

## Optimización y mejoras en el Sistema Interconectado Provincial

Alvez, Carlos Manuel, Antúnez, Jorge Jonathan, Kappler, Nicolás Eberardo, Esp. Ing. Berent, Héctor Fabián, Esp. Ing. Reversat, José Horacio, Mgster. Ing. Toledo, Eduardo

*Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.*

e-mails: [manucoalvez@gmail.com](mailto:manucoalvez@gmail.com) , [jorgejonathan.jja@gmail.com](mailto:jorgejonathan.jja@gmail.com) , [nicoka50@gmail.com](mailto:nicoka50@gmail.com),  
[hectorberent@yahoo.com.ar](mailto:hectorberent@yahoo.com.ar), [hreversat@hotmail.com](mailto:hreversat@hotmail.com), [eduardo.toledo86@gmail.com](mailto:eduardo.toledo86@gmail.com)

---

### **Resumen**

El Sistema de Interconectado Provincial (SIP), es el nombre que identifica al conjunto de redes eléctricas y subestaciones transformadoras bajo el cual se suministra de energía eléctrica a la provincia supliendo la demanda de la población y de las industrias ubicadas dentro del territorio misionero. Esta forma de transporte de la energía consiste en un sistema troncal, cuya línea principal de 132 kV se propaga a lo largo de la RN N°12, con derivaciones hacia el centro de la provincia. Dicho sistema ante alguna falla en la línea de transmisión, afecta al suministro de energía aguas abajo del lugar donde se dio el desperfecto, ocasionando una mala calidad del servicio y pérdidas en el sistema. Ante esto, llevamos a cabo un estudio que consiste en un análisis del actual sistema planteando diversos escenarios en el tiempo así prever las posibles fallas producto del crecimiento de la demanda energética de la provincia, a su vez, proporcionar alternativas viables que solventen estas fallas, brindando al usuario un sistema de mayor flexibilidad y confiabilidad.

*Palabras Clave – SIP, Energía eléctrica, Sistema troncal*

### **1. Introducción**

Desde sus inicios en La Revolución Industrial, la red eléctrica se ha convertido de un sistema aislado que servía a un área geográfica particular. En un momento dado, toda la energía era producida cerca del dispositivo o del servicio que requería energía. A comienzos del siglo XIX, la electricidad fue una idea novedosa que competía con el vapor, la hidráulica, el enfriamiento o calentamiento directo, y principalmente el gas natural. En esa época, la producción de gas y su reparto se había convertido principal de la industria moderna de la energía. A la mitad del siglo XIX, la iluminación por arco eléctrico se convirtió rápidamente en algo mucho más ventajoso que el gas volátil ya que los gases producen luz pobre, calentamiento excesivo que hacía que los cuartos se calentaran y se llenaran de humo, y partículas nocivas como el monóxido de carbono. Después de haber estudiado la industria de iluminación del gas, Thomas Alva Edison (por Pearl Street Station) inventó el primer sistema eléctrico que suministraba energía por medio de redes virtuales para la iluminación. Los generadores de corriente continua se conectaban a cargas del mismo Voltage. La generación, transmisión y cargas tenían que ser de la misma tensión, porque no había manera de cambiar los niveles de voltaje de corriente continua, con excepción de los conjuntos motor-generator ineficientes. La tensión producida no era mayor a 100 voltios, ya que era una tensión de practica para las lámparas incandescentes, que eran la carga eléctrica primaria. Baja tensión requería menos aislamiento para la distribución segura dentro de edificios. La pérdida en un cable es proporcional al cuadrado de la corriente (ley de Ohm) y la resistencia del cable. Una tensión de transmisión más alta reduciría el tamaño del cobre para transmitir una determinada cantidad de energía, pero no existía un método eficiente para cambiar el voltaje de los circuitos de alimentación de CC. Entonces para mantener las pérdidas a un nivel económicamente practico el sistema de distribución de Édison necesitaba cables de gran sección y generadores locales. Las primeras plantas de generación de corriente continua

debían estar dentro de aproximadamente 2.4 km del cliente más lejano para evitar conductores excesivamente grandes y caros. [1]

Lo que hoy se conoce como red eléctrica gracias a la invención de Nikola Tesla que por medio de las máquinas de inducción magnética que concibió. Los transformadores de potencia, instalados en las centrales eléctricas son utilizados para elevar el voltaje de los generadores a su vez de la misma manera mediante estaciones transformadoras y subestaciones locales podrían reducir la tensión a suministrar a la carga. El aumento de la tensión reduce la corriente en las líneas de transmisión y de distribución y por lo tanto el tamaño de los conductores y las pérdidas en el transporte. Esto hizo que fuera más económico para distribuir la energía a través de largas distancias. [1]

El Sistema de Interconectado Provincial (SIP), es el sistema bajo el cual se suministra de energía eléctrica a la provincia supliendo la demanda de la población y de las industrias ubicadas dentro del territorio misionero. Este consiste en un sistema troncal, cuya línea principal de 132 kV se propaga a lo largo de la RN N°12, desde el nodo de interconexión con el Sistema de Interconectado Nacional (SIN) en la subestación San Isidro, Posadas, hasta la subestación en Iguazú, con derivaciones hacia el centro de la provincia.

## **2. Problemática**

El inconveniente que presenta el sistema troncal de nuestra provincia es que, ante alguna falla en la línea de transmisión, se ve afectado el suministro de energía eléctrica a cada una de las cargas ubicadas aguas abajo del punto de falla. Adicionado a esto, se presentan las extensas distancias entre los distintos centros de consumo con el nodo de interconexión con el SIN. Esto conlleva a grandes pérdidas, y mala calidad del servicio en relación a la energía que no se logra suministrar en las salidas de servicio de la transmisión de energía, obligando al sistema incorporar generación localizada en media tensión haciendo uso de grupos de generación Diésel, para así suplir la demanda energética y mantener la calidad del servicio dentro de parámetros tolerables.

## **3. Estado Del Arte**

La disponibilidad de energía eléctrica de nuestra provincia en mayor parte depende de la potencia que transporta el sistema interconectado nacional SIN en líneas de extrema alta tensión en 500 kV y a su vez se distribuye basándose en un sistema de distribución troncal en alta tensión 132 kV que bordea la ruta 12 sobre la costa del río Paraná con derivaciones hacia el centro de la provincia. El SIP también cuenta con una interconexión con Paraguay entre los departamentos de C. A. López y Eldorado, también entre la ciudad de Posadas y Encarnación en AT 220 kV, ilustrados en la Figura 1. [2]



**Figura 1. Sistema de Interconectado Provincial. Fuente: CAMMESA. [3]**

El punto a destacar en la manera de distribución troncal utilizado en la provincia es que ante una falla en algún punto de la línea deja sin suministro de energía a todas aquellas cargas que se encuentran aguas debajo de la misma. Según un estudio realizado por el CEED [4] (Centro de Estudios de Energía para el Desarrollo) indican que existen grandes distancias entre los centros de consumo y la interconexión con el SIN en el Nodo de San Isidro ubicado en la capital provincial. Estas grandes distancias provocan pérdidas en la transmisión y una mala calidad del servicio en relación a energía no suministrada producto de los fuera de servicio de las líneas de transmisión y que el sistema deba recurrir a la generación descentralizada en media tensión (MT) utilizando grupos de generación Diésel (de elevados costos) para mantener la eficiencia en la operación del SIP en un nivel aceptable y la importación de energía en alta tensión desde Paraguay.

## 4. Objetivos

### 4.1. Objetivos Generales

Estudio y proyección de expansión del Sistema de Interconectado Provincial, brindando mayor confiabilidad y flexibilidad al sistema actual, e incrementando la capacidad de distribución del mismo.

### 4.2. Objetivos Específicos

- Relevamiento de las estaciones transformadoras de 132 kV (demanda).
- Calcular y determinar la ubicación el centro de carga de la Provincia.

- Simulación mediante software del sistema interconectado actual y con las mejoras establecidas en el proyecto.
- Proyección del crecimiento interanual a 25 años.
- Elaboración de un plan de crecimiento de la demanda provincia a 5 años.
- Diseño y cálculo de una línea de 132 kV teniendo en cuenta el nuevo centro de carga.

## 5. Estudio del SIP

Los proyectos eléctricos son costosos y requieren de gran planificación, pero son indispensables para lograr el crecimiento económico y satisfacer las necesidades básicas de los habitantes.

Estudiar en primera medida el SIP con datos actuales, nos proporciona un panorama sobre el estado actual en el que se encuentra el sistema, proporcionando información acerca de las posibles sobrecargas y sobretensiones para una previsión de 5 años, basados en el crecimiento demográfico estimativo de la provincia. Mediante este estudio, se puede establecer alternativas de conexión que confieran mayor flexibilidad y confiabilidad en el sistema.

### 5.1. Relevamiento de Datos

Para llevar adelante el estudio, es necesario la recopilación de datos, siendo estos los valores de potencia activa y potencia reactiva, para su posterior simulación y análisis. Dichos datos, son las magnitudes de potencia que consumen cada una de las cargas que se encuentran interconectadas a cada una de las subestaciones, fueron obtenidos a partir de la toma de mediciones ordenadas en planillas de tipo Excel donde los operadores vuelcan la información que reciben de los instrumentos de medida que componen la subestación y de las que conforman al SIP, los datos utilizados corresponden a un periodo de 3 meses consecutivos.

A la hora de tomar las mediciones pertinentes, estas se registran en una planilla hora a hora, a lo largo del día, durante todo el mes, y todo el año, por ello, se adoptan los meses de febrero, marzo y abril para realizar el análisis. En lo que respecta a los días adoptados, fueron de especial interés los días viernes, sábado y domingo, categorizados como días laborable, semi laboral y no laboral. En la Tabla 1, se ejemplifica el modelo de planilla con el que se trabaja, para el mes de febrero en un rango horario acortado.

**Tabla 1. Planilla ejemplo de datos relevados. Fuente: Elaboración propia.**

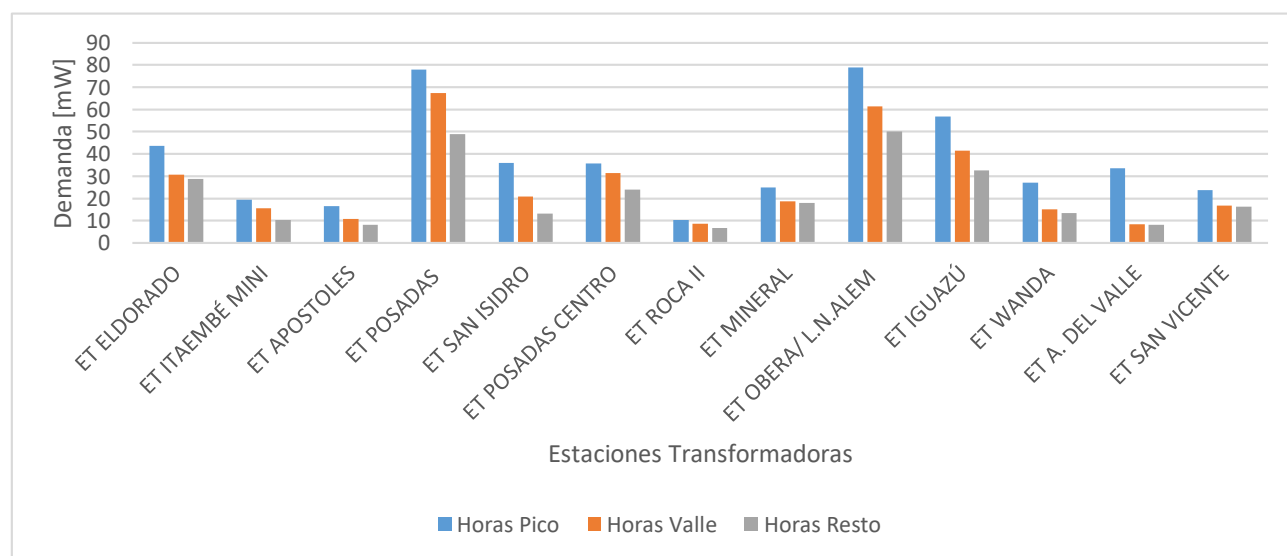
DIA									
HORA	TRANSFORMADOR N°1								
	13.2 KV			33KV			132 KV		
	KV	A	MW	KV	A	MW	KV	A	MW
00:00									
01:00									
02:00									
03:00									
04:00									
05:00									
06:00									
07:00									
08:00									
09:00									
10:00									
11:00									
12:00									
13:00									
14:00									
15:00									
16:00									
17:00									
18:00									
19:00									
20:00									
21:00									
22:00									
23:00									

En principio, al ser un gran número de datos, se decide promediar los valores hora a hora, para cada uno de los días adoptados, para finalmente disponer de una demanda promedio del mes, y así,

un valor medio de la potencia consumida a lo largo del año. Estos datos finales son los que se emplean para el estudio posterior a realizar. En la Tabla 2 se detallan los valores medios de demanda activa para el presente año 2019, para cada una de los puntos medidos, discriminando por franjas horarias entre pico (18:00 a 23:00), valle (00:00 a 05:00) y resto (06:00 a 17:00) [5], mientras que en el Gráfico 1 se presenta de manera ilustrativa los valores de dicha tabla. Estos datos fueron obtenidos a través de mediciones llevadas a cabo en los puntos de distribución, las estaciones de 132 kV de la provincia.

**Tabla 2. Potencia activa consumida prevista para el año 2019. Fuente: Elaboración propia.**

Subestación Transformadora	Potencia Activa	Horas Pico	Horas Valle	Horas Resto
<b>ET ELDORADO</b>	P [MW]	43,61	30,58	28,82
<b>ET ITAEMBÉ MINI</b>	P [MW]	19,48	15,63	10,35
<b>ET APOSTOLES</b>	P [MW]	16,46	10,90	8,17
<b>ET POSADAS</b>	P [MW]	77,95	67,47	48,86
<b>ET SAN ISIDRO</b>	P [MW]	36,07	20,82	13,19
<b>ET POSADAS CENTRO</b>	P [MW]	35,65	31,30	23,90
<b>ET ROCA II</b>	P [MW]	10,41	8,63	6,69
<b>ET MINERAL</b>	P [MW]	24,94	18,62	17,98
<b>ET OBERA/ L.N.ALEM</b>	P [MW]	78,915	61,50	50,16
<b>ET IGUAZÚ</b>	P [MW]	56,91	41,49	32,63
<b>ET WANDA</b>	P [MW]	26,99	15,15	13,38
<b>ET A. DEL VALLE</b>	P [MW]	33,50	8,43	8,17
<b>ET SAN VICENTE</b>	P [MW]	23,84	16,86	16,34



**Gráfico 1. Potencia activa consumida prevista para el año 2019. Fuente: Elaboración propia.**

Para lograr una correcta proyección, un factor muy importante a determinar es el crecimiento de la demanda. Con este dato podemos definir por cuanto tiempo el proyecto funcionara correctamente, y a partir de cuándo se deberán implementar obras de ampliación. Este crecimiento será utilizado en las simulaciones posteriores, como así también para obtener el desplazamiento del centro de carga de la provincia a través de los años.

Para obtener el factor de crecimiento, se llevó a cabo un relevamiento de las demandas de cada estación transformadora, analizando la dicha demanda para los años 2018 y 2019. Para ello, se tomaron los valores promedios de cada año y se determinó el crecimiento anual de cada ET.

Por información brindada por los operarios e ingenieros que desempeñan su profesión en Energía De Misiones, se determinó que el crecimiento anual adoptado para toda la provincia es de aproximadamente 5,52%. A partir de este valor, se corrobora que el valor promedio determinado en los porcentajes de crecimiento sea cercano al valor adoptado por la entidad distribuidora de energía [6]. En la Tabla 3.3.1, se presentan las demandas de los años 2018 y 2019 con su respectivo crecimiento, apreciándose, además, que el crecimiento total provincial por año es de próximo a 5,52%.

**Tabla 3. Crecimiento de la demanda anual por ET. Fuente: Elaboración propia.**

Estación	P [MW]		Crecimiento 2018 - 2019
	2018	2019	
<b>ET Eldorado</b>	41,01	43,61	6,34%
<b>ET Itaembé Mini</b>	18,30	19,48	6,44%
<b>ET Apóstoles</b>	15,58	16,46	5,65%
<b>ET Posadas</b>	73,23	77,95	6,44%
<b>ET San Isidro</b>	33,76	36,07	6,83%
<b>ET Posadas Centro</b>	33,40	35,65	6,73%
<b>ET Roca</b>	9,94	10,41	4,74%
<b>ET Mineral</b>	23,88	24,94	4,46%
<b>ET Oberá/ L. N. Alem</b>	74,23	78,915	6,31%
<b>ET Iguazú</b>	54,10	56,91	5,19%
<b>ET Wanda</b>	25,94	26,99	4,06%
<b>ET A. Del Valle</b>	32,12	33,50	4,30%
<b>ET San Vicente</b>	22,95	23,84	3,90%
<b>ET Oberá II</b>	14,79	15,64	5,75%
	Total Provincial		5,51%

Mediante estos porcentajes, se afectan a la demanda media establecida con anterioridad, para así disponer de una previsión de 5 años, y poder llevar a cabo las simulaciones pertinentes y finalmente adoptar las soluciones más propicias para la mejora del SIP.

## 5.2. Simulación

La simulación del SIP nos brinda información acerca de las sobrecargas que se presentan en el sistema, como también los puntos e interconexiones que se encuentran próximas a las sobrecargas. Para llevar a cabo tales simulaciones, para los distintos años a partir del 2019 al 2025, se hace uso del software PSS E, el cual es desarrollado por la empresa Siemens, este permite realizar una amplia

variedad de funciones de análisis, que incluyen flujo de energía, dinámica, cortocircuito, análisis de contingencia, flujo de energía óptimo, estabilidad de voltaje, simulación de estabilidad transitoria, entre otros. [7]

En dicho software, se lleva a cabo un diagrama unifilar del SIP con las características constructivas de cada equipo involucrado en el sistema. El diagrama, que se ilustra en la Figura 5.2.1, es provisto por la cátedra de E.C.R.E. de la Facultad de Ingeniería de Oberá [5], además de los datos técnicos que involucran al interconectado [2]. Una suposición importante a la hora de llevar a cabo la simulación, es la de considerar los proyectos de ampliación aprobados del SIP se encuentran finalizados [8]. Dispuesto el diagrama unifilar, con sus respectivas características, se introducen las variables controlables del sistema, siendo estas, las demandas determinadas para cada subestación, tanto activa como reactiva. Dicho ingreso de variables se realiza para cada uno de los años de la previsión, y posteriormente se ejecuta la simulación del software.

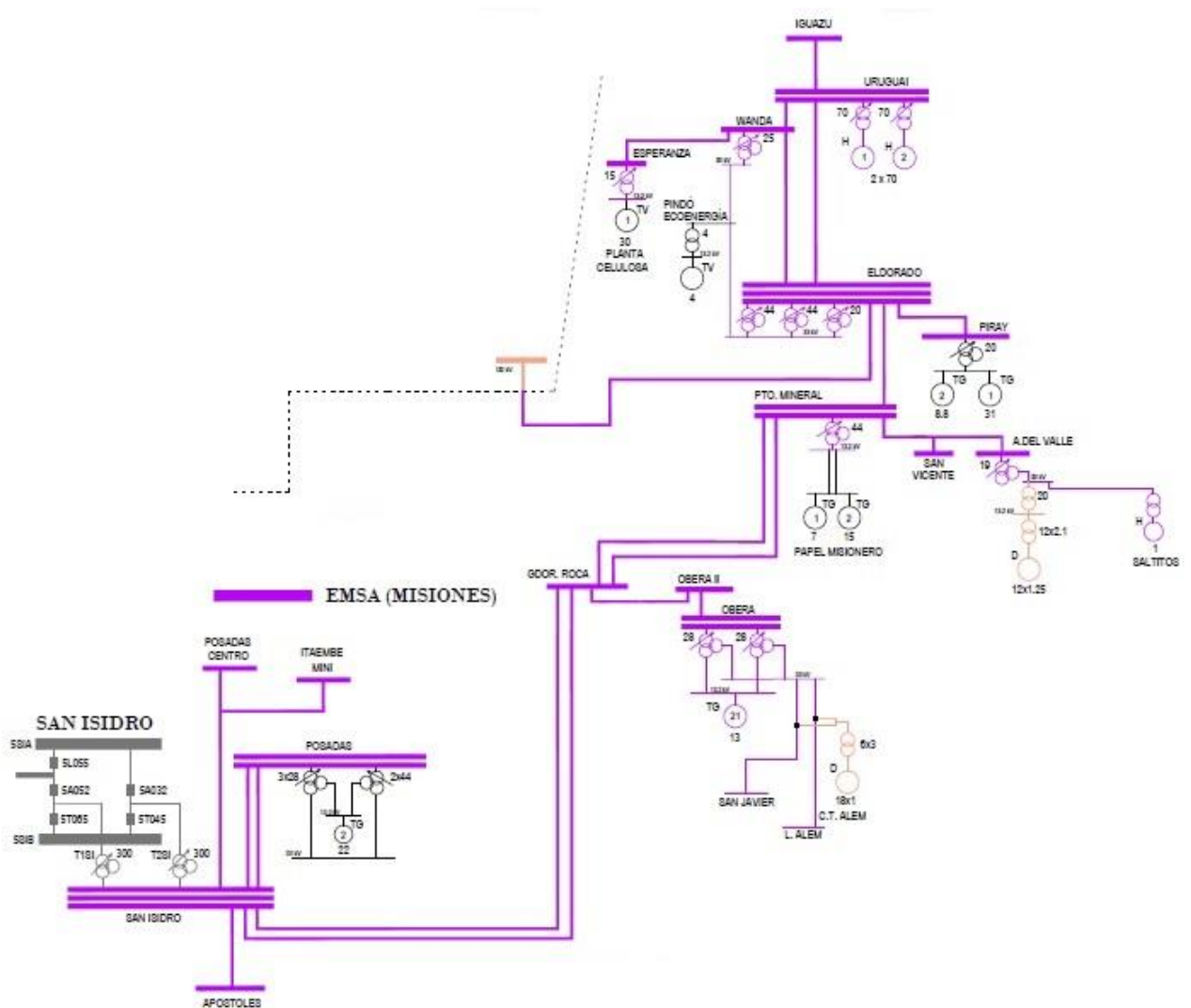


Fig. 2. Diagrama unifilar del SIP. Fuente: CAMMESA [2]

## 6. Resultados Esperados



En base a las simulaciones llevadas a cabo en el software PSS E, se espera determinar el grado de sobrecarga de los elementos que constituyen al sistema de transmisión de la provincia, como ser equipos de transformación, barras conductoras y líneas de transmisión, y a través de estos, proporcionar alternativas idóneas que solventen dichas fallas, brindando una planificación de proyecto de dichas alternativas y su viabilidad.

## 7. Conclusión

Una vez concluidas las simulaciones en los distintos escenarios de tiempo propuestos para el año 2020 se tiene en cuenta que estarán construidas las siguientes obras, línea 132 kV entre San Isidro-Alem-Oberá II con correspondiente estación transformadora en L. N. Alem y la doble terna en 132 kV entre Mineral y Eldorado [8]. Estos proyectos ya fueron anunciados por la distribuidora energía de Misiones. Los resultados de la simulación arrojan:

- Limite en la capacidad de transporte de la línea Roca-Oberá siendo esta línea la de menor sección de conductores en el SIP de 150 mm<sup>2</sup>.
- Sobre carga en la línea Iguazú y barras de la central Uruguái.
- Empalme entre la línea de Oberá II y el tramo Roca-Oberá I
- Sub-tensión en la barra de 132 kV de Aristóbulo del Valle

Siguiendo el listado de los problemas para el 2026 en el sistema interconectado provincial se deberían realizar los siguientes modificaciones y obras:

- Reemplazo de conductores por una nueva sección entre la estación Oberá II y Roca.
- Reconfigurar los parámetros de las protecciones (transformadores de intensidad) de la línea Iguazú-Uruguái.
- Construcción de un tramo de línea en 132 kV entre estación transformadora Oberá II y Roca.
- Instalación de bancos de capacitores por sub-tensión en las barras de las estaciones transformadoras afectadas.
- Nueva línea de 132 kV entre San Vicente-San Pedro-Eldorado cumpliendo la función de anillo dando flexibilidad a la operación del sistema interconectado provincial.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido llevado a cabo gracias al apoyo del Mgster. Ing. Toledo Eduardo, que nos proporcionó apoyo e información acerca del empleo del software y el análisis de las simulaciones como así también de las opciones disponibles para distintos resultados, además de la tutoría del Esp. Ing. Berent Héctor Fabián y el Esp. Ing. Reversat José Horacio, y del acompañamiento del Dr. Ing. Oliveira Mario Orlando para llevar adelante el trabajo.

## Referencias

- [1] Distribución de energía eléctrica, Disponible: <http://www.sectorelectricidad.com/9602/distribucion-de-energia-electrica/>
- [2] Visor SIG (Sistema de interconexión geográfica), Disponible: <https://sig.se.gob.ar/visor/visorsig.php?t=1>

- [3] CAMMESA (Compañía administradora del mercado mayorista eléctrico), <http://portalweb.cammesa.com/default.aspx>
- [4] Mario Oliveira, Oscar Perrone y Horacio reversat, “Estudio de optimización del sistema interconectado de la provincia de misiones – argentina”, CIDEL Argentina 2014 Congreso Internacional de Distribución Eléctrica Disponible: <http://www.ceed.org.ar/consulta/>
  
- [5] Cátedra de E.C.R.E. de FIO (2019) – UNaM
- [6] Energía De Misiones, Disponible: <https://www.energiademisiones.com.ar/>
- [7] PSS®E – high-performance transmission planning and analysis software, Disponible: <https://new.siemens.com/global/en/products/energy/services/transmission-distribution-smart-grid/consulting-and-planning/pss-software/pss-e.html>
- [8] CFEE (Consejo Federal de la Energía Eléctrica), <http://www.cfee.gov.ar/proyectos-pf1.php>