-20	100	9.3312E-18

**LOLE: 0.073881342 días/año**

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 65.** Cálculo del LOLE para el año 12

<b>C_Dis</b>	<b>C_Fuera</b>	<b>Prob_Ind</b>	<b>Tk_porct</b>	<b>Pc_loss</b>
570	0	0.625732373	0	0
540	30	0.012770048	0	0
530	40	0.116115286	0	0
520	50	0.170155294	0	0
500	70	0.0023697	0	0
490	80	0.012450543	0	0
480	90	0.031575209	0	0
470	100	0.019229137	0	0
460	110	0.000183224	3.390132929	0.000621154
450	120	0.001014618	7.269003557	0.007375264
440	130	0.002833814	11.14787418	0.031590997
430	140	0.003568293	15.02674481	0.053619836
420	150	0.001163611	18.90561544	0.021998781
410	160	5.84118E-05	22.78448607	0.001330884
400	170	0.000173498	26.6633567	0.004626036
390	180	0.000299492	30.54222733	0.009147151
380	190	0.000214701	34.42109795	0.007390244
370	200	4.1161E-05	38.29996858	0.001576465
360	210	7.96585E-06	42.17883921	0.00033599
350	220	1.57554E-05	46.05770984	0.000725656



340	230	1.73851E-05	49.93658047	0.000868154
330	240	7.28535E-06	53.81545109	0.000392064
320	250	9.61149E-07	57.69432172	5.54528E-05
310	260	6.02417E-07	61.57319235	3.70927E-05
300	270	8.3171E-07	65.45206298	5.44371E-05
290	280	5.74449E-07	69.33093361	3.98271E-05
280	290	1.35445E-07	73.20980423	9.91587E-06
270	300	2.24484E-08	77.08867486	1.73052E-06
260	310	2.72859E-08	80.96754549	2.20927E-06
250	320	2.57294E-08	84.84641612	2.18305E-06
240	330	1.02178E-08	88.72528675	9.06579E-07
230	340	1.3101E-09	92.60415737	1.21321E-07
220	350	6.67202E-10	96.483028	6.43737E-08
210	360	7.4024E-10	100	7.4024E-08
200	370	4.34338E-10	100	4.34338E-08
190	380	7.89652E-11	100	7.89652E-09
180	390	1.19352E-11	100	1.19352E-09
170	400	1.50749E-11	100	1.50749E-09
160	410	1.11377E-11	100	1.11377E-09
150	420	3.11176E-12	100	3.11176E-10
140	430	1.35135E-13	100	1.35135E-11
130	440	2.30213E-13	100	2.30213E-11
120	450	1.81945E-13	100	1.81945E-11
110	460	7.17011E-14	100	7.17011E-12
100	470	6.96574E-16	100	6.96574E-14
90	480	2.42574E-15	100	2.42574E-13
80	490	2.07597E-15	100	2.07597E-13
70	500	8.87024E-16	100	8.87024E-14
50	520	1.25038E-17	100	1.25038E-15
40	530	1.81025E-17	100	1.81025E-15
30	540	4.57229E-18	100	4.57229E-16
0	570	9.3312E-20	100	9.3312E-18
<b>LOLE: 0.51758002 días/año</b>				

Elaborador por: Dayana Asencio

**Tabla 66.** Expansión de 40 MW para el año 12

<b>C_Dis</b>	<b>C_Fuera</b>	<b>Prob_Ind</b>	<b>Tk_porct</b>	<b>Pc_loss</b>
610	0	0.606960401	0	0
580	30	0.012386947	0	0
570	40	0.131403798	0	0
560	50	0.165050635	0	0
540	70	0.00268171	0	0
530	80	0.015560485	0	0
520	90	0.035732612	0	0
510	100	0.018652263	0	0
500	110	0.000248818	0	0
490	120	0.001357696	0	0
480	130	0.003696055	0	0

470	140	0.004038119	0	0
460	150	0.001134199	3.390132929	0.003845087
450	160	8.7098E-05	7.269003557	0.000633116
440	170	0.000253307	11.14787418	0.002823838
430	180	0.000397556	15.02674481	0.005973972
420	190	0.000243168	18.90561544	0.004597246
410	200	4.16785E-05	22.78448607	0.000949624
400	210	1.29318E-05	26.6633567	0.000344805
390	220	2.42675E-05	30.54222733	0.000741182
380	230	2.33046E-05	34.42109795	0.00080217
370	240	8.30162E-06	38.29996858	0.000317952
360	250	1.17129E-06	42.17883921	4.94036E-05
350	260	1.05701E-06	46.05770984	4.86832E-05
340	270	1.32831E-06	49.93658047	6.63314E-05
330	280	7.75776E-07	53.81545109	4.17488E-05
320	290	1.60216E-07	57.69432172	9.24354E-06
310	300	3.98475E-08	61.57319235	2.45354E-06
300	310	5.14186E-08	65.45206298	3.36545E-06
290	320	4.2191E-08	69.33093361	2.92514E-06
280	330	1.39746E-08	73.20980423	1.02308E-06
270	340	1.94425E-09	77.08867486	1.4988E-07
260	350	1.46576E-09	80.96754549	1.18679E-07
250	360	1.48992E-09	84.84641612	1.26414E-07
240	370	7.27843E-10	88.72528675	6.4578E-08
230	380	1.15899E-10	92.60415737	1.07328E-08
220	390	3.15932E-11	96.483028	3.04821E-09
210	400	3.68298E-11	100	3.68298E-09
200	410	2.38337E-11	100	2.38337E-09
190	420	5.38737E-12	100	5.38737E-10
180	430	4.89137E-13	100	4.89137E-11
170	440	6.75553E-13	100	6.75553E-11
160	450	5.10619E-13	100	5.10619E-11
150	460	1.62903E-13	100	1.62903E-11
140	470	4.72974E-15	100	4.72974E-13
130	480	9.25935E-15	100	9.25935E-13
120	490	7.47205E-15	100	7.47205E-13
110	500	3.01145E-15	100	3.01145E-13
100	510	2.08972E-17	100	2.08972E-15
90	520	8.49009E-17	100	8.49009E-15
80	530	7.98387E-17	100	7.98387E-15
70	540	3.10458E-17	100	3.10458E-15
50	560	3.75114E-19	100	3.75114E-17
40	570	6.33588E-19	100	6.33588E-17
30	580	1.37169E-19	100	1.37169E-17
0	610	2.79936E-21	100	2.79936E-19

**LOLE: 0.077579473 días/año**

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 67.** Cálculo del LOLE para el año 13

<b>C_Dis</b>	<b>C_Fuera</b>	<b>Prob_Ind</b>	<b>Tk_porct</b>	<b>Pc_loss</b>
610	0	0.606960401	0	0
580	30	0.012386947	0	0
570	40	0.131403798	0	0
560	50	0.165050635	0	0
540	70	0.00268171	0	0
530	80	0.015560485	0	0
520	90	0.035732612	0	0
510	100	0.018652263	0.327395145	0.00610666
500	110	0.000248818	3.886038021	0.000966918
490	120	0.001357696	7.444680896	0.010107613
480	130	0.003696055	11.00332377	0.040668894
470	140	0.004038119	14.56196665	0.058802951
460	150	0.001134199	18.12060952	0.020552384
450	160	8.7098E-05	21.6792524	0.00188822
440	170	0.000253307	25.23789528	0.006392944
430	180	0.000397556	28.79653815	0.011448236
420	190	0.000243168	32.35518103	0.007867754
410	200	4.16785E-05	35.9138239	0.001496835
400	210	1.29318E-05	39.47246678	0.00051045
390	220	2.42675E-05	43.03110966	0.001044255
380	230	2.33046E-05	46.58975253	0.001085756
370	240	8.30162E-06	50.14839541	0.000416313
360	250	1.17129E-06	53.70703828	6.29065E-05
350	260	1.05701E-06	57.26568116	6.05301E-05
340	270	1.32831E-06	60.82432404	8.07937E-05
330	280	7.75776E-07	64.38296691	4.99468E-05
320	290	1.60216E-07	67.94160979	1.08853E-05
310	300	3.98475E-08	71.50025266	2.84911E-06
300	310	5.14186E-08	75.05889554	3.85942E-06
290	320	4.2191E-08	78.61753842	3.31695E-06
280	330	1.39746E-08	82.17618129	1.14838E-06
270	340	1.94425E-09	85.73482417	1.6669E-07
260	350	1.46576E-09	89.29346704	1.30883E-07
250	360	1.48992E-09	92.85210992	1.38342E-07
240	370	7.27843E-10	96.4107528	7.01718E-08
230	380	1.15899E-10	99.96939567	1.15864E-08
220	390	3.15932E-11	100	3.15932E-09
210	400	3.68298E-11	100	3.68298E-09
200	410	2.38337E-11	100	2.38337E-09
190	420	5.38737E-12	100	5.38737E-10
180	430	4.89137E-13	100	4.89137E-11
170	440	6.75553E-13	100	6.75553E-11
160	450	5.10619E-13	100	5.10619E-11
150	460	1.62903E-13	100	1.62903E-11
140	470	4.72974E-15	100	4.72974E-13

130	480	9.25935E-15	100	9.25935E-13
120	490	7.47205E-15	100	7.47205E-13
110	500	3.01145E-15	100	3.01145E-13
100	510	2.08972E-17	100	2.08972E-15
90	520	8.49009E-17	100	8.49009E-15
80	530	7.98387E-17	100	7.98387E-15
70	540	3.10458E-17	100	3.10458E-15
50	560	3.75114E-19	100	3.75114E-17
40	570	6.33588E-19	100	6.33588E-17
30	580	1.37169E-19	100	1.37169E-17
0	610	2.79936E-21	100	2.79936E-19

**LOLE: 0.619160264 días/año**

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 68.** Expansión de 50 MW para el año 13

C_Dis	C_Fuera	Prob_Ind	Tk_porct	Pc_loss
660	0	0.582681985	0	0
630	30	0.011891469	0	0
620	40	0.126147646	0	0
610	50	0.182727026	0	0
590	70	0.002574442	0	0
580	80	0.015433544	0	0
570	90	0.039559459	0	0
560	100	0.024508198	0	0
550	110	0.000238866	0	0
540	120	0.001410657	0	0
530	130	0.004170633	0	0
520	140	0.005305899	0	0
510	150	0.001834922	0.327395145	0.000600745
500	160	9.35669E-05	3.886038021	0.000363604
490	170	0.000297483	7.444680896	0.002214665
480	180	0.000529496	11.00332377	0.005826216
470	190	0.000394966	14.56196665	0.005751486
460	200	8.53794E-05	18.12060952	0.001547126
450	210	1.58985E-05	21.6792524	0.000344667
440	220	3.3429E-05	25.23789528	0.000843679
430	230	3.82747E-05	28.79653815	0.001102178
420	240	1.76963E-05	32.35518103	0.000572566
410	250	2.79158E-06	35.9138239	0.000100256
400	260	1.532E-06	39.47246678	6.04717E-05
390	270	2.24588E-06	43.03110966	9.66426E-05
380	280	1.67693E-06	46.58975253	7.81277E-05
370	290	4.85872E-07	50.14839541	2.43657E-05
360	300	8.51052E-08	53.70703828	4.57075E-06
350	310	9.1642E-08	57.26568116	5.24794E-06
340	320	9.36359E-08	60.82432404	5.69534E-06
330	330	4.44467E-08	64.38296691	2.86161E-06
320	340	8.27511E-09	67.94160979	5.62224E-07

310	350	3.00103E-09	71.50025266	2.14575E-07
300	360	3.48706E-09	75.05889554	2.61735E-07
290	370	2.38637E-09	78.61753842	1.87611E-07
280	380	6.70248E-10	82.17618129	5.50785E-08
270	390	1.081E-10	85.73482417	9.2679E-09
260	400	9.39871E-11	89.29346704	8.39244E-09
250	410	8.2477E-11	92.85210992	7.65816E-09
240	420	3.42856E-11	96.4107528	3.3055E-09
230	430	5.10555E-12	99.96939567	5.10398E-10
220	440	1.91226E-12	100	1.91226E-10
210	450	1.96339E-12	100	1.96339E-10
200	460	1.10974E-12	100	1.10974E-10
190	470	2.20035E-13	100	2.20035E-11
180	480	2.84545E-14	100	2.84545E-12
170	490	3.41953E-14	100	3.41953E-12
160	500	2.33157E-14	100	2.33157E-12
150	510	6.53618E-15	100	6.53618E-13
140	520	2.70694E-16	100	2.70694E-14
130	530	4.47019E-16	100	4.47019E-14
120	540	3.28686E-16	100	3.28686E-14
110	550	1.20458E-16	100	1.20458E-14
100	560	1.196E-18	100	1.196E-16
90	570	4.00428E-18	100	4.00428E-16
80	580	3.32523E-18	100	3.32523E-16
70	590	1.24183E-18	100	1.24183E-16
50	610	1.7692E-20	100	1.7692E-18
40	620	2.53435E-20	100	2.53435E-18
30	630	5.48675E-21	100	5.48675E-19
0	660	1.11974E-22	100	1.11974E-20

**LOLE: 0.071344659 días/año**

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 69.** Cálculo del LOLE para el año 14

<b>C_Dis</b>	<b>C_Fuera</b>	<b>Prob_Ind</b>	<b>Tk_porct</b>	<b>Pc_loss</b>
660	0	0.582681985	0	0
630	30	0.011891469	0	0
620	40	0.126147646	0	0
610	50	0.182727026	0	0
590	70	0.002574442	0	0
580	80	0.015433544	0	0
570	90	0.039559459	0	0
560	100	0.024508198	0	0
550	110	0.000238866	2.255954528	0.00053887
540	120	0.001410657	5.520722297	0.007787843
530	130	0.004170633	8.785490066	0.036641051
520	140	0.005305899	12.05025784	0.063937445
510	150	0.001834922	15.3150256	0.028101876
500	160	9.35669E-05	18.57979337	0.001738453

490	170	0.000297483	21.84456114	0.006498383
480	180	0.000529496	25.10932891	0.013295288
470	190	0.000394966	28.37409668	0.011206812
460	200	8.53794E-05	31.63886445	0.002701306
450	210	1.58985E-05	34.90363222	0.000554914
440	220	3.3429E-05	38.16839999	0.001275933
430	230	3.82747E-05	41.43316776	0.00158584
420	240	1.76963E-05	44.69793552	0.000790987
410	250	2.79158E-06	47.96270329	0.000133892
400	260	1.532E-06	51.22747106	7.84803E-05
390	270	2.24588E-06	54.49223883	0.000122383
380	280	1.67693E-06	57.7570066	9.68544E-05
370	290	4.85872E-07	61.02177437	2.96488E-05
360	300	8.51052E-08	64.28654214	5.47112E-06
350	310	9.1642E-08	67.55130991	6.19054E-06
340	320	9.36359E-08	70.81607768	6.63093E-06
330	330	4.44467E-08	74.08084544	3.29265E-06
320	340	8.27511E-09	77.34561321	6.40043E-07
310	350	3.00103E-09	80.61038098	2.41914E-07
300	360	3.48706E-09	83.87514875	2.92478E-07
290	370	2.38637E-09	87.13991652	2.07948E-07
280	380	6.70248E-10	90.40468429	6.05936E-08
270	390	1.081E-10	93.66945206	1.01256E-08
260	400	9.39871E-11	96.93421983	9.11057E-09
250	410	8.2477E-11	100	8.2477E-09
240	420	3.42856E-11	100	3.42856E-09
230	430	5.10555E-12	100	5.10555E-10
220	440	1.91226E-12	100	1.91226E-10
210	450	1.96339E-12	100	1.96339E-10
200	460	1.10974E-12	100	1.10974E-10
190	470	2.20035E-13	100	2.20035E-11
180	480	2.84545E-14	100	2.84545E-12
170	490	3.41953E-14	100	3.41953E-12
160	500	2.33157E-14	100	2.33157E-12
150	510	6.53618E-15	100	6.53618E-13
140	520	2.70694E-16	100	2.70694E-14
130	530	4.47019E-16	100	4.47019E-14
120	540	3.28686E-16	100	3.28686E-14
110	550	1.20458E-16	100	1.20458E-14
100	560	1.196E-18	100	1.196E-16
90	570	4.00428E-18	100	4.00428E-16
80	580	3.32523E-18	100	3.32523E-16
70	590	1.24183E-18	100	1.24183E-16
50	610	1.7692E-20	100	1.7692E-18
40	620	2.53435E-20	100	2.53435E-18
30	630	5.48675E-21	100	5.48675E-19
0	660	1.11974E-22	100	1.11974E-20

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 70.** Expansión de 40 MW para el año 14

C_Disp	C_Fuera	Prob_Ind	Tk_porct	Pc_loss
700	0	0.565201526	0	0
670	30	0.011534725	0	0
660	40	0.139843676	0	0
650	50	0.177245215	0	0
630	70	0.002853953	0	0
620	80	0.018754967	0	0
610	90	0.043854486	0	0
600	100	0.023772952	0	0
590	110	0.000308933	0	0
580	120	0.001831343	0	0
570	130	0.005232297	0	0
560	140	0.005881968	0	0
550	150	0.00178704	2.255954528	0.004031481
540	160	0.00013308	5.520722297	0.000734695
530	170	0.000413677	8.785490066	0.003634358
520	180	0.000672788	12.05025784	0.008107269
510	190	0.000438165	15.3150256	0.006710508
500	200	8.5625E-05	18.57979337	0.001590894
490	210	2.4346E-05	21.84456114	0.000531828
480	220	4.83111E-05	25.10932891	0.001213058
470	230	4.89754E-05	28.37409668	0.001389633
460	240	1.97268E-05	31.63886445	0.000624133
450	250	3.18479E-06	34.90363222	0.000111161
440	260	2.48891E-06	38.16839999	9.49977E-05
430	270	3.32674E-06	41.43316776	0.000137837
420	280	2.15751E-06	44.69793552	9.64363E-05
410	290	5.55043E-07	47.96270329	2.66214E-05
400	300	1.28512E-07	51.22747106	6.58334E-06
390	310	1.56269E-07	54.49223883	8.51545E-06
380	320	1.41135E-07	57.7570066	8.15152E-06
370	330	5.76894E-08	61.02177437	3.52031E-06
360	340	1.058E-08	64.28654214	6.80152E-07
350	350	5.66026E-09	67.55130991	3.82358E-07
340	360	6.19153E-09	70.81607768	4.3846E-07
330	370	3.64818E-09	74.08084544	2.7026E-07
320	380	8.98394E-10	77.34561321	6.94869E-08
310	390	1.94888E-10	80.61038098	1.571E-08
300	400	1.95779E-10	83.87514875	1.6421E-08
290	410	1.51594E-10	87.13991652	1.32099E-08
280	420	5.33645E-11	90.40468429	4.8244E-09
270	430	8.19537E-12	93.66945206	7.67655E-10
260	440	4.67451E-12	96.93421983	4.5312E-10
250	450	4.3788E-12	100	4.3788E-10

240	460	2.10501E-12	100	2.10501E-10
230	470	3.666E-13	100	3.666E-11
220	480	8.49686E-14	100	8.49686E-12
210	490	9.2071E-14	100	9.2071E-12
200	500	5.59084E-14	100	5.59084E-12
190	510	1.29411E-14	100	1.29411E-12
180	520	1.11621E-15	100	1.11621E-13
170	530	1.45947E-15	100	1.45947E-13
160	540	1.0183E-15	100	1.0183E-13
150	550	3.12929E-16	100	3.12929E-14
140	560	9.28095E-18	100	9.28095E-16
130	570	1.72947E-17	100	1.72947E-15
120	580	1.30861E-17	100	1.30861E-15
110	590	4.81831E-18	100	4.81831E-16
100	600	3.588E-20	100	3.588E-18
90	610	1.3729E-19	100	1.3729E-17
80	620	1.2434E-19	100	1.2434E-17
70	630	4.25771E-20	100	4.25771E-18
50	650	5.30759E-22	100	5.30759E-20
40	660	8.68921E-22	100	8.68921E-20
30	670	1.64602E-22	100	1.64602E-20
0	700	3.35923E-24	100	3.35923E-22

**LOLE: 0.106082049 días/año**

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 71.** Cálculo del LOLE para el año 15

C_Dispon	C_Fuera	Prob_Ind	Tk_porct	Pc_loss
700	0	0,565201526	0	0
670	30	0.011534725	0	0
660	40	0.139843676	0	0
650	50	0.177245215	0	0
630	70	0.002853953	0	0
620	80	0.018754967	0	0
610	90	0.043854486	0	0
600	100	0.023772952	2.105632042	0.050057089
590	110	0.000308933	5.100841204	0.001575818
580	120	0.001831343	8.096050367	0.014826647
570	130	0.005232297	11.09125953	0.058032768
560	140	0.005881968	14.08646869	0.082856151
550	150	0.00178704	17.08167786	0.030525645
540	160	0.00013308	20.07688702	0.002671823
530	170	0.000413677	23.07209618	0.009544404
520	180	0.000672788	26.06730535	0.017537771
510	190	0.000438165	29.06251451	0.012734176
500	200	8.5625E-05	32.05772367	0.002744942
490	210	2.4346E-05	35.05293283	0.000853398
480	220	4.83111E-05	38.048142	0.001838146



470	230	4.89754E-05	41.04335116	0.002010115
460	240	1.97268E-05	44.03856032	0.000868739
450	250	3.18479E-06	47.03376949	0.000149792
440	260	2.48891E-06	50.02897865	0.000124518
430	270	3.32674E-06	53.02418781	0.000176398
420	280	2.15751E-06	56.01939697	0.000120862
410	290	5.55043E-07	59.01460614	3.27556E-05
400	300	1.28512E-07	62.0098153	7.969E-06
390	310	1.56269E-07	65.00502446	1.01583E-05
380	320	1.41135E-07	68.00023363	9.59719E-06
370	330	5.76894E-08	70.99544279	4.09569E-06
360	340	1.058E-08	73.99065195	7.82822E-07
350	350	5.66026E-09	76.98586112	4.3576E-07
340	360	6.19153E-09	79.98107028	4.95205E-07
330	370	3.64818E-09	82.97627944	3.02712E-07
320	380	8.98394E-10	85.9714886	7.72363E-08
310	390	1.94888E-10	88.96669777	1.73385E-08
300	400	1.95779E-10	91.96190693	1.80042E-08
290	410	1.51594E-10	94.95711609	1.43949E-08
280	420	5.33645E-11	97.95232526	5.22717E-09
270	430	8.19537E-12	100	8.19537E-10
260	440	4.67451E-12	100	4.67451E-10
250	450	4.3788E-12	100	4.3788E-10
240	460	2.10501E-12	100	2.10501E-10
230	470	3.666E-13	100	3.666E-11
220	480	8.49686E-14	100	8.49686E-12
210	490	9.2071E-14	100	9.2071E-12
200	500	5.59084E-14	100	5.59084E-12
190	510	1.29411E-14	100	1.29411E-12
180	520	1.11621E-15	100	1.11621E-13
170	530	1.45947E-15	100	1.45947E-13
160	540	1.0183E-15	100	1.0183E-13
150	550	3.12929E-16	100	3.12929E-14
140	560	9.28095E-18	100	9.28095E-16
130	570	1.72947E-17	100	1.72947E-15
120	580	1.30861E-17	100	1.30861E-15
110	590	4.81831E-18	100	4.81831E-16
100	600	3.588E-20	100	3.588E-18
90	610	1.3729E-19	100	1.3729E-17
80	620	1.2434E-19	100	1.2434E-17
70	630	4.25771E-20	100	4.25771E-18
50	650	5.30759E-22	100	5.30759E-20
40	660	8.68921E-22	100	8.68921E-20
30	670	1.64602E-22	100	1.64602E-20
0	700	3.35923E-24	100	3.35923E-22

**LOLE: 1.056003146 días/año**

Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 72.** Expansión de 50 MW para el año 15

C_Dis	C_Fuera	Prob_Ind	Tk_porct	Pc_loss
750	0	0.542593465	0	0
720	30	0.011073336	0	0
710	40	0.134249929	0	0
700	50	0.192763468	0	0
680	70	0.002739794	0	0
670	80	0.018466157	0	0
660	90	0.047694054	0	0
650	100	0.029911843	0	0
640	110	0.000296576	0	0
630	120	0.001872248	0	0
620	130	0.005773204	0	0
610	140	0.007400868	0	0
600	150	0.002666477	2.105632042	0.005614619
590	160	0.000140114	5.100841204	0.000714698
580	170	0.000470384	8.096050367	0.003808253
570	180	0.000855168	11.09125953	0.009484895
560	190	0.000655917	14.08646869	0.009239555
550	200	0.000153682	17.08167786	0.002625139
540	210	2.86953E-05	20.07688702	0.000576113
530	220	6.29257E-05	23.07209618	0.001451828
520	230	7.39279E-05	26.06730535	0.001927102
510	240	3.64643E-05	29.06251451	0.001059744
500	250	6.48239E-06	32.05772367	0.000207811
490	260	3.36319E-06	35.05293283	0.00011789
480	270	5.12611E-06	38.048142	0.000195039
470	280	4.03023E-06	41.04335116	0.000165414
460	290	1.32191E-06	44.03856032	5.82151E-05
450	300	2.50763E-07	47.03376949	1.17943E-05
440	310	2.49575E-07	50.02897865	1.2486E-05
430	320	2.68559E-07	53.02418781	1.42401E-05
420	330	1.41682E-07	56.01939697	7.93696E-06
410	340	3.23585E-08	59.01460614	1.90963E-06
400	350	1.05743E-08	62.0098153	6.55712E-07
390	360	1.21946E-08	65.00502446	7.92712E-07
380	370	9.14764E-09	68.00023363	6.22042E-07
370	380	3.17004E-09	70.99544279	2.25058E-07
360	390	6.10292E-10	73.99065195	4.51559E-08
350	400	4.14359E-10	76.98586112	3.18998E-08
340	410	3.93191E-10	79.98107028	3.14478E-08
330	420	1.97157E-10	82.97627944	1.63594E-08
320	430	4.38033E-11	85.9714886	3.76584E-09
310	440	1.2283E-11	88.96669777	1.09278E-09
300	450	1.20348E-11	91.96190693	1.10675E-09
290	460	8.08456E-12	94.95711609	7.67687E-10

280	470	2.48651E-12	97.95232526	2.4356E-10
270	480	4.09384E-13	100	4.09384E-11
260	490	2.75368E-13	100	2.75368E-11
250	500	2.28824E-13	100	2.28824E-11
240	510	9.6624E-14	100	9.6624E-12
230	520	1.57356E-14	100	1.57356E-12
220	530	4.79983E-15	100	4.79983E-13
210	540	4.66041E-15	100	4.66041E-13
200	550	2.53675E-15	100	2.53675E-13
190	560	5.26556E-16	100	5.26556E-14
180	570	6.12512E-17	100	6.12512E-15
170	580	7.09413E-17	100	7.09413E-15
160	590	4.53575E-17	100	4.53575E-15
150	600	1.25516E-17	100	1.25516E-15
140	610	5.03036E-19	100	5.03036E-17
130	620	8.11155E-19	100	8.11155E-17
120	630	5.64316E-19	100	5.64316E-17
110	640	1.92733E-19	100	1.92733E-17
100	650	1.94473E-21	100	1.94473E-19
90	660	6.32575E-21	100	6.32575E-19
80	670	5.13162E-21	100	5.13162E-19
70	680	1.70309E-21	100	1.70309E-19
50	700	2.44552E-23	100	2.44552E-21
40	710	3.47569E-23	100	3.47569E-21
30	720	6.58409E-24	100	6.58409E-22
0	750	1.34369E-25	100	1.34369E-23
<b>LOLE: 0.136134447 días/año</b>				

Elaborado por: Dayana Asencio

Una vez obtenidas las tablas del LOLE es posible verificar el crecimiento anual de la demanda en un 9%, mostrada en la Tabla 73. Mientras que en la

Tabla 74, es posible verificar el resultado final que se logra obtener para el horizonte de 15 años, especificando las unidades que se necesitaron añadir para cada año.

**Tabla 73. Crecimiento anual de demanda**  
**Crecimiento anual de la demanda**

Año	Carga máxima (MW)
1	181.65
2	198.00
3	215.82
4	235.24
5	256.42
6	279.49
7	304.65
8	332.07
9	361.95
10	394.53

11	430.03
12	468.74
13	510.92
14	556.91
15	607.03

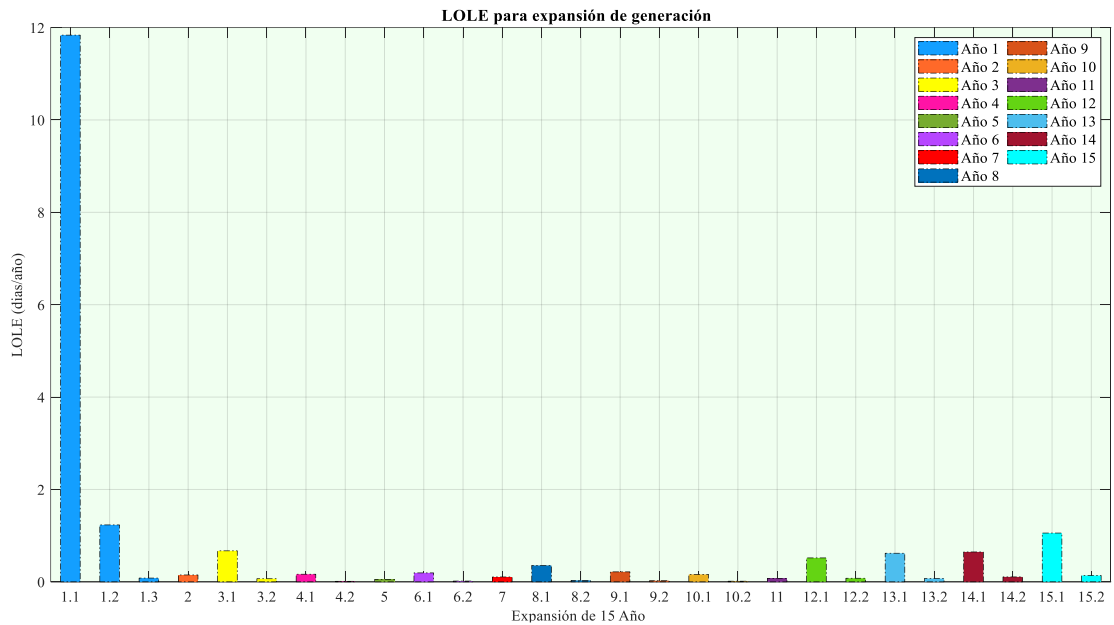
Elaborado por: Dayana Asencio

**Tabla 74.** Expansión de unidades para un horizonte de 15 años

Año	Unidad añadida [MW]	Capacidad del sistema [MW]	Carga máxima [MW]	LOLE [días/año]
1	*	210	181.65	11.83723753
1	40	250	181.65	1.232007304
1	50	300	181.65	0.081401467
2	*	300	198.00	0.148789377
3	*	300	215.82	0.670691579
3	40	340	215.82	0.066429206
4	*	340	235.24	0.164823151
4	50	390	235.24	0.011549324
5	*	390	256.42	0.05204779
6	*	390	279.49	0.192983369
6	40	430	279.49	0.016825988
7	*	430	304.65	0.105539411
8	*	430	332.07	0.354271615
8	50	480	332.07	0.03017475
9	*	480	361.95	0.215515018
9	40	520	361.95	0.023556439
10	*	520	394.53	0.160094964
10	50	570	394.53	0.013742443
11	*	570	430.03	0.073881342
12	*	570	468.74	0.51758002
12	40	610	468.74	0.077579473
13	0	610	510.92	0.619160264
13	50	660	510.92	0.071344659
14	*	660	556.91	0.646558523
14	40	700	556.91	0.106082049
15	*	700	607.03	1.056003146
15	50	750	607.03	0.136134447

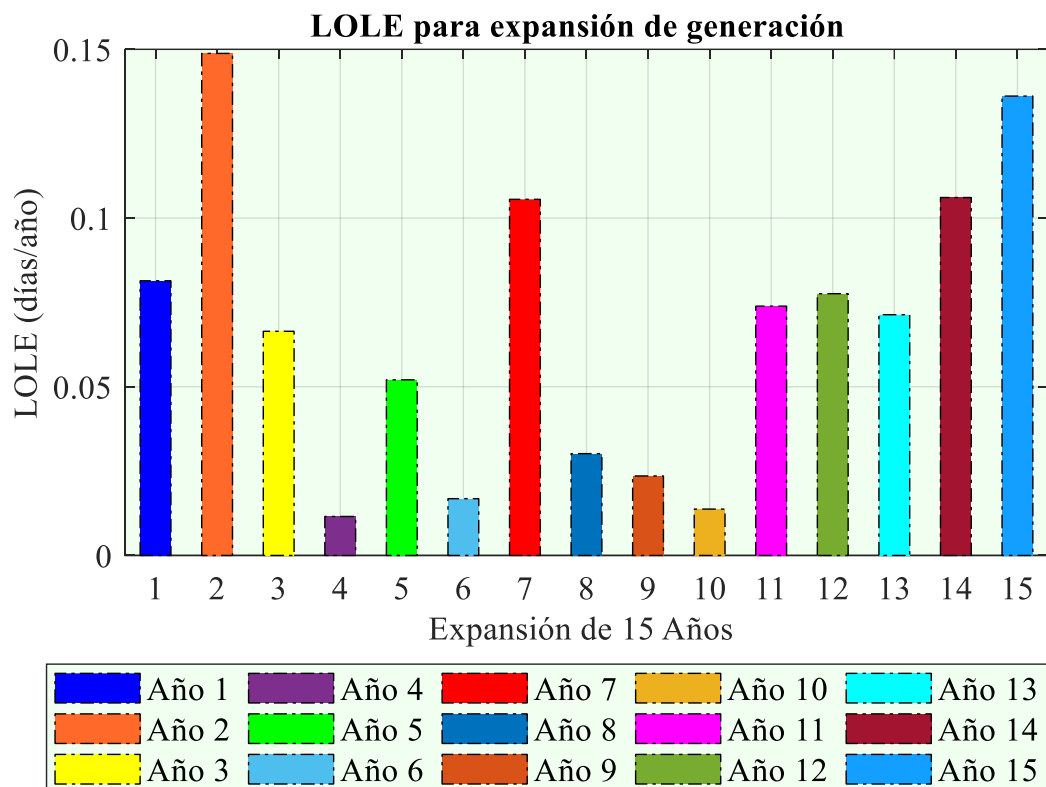
Elaborado por: Dayana Asencio

Para visualizar el resultado de una manera mas clara y detallada, se grafica los resultados obtenidos en la tabla anterior, obteniendo de esta manera la Figura 17.



**Figura 17.** Proyección del LOLE para 15 años  
Elaborado por: Dayana Asencio

Finalmente es posible obtener una gráfica del LOLE una vez que el mismo cumple el criterio de riesgo, es decir, manteniéndose dentro de los 0.15 establecidos con anterioridad en la Figura 18.



**Figura 18.** Cumplimiento del criterio de riesgo  
Elaborado por: Dayana Asencio

## CONCLUSIONES

Para poder garantizar que un sistema eléctrico sea confiable y seguro, es necesario la ayuda de indicadores probabilísticos que permitan mantener los criterios de riesgos sugeridos en cada caso. Uno de los indicadores más usados para estos casos es el LOLE (Loss of Load expectation), en vista que este, garantiza la confiabilidad de un equipo o elemento, medido en días por año, el cual a medida que la carga, las Tasas Forzada de Salida (FOR) y la capacidad de las unidades de generación varien; este incrementara o decrementara según amerite el caso

La modelación matemática propuesta en el presente trabajo ha permitido realizar un análisis sobre los cambios que sufre el LOLE a medida que los datos van cambiando, además se puede apreciar con que datos los sistemas pueden ser más confiables y cuales son los que no cumplen con los criterios de riesgos establecidos. Es necesario considerar cuales no cumplen con dichos parámetros, pues deben ser modificados mediante el incremento de unidades de generación para que el LOLE pueda ser reducido a tal punto de que garantice su confiabilidad.

Por consiguiente, el planteamiento del modelo genérico establece los principales parámetros con los que se va a trabajar en cada sistema y si cualesquiera de los sistemas planteados no estuviese dentro del criterio de riesgo, realizar la expansión de generación para los años que se requieran y que permitan verificar la seguridad de los elementos. Por otra parte es importante mencionar que las unidades de generación añadidas están ligadas a factores exteriores, como el entorno en que se se realizara, el presupuesto monetario que se vaya a emplear, y en especial el tiempo que este tardara en ser construido.

En consecuencia, el estudio realizado permite garantizar operatividad de los sistemas eléctricos de potencia y determina cuando un elemento o sistema debe ser sometido a expansiones. Tomando en cuenta que la planificación realizada con anterioridad sea la adecuada para la demanda, de donde resulta la obtención de un indicador confiable, estable y seguro, que cumpla ante todo, las normativas establecidas en los sistemas.

## **RECOMENDACIONES**

En base a los resultados obtenidos en la presente investigación es recomendable verificar que los valores que tome el LOLE estén dentro del rango establecido, puesto que si este excede de sus límites es necesario utilizar expansiones de unidades hasta que el LOLE este dentro de los parámetros de criterio de riesgo. Permitiendo que los sistemas o equipos funcionen de manera segura y garanticen su confiabilidad.

Al mismo tiempo se debe considerar que producto de dichas expansiones se produce un incremento referente a los costos, debido al aumento de las unidades de generación que debe ser considerado para la realización de este tipo de trabajos.

## REFERENCIAS

- [1] W. Olalla, V. Orejuela, E.P. Nacional, “Optimización De Recursos En Redes De Distribución,” vol. 19, 2005
- [2] A. Gary, “Evaluación de Confiabilidad en Sistemas Eléctricos de Distribución”. *Sistemas Electricos de Distribucion*, 2008
- [3] R. Llumiyinga, “Estudio de confiabilidad el sistema de subtransmisión de la Empresa Eléctrica Quito SA utilizando el software Power Factory de Digsilent,” 2011. Retrieved from: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4357>  
<http://eelalnx01.epn.edu.ec/handle/15000/4357>
- [4] “IEEE guide for electric power distribution reliability indices,” IEEE Std 1366-2003 (Revision of IEEE Std 1366-1998), 2004.
- [5] C. Subcommittee, “Report to the Planning Committee Reliability Fundamentals of System Protection NERC System Protection and Control Subcommittee,” December 2011.
- [6] J. Pérez, A. Edgar, and J. Roberto, “Análisis de la confiabilidad energética en estudios de suficiencia en el mercado restructurado parte I,” vol. 3, no. 6, pp. 1–13, 2016.
- [7] J. Bowen, G. Canavos, and P. Hoel, “Applied Probability and Statistical Methods”. *Journal of the American Statistical Association*. <https://doi.org/10.2307/2288011>.
- [8] C. J. Zapata, “Confiabilidad en Ingeniería”. *Universidad Tecnologica de Pereira*, p.1–154. 2011. Retrieved from: [http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/lapsee/curso\\_2011\\_zapata\\_1.pdf](http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/lapsee/curso_2011_zapata_1.pdf)
- [9] C. J. Zapata, “Confiabilidad De Sistemas Eléctricos De Potencia,” *Confiabilidad Sist. Eléctricos Potencia*, p. 85, 2011.
- [10] A. Patton, A. Ayoub, and Singh, “ Power system reliability evaluation”. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 1(3), 139–150. 1979. [https://doi.org/10.1016/0142-0615\(79\)90001-2](https://doi.org/10.1016/0142-0615(79)90001-2)
- [11] A. Chowdhury, “POWER DISTRIBUTION Practical Methods and Applications.” 2009. Retrieved from [www.wiley.com](http://www.wiley.com). [https://doi.org/10.1016/S0003-4975\(10\)62926-8](https://doi.org/10.1016/S0003-4975(10)62926-8).



- [12] R. Billinton and R. Allan (1978). "Reability Evaluation of Power Systems." second edition. p.154. 1996. [https://doi.org/10.1016/S0003-4975\(10\)62926-8](https://doi.org/10.1016/S0003-4975(10)62926-8)
- [13] C. Singh, P. Jirutitijaroen, and J. Mitra, "Electric Power Grid Reliability Evaluation." *Electric Power Grid Reliability Evaluation*. 2018. <https://doi.org/10.1002/9781119536772>.
- [14] R. Allan, E. Dialynas, and I. Homer, "Modelling and evaluating the reliability of distributions systems." (IEEE, Ed.) *Trans. Power Apparatus Syst.*, 96(6), 2181-2189. 1979.
- [15] R. Billinton and K. Bollinger, "Transmisión System Reliability evaluation using Markov Processes." (IEEE, Ed.) *Transactions Power Apparatus Syst.*, 87(2), 538-547. February 1968.
- [16] R. Billinton, and M. Grover, "Quantitative evaluation of permanent outages in distribution systems". *Trans. Power Apparatus Syst.*, 94(3), 733-741. 1975.
- [17] J.Endrenyi, "Tree stage models in power system reliability evaluations". *IEEE Trans. Power Apparatus Syst.*, 1909-1916. 1971
- [18] M. Grover, and R. Billinton, "A computerized approach to substation and switching station reliability evaluation." *Trans. Power Apparatus Syst.*, 93(5), 1488-1497. September de 1974
- [19] F. Montmeat, D. Gaver, and A. Patton, "Power System Reliability and Methods of calculation." (IEEE, Ed.) *Transactions Power Apparatus*, 83, 727-737. July 1964
- [20] R. Ringlee, and S. Goode, "On procedures for reliability evaluation of transmission systemns." *Trans. Power Apparatus Syst.*, 89(4), 527-537.
- [21] P. Issn, "Valoración De Confiabilidad De Sistemas De Generación Con Recursos Limitados De Energía Utilizando Simulación De Montecarlo." *Scientia Et Technica*, XI(29), 43-48. 2005. <https://doi.org/10.22517/23447214.6609>
- [22] R. Billinton, M. Fotuhi-Firuzabad, and L. Bertling, "Bibliography on the Application of Probability Methods in Power System Reliability Evaluation 1996-1999," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 16, no. 4, pp. 595-602, 2001.
- [23] S. Goode, "POWER DISTRIBUTION". 2011. <https://doi.org/10.1016/S0003-4975>.
- [24] N.R. Karki et al. (eds.), *Sustainable Power Systems, Reliable and Sustainable Electric Power and Energy Systems Management*, doi 10.1007/978-981-10-

2230-2\_4

- [25] R. Billinton and C. Singh, "System Load Representation in Generating Capacity Reliability Studies Part II. Applications and Extensions," *IEEE Trans. Power App. Syst.*, vol. PAS-91, no. 5, pp. 2133–2143, 1972. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- [26] Esmaili, M. (2013). Placement of minimum distributed generation units observing power losses and voltage stability with network constraints. *IET Generation, Transmission and Distribution*, 7(8), 813–821. <https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2013.0140>
- [27] K. Jiang, and C. Singh, "New models and concepts for power system reliability evaluation including protection system failures." *IEEE Transactions on Power Systems*, 26(4),1845–1855. 2011. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2011.21>.
- [28] V. Venu, and A. Verma, "Reliability of electric power systems: Challenges in the deregulated environment a research perspective." *International Journal of Systems Assurance Engineering and Management*, 1(1), 24–31. 2010. <https://doi.org/10.1007/s13198-010-0013-x>.
- [29] L. Kelley Regner, "POWER SYSTEM RELIABILITY ANALYSIS APPLICATION GUIDE CIGRE WG 03 of SC 38 (Power system analysis and techniques) - 1987," *Cigre*, vol. 38, no. Power System Reliability, p. 139, 198

## ANEXOS

### Anexo 1: Programación en MATLAB

```
%% Autor: Dayana Asencio
% *****
clc; clearvars; close all;
warning ('off','all');
% *****
%INGRESO N° GENERADORES
Ng=xlsread('Cap.xls','Hojal');
[n,p]=size(Ng);
% Número de unidades de generación
Filas = 2^n; % Número de filas
Columnas = n;

M_Lg = zeros(Filas,Columnas); % crea una matriz de dimensión [2^n,n]

contador = 1;
auxiliar = Filas;
valor = 1;
for c=1:Columnas
    auxiliar = auxiliar/2; % Valores [4 2 1] ***[8/2 4/2 2/2]****
    for f=1:Filas

        M_Lg(f,c) = valor; % Empieza en 1;

        if contador==auxiliar

            contador = 0;
            if valor == 1
                valor = 0;
            else
                valor = 1;
            end
        end

        contador = contador + 1;
    end
end

%% Tabla de Verdad

FOR=Ng(:,3); % INGRESO DE FOR DESDE EXCEL

conf=zeros(Filas,Columnas);
for i=1:n
    for j=1:Filas
        if M_Lg(j,i)==1
            conf(j,i)=1-FOR(i);
        else
            conf(j,i)=FOR(i);
        end
    end
end

P_ind = prod(conf')'; % Probabilidad Individual
```

```

% Capacidad Acumulada

P_acu=zeros(size(P_ind));
P_acu(Filas)=P_ind(Filas);

for i=Filas-1:-1:1
    suma_P=P_acu(i+1)+P_ind(i);
    P_acu(i)=suma_P;
end

%% CAPACIDAD FUERA Y CAPACIDAD DISPONIBLE
V_gen=Ng(:,2); % INGRESO DE EXCEL PARA CAPACIDAD DE GENERADOR **OK**

carr=zeros(Filas,Columnas);
for i=1:n
    for j=1:Filas
        if M_Lg(j,i)==1
            carr(j,i)=V_gen(i);
        else
            carr(j,i)=V_gen(i)-V_gen(i);
        end
    end
end

Cap_disp = sum(carr)'; % Capacidad Disponible **OK**
% ORDENADO

carr1=zeros(Filas,Columnas);
for i=1:n
    for j=1:Filas
        if M_Lg(j,i)==1;
            carr1(j,i)=V_gen(i)-V_gen(i);
        else
            carr1(j,i)=V_gen(i);
        end
    end
end

Cap_fuera = sum(carr1)'; % Capacidad Fuera **OK**

```

```

%% SEGUNDA TABLA CÁLCULO DEL **LOLE**

% Reducción de generadores

Unida=zeros(Filas,2);
Unida=[Cap_fuera P_ind ];
Mat = [ ];% matriz unida
for i=1:Filas

    [~,a] = ismember(Unida(:,1),Cap_fuera(i)); % Busca la capacidad fuera
    b= find(a==1); % Encuentra las posiciones
    c = sum(Unida(b,2));
    if i>1
        if ~ismember(Cap_fuera(i),Mat(:,1),'rows')
            Mat = [Mat; Cap_fuera(i) c];
        end
    else
        Mat = [Mat; Cap_fuera(i) c];
    end
end

%disp(Mat)

% Matriz de Capacidad Fuera y Probabilidad Individual 'REDUCIDA'
subcap_F=Mat(:,1);
subpro_I=Mat(:,2);

% Cálculo del LOLE
P_inst=sum(V_gen); %P. INSTALADA
P_inst=xlsread('Cap.xls','L2:L2'); %P. INSTALADA
Pc_100=xlsread('Cap.xls','Hoja2','B1:B1'); %P CARGA AL 100%
Pc_x=xlsread('Cap.xls','Hoja2','B2:B2'); %P CARGA AL X%

tk=zeros(size(subcap_F));
pot_inst=zeros(size(subcap_F));
pot_inst(1:end)=P_inst;

rest_P=pot_inst-subcap_F;
rr=size(rest_P);

[Pot_Fuera, Pb_Ind]=sort(subcap_F);

Result_Pind=subpro_I(Pb_Ind); % Variable

for i=1:1:rr

    ccp(i)= P_inst-Pot_Fuera(i);
end

CCap_disp = (ccp'); % Capacidad Disponible Reducible **OK**

```

```

%% Cálculo del Tk
for i=1:1:rr
    if CCap_disp(i) >= Pc_100
        tk(i)=0;
    elseif CCap_disp(i) >= Pc_x

        angle_tk=(atan((Pc_100-Pc_x)/100));
        tk(i)=(Pc_100-CCap_disp(i))/(tan(angle_tk));

    else CCap_disp(i) >= 0
        tk(i)=100;
    end
end

end

%disp(tk)
% PÉRDIDA DE CARGA (%)
Pc_loss=Result_Pind.*tk;

%% TABLAS DE PÉRDIDA DE CAPACIDAD
switch n % Número de generadores
    case 2

        T1=table(M_Lg(:,1),conf(:,1),M_Lg(:,2),conf(:,2),P_ind,P_acu,Cap_disp,Cap_fuera,...
            'VariableNames',{'G1','C1','G2','C2','Pro_Ind','Pro_Acu','C_disp','C_Fuera'})
        T2=table(CCap_disp,Pot_Fuera,Result_Pind,tk,Pc_loss,'VariableNames',{'C_Displ',...
            'C_Fuera','Prob_Ind','Tk_porct','Pc_loss'})

        case 3

        T1=table(M_Lg(:,1),conf(:,1),M_Lg(:,2),conf(:,2),M_Lg(:,3),conf(:,3),P_ind,P_acu,...
            Cap_disp,Cap_fuera,'VariableNames',{'G1','C1','G2','C2','G3','C3','Pro_Ind',...
            'Pro_Acu','C_disp','C_Fuera'})
        T2=table(CCap_disp,Pot_Fuera,Result_Pind,tk,Pc_loss,'VariableNames',{'C_Displ',...
            'C_Fuera','Prob_Ind','Tk_porct','Pc_loss'})

        case 4

        T1=table(M_Lg(:,1),conf(:,1),M_Lg(:,2),conf(:,2),M_Lg(:,3),conf(:,3),M_Lg(:,4),...
            conf(:,4),P_ind,P_acu,Cap_disp,Cap_fuera,'VariableNames',{'G1','C1','G2',...
            'C2','G3','C3','G4','C4','Pro_Ind','Pro_Acu','C_disp','C_Fuera'})
        T2=table(CCap_disp,Pot_Fuera,Result_Pind,tk,Pc_loss,'VariableNames',{'C_Displ',...
            'C_Fuera','Prob_Ind','Tk_porct','Pc_loss'})

        case 5

        T1=table(M_Lg(:,1),conf(:,1),M_Lg(:,2),conf(:,2),M_Lg(:,3),conf(:,3),M_Lg(:,4),...
            conf(:,4),M_Lg(:,5),conf(:,5),P_ind,P_acu,Cap_disp,Cap_fuera,'VariableNames',...
            {'G1','C1','G2','C2','G3','C3','G4','C4','G5','C5','Pro_Ind','Pro_Acu','C_disp','C_Fuera'})
        T2=table(CCap_disp,Pot_Fuera,Result_Pind,tk,Pc_loss,'VariableNames',{'C_Displ',...
            'C_Fuera','Prob_Ind','Tk_porct','Pc_loss'})

        case 6

        T1=table(M_Lg(:,1),conf(:,1),M_Lg(:,2),conf(:,2),M_Lg(:,3),conf(:,3),M_Lg(:,4),...
            conf(:,4),M_Lg(:,5),conf(:,5),M_Lg(:,6),conf(:,6),P_ind,P_acu,Cap_disp,Cap_fuera,...
            'VariableNames',{'G1','C1','G2','C2','G3','C3','G4','C4','G5','C5','G6','C6',...
            'Pro_Ind','Pro_Acu','C_disp','C_Fuera'})
        T2=table(CCap_disp,Pot_Fuera,Result_Pind,tk,Pc_loss,'VariableNames',{'C_Displ',...
            'C_Fuera','Prob_Ind','Tk_porct','Pc_loss'})

        case 7

        T1=table(M_Lg(:,1),conf(:,1),M_Lg(:,2),conf(:,2),M_Lg(:,3),conf(:,3),M_Lg(:,4),...
            conf(:,4),M_Lg(:,5),conf(:,5),M_Lg(:,6),conf(:,6),M_Lg(:,7),conf(:,7),P_ind,...
            P_acu,Cap_disp,Cap_fuera,'VariableNames',{'G1','C1','G2','C2','G3','C3','G4',...
            'C4','G5','C5','G6','C6','G7','C7','Pro_Ind','Pro_Acu','C_disp','C_Fuera'})
        T2=table(CCap_disp,Pot_Fuera,Result_Pind,tk,Pc_loss,'VariableNames',{'C_Displ',...
            'C_Fuera','Prob_Ind','Tk_porct','Pc_loss'})

```

```

case 8
T1=table(M_Lg(:,1),conf(:,1),M_Lg(:,2),conf(:,2),M_Lg(:,3),conf(:,3),M_Lg(:,4),...
conf(:,4),M_Lg(:,5),conf(:,5),M_Lg(:,6),conf(:,6),M_Lg(:,7),conf(:,7),...
M_Lg(:,8),conf(:,8),P_ind,P_acu,Cap_disp,Cap_fuera,'VariableNames',{'G1',...
'C1','G2','C2','G3','C3','G4','C4','G5','C5','G6','C6','G7','C7','G8','C8',...
'Pro_Ind','Pro_Acu','C_disp','C_Fuera'})
T2=table(CCap_disp,Pot_Fuera,Result_Pind,tk,Pc_loss,'VariableNames',{'C_Disp',...
'C_Fuera','Prob_Ind','Tk_porct','Pc_loss'})

case 9
T1=table(M_Lg(:,1),conf(:,1),M_Lg(:,2),conf(:,2),M_Lg(:,3),conf(:,3),M_Lg(:,4),...
conf(:,4),M_Lg(:,5),conf(:,5),M_Lg(:,6),conf(:,6),M_Lg(:,7),conf(:,7),M_Lg(:,8),...
conf(:,8),M_Lg(:,9),conf(:,9),P_ind,P_acu,Cap_disp,Cap_fuera,'VariableNames',...
{'G1','C1','G2','C2','G3','C3','G4','C4','G5','C5','G6','C6','G7','C7','G8',...
'C8','G9','C9','Pro_Ind','Pro_Acu','C_disp','C_Fuera'})
T2=table(CCap_disp,Pot_Fuera,Result_Pind,tk,Pc_loss,'VariableNames',{'C_Disp',...
'C_Fuera','Prob_Ind','Tk_porct','Pc_loss'})

case 10
T1=table(M_Lg(:,1),conf(:,1),M_Lg(:,2),conf(:,2),M_Lg(:,3),conf(:,3),M_Lg(:,4),...
conf(:,4),M_Lg(:,5),conf(:,5),M_Lg(:,6),conf(:,6),M_Lg(:,7),conf(:,7),M_Lg(:,8),...
conf(:,8),M_Lg(:,9),conf(:,9),M_Lg(:,10),conf(:,10),P_ind,P_acu,Cap_disp,Cap_fuera,...
'VariableNames',{'G1','C1','G2','C2','G3','C3','G4','C4','G5','C5','G6','C6',...
'G7','C7','G8','C8','G9','C9','G10','C10','Pro_Ind','Pro_Acu','C_disp','C_Fuera'})
T2=table(CCap_disp,Pot_Fuera,Result_Pind,tk,Pc_loss,'VariableNames',{'C_Disp',...
'C_Fuera','Prob_Ind','Tk_porct','Pc_loss'})

case 11
T1=table(M_Lg(:,1),conf(:,1),M_Lg(:,2),conf(:,2),M_Lg(:,3),conf(:,3),M_Lg(:,4),...
conf(:,4),M_Lg(:,5),conf(:,5),M_Lg(:,6),conf(:,6),M_Lg(:,7),conf(:,7),M_Lg(:,8),...
conf(:,8),M_Lg(:,9),conf(:,9),M_Lg(:,10),conf(:,10),M_Lg(:,11),conf(:,11),P_ind,...
P_acu,Cap_disp,Cap_fuera,'VariableNames',{'G1','C1','G2','C2','G3','C3','G4',...
'C4','G5','C5','G6','C6','G7','C7','G8','C8','G9','C9','G10','C10','G11','C11',...
'Pro_Ind','Pro_Acu','C_disp','C_Fuera'})
T2=table(CCap_disp,Pot_Fuera,Result_Pind,tk,Pc_loss,'VariableNames',{'C_Disp',...
'C_Fuera','Prob_Ind','Tk_porct','Pc_loss'})

case 12
T1=table(M_Lg(:,1),conf(:,1),M_Lg(:,2),conf(:,2),M_Lg(:,3),conf(:,3),M_Lg(:,4),...
conf(:,4),M_Lg(:,5),conf(:,5),M_Lg(:,6),conf(:,6),M_Lg(:,7),conf(:,7),M_Lg(:,8),...
conf(:,8),M_Lg(:,9),conf(:,9),M_Lg(:,10),conf(:,10),M_Lg(:,11),conf(:,11),...
M_Lg(:,12),conf(:,12),P_ind,P_acu,Cap_disp,Cap_fuera,'VariableNames',{'G1',...
'C1','G2','C2','G3','C3','G4','C4','G5','C5','G6','C6','G7','C7','G8','C8',...
'G9','C9','G10','C10','G11','C11','G12','C12','Pro_Ind','Pro_Acu','C_disp','C_Fuera'})
T2=table(CCap_disp,Pot_Fuera,Result_Pind,tk,Pc_loss,'VariableNames',{'C_Disp',...
'C_Fuera','Prob_Ind','Tk_porct','Pc_loss'})

case 13
T1=table(M_Lg(:,1),conf(:,1),M_Lg(:,2),conf(:,2),M_Lg(:,3),conf(:,3),M_Lg(:,4),...
conf(:,4),M_Lg(:,5),conf(:,5),M_Lg(:,6),conf(:,6),M_Lg(:,7),conf(:,7),M_Lg(:,8),...
conf(:,8),M_Lg(:,9),conf(:,9),M_Lg(:,10),conf(:,10),M_Lg(:,11),conf(:,11),...
M_Lg(:,12),conf(:,12),M_Lg(:,13),conf(:,13),P_ind,P_acu,Cap_disp,Cap_fuera,...
'VariableNames',{'G1','C1','G2','C2','G3','C3','G4','C4','G5','C5','G6','C6',...
'G7','C7','G8','C8','G9','C9','G10','C10','G11','C11','G12','C12','G13','C13',...
'Pro_Ind','Pro_Acu','C_disp','C_Fuera'})

```

```

T2=table(CCap_disp,Pot_Fuera,Result_Pind,tk,Pc_loss,'VariableNames',{'C_Disp',...
'C_Fuera','Prob_Ind','Tk_porct','Pc_loss'})

case 14

T1=table(M_Lg(:,1),conf(:,1),M_Lg(:,2),conf(:,2),M_Lg(:,3),conf(:,3),M_Lg(:,4),...
conf(:,4),M_Lg(:,5),conf(:,5),M_Lg(:,6),conf(:,6),M_Lg(:,7),conf(:,7),M_Lg(:,8),...
conf(:,8),M_Lg(:,9),conf(:,9),M_Lg(:,10),conf(:,10),M_Lg(:,11),conf(:,11),...
M_Lg(:,12),conf(:,12),M_Lg(:,13),conf(:,13),M_Lg(:,14),conf(:,14),P_ind,P_acu,...
Cap_disp,Cap_fuera,'VariableNames',{'G1','C1','G2','C2','G3','C3','G4','C4',...
'G5','C5','G6','C6','G7','C7','G8','C8','G9','C9','G10','C10','G11','C11',...
'G12','C12','G13','C13','G14','C14','Pro_Ind','Pro_Acu','C_disp','C_Fuera'})
T2=table(CCap_disp,Pot_Fuera,Result_Pind,tk,Pc_loss,'VariableNames',{'C_Disp',...
'C_Fuera','Prob_Ind','Tk_porct','Pc_loss'})

case 15

T1=table(M_Lg(:,1),conf(:,1),M_Lg(:,2),conf(:,2),M_Lg(:,3),conf(:,3),M_Lg(:,4),...
conf(:,4),M_Lg(:,5),conf(:,5),M_Lg(:,6),conf(:,6),M_Lg(:,7),conf(:,7),M_Lg(:,8),...
conf(:,8),M_Lg(:,9),conf(:,9),M_Lg(:,10),conf(:,10),M_Lg(:,11),conf(:,11),...
M_Lg(:,12),conf(:,12),M_Lg(:,13),conf(:,13),M_Lg(:,14),conf(:,14),M_Lg(:,15),...
conf(:,15),P_ind,P_acu,Cap_disp,Cap_fuera,'VariableNames',{'G1','C1','G2','C2',...
'G3','C3','G4','C4','G5','C5','G6','C6','G7','C7','G8','C8','G9','C9','G10',...
'G11','C11','G12','C12','G13','C13','G14','C14','G15','C15','Pro_Ind',...
'Pro_Acu','C_disp','C_Fuera'})
T2=table(CCap_disp,Pot_Fuera,Result_Pind,tk,Pc_loss,'VariableNames',{'C_Disp',...
'C_Fuera','Prob_Ind','Tk_porct','Pc_loss'})

case 16

T1=table(M_Lg(:,1),conf(:,1),M_Lg(:,2),conf(:,2),M_Lg(:,3),conf(:,3),M_Lg(:,4),...
conf(:,4),M_Lg(:,5),conf(:,5),M_Lg(:,6),conf(:,6),M_Lg(:,7),conf(:,7),M_Lg(:,8),...
conf(:,8),M_Lg(:,9),conf(:,9),M_Lg(:,10),conf(:,10),M_Lg(:,11),conf(:,11),...
M_Lg(:,12),conf(:,12),M_Lg(:,13),conf(:,13),M_Lg(:,14),conf(:,14),M_Lg(:,15),...
conf(:,15),M_Lg(:,16),conf(:,16),P_ind,P_acu,Cap_disp,Cap_fuera,'VariableNames',...
{'G1','C1','G2','C2','G3','C3','G4','C4','G5','C5','G6','C6','G7','C7','G8','C8',...
'G9','C9','G10','C10','G11','C11','G12','C12','G13','C13','G14','C14','G15','C15',...
'G16','C16','Pro_Ind','Pro_Acu','C_disp','C_Fuera'})
T2=table(CCap_disp,Pot_Fuera,Result_Pind,tk,Pc_loss,'VariableNames',{'C_Disp',...
'C_Fuera','Prob_Ind','Tk_porct','Pc_loss'})

case 17

T1=table(M_Lg(:,1),conf(:,1),M_Lg(:,2),conf(:,2),M_Lg(:,3),conf(:,3),M_Lg(:,4),...
conf(:,4),M_Lg(:,5),conf(:,5),M_Lg(:,6),conf(:,6),M_Lg(:,7),conf(:,7),M_Lg(:,8),...
conf(:,8),M_Lg(:,9),conf(:,9),M_Lg(:,10),conf(:,10),M_Lg(:,11),conf(:,11),...
M_Lg(:,12),conf(:,12),M_Lg(:,13),conf(:,13),M_Lg(:,14),conf(:,14),M_Lg(:,15),...
conf(:,15),M_Lg(:,16),conf(:,16),M_Lg(:,17),conf(:,17),P_ind,P_acu,Cap_disp,Cap_fuera,...
'VariableNames',{'G1','C1','G2','C2','G3','C3','G4','C4','G5','C5','G6','C6','G7',...
'C7','G8','C8','G9','C9','G10','C10','G11','C11','G12','C12','G13','C13','G14',...
'G15','C15','G16','C16','G17','C17','Pro_Ind','Pro_Acu','C_disp','C_Fuera'})
T2=table(CCap_disp,Pot_Fuera,Result_Pind,tk,Pc_loss,'VariableNames',{'C_Disp',...
'C_Fuera','Prob_Ind','Tk_porct','Pc_loss'})

end

%% LOLE
lole=sum(Pc_loss);
T_lole=lole*(365/100); % lole= días/año

l= sprintf('El valor del LOLE es de: %d días/año',T_lole);
disp(l)
T3=table(T_lole,'VariableNames',{'LOLE'});

% excel
pp='LOLE.xlsx'; % Eliminar Excel para no reescribir valores
writetable(T1,pp,'Sheet',1,'Range','A1');
writetable(T2,pp,'Sheet',2,'Range','A1');
writetable(T3,pp,'Sheet',2,'Range','G1');

```