



La electrificación de un yacimiento

Modelado de redes eléctricas como soporte al desarrollo de yacimientos maduros

Por Nicolás Spensieri

Los campos maduros tienen en general un alto consumo eléctrico debido a los métodos de recuperación, tratamiento y bombeo, entre otras necesidades, lo cual llevó a YPF a modificar su sistema de abastecimiento.

Introducción

La producción y el desarrollo de campos maduros están asociados a altos consumos de energía eléctrica, principalmente vinculados a requerimientos de potencia para la inyección de agua a formación. Adicionalmente, y como consecuencia de este proceso, surgen necesidades energéticas para la separación y tratamiento de la producción bruta (agua e hidrocarburos), el bombeo de crudo, la alimentación a servicios auxiliares y la electrificación de pozos.

Este escenario de demanda, sumado al plan de desarrollo –que impone aún más exigencias al sistema eléctrico– hace necesario un análisis metodológico que, a través del uso de una herramienta informática, permita simular el comportamiento actual y futuro de los sistemas eléctricos de potencia que abastecen los distintos yacimientos de la Compañía.

Antecedentes

La actual situación de las instalaciones, los nuevos emprendimientos en ejecución y en proyecto, el plan de desarrollo de la Compañía, los proyectos energéticos requeridos en el corto plazo y las instalaciones eléctricas proyectadas, entre otros, requieren una integración para obtener una solución global mejor.

Al solo efecto ilustrativo basta con referenciar que la actual demanda de la región A, que cubre las áreas operativas de la cuenca del golfo San Jorge, es aproximadamente 105 MW, de los cuales 95 MW son suplidos internamente con la figura de autogenerador y 10 MW adquiridos del sistema interconectado. La central de generación propia principal está conformada por un ciclo abierto y cubre 70 MW (aproximadamente), y hay 2 centrales más pequeñas que aportan 25 MW.

Solo para esta región la demanda prevista para el año 2015 rondará los 157 MW, atento a los planes de desarrollo previstos.

Frente a este escenario es que se plantea la necesidad de realizar un estudio integral del sistema eléctrico, lo cual significa arribar a un conocimiento detallado de las facilidades de dicho sistema (generación, distribución, oferta y demanda, actual y futura de energía eléctrica), mediante la consolidación de la documentación existente y la obtención o elaboración de aquella que estuviese faltando. Etapas posteriores de este proyecto permitirán abarcar estudios de optimización de la operación y de la expansión de las redes.

Objetivos planteados:

Los objetivos planteados para este proyecto son:

- Conocer el estado de situación actual de los sistemas eléctricos de potencia.
- Identificar y cuantificar los cuellos de botella del sistema en sus tres niveles (generación, transmisión y distribución).
- Soporte técnico a la toma de decisiones.
- Análisis de ampliaciones.

Restricciones de tiempo y de información, inherentes a todo proyecto, han impuesto la necesidad de adoptar ciertas condiciones de borde e hipótesis de cálculo, las cuales se describen más abajo, junto con el desarrollo del modelado propiamente dicho¹.

Desarrollo de los modelos

Datos de partida

En virtud de la situación precedente es que se decide avanzar con la ejecución de dos proyectos, los cuales fueron lanzados prácticamente en paralelo, para el desarrollo de los modelos que permitiesen simular las redes de abastecimiento eléctrico de las distintas áreas productoras.

Los límites planteados para el desarrollo y evaluación de las simulaciones se definieron según los distintos requerimientos de los negocios, pero, en general, el análisis abarcó desde la barra de 132 kV de las distribuidoras de

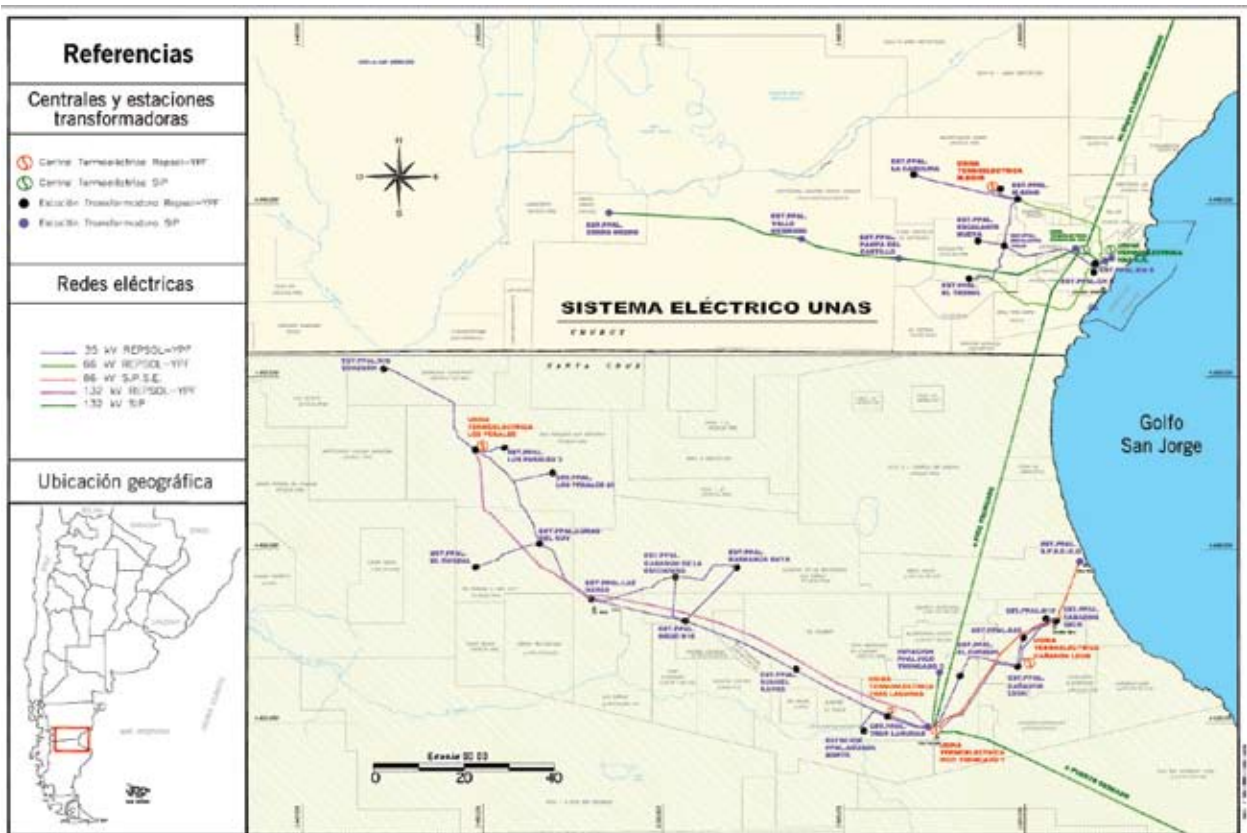


Figura 1. Plano geográfico región A

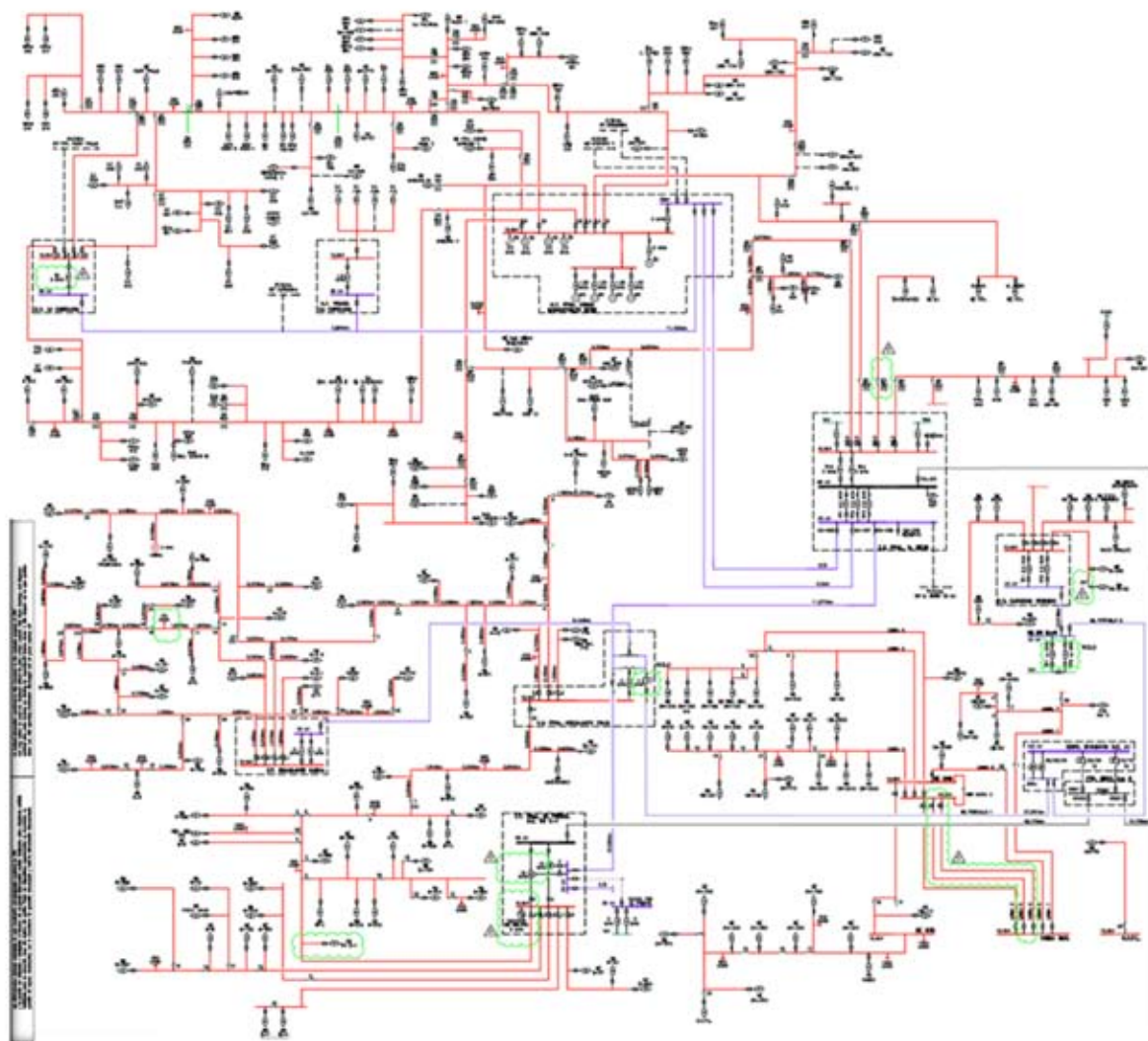


Figura 2. Diagrama unifilar zona 1

energía eléctrica hasta las barras de media tensión (2,3; 10,4 o 13,2 kV según el caso).

Como punto de partida, cada una de las áreas/regiones proporcionó a la dirección de Ingeniería toda aquella información existente y disponible, sea cual fuese el formato. El primer paso, entonces, consistió en la consolidación de esa información a través, básicamente, de la elaboración de diagramas unifilares (cuando estos no existían). En general, se partió de un plano o base de datos georeferenciada desde donde se pudo tomar principalmente información sobre longitud de líneas, ubicación de estaciones transformadoras (principales y de rebaje), ubicación de locaciones y plantas de tratamiento, etc. La figura 2 muestra, a modo ilustrativo, el diagrama unifilar de la zona 1.

Esta primera parte estableció la base sobre la cual se desarrolló el trabajo de modelado propiamente dicho.

El paso siguiente contempló la realización de planillas donde se consignaron los datos de generación, transformación y consumos (pozos, baterías, plantas de tratamiento de crudo, plantas de tratamiento de agua, plantas de inyección de agua, etc.). Mucha de esta información, que estaba diseminada a lo largo de las distintas unidades de negocio, también debió ser compilada. Para esta tarea

fue fundamental el soporte y colaboración brindada por cada uno de los referentes de las áreas productivas.

Cantidad de datos por modelo

Se presenta a continuación un resumen con datos globales referidos a uno de los proyectos en ejecución. Preliminarmente podemos indicar que ambos proyectos tienen características y dimensiones similares.

Tensión nom. prim. (kV)	Tensión nom. sec. (kV)					Total general
	1	10,4	33	35	66	
0,4	1	10,4	33	35	66	4
0,4			4			4
6,3			1			1
10,4	15	478				493
33		2	2			4
35		8	39	1		48
66			2		3	5
132			2			3
Total general	15	488	50	1	3	560

Tabla 1. Cantidad de trafos de dos arrollamientos

Tensión nom. prim. (kV)	Tensión nom. sec. (kV)				Total general	
0,40	1	10,4	33	35		
0,40			5		5	
6,3			5		5	
10,4	2,915	276,925			279,84	
33			9		9	
35		32	159,3	10	201,3	
66			6	13,5	19,5	
132			100		100	
Total general	2,915	308,925	284,3	10	13,5	619,64

Tabla 2. Potencia de transformación instalada

Tensión nominal (kV)	Long. total (km)
10,4	1284,641
33	27,38
35	373,188
66	113
132	47

Tabla 3. Longitud total de líneas

Herramienta utilizada

Para el diseño, simulación, planificación y desarrollo de los sistemas de potencia (generación, transmisión y distribución) es fundamental contar con una herramienta de cálculo (*software*) potente y confiable, cuyos modelos y

	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Total región A
Red externa	1	1	1	3
Barras	725	556	363	1.644
Líneas	485	377	234	1.096
Redes compuestas	21	25	26	72
Interruptores	64	60	75	199
Switch	102	78	65	245
Generadores sincrónicos	10	2	4	16
Trafos (3W)	4	4	3	11
Trafos (2W)	253	198	135	586
Cargas concentradas	230	167	122	519
Capacitores	29	22	22	73

Tabla 4. Cantidad de elementos modelados

base de datos hayan sido validados y verificados en sitio por su desarrollador, y que este posea probada experiencia en el rubro.

Razones de su elección

La elección del aplicativo se ha basado principalmente en las siguientes razones:

- Es uno de los *software* de simulación de sistemas de potencia más difundido en el mundo, y el adoptado por la mayoría de la empresas de O&G e ingeniería más importantes a nivel internacional.

- Es la herramienta de cálculo para modelado de sistemas de potencia utilizada por las empresas de ingeniería con las cuales trabaja la Compañía (tanto en *upstream* como en *downstream*), situación que simplifica y mejora el análisis e intercambio de información.
- El *software* se ajusta a los requerimientos estipulados por CAMMESA, en los procedimientos para la programación de la operación, despacho de cargas y el cálculo de precios, para la realización de los estudios de funcionamiento del sistema de potencia.
- El *software* ya se encuentra homologado por una de las empresas del grupo.
- La última versión del programa se presenta en idioma español.
- La empresa desarrolladora posee representación en la Argentina.

Características generales

- El “paquete” de aplicaciones (o módulos) es definido por el usuario en función de los requerimientos o tipo de análisis a realizar (ver Tipos de estudios realizados).
- La elaboración del circuito equivalente o modelo de red (mallada y/o radial) se realiza en un entorno amigable, a través de la elaboración de diagramas unifilares. Para ello se utiliza una interface gráfica de usuario que permite seleccionar desde una base de datos o librerías los elementos de la red que luego son tomados

- como parámetros con los datos obtenidos en campo.
- La visualización de los resultados de la corrida puede realizarse sobre diagrama unifilar y/o como reporte de salida, el cual puede ser tomado como un parámetro.
- Genera parámetros de la visualización de los valores nominales y de los calculados.
- Visualiza de manera gráfica las alarmas y equipos sobrecargados.
- Genera parámetros de colores para distintos niveles de tensión y estado de barras.
- Genera planillas con datos del/los diagramas unifilares (DU).
- Posee ventanas de edición de propiedades de los elementos de red.
- Posibilita el intercambio de información.

Tipos de estudios realizados

Con base en los modelos generados según la metodología descrita en los puntos anteriores, se realizan estudios eléctricos para determinar el comportamiento de la red frente a diferentes estados y condiciones de borde.

Flujo de carga

Tiene por objetivo principal poder determinar el estado del sistema eléctrico al operar en régimen permanente

Materiales eléctricos para áreas clasificadas

★1936 75 Aniversario 2011★

Calidad Certificada

SALIDA

www.olivero.com.ar

Argentina: Guardia Nacional 82 CP1408 Buenos Aires
+54 11 4682 3502 ventas@olivero.com.ar

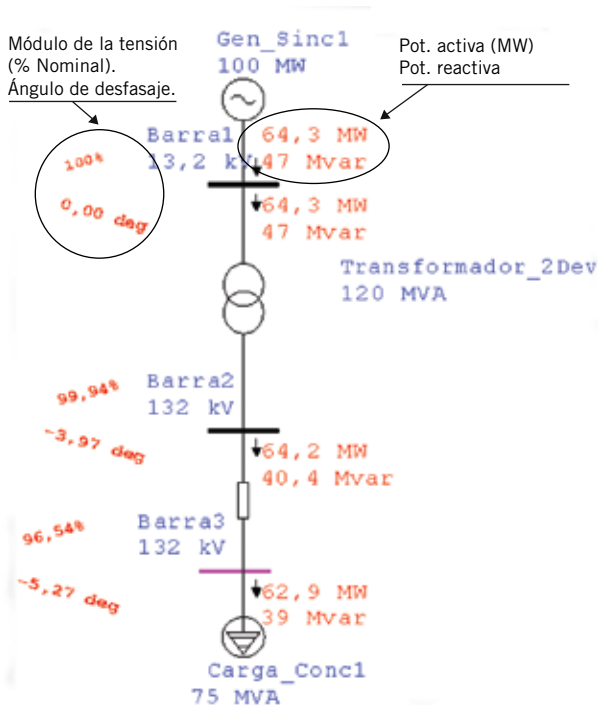


Figura 3. Flujo de carga simplificado

y equilibrado. Principalmente implica conocer (calcular):

- Tensiones en barras [módulo (U) y argumento (δ)].
- Potencia en los nodos y ramas [activa (P) y reactiva (Q)].

Básicamente se trata de resolver ecuaciones algebraicas no lineales a través de métodos numéricos, lo que requiere aproximaciones sucesivas (iteraciones).

Entre los métodos de iteración que el programa de cálculo tiene disponibles para correr flujo de carga (Newton-Raphson, rápido desacoplado y Gauss-Seidel

acelerado) se decidió aplicar Newton-Raphson, debido básicamente a su velocidad de convergencia. El método es fuertemente dependiente de los niveles de tensión inicial de las barras, por lo cual su selección debe ser cuidadosamente analizada.

El método Newton-Raphson formula y resuelve por medio de iteraciones la siguiente ecuación:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta U \end{bmatrix}$$

El método también impone la necesidad de definir las variables de control y las de estado según el siguiente resumen (ver tabla 5).

Para los casos analizados fue el nodo de vinculación al sistema interconectado aquel que se tomó como barra *swing* o, en su defecto, la máquina generadora de mayor potencia.

Los consumos eléctricos fueron modelados como una carga concentrada (80% carga motórica + 20% carga estática), de manera de representar más fielmente la situación real.

En la figura 3 se muestra, a modo de ejemplo, el resultado de un flujo de carga para un sistema de 3 nodos.

También a modo ilustrativo se presenta en la figura 4 un detalle de la simulación de una de las zonas productivas, donde se muestra el área general y una de las redes compuestas (elemento del programa de cálculo que permite representar ramas interconectadas a través de un bloque).

Análisis dinámicos y fallos (cortocircuito)

Una vez validadas en campo cada una de las simulaciones en estado estacionario, se iniciará, como segunda etapa de los proyectos, la evaluación de la respuesta del sistema en estado dinámico o ante fallos.

En esta segunda etapa se pretende conocer:

- Cálculo de cortocircuito, verificación de selectividad y ajuste de protecciones.

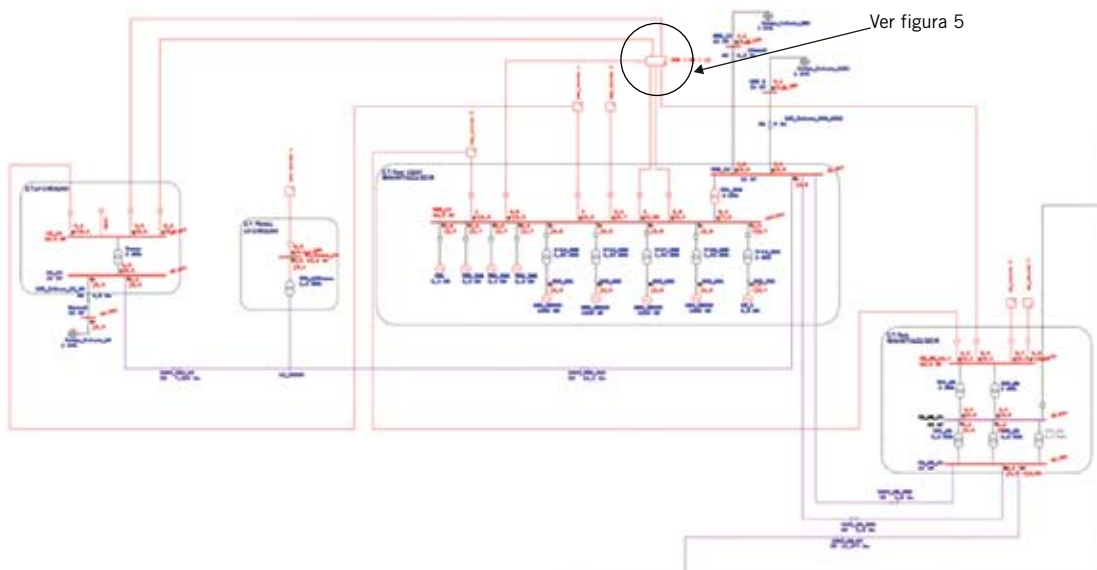


Figura 4. Flujo de carga zona 1

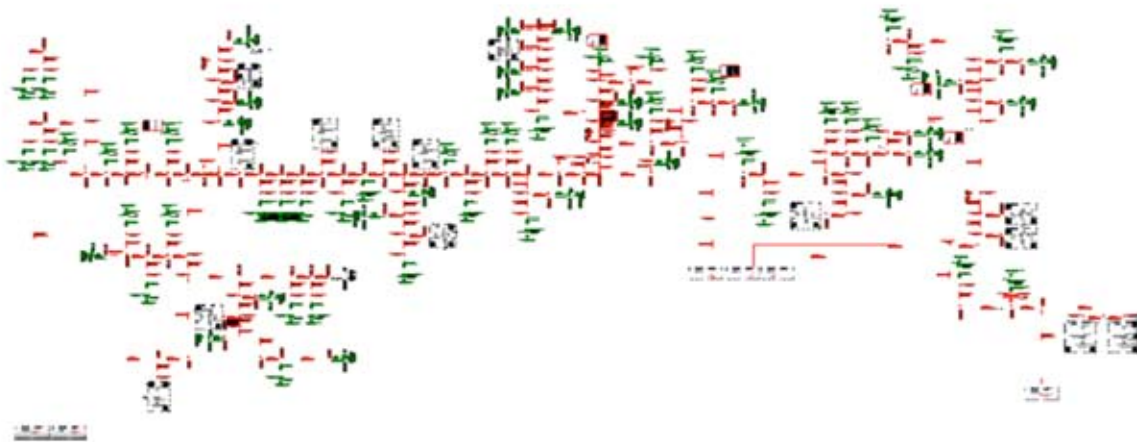


Figura 5. Detalle red compuesta (10,4 kV) – zona 1

- Respuesta del sistema ante fallas lejanas de la red o por pérdida de generación propia.
- Respuesta dinámica al arranque/reaceleración de equipos críticos.

Reflexiones finales

En virtud de lo descripto, y en concordancia con el avance real que estos proyectos tienen, podemos establecer algunos puntos relevantes que soportan este desarrollo:

- Permite cuantificar cuellos de botella y limitaciones que actualmente posee el sistema.
- Puede ser utilizado como soporte para la operación, lo que permite simular maniobras y conocer su impacto sobre la red entera.
- Brinda datos sobre las potencias consumidas, generadas y perdidas asociadas al transporte.
- Permite conocer la respuesta del sistema y tomar acciones preventivas ante posibles escenarios contingentes o de emergencia.
- Posibilidad de cuantificar fallos, evaluar estado de protecciones del sistema, su grado de confiabilidad y definir posibles acciones correctivas.
- Da soporte a las áreas de proyectos para una evaluación integral de las áreas en desarrollo, por lo que se puede establecer la mejor opción de abastecimiento energético, analizando cada nuevo centro de consumo dentro de un todo.

En lo que respecta al tiempo de ejecución, es de destacar que el avance de los proyectos se está ajustando atento a lo planeado originalmente, y se presenta un leve retraso en lo que refiere a los modelos de la región B.

Las tareas de validación en campo, fundamentales para el ajuste de los modelos, permitirán también tomar las experiencias y visiones del personal que opera y mantiene las instalaciones de manera de poder definir mejor los escenarios a simular, al tiempo que posibilitará el cono-

cimiento y utilidad de esta herramienta por aquellos que no estén afectados al diseño de instalaciones.

Consolidada la base de datos y los modelos, se espera que esta herramienta permita realizar estudios futuros tales como: optimización de la operación del sistema a través de estudios de flujo de carga óptimo; de confiabilidad del sistema; estudios de estabilidad transitoria, etc.; cubriendo así tanto las necesidades de diseño como las de operación. ■

Glosario de términos

U = Valor o módulo de la tensión [kV].

δ = Desfasaje angular de las tensiones [$^{\circ}$ o deg].

P = Potencia activa [kW o MW].

Q = Potencia reactiva [kvar o Mvar].

ΔP = Diferencia entre los valores de los vectores potencia activa (P) especificada y calculada para la iteración i.

ΔQ = Diferencia entre los valores de los vectores potencia reactiva (Q) especificada y calculada para la iteración i.

ΔV = Magnitud de la tensión en barra expresado en forma incremental para la iteración i.

$\Delta \delta$ = Ángulo de la tensión en barra expresado en forma incremental para la iteración i.

J1 a J4 = Matrices Jacobianas.

Nicolás Spensieri pertenece al Departamento de Dirección de Ingeniería de YPF SA

1. Los datos preliminares que aquí se presentan corresponden a los yacimientos de la región denominada A. Es de destacar que la región B presenta, en principio, similares características a las aquí descritas.