

Determinación de nivel de excedentes del SIN para una demanda de capacidad diaria y semanal

José Zamora – Sharon Lozano

*Instituto de Ingeniería Eléctrica – FING.
Trabajo final curso SimSEE edición 2020
Montevideo - Uruguay.*

IMPORTANTE: Este trabajo se realizó en el marco del curso Simulación de Sistemas de Energía Eléctrica (SimSEE) y fue evaluado por el enfoque metodológico, la pericia en la utilización de las herramientas adquiridas en el curso para la resolución del estudio y por la claridad de exposición de los resultados obtenidos. Se quiere dejar expresamente claro que no es relevante a los efectos del curso la veracidad de las hipótesis asumidas por los estudiantes y consecuentemente la exactitud o aplicabilidad de los resultados. Ni la Facultad de Ingeniería, ni el Instituto de Ingeniería Eléctrica, ni el o los docentes, ni los estudiantes asumen ningún tipo de responsabilidad sobre las consecuencias directas o indirectas que asociadas al uso del material del curso y/o a los datos, hipótesis y conclusiones del presente trabajo.

Contenido

1.	Objetivos	4
2.	Hipótesis de trabajo	4
3.	Metodología	5
3.1	Sala SimSEE.....	5
3.1.1	Expansión de actores de generación	5
3.1.2	Plantilla SimRes3	5
3.2	Excedentes	6
3.2.1	Excedentes semanales.....	6
3.2.2	Excedentes diarios	8
3.3	Demanda adicional.....	10
3.4	Costo de Abastecimiento de la Demanda	11
3.5	Porcentaje de Aprovechamiento de los Excedentes	11
3.6	Porcentaje de Incremento de Demanda	12
3.7	Escenarios analizados.....	12
3.7.1	Caso 1: Caso Base considerando Expansión de Generación Eólica y Solar.	12
3.7.2	Caso 2: Paso de demanda adicional de 270GWh anual	14
3.7.3	Caso 3: Paso de demanda adicional de 540GWh anual	14
3.7.4	Caso 4: Paso de demanda adicional de 1080GWh anual	14
3.7.5	Caso 5: Paso de demanda adicional de 1620GWh anual	14
3.7.6	Caso 6: Paso de demanda adicional de 2160GWh anual	14
3.7.7	Caso 7: Paso de demanda adicional de 2700GWh	15
4.	Resultados del estudio.....	16
4.1	Caso 2.....	16
4.1.1	Resultados Teóricos.....	16
4.1.2	Resultados Experimentales	17
4.2	Caso 3.....	17
4.2.1	Resultados Teóricos.....	18
4.2.2	Resultados Experimentales	19
4.3	Caso 4.....	19
4.3.1	Resultados Teóricos.....	20
4.3.2	Resultados Experimentales	20
4.4	Caso 5.....	20
4.4.1	Resultado Teóricos	21
4.4.2	Resultados Experimentales	22

4.5	Caso 6.....	22
4.5.1	Resultados Teóricos.....	23
4.5.2	Resultados Experimentales	23
4.6	Caso 7.....	24
4.6.1	Resultados Teóricos.....	24
4.6.2	Resultados Experimentales	25
4.7	Costo de Abastecimiento de Demanda.....	25
4.8	Porcentaje de Aprovechamiento de excedentes	26
4.9	Porcentaje de Incremento de Demanda	27
5.	Conclusiones	29

1. Objetivos

El principal objetivo de este trabajo es analizar los niveles de excedentes o energía que se genera y supera la demanda nacional e internacional para a partir de estos excedentes determinar la característica del sistema que pueda aprovechar la energía generada y suplir una nueva demanda con capacidad de moverse en el día o la semana.

Analizar de forma intra – anual a nivel semanal y diario, es decir, identificar en que semanas y días de la semana en que se dan los mayores excedentes.

Identificar los excedentes para adicionar y evaluar distintos niveles de demandas móviles, adicionales a las propias del sistema, las cuales deben determinarse de acuerdo con la mínima energía factible que se puede ofrecer.

Comparar los Costos de Abastecimiento de Demanda que generan las demandas adicionales y seleccionar el costo óptimo en el que se incurre al abastecer dichas demandas.

2. Hipótesis de trabajo

A continuación, se listan las hipótesis generales asumidas y utilizadas para alcanzar los objetivos planteados en este estudio:

- ✚ Demanda
 - Proyección de la demanda hasta el 2021 según PEST Nov - Abril 2017.
 - Proyección de la demanda desde el 2021 2,5% de crecimiento anual.

- ✚ Excedentes de energía
 - Se agregan seis pasos de demanda de 5000MWh, 10000MWh, 20000MWh, 30000MWh, 40000MWh y 50000MWh, cada paso de demanda se agrega en la sala semanal durante el periodo de estudio desde 01/01/2019 hasta el 01/01/2029.

- ✚ Tasa Anual de actualización del 5%.

3. Metodología

En esta sección se describen los pasos realizados en el simulador SimSEE para armar las salas de trabajo y poder realizar diferentes escenarios para la obtención de los resultados que se buscan analizar.

3.1 Sala SimSEE

- ✚ Se trabaja con la sala del sistema nacional uruguayo más las inversiones y con la demanda uruguayo que esta inflexible, en la cual la duración del paso del tiempo es de 168 horas (semanal) dividida en cuatro postes monótonos de 5, 30, 91 y 42 horas.
- ✚ El horizonte de optimización es desde el 01/01/2018 hasta el 01/01/2049 y el periodo de simulación de 10 años desde el 01/01/2019 hasta el 01/01/2029.
- ✚ Los costos de falla se indexan al precio del petróleo.
- ✚ Escenario WTI Base
 - WTI a 50 USD/bbl
 - Proyección del crecimiento del petróleo según EIA de referencia.
- ✚ No hay gas natural en todo el periodo de estudio
- ✚ Ciclo Combinado
 - Rendimiento del ciclo cerrado del 52,5%
 - Rendimiento del ciclo abierto del 36%
- ✚ PTI
 - Rendimiento del PTI del 36%

3.1.1 Expansión de actores de generación

- ✚ Parques eólicos de 50MW
 - Factor de disponibilidad: 90%
 - Pago por energía de 69 USD/MWh
- ✚ Plantas solares de 50MW
 - Factor de disponibilidad: 100%
 - Pago por energía de 94 USD/MWh
- ✚ Turbinas Turbo Vapor de 60MW
 - Por potencia: 14 USD/MWh
 - 900 USD/kW instalado y tasa 10%)
- ✚ Ciclos Combinados de 180MW
 - Pago por potencia: 18 USD/MWh
 - 1100 USD/kW instalado y tasa 10%)

3.1.2 Plantilla SimRes3

- 1) Como primer paso se crean las variables de potencia por cada actor de generación para posteriormente en una operación crónica obtener la generación por fuente “GPF” que representa la energía total generada, así como variable de la demanda “PD”. Se

crea la variable “SUMIDERO” la cual representa la energía generada que supera la demanda nacional e internacional, es decir, los excedentes de energía.

En la figura se muestran los excedentes de energía que se producen durante el periodo de simulación de 10 años con pasos de tiempo para una sala semanal. Se observa en el gráfico de simulación que el comportamiento del sumidero es similar para cada año correspondiente del periodo del estudio, por lo cual se puede definir un patrón para los excedentes de energía.

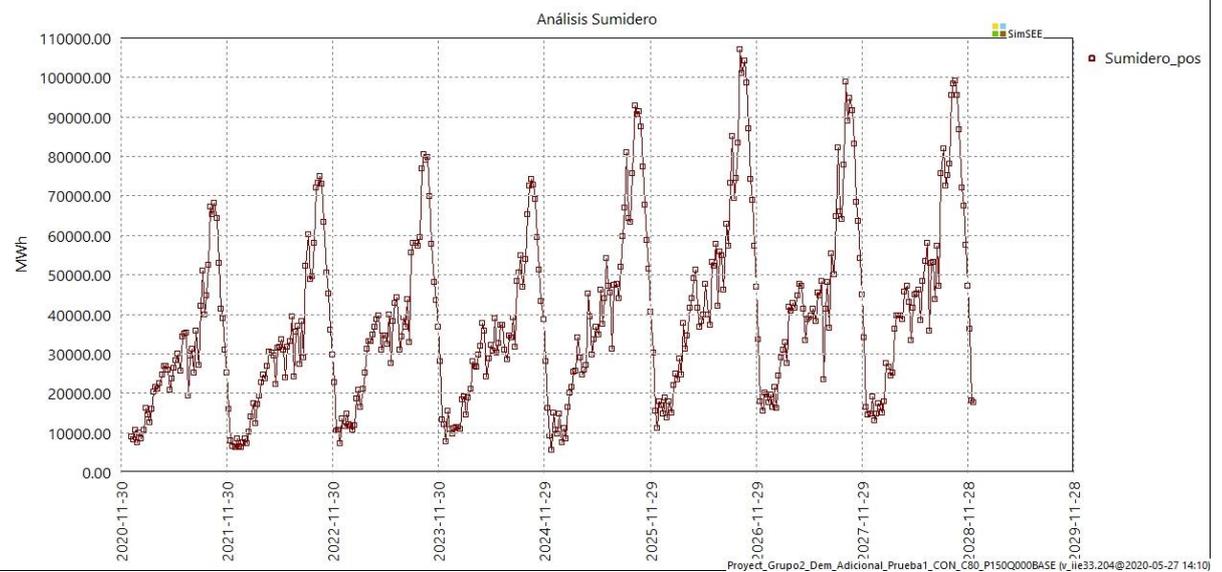


Figura 3.1 Excedentes de energía durante un periodo de simulación de 10 años para una sala semanal.

3.2 Excedentes

Los excedentes de energía constituyen la variable clave para cumplir con los objetivos de este trabajo. Para el análisis de estos excedentes, se realiza un análisis semanal y otro diario, de esta manera, se podrá identificar en que semanas del año y en que días del año se producen los mayores valores de excedentes de energía.

3.2.1 Excedentes semanales

Realizando un análisis rápido en base a los valores que se obtuvieron del resultado de la simulación desde el año 2021, se observa un crecimiento porcentual con respecto a los excedentes que se registran para los diferentes años desde el 2021 hasta el 2028.

Se observa un incremento porcentual de los excedentes de energía en todos los casos, siendo el menor incremento el de un 11%.

En la tabla se muestran estos valores porcentuales.

AÑO	TOTAL, EXCEDENTES [MWh]	CRECIMIENTO PORCENTUAL
2021	1462423.77	--
2022	1629839.50	11%
2023	1900086.62	30%
2024	1756094.80	20%
2025	2171359.98	48%
2026	2492697.17	70%
2027	2350531.32	61%
2028	2436321.85	67%

Tabla 3.1 Crecimiento porcentual de excedentes durante 10 años, sala semanal

Los valores porcentuales mencionados se ven reflejados en la siguiente figura.

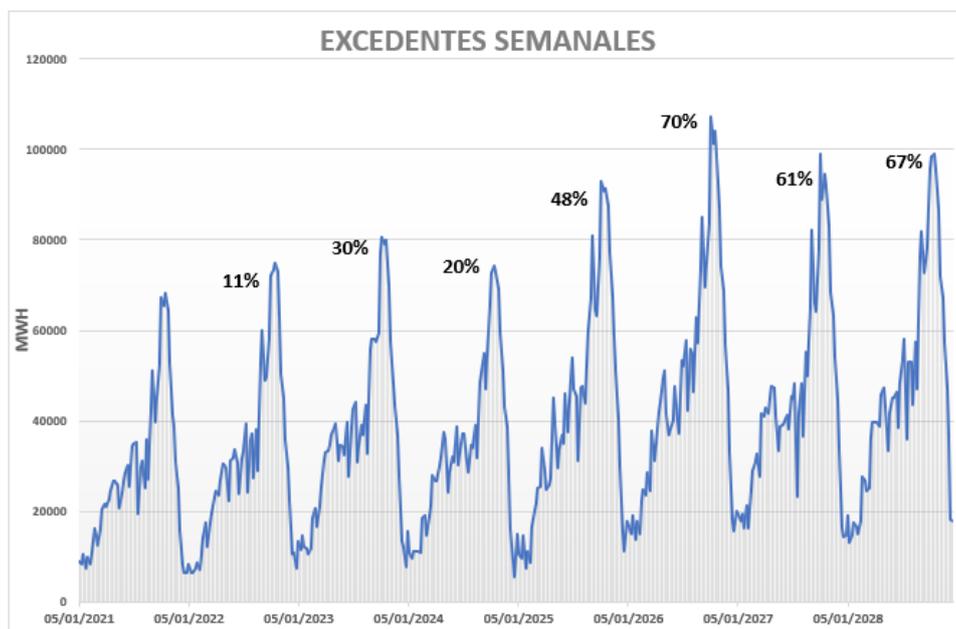


Figura 3.2 Características de los excedentes semanales en el periodo de estudio

Acorde a los valores que se mostraron anteriormente se puede representar la característica a la cual tienden los valores de excedentes durante el periodo de estudio. En la figura se observan los excedentes semanales durante el año 2021 y las semanas del año en el cual se producen los mayores excedentes.



Figura 3.3 Excedentes semanales en el año 2021

Como se observa en la gráfica de excedentes semanales, existe un pico que se produce en el mes de octubre, por lo que si se ordena la gráfica anual de manera descendente se obtiene como resultado las semanas con una mayor cantidad de excedentes, la cual es la semana del 19 de Octubre seguido por las demás semanas del mismo mes.

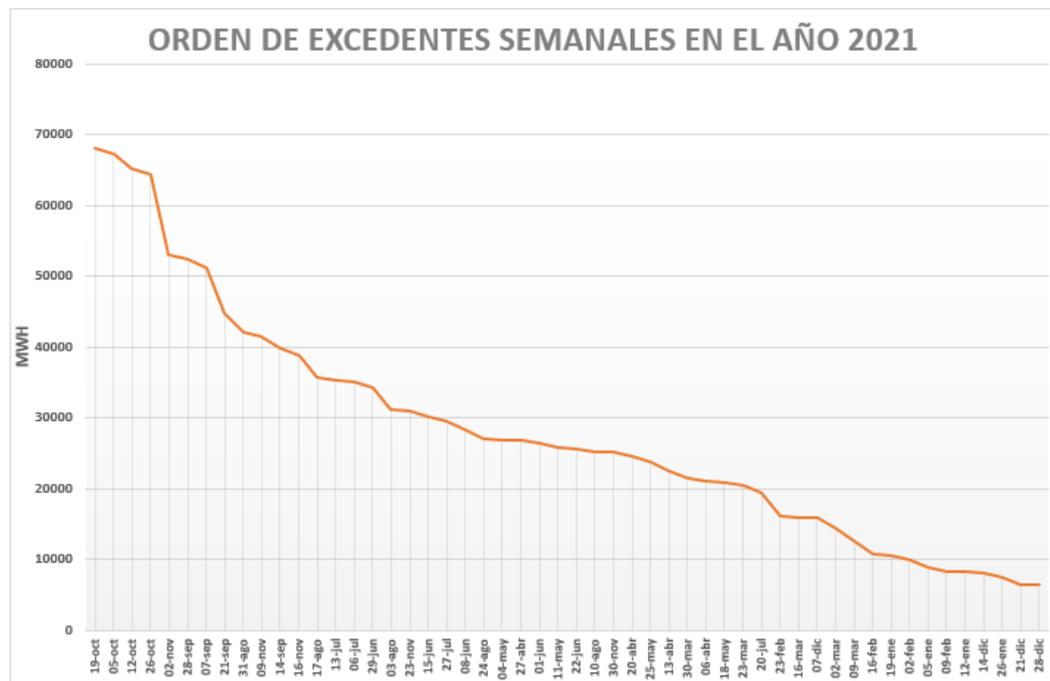


Figura 3.4 Orden de los excedentes semanales en el 2021

3.2.2 Excedentes diarios

Estos excedentes son llevados a un escenario diario en donde podemos constatar que el pico de demanda diario se da en los meses donde existen mayores excedentes. En la figura se observa un pico diario de excedentes de aproximadamente 13000MWh durante el mes de octubre y noviembre.

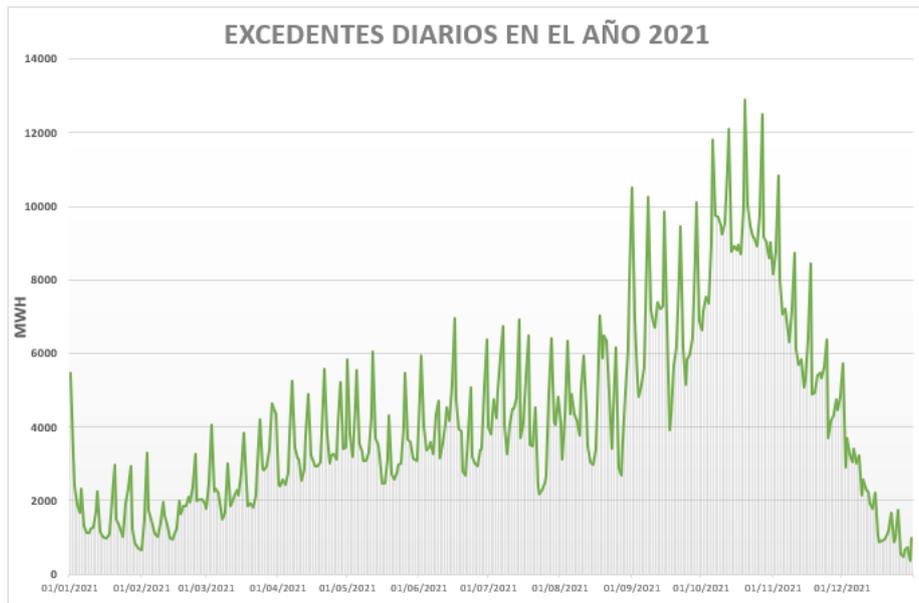


Figura 3.5 Excedentes diarios en el año 2021

Cuando ordenamos de manera descendente los excedentes diarios del año 2021, logramos observar que el día con mayor cantidad de excedentes es el miércoles 20 de Octubre, seguido por el resto de días del mismo mes.

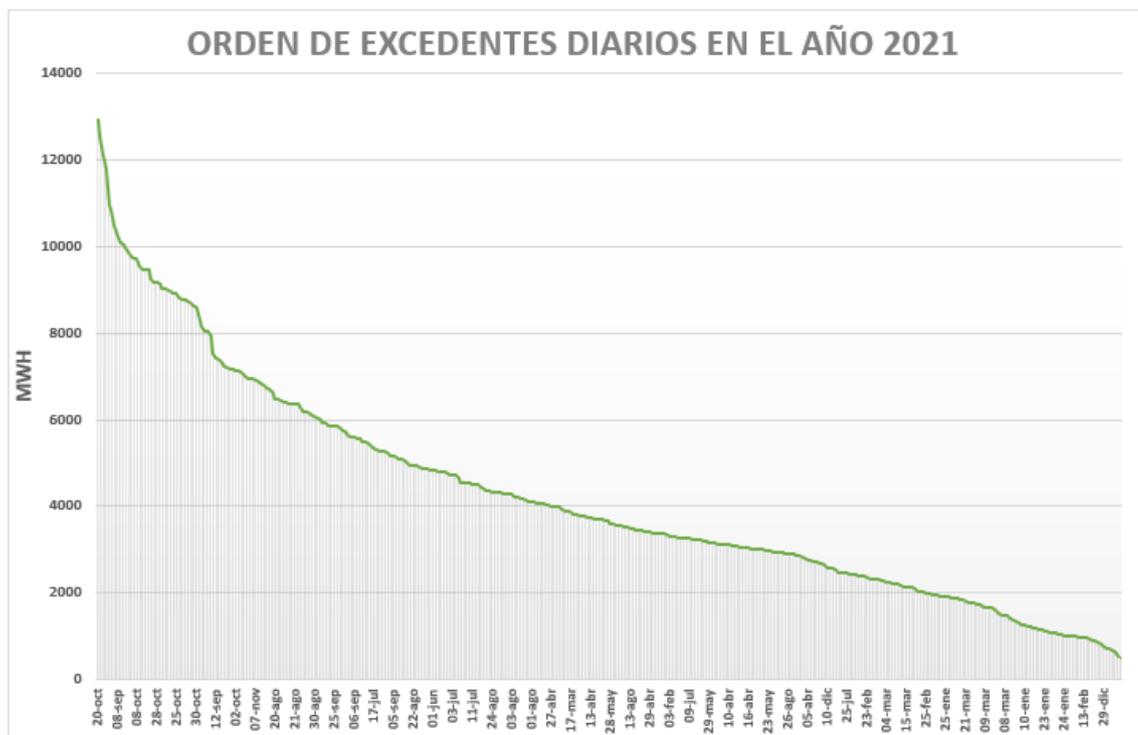


Figura 3.6 Orden de excedentes diarios en el año 2021

3.3 Demanda adicional

Una de las hipótesis que se asumió para el aprovechamiento de los excedentes de energía es analizar lo que sucede si realizamos el incremento de seis pasos de demanda desde 5000MWh hasta 50000MWh. Estos pasos de demanda se agregan y analizan desde el año 2021 y se reflejan en valores de demanda anual y potencia semanal como se muestra en la siguiente tabla.

PASO	INCREMENTO DE DEMANDA SEMANAL [MWh]	INCREMENTO DE DEMANDA ANUAL [GWh]	INCREMENTO DE POTENCIA SEMANAL [MW]
1	5000	270	840
2	10000	540	1680
3	20000	1080	3360
4	30000	1620	5040
5	40000	2160	6720
6	50000	2700	8400

Tabla 3.2 Pasos de demanda y potencia adicional semanal y anual

Tomando en consideración los mínimos y máximos de excedentes que se generan, el primer paso de demanda es de 5000MWh, el cual está por debajo del mínimo de excedentes que se genera cada año, y el mayor paso de demanda de 50000MWh, que está por debajo del máximo de excedentes, en ambos casos se logra suplir estas demandas adicionales sin sobrepasar los valores de excedentes característicos que se dan en todos los años del periodo de estudio.

La siguiente grafica representa los pasos de demanda que se incrementan en base a la curva característica de excedentes de energía, tomando como ejemplo el año 2021.



Figura 3.7 Incremento de pasos de demanda en el año 2021

3.4 Costo de Abastecimiento de la Demanda

Para evaluar económicamente los precios que surgen a partir del incremento de demanda adicional para el uso de excedentes tanto diarios como semanales, se calcula el Costo de Abastecimiento de la Demanda o CAD, el cual se obtiene de la simulación de cada uno de los escenarios.

Para esto se hizo el cálculo del actualizador a través de una post operación “aplicarActualizador” en la plantilla SimRes3 en donde se ingresa el valor del actualizador calculado de la siguiente forma:

$$q = \left(\frac{1}{1 + tasaActAnual} \right)^{1/pasos/año}$$

Se considera una Tasa de Actualización Anual del 5%, la cual es aplicada al dinero para el cálculo del valor actual.

En este caso los pasos/año son igual a 52 para una sala semanal. Con esto el valor del actualizado ingresado es de:

$$q = 0.9990647359$$

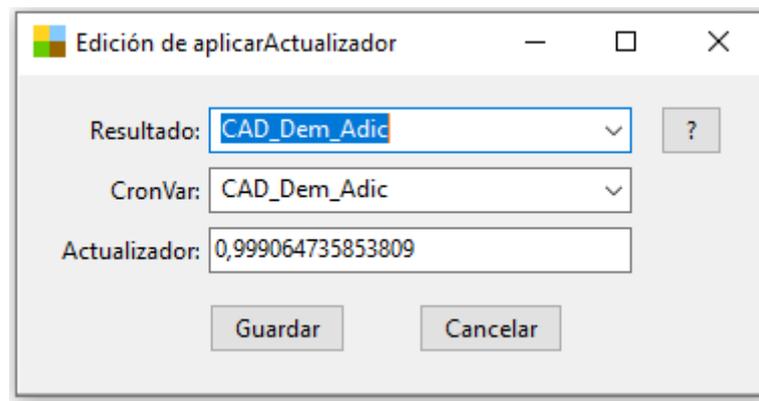


Figura 3.8 Actualizador en plantilla SimRes3

3.5 Porcentaje de Aprovechamiento de los Excedentes

Este indicador muestra que porcentaje de los excedentes se logran utilizar al agregar una demanda adicional en cada año del periodo de simulación.

Para obtener este porcentaje basta con realizar una comparación porcentual entre los excedentes obtenidos en la simulación de la sala con la demanda base y los excedentes que se obtienen a realizar las simulaciones con los incrementos de demanda.

$$\% \text{ Aprovechamiento} = \frac{\text{Excedentes con Demanda Agregada}}{\text{Excedenes Demanda Base}} \times 100$$

3.6 Porcentaje de Incremento de Demanda

Este indicador nos permitirá observar que porcentaje de la demanda que se agrega no fue suplida por los excedentes y por lo tanto se adiciona a la demanda base para ser suplida por otro sistema de generación eléctrica.

Este porcentaje se lo pude obtener con respecto a la demanda base y a la demanda agregada, de la siguiente manera.

$$\% \text{ Incremento de Demanda Base} = \frac{\text{Demanda Agregada} - \text{Demanda Base}}{\text{Demanda Base}} \times 100$$

$$\% \text{ Incremento de Demanda Agregada} = \frac{\text{Demanda Agregada} - \text{Demanda Base}}{\text{Demanda Agregada}} \times 100$$

La demanda agregada es el resultado de la suma de la demanda base con el paso de demanda agregada y restado con la demanda que fue suplida por los excedentes.

3.7 Escenarios analizados

Para el periodo de estudio de 10 años, se analizan varios escenarios entre los cuales se incluye la expansión de las tecnologías, y a su vez el incremento de la demanda adicional por cada paso de potencia.

Estos escenarios se simulan en la sala con paso de tiempo semanal durante los 10 años, aplicando a todos los escenarios la tasa de actualización de 5% que se mencionó anteriormente para el cálculo del CAD.

3.7.1 Caso 1: Caso Base considerando Expansión de Generación Eólica y Solar

Optimización desde el 01/01/2018 21:00 al 01/01/2049.

Simulación 01/01/2019 al 01/01/2029.

Sala semanal considerando la expansión a futuro del actor de generación Eólica como se muestra en la figura.

 Editar Unidades Disponibles

Agregar Ficha		Ver Expandida					
Fecha de Inicio	Instaladas	En M.Prog.	Periodica?	Capa			
Auto	[0]	[0]	NO	0			
29/4/2025	[250]	[0]	NO	2			
28/4/2028	[300]	[0]	NO	2			
28/4/2030	[400]	[0]	NO	2			
28/4/2031	[450]	[0]	NO	2			
27/4/2032	[600]	[0]	NO	2			
27/4/2033	[1050]	[0]	NO	2			
27/4/2034	[1250]	[0]	NO	2			
27/4/2035	[1800]	[0]	NO	2			
26/4/2036	[2350]	[0]	NO	2			
26/4/2037	[2700]	[0]	NO	2			
26/4/2038	[3050]	[0]	NO	2			
26/4/2039	[3150]	[0]	NO	2			
25/4/2040	[3750]	[0]	NO	2			
25/4/2042	[3950]	[0]	NO	2			
25/4/2043	[4350]	[0]	NO	2			
24/4/2044	[5150]	[0]	NO	2			

Figura 3.9 Expansión de generación Eólica

Expansión a futuro del actor de generación Solar como se muestra en la figura.

 Editar Unidades Disponibles

Agregar Ficha		Ver Expandida					
Fecha de Inicio	Instaladas	En M.Prog.	Periodica?	Capa			
Auto	[0]	[0]	NO	0			
1/1/2016	[100]	[0]	NO	0			
1/1/2017	[229]	[0]	NO	0			
1/1/2036	[171]	[0]	NO	0			
1/1/2037	[151]	[0]	NO	0			
1/1/2038	[0]	[0]	NO	0			

Figura 3.10 Expansión a futuro de generación Solar

3.7.2 Caso 2: Paso de demanda adicional de 270GWh anual

Optimización desde el 01/01/2018 21:00 al 01/01/2049.
Simulación 01/01/2019 al 01/01/2029.

En este escenario se simula el incremento de la demanda añadiendo 5000MWh que equivalen a 270GWh anuales, en sala semanal con unidad de paso de tiempo horario durante 10 años.

3.7.3 Caso 3: Paso de demanda adicional de 540GWh anual

Optimización desde el 01/01/2018 21:00 al 01/01/2049.
Simulación 01/01/2019 al 01/01/2029.

En este escenario se simula el incremento de la demanda añadiendo 10000MWh que equivalen a 540GWh anuales, en sala semanal con unidad de paso de tiempo horario durante 10 años.

3.7.4 Caso 4: Paso de demanda adicional de 1080GWh anual

Optimización desde el 01/01/2018 21:00 al 01/01/2049.
Simulación 01/01/2019 al 01/01/2029.

En este escenario se simula el incremento de la demanda añadiendo 20000MWh que equivalen a 1080GWh anuales, en sala semanal con unidad de paso de tiempo horario durante 10 años.

3.7.5 Caso 5: Paso de demanda adicional de 1620GWh anual

Optimización desde el 01/01/2018 21:00 al 01/01/2049.
Simulación 01/01/2019 al 01/01/2029.

En este escenario se simula el incremento de la demanda añadiendo 30000MWh que equivalen a 1620GWh anuales, en sala semanal con unidad de paso de tiempo horario durante 10 años.

3.7.6 Caso 6: Paso de demanda adicional de 2160GWh anual

Optimización desde el 01/01/2018 21:00 al 01/01/2049.
Simulación 01/01/2019 al 01/01/2029.

En este escenario se simula el incremento de la demanda añadiendo 40000MWh que equivalen a 2160GWh anuales, en sala semanal con unidad de paso de tiempo horario durante 10 años.

3.7.7 Caso 7: Paso de demanda adicional de 2700GWh

Optimización desde el 01/01/2018 21:00 al 01/01/2049.

Simulación 01/01/2019 al 01/01/2029.

En este escenario se simula el incremento de la demanda añadiendo 50000MWh que equivalen a 2700GWh anuales, en sala semanal con unidad de paso de tiempo horario durante 10 años.

4. Resultados del estudio

En esta sección de muestran los resultados de las simulaciones para cada uno de los escenarios de análisis, así como también, el Costo de Abastecimiento de Demanda que se origina con cada paso de incremento de demanda para el aprovechamiento de los excedentes de energía.

4.1 Caso 2

En este caso se agregan 5000MWh semanales los que equivalen a 270GWh anualmente.



Figura 4.1 Incremento de 5000 MWh Semanal

4.1.1 Resultados Teóricos

La siguiente figura muestra los resultados teóricos obtenidos a partir de la simulación del caso base, caso 1, estos cálculos fueron hechos en una plantilla de Excel usando los valores de excedentes del caso base.

AÑOS	TOTAL EXCEDENTES BASE [MWh]	TOTAL EXCEDENTES EN DEMANDA AGREGADA [MWh]	APROVECHAMIENTO DE EXCEDENTES [%]	TOTAL DEMANDA BASE [MWh]	TOTAL DEMANDA AGREGADA [MWh]	DEMANDA NO SUPLIDA POR LOS EXCEDENTES [MWh]	INCREMENTO DEMANDA BASE [%]	INCREMENTO DEMANDA AGREGADA [%]
2021	1462423.77	1202423.77	17.78%	12014863.32	12274863.32	0.00	0.00%	0.00%
2022	1629839.50	1369839.50	15.95%	12226001.27	12486001.27	0.00	0.00%	0.00%
2023	1900086.62	1640086.62	13.68%	12429192.66	12689192.66	0.00	0.00%	0.00%
2024	1756094.80	1491094.80	15.09%	12937724.67	13202724.67	0.00	0.00%	0.00%
2025	2171359.98	1911359.98	11.97%	13059987.37	13319987.37	0.00	0.00%	0.00%
2026	2492697.17	2232697.17	10.43%	13378777.33	13638777.33	0.00	0.00%	0.00%
2027	2350531.32	2090531.32	11.06%	13704949.42	13964949.42	0.00	0.00%	0.00%
2028	2421933.62	2166933.62	10.53%	13703626.87	13958626.87	0.00	0.00%	0.00%
TOTAL	16184966.77	14104966.77	12.85%	103455122.91	105535122.91	0.00	0.00%	0.00%

Figura 4.2 Resultados teóricos del Caso 2

Como era de esperar en los resultados teóricos, al agregar una demanda que esta por debajo de todos los excedentes del periodo de análisis, esta demanda agregada va a ser suplida en su totalidad por los excedentes. De esta forma se observa que los porcentajes de incremento de demanda base y agregada serán de 0% para todos los años.

4.1.2 Resultados Experimentales

La siguiente figura muestra los resultados experimentales que se obtuvieron a partir de la simulación del escenario caso 2 en la sala del SimSEE.

AÑOS	TOTAL EXCEDENTES BASE [MWh]	TOTAL EXCEDENTES EN DEMANDA AGREGADA [MWh]	APROVECHAMIENTO DE EXCEDENTES [%]	TOTAL DEMANDA BASE [MWh]	TOTAL DEMANDA AGREGADA [MWh]	DEMANDA NO SUPLIDA POR LOS EXCEDENTES [MWh]	INCREMENTO DEMANDA BASE [%]	INCREMENTO DEMANDA AGREGADA [%]
2021	1462423.77	1395963.05	4.54%	12014863.32	12284437.90	203113.87	1.69%	75.23%
2022	1629839.50	1491412.38	8.49%	12226001.27	12495600.65	131172.26	1.07%	48.58%
2023	1900086.62	1741842.93	8.33%	12429192.66	12698804.60	111368.24	0.90%	41.25%
2024	1756094.80	1605054.66	8.60%	12937724.67	13211408.10	122643.29	0.95%	45.42%
2025	2171359.98	2007954.32	7.53%	13059987.37	13329601.17	106208.14	0.81%	39.34%
2026	2492697.17	2316604.04	7.06%	13378777.33	13648376.55	93506.09	0.70%	34.63%
2027	2350531.32	2174729.33	7.48%	13704949.42	13974518.55	93767.14	0.68%	34.73%
2028	2421933.62	2248361.05	7.17%	13703626.87	13966767.36	89567.91	0.65%	33.17%
TOTAL	16184966.77	14981921.75	7.43%	103455122.91	105609514.88	951346.96	0.92%	44.04%

Figura 4.3 Resultados experimentales del Caso 2

Con los resultados obtenidos del SimSEE, se logra constatar que la demanda que agregamos no es suplida en su totalidad por los excedentes como si se observó en los resultados teóricos.

Los resultados indican que de los 270GWh anuales agregados, van a ser suplidos en un 56.96% por los excedentes, dejando un 44.04% para que sean suplidos por los demás sistemas de generación. También se indica que existe un 7.43% de aprovechamiento de excedentes comparado con el total existente.

4.2 Caso 3

En este caso se agregan 10000MWh semanales los que equivalen a 540GWh anualmente.



Figura 4.4 Incremento de 10000 MWh Semanal

4.2.1 Resultados Teóricos

La siguiente figura muestra los resultados teóricos obtenidos en la plantilla de Excel agregando el segundo paso de demanda de 540GWh anuales.

AÑOS	TOTAL EXCEDENTES BASE [MWh]	TOTAL EXCEDENTES EN DEMANDA AGREGADA [MWh]	APROVECHAMIENTO DE EXCEDENTES [%]	TOTAL DEMANDA BASE [MWh]	TOTAL DEMANDA AGREGADA [MWh]	DEMANDA NO SUPLIDA POR LOS EXCEDENTES [MWh]	INCREMENTO DEMANDA BASE [%]	INCREMENTO DEMANDA AGREGADA [%]
2021	1462423.77	958682.26	34.45%	12014863.32	12534863.32	16258.49	0.14%	0.38%
2022	1629839.50	1127932.92	30.79%	12226001.27	12746001.27	18093.42	0.15%	3.35%
2023	1900086.62	1382339.69	27.25%	12429192.66	12949192.66	2253.06	0.02%	0.42%
2024	1756094.80	1231737.18	29.86%	12937724.67	13467724.67	5642.38	0.04%	1.04%
2025	2171359.98	1655838.56	23.74%	13059987.37	13579987.37	4478.59	0.03%	0.83%
2026	2492697.17	1972697.17	20.86%	13378777.33	13898777.33	0.00	0.00%	0.00%
2027	2350531.32	1830531.32	22.12%	13704949.42	14224949.42	0.00	0.00%	0.00%
2028	2421933.62	1911933.62	21.06%	13703626.87	14213626.87	0.00	0.00%	0.00%
TOTAL	16184966.77	12071692.73	25.41%	103455122.91	107615122.91	46725.95	0.05%	8.65%

Figura 4.5 Resultados teóricos del Caso 3

Como se observa en la figura 4.4, la demanda agregada de 10000 MWh semanal está por encima de los excedentes solo en los primeros meses del año 2021, para los años posteriores los excedentes incrementarán de valor supliendo en su totalidad a la demanda agregada. Este comportamiento se logra observar en los resultados del porcentaje incremento de demanda, teniendo valores pequeños en los años 2021 hasta 2025 y siendo 0% para los años siguientes.

4.2.2 Resultados Experimentales

La siguiente figura muestra los resultados experimentales que se obtuvieron a partir de la simulación del escenario caso 3 en la sala del SimSEE.

AÑOS	TOTAL EXCEDENTES BASE [MWh]	TOTAL EXCEDENTES EN DEMANDA AGREGADA [MWh]	APROVECHAMIENTO DE EXCEDENTES [%]	TOTAL DEMANDA BASE [MWh]	TOTAL DEMANDA AGREGADA [MWh]	DEMANDA NO SUPLIDA POR LOS EXCEDENTES [MWh]	INCREMENTO DEMANDA BASE [%]	INCREMENTO DEMANDA AGREGADA [%]
2021	1462423.77	1270834.12	13.10%	12014863.32	12554012.47	347559.51	2.89%	64.36%
2022	1629839.50	1360873.88	16.50%	12226001.27	12765199.98	270233.10	2.21%	50.04%
2023	1900086.62	1594717.46	16.07%	12429192.66	12968416.23	233854.40	1.88%	43.31%
2024	1756094.80	1465404.79	16.55%	12937724.67	13485091.53	256676.86	1.98%	47.53%
2025	2171359.98	1854080.14	14.61%	13059987.37	13599214.93	221947.73	1.70%	41.10%
2026	2492697.17	2149962.47	13.75%	13378777.33	13917975.88	196463.85	1.47%	36.38%
2027	2350531.32	2010207.70	14.48%	13704949.42	14244087.77	198814.73	1.45%	36.82%
2028	2421933.62	2085553.78	13.89%	13703626.87	14229907.45	189900.74	1.39%	35.17%
TOTAL	16184966.77	13791634.34	14.79%	103455122.91	107763906.25	1915450.91	1.85%	44.34%

Figura 4.6 Resultados experimentales del Caso 3

Al realizar la simulación y comparar con los resultados teóricos se observa que, sin importar el incremento de los excedentes a lo largo de los años, estos excedentes no lograron suplir en su totalidad a la demanda agregada de 540GWh anual, incrementando un 44.34% de demanda agregada a la demanda base. Mientras que, el aprovechamiento obtenido es de un 14.79% con respecto a la totalidad de excedentes.

4.3 Caso 4

En este caso se agregan 20000MWh semanales los que equivalen a 1080GWh anualmente.



Figura 4.7 Incremento de 20000 MWh Semanal

4.3.1 Resultados Teóricos

La siguiente figura muestra los resultados teóricos obtenidos en la plantilla de Excel agregando el tercer paso de demanda de 1080GWh anuales.

AÑOS	TOTAL EXCEDENTES BASE [MWh]	TOTAL EXCEDENTES EN DEMANDA AGREGADA [MWh]	APROVECHAMIENTO DE EXCEDENTES [%]	TOTAL DEMANDA BASE [MWh]	TOTAL DEMANDA AGREGADA [MWh]	DEMANDA NO SUPLIDA POR LOS EXCEDENTES [MWh]	INCREMENTO DEMANDA BASE [%]	INCREMENTO DEMANDA AGREGADA [%]
2021	1462423.77	562889.08	61.51%	12014863.32	13054863.32	140465.31	1.17%	13.01%
2022	1629839.50	726327.32	55.44%	12226001.27	13266001.27	136487.82	1.12%	12.64%
2023	1900086.62	945947.19	50.22%	12429192.66	13469192.66	85860.57	0.69%	7.95%
2024	1756094.80	798537.44	54.53%	12937724.67	13997724.67	102442.64	0.79%	9.49%
2025	2171359.98	1208278.00	44.35%	13059987.37	14099987.37	76918.02	0.59%	7.12%
2026	2492697.17	1481705.85	40.56%	13378777.33	14418777.33	29008.68	0.22%	2.69%
2027	2350531.32	1335608.04	43.18%	13704949.42	14744949.42	25076.72	0.18%	2.32%
2028	2421933.62	1432480.02	40.85%	13703626.87	14723626.87	30546.40	0.22%	2.83%
TOTAL	16184966.77	8491772.93	47.53%	103455122.91	111775122.91	626806.16	0.61%	7.25%

Figura 4.8 Resultados teóricos del Caso 4

Como se observa en la figura 4.7, la demanda agregada supera en los primeros meses a los excedentes y aunque en los años siguientes los excedentes no cubren la totalidad de demanda, el porcentaje de incremento de demanda disminuye considerablemente, es decir, pasa de un 13.01% en el año 2021 a un 2.83% para el año 2028.

4.3.2 Resultados Experimentales

La siguiente figura muestra los resultados experimentales que se obtuvieron a partir de la simulación del escenario caso 4 en la sala del SimSEE.

AÑOS	TOTAL EXCEDENTES BASE [MWh]	TOTAL EXCEDENTES EN DEMANDA AGREGADA [MWh]	APROVECHAMIENTO DE EXCEDENTES [%]	TOTAL DEMANDA BASE [MWh]	TOTAL DEMANDA AGREGADA [MWh]	DEMANDA NO SUPLIDA POR LOS EXCEDENTES [MWh]	INCREMENTO DEMANDA BASE [%]	INCREMENTO DEMANDA AGREGADA [%]
2021	1462423.77	1050145.53	28.19%	12014863.32	13093161.56	666020.01	5.54%	61.67%
2022	1629839.50	1133095.26	30.48%	12226001.27	13304398.51	581653.01	4.76%	53.86%
2023	1900086.62	1329053.95	30.05%	12429192.66	13507640.08	507414.75	4.08%	46.98%
2024	1756094.80	1213985.57	30.87%	12937724.67	14032458.27	552624.38	4.27%	51.17%
2025	2171359.98	1577550.15	27.35%	13059987.37	14138442.52	484645.33	3.71%	44.87%
2026	2492697.17	1845111.84	25.98%	13378777.33	14457174.39	430811.73	3.22%	39.89%
2027	2350531.32	1708495.55	27.31%	13704949.42	14783226.05	436240.85	3.18%	40.39%
2028	2421933.62	1789002.52	26.13%	13703626.87	14756188.29	419630.32	3.06%	38.85%
TOTAL	16184966.77	11646440.39	28.04%	103455122.91	112072689.67	4079040.37	3.94%	47.21%

Figura 4.9 Resultados experimentales del Caso 4

Los resultados de la simulación indican que, el porcentaje de incremento de demanda agregada, aunque es elevado en los primeros años, a lo largo del tiempo este porcentaje disminuye a medida que los excedentes incrementan en cada año. Mientras que, el porcentaje de aprovechamiento es de un 28.04% con respecto a la totalidad de excedentes.

4.4 Caso 5

En este caso se agregan 30000MWh semanales los que equivalen a 1620GWh anualmente.



Figura 4.10 Incremento de 30000 MWh Semanal

4.4.1 Resultado Teóricos

La siguiente figura muestra los resultados teóricos obtenidos en la plantilla de Excel agregando el cuarto paso de demanda de 1620GWh anuales.

AÑOS	TOTAL EXCEDENTES BASE [MWh]	TOTAL EXCEDENTES EN DEMANDA AGREGADA [MWh]	APROVECHAMIENTO DE EXCEDENTES [%]	TOTAL DEMANDA BASE [MWh]	TOTAL DEMANDA AGREGADA [MWh]	DEMANDA NO SUPLIDA POR LOS EXCEDENTES [MWh]	INCREMENTO DEMANDA BASE [%]	INCREMENTO DEMANDA AGREGADA [%]
2021	1462423.77	291439.35	80.07%	12014863.32	13574863.32	389015.58	3.24%	24.01%
2022	1629839.50	410136.56	74.84%	12226001.27	13786001.27	340297.06	2.78%	21.01%
2023	1900086.62	573430.73	69.82%	12429192.66	13989192.66	233344.11	1.88%	14.40%
2024	1756094.80	446512.68	74.57%	12937724.67	14527724.67	280417.88	2.17%	17.31%
2025	2171359.98	825537.95	61.98%	13059987.37	14619987.37	214177.97	1.64%	13.22%
2026	2492697.17	1077771.37	56.76%	13378777.33	14938777.33	145074.20	1.08%	8.96%
2027	2350531.32	919605.55	60.88%	13704949.42	15264949.42	129074.23	0.94%	7.97%
2028	2421933.62	1028728.83	57.52%	13703626.87	15233626.87	136795.21	1.00%	8.44%
TOTAL	16184966.77	5573163.02	65.57%	103455122.91	115935122.91	1868196.24	1.81%	14.42%

Figura 4.11 Resultados teóricos del Caso 5

Como se observa en la figura 4.10, la demanda agregada supera en la mayoría de los meses a los excedentes y aunque en los años siguientes los excedentes no cubren la totalidad de demanda, el porcentaje de incremento de demanda disminuye considerablemente, es decir, pasa de un 24.01% en el año 2021 a un 8.44% para el año 2028.

4.4.2 Resultados Experimentales

La siguiente figura muestra los resultados experimentales que se obtuvieron a partir de la simulación del escenario caso 5 en la sala del SimSEE.

AÑOS	TOTAL EXCEDENTES BASE [MWh]	TOTAL EXCEDENTES EN DEMANDA AGREGADA [MWh]	APROVECHAMIENTO DE EXCEDENTES [%]	TOTAL DEMANDA BASE [MWh]	TOTAL DEMANDA AGREGADA [MWh]	DEMANDA NO SUPLIDA POR LOS EXCEDENTES [MWh]	INCREMENTO DEMANDA BASE [%]	INCREMENTO DEMANDA AGREGADA [%]
2021	1462423.77	866472.06	40.75%	12014863.32	13632310.63	1021495.61	8.50%	63.06%
2022	1629839.50	940098.27	42.32%	12226001.27	13843597.08	927854.58	7.59%	57.27%
2023	1900086.62	1101474.22	42.03%	12429192.66	14046863.61	819058.55	6.59%	50.56%
2024	1756094.80	1004036.24	42.83%	12937724.67	14579824.89	890041.66	6.88%	54.94%
2025	2171359.98	1334121.32	38.56%	13059987.37	14677669.97	780443.95	5.98%	48.18%
2026	2492697.17	1575967.52	36.78%	13378777.33	14996372.93	700865.95	5.24%	43.26%
2027	2350531.32	1444683.89	38.54%	13704949.42	15322364.48	711567.62	5.19%	43.92%
2028	2421933.62	1526610.33	36.97%	13703626.87	15282469.04	683518.87	4.99%	42.19%
TOTAL	16184966.77	9793463.85	39.49%	103455122.91	116381472.63	6534846.79	6.32%	50.42%

Figura 4.12 Resultados experimentales del Caso 5

Los resultados de la simulación indican que, el porcentaje de incremento de demanda agregada, aunque es elevado en los primeros años, a lo largo del tiempo este porcentaje disminuye a medida que los excedentes incrementan en cada año. Mientras que, el porcentaje de aprovechamiento es de un 39.49% con respecto a la totalidad de excedentes, que comparados con el aprovechamiento teórico de 65.57%, es notablemente inferior.

4.5 Caso 6

En este caso se agregan 40000MWh semanales los que equivalen a 1620GWh anualmente.



Figura 4.13 Incremento de 40000 MWh Semanal

4.5.1 Resultados Teóricos

La siguiente figura muestra los resultados teóricos obtenidos en la plantilla de Excel agregando el quinto paso de demanda de 2160GWh anuales.

AÑOS	TOTAL EXCEDENTES BASE [MWh]	TOTAL EXCEDENTES EN DEMANDA AGREGADA [MWh]	APROVECHAMIENTO DE EXCEDENTES [%]	TOTAL DEMANDA BASE [MWh]	TOTAL DEMANDA AGREGADA [MWh]	DEMANDA NO SUPLIDA POR LOS EXCEDENTES [MWh]	INCREMENTO DEMANDA BASE [%]	INCREMENTO DEMANDA AGREGADA [%]
2021	1462423.77	149933.34	89.75%	12014863.32	14094863.32	767509.57	6.39%	35.53%
2022	1629839.50	241109.28	85.21%	12226001.27	14306001.27	691269.78	5.65%	32.00%
2023	1900086.62	314750.44	83.43%	12429192.66	14509192.66	494663.81	3.98%	22.90%
2024	1756094.80	242835.39	86.17%	12937724.67	15057724.67	606740.59	4.69%	28.09%
2025	2171359.98	542060.46	75.04%	13059987.37	15139987.37	450700.48	3.45%	20.87%
2026	2492697.17	728709.22	70.77%	13378777.33	15458777.33	316012.05	2.36%	14.63%
2027	2350531.32	566325.02	75.91%	13704949.42	15784949.42	295793.70	2.16%	13.69%
2028	2421933.62	670956.17	72.30%	13703626.87	15743626.87	289022.55	2.11%	13.38%
TOTAL	16184966.77	3456679.32	78.64%	103455122.91	120095122.91	3911712.55	3.78%	22.64%

Figura 4.14 Resultados teóricos del Caso 6

Como se observa en la figura 4.13, la demanda agregada supera en la mayoría de los meses a los excedentes y aunque en los años siguientes los excedentes no cubren la totalidad de demanda, el porcentaje de incremento de demanda disminuye, es decir, pasa de un 35.53% en el año 2021 a un 13.38% para el año 2028.

4.5.2 Resultados Experimentales

La siguiente figura muestra los resultados experimentales que se obtuvieron a partir de la simulación del escenario caso 6 en la sala del SimSEE.

AÑOS	TOTAL EXCEDENTES BASE [MWh]	TOTAL EXCEDENTES EN DEMANDA AGREGADA [MWh]	APROVECHAMIENTO DE EXCEDENTES [%]	TOTAL DEMANDA BASE [MWh]	TOTAL DEMANDA AGREGADA [MWh]	DEMANDA NO SUPLIDA POR LOS EXCEDENTES [MWh]	INCREMENTO DEMANDA BASE [%]	INCREMENTO DEMANDA AGREGADA [%]
2021	1462423.77	716012.12	51.04%	12014863.32	14171459.76	1410184.81	11.74%	65.29%
2022	1629839.50	781309.02	52.06%	12226001.27	14382795.54	1308263.79	10.70%	60.57%
2023	1900086.62	911664.05	52.02%	12429192.66	14586087.43	1168472.19	9.40%	54.10%
2024	1756094.80	828090.54	52.84%	12937724.67	15127191.58	1261462.66	9.75%	58.40%
2025	2171359.98	1126975.20	48.10%	13059987.37	15216897.53	1112525.39	8.52%	51.51%
2026	2492697.17	1341676.57	46.18%	13378777.33	15535571.32	1005773.38	7.52%	46.56%
2027	2350531.32	1218541.22	48.16%	13704949.42	15861502.72	1024563.20	7.48%	47.43%
2028	2421933.62	1299078.17	46.36%	13703626.87	15808749.74	982267.42	7.17%	45.48%
TOTAL	16184966.77	8223346.90	49.19%	103455122.91	120690255.63	9273512.84	8.96%	53.67%

Figura 4.15 Resultados experimentales del Caso 6

Los resultados de la simulación indican que, el porcentaje de incremento de demanda agregada, aunque es elevado en los primeros años, a lo largo del tiempo este porcentaje disminuye a medida que los excedentes incrementan en cada año. Mientras que, el porcentaje de aprovechamiento es de un 49.19% con respecto a la totalidad de excedentes, que comparados con el aprovechamiento teórico de 78.64%, es notablemente inferior.

4.6 Caso 7

En este caso se agregan 50000MWh semanales los que equivalen a 1620GWh anualmente.



Figura 4.16 Incremento de 50000 MWh Semanal

4.6.1 Resultados Teóricos

La siguiente figura muestra los resultados teóricos obtenidos en la plantilla de Excel agregando el sexto paso de demanda de 2700GWh anuales.

AÑOS	TOTAL EXCEDENTES BASE [MWh]	TOTAL EXCEDENTES EN DEMANDA AGREGADA [MWh]	APROVECHAMIENTO DE EXCEDENTES [%]	TOTAL DEMANDA BASE [MWh]	TOTAL DEMANDA AGREGADA [MWh]	DEMANDA NO SUPLIDA POR LOS EXCEDENTES [MWh]	INCREMENTO DEMANDA BASE [%]	INCREMENTO DEMANDA AGREGADA [%]
2021	1462423.77	71663.45	95.10%	12014863.32	14614863.32	1209239.68	10.06%	44.79%
2022	1629839.50	127524.16	92.18%	12226001.27	14826001.27	1097684.66	8.98%	40.65%
2023	1900086.62	182521.11	90.39%	12429192.66	15029192.66	882434.49	7.10%	32.68%
2024	1756094.80	124267.89	92.92%	12937724.67	15587724.67	1018173.09	7.87%	37.71%
2025	2171359.98	334666.91	84.59%	13059987.37	15659987.37	763306.94	5.84%	28.27%
2026	2492697.17	479276.38	80.77%	13378777.33	15978777.33	586579.21	4.38%	21.73%
2027	2350531.32	353812.07	84.95%	13704949.42	16304949.42	603280.75	4.40%	22.34%
2028	2421933.62	430673.23	82.22%	13703626.87	16253626.87	558739.61	4.08%	20.69%
TOTAL	16184966.77	2104405.20	87.00%	103455122.91	124255122.91	6719438.43	6.50%	31.11%

Figura 4.17 Resultados teóricos del Caso 7

Como se observa en la figura 4.16, la demanda agregada supera en la mayoría de los meses a los excedentes y aunque en los años siguientes los excedentes no cubren la totalidad de demanda, el porcentaje de incremento de demanda disminuye, es decir, pasa de un 44.79% en el año 2021 a un 20.69% para el año 2028.

4.6.2 Resultados Experimentales

La siguiente figura muestra los resultados experimentales que se obtuvieron a partir de la simulación del escenario caso 7 en la sala del SimSEE.

AÑOS	TOTAL EXCEDENTES BASE [MWh]	TOTAL EXCEDENTES EN DEMANDA AGREGADA [MWh]	APROVECHAMIENTO DE EXCEDENTES [%]	TOTAL DEMANDA BASE [MWh]	TOTAL DEMANDA AGREGADA [MWh]	DEMANDA NO SUPLIDA POR LOS EXCEDENTES [MWh]	INCREMENTO DEMANDA BASE [%]	INCREMENTO DEMANDA AGREGADA [%]
2021	1462423.77	591511.72	59.55%	12014863.32	14710608.96	1824833.59	15.19%	67.59%
2022	1629839.50	648880.77	60.19%	12226001.27	14921993.95	1715033.95	14.03%	63.52%
2023	1900086.62	753336.98	60.35%	12429192.66	15125311.14	1549368.83	12.47%	57.38%
2024	1756094.80	682372.18	61.14%	12937724.67	15674558.35	1663111.07	12.85%	61.60%
2025	2171359.98	950470.87	56.23%	13059987.37	15756124.94	1475248.46	11.30%	54.64%
2026	2492697.17	1143969.95	54.11%	13378777.33	16074769.95	1347265.40	10.07%	49.90%
2027	2350531.32	1024149.29	56.43%	13704949.42	16400641.05	1369309.60	9.99%	50.72%
2028	2421933.62	1100688.56	54.55%	13703626.87	16335030.37	1310158.43	9.56%	48.52%
TOTAL	16184966.77	6895380.31	57.40%	103455122.91	124999038.72	12254329.35	11.85%	56.73%

Figura 4.18 Resultados experimentales del Caso 7

Los resultados de la simulación indican que, el porcentaje de incremento de demanda agregada, aunque es elevado en los primeros años, a lo largo del tiempo este porcentaje disminuye a medida que los excedentes incrementan en cada año. Mientras que, el porcentaje de aprovechamiento es de un 57.40% con respecto a la totalidad de excedentes, que comparados con el aprovechamiento teórico de 87.00%, es notablemente inferior.

4.7 Costo de Abastecimiento de Demanda

Los resultados obtenidos en la simulación de la sala en SimSEE para cada uno de los pasos de demanda adicional que se agregaron en los diferentes escenarios, se reflejan en la siguiente figura.

INCREMENTOS SEMANALES [MWh]	INCREMENTOS ANUALES [GWh]	CAD [MUSD]
0	0	8009,3
5000	270	8224,58
10000	540	8505,16
20000	1080	9186,79
30000	1620	10050,22
40000	2160	11116,91
50000	2700	12418,91

Figura 4.19 CADs para los diferentes escenarios de demanda

En la siguiente se figura se muestra el comportamiento de los costos de abastecimiento de demanda según cada paso de demanda adicional que se incrementa. Como era de esperar, se produce un aumento en los costos totales conforme se incrementa la demanda adicional.

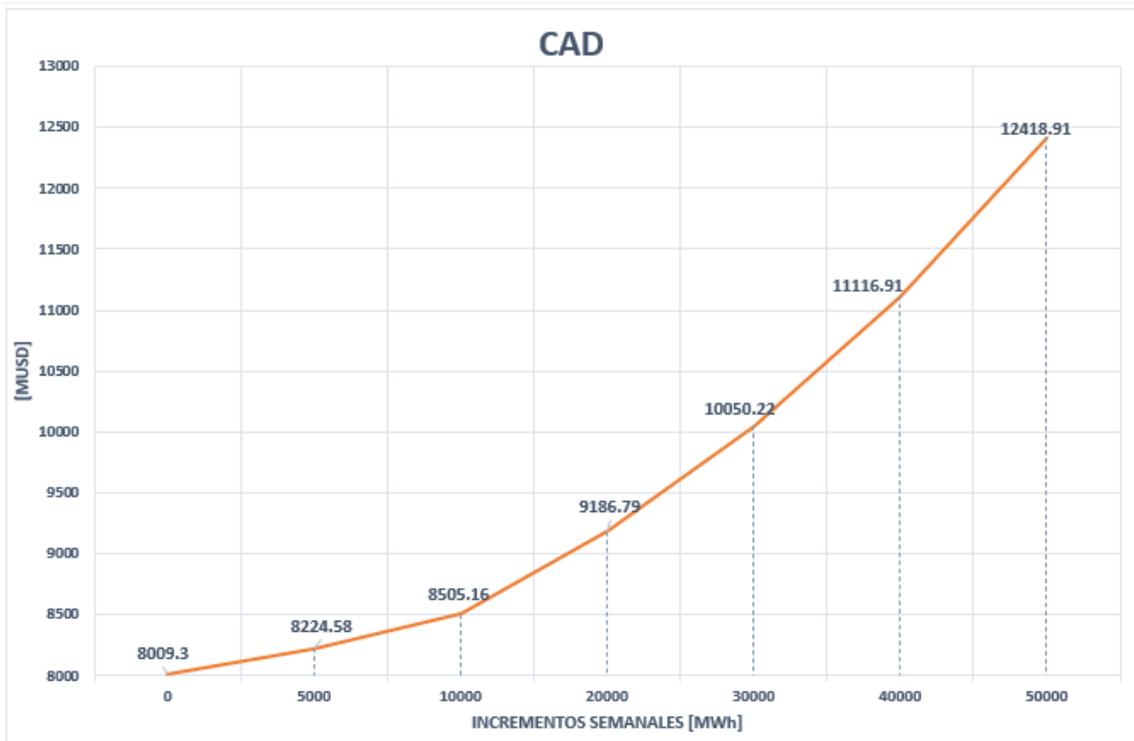


Figura 4.20 CADs según incremento de cada paso de demanda

4.8 Porcentaje de Aprovechamiento de excedentes

INCREMENTOS SEMANALES [MWh]	INCREMENTOS ANUALES [GWh]	APROVECHAMIENTO DE EXCEDENTES [%]
5000	270	7.43%
10000	540	14.79%
20000	1080	28.04%
30000	1620	39.49%
40000	2160	49.19%
50000	2700	57.40%

Figura 4.21 Resultados de aprovechamiento de excedentes

De igual forma, los porcentajes de aprovechamiento de los excedentes para cada incremento de demanda aumentan, siendo el incremento de 50000 [MWh] semanal el que tiene un mejor indicador, aunque también es el que hace incrementar más la demanda base.

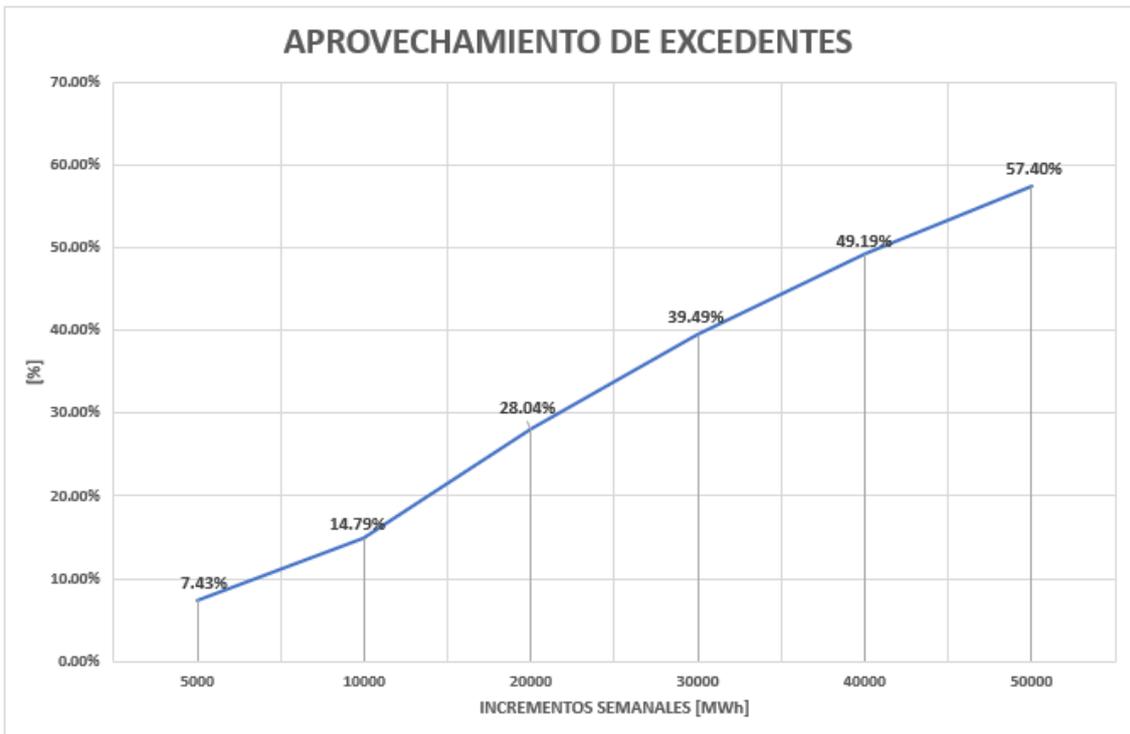


Figura 4.22 Aprovechamiento de excedentes por cada paso de demanda adicional

4.9 Porcentaje de Incremento de Demanda

INCREMENTOS SEMANALES [MWh]	INCREMENTOS ANUALES [GWh]	INCREMENTO DEMANDA BASE [%]	INCREMENTO DEMANDA AGREGADA [%]
5000	270	0.92%	44.04%
10000	540	1.85%	44.34%
20000	1080	3.94%	47.21%
30000	1620	6.32%	50.42%
40000	2160	8.96%	53.67%
50000	2700	11.85%	56.73%

Figura 4.23 Resultados de incremento de demanda

Con respecto a los incrementos de demanda, ambos indicadores poseen un comportamiento similar y casi lineal. Con estos indicadores se logra observar como los incrementos de demanda afectan al sistema base, haciendo que la demanda aumente al igual que el costo de abastecimiento, pero logrando aprovechar cierta cantidad de excedentes.

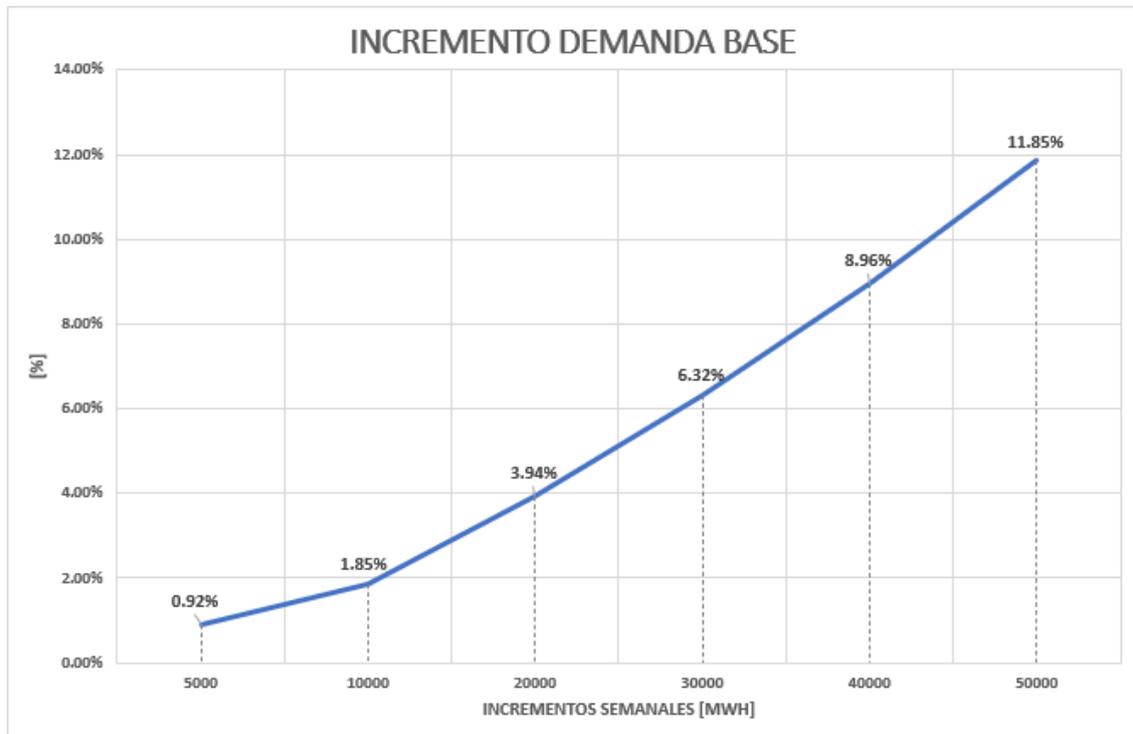


Figura 4.24 Incremento de demanda base por cada paso de demanda adicional semanal

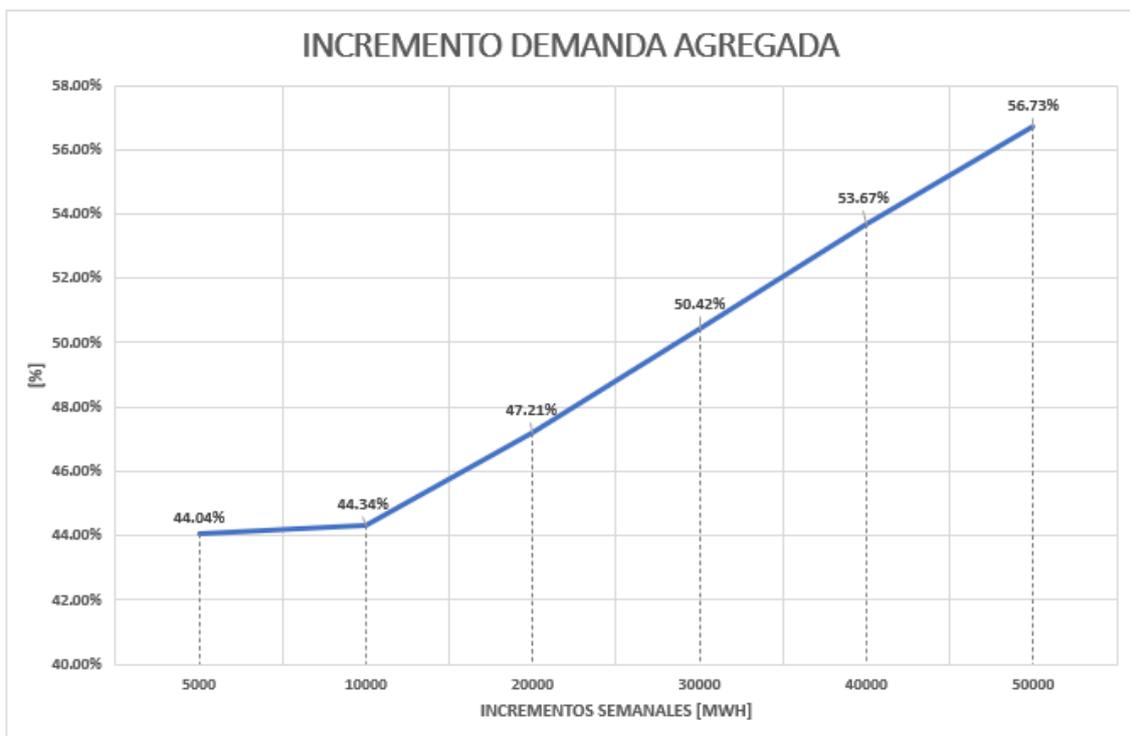


Figura 4.25 Incrementos de demanda agregada

5. Conclusiones

Los excedentes analizados en todo el periodo de simulación equivalen a un 16% de la demanda total del mismo periodo, por esta razón al tener una significancia relevante es importante poder aprovechar esta energía de manera que no afecte en gran cantidad al sistema nacional. Con la caracterización de los excedentes se logró observar que estos poseen un comportamiento periódico anual y su magnitud varía con la expansión de sistemas de generación renovables y del recurso eólico-solar.

Para el aprovechamiento de los excedentes, el agregar un paso de demanda a lo largo del año resultó ser mas provechoso que agregar una demanda puntual en el día o semana de mayores excedentes. Esto se debe a que de esta manera se consideran todos los excedentes que se originan en todo un año y no solamente los que se producen en periodos de tiempo mas cortos los cuales podrían ser mínimos para suplir una sola demanda, o caso contrario máximos, lo que generaría definir diferentes valores de demanda. Realizar pasos de demanda lineales permite analizar y definir el comportamiento del sistema a largo plazo.

El incremento de demanda adicional conlleva un incremento en la demanda base, a su vez un incremento en el costo de abastecimiento de demanda, pero resulta ser un mejor aprovechamiento de los excedentes disponibles. Por lo tanto, se debe tomar en cuenta los tres indicadores obtenidos para realizar un incremento de demanda óptimo.