

# Modelo generalizado de predicción de consumos de gas natural a mediano y corto plazo

Por \*S.Gil, J. Deferrari y \*L. Duperron  
Gerencia de Distribución del ENARGAS.

**SEGUNDA PARTE**

En la primera parte de este trabajo, publicado en el N° 48 de Gas&Gas, se presentaron las características básicas de un modelo desarrollado en la Gerencia de Distribución del ENARGAS, para realizar predicciones del comportamiento del consumo ininterrumpible del gas natural a mediano plazo (1 a 5 años). Este modelo es una extensión y generalización del modelo de predicción del consumo de gas a corto plazo (1 a 5 días), desarrollado previamente, que viene usándose exitosamente para predecir los consumos ininterrumpibles diarios en las principales ciudades de la República. En la versión de corto plazo, el modelo fue

exitosamente probado en el Gran Buenos Aires y en las principales ciudades del país. El mismo tiene la capacidad de predecir los consumos ininterrumpibles con hasta 5 días de anticipación. En esta parte presenta un procedimiento novedoso que permite obtener las distribuciones de consumos diarios a partir de las distribuciones de consumo mensuales. Este procedimiento permite obtener los consumos máximos y factores de carga de las distintas componentes del consumo de gas a partir de los datos de facturación mensuales y obtener los parámetros del modelo propuesto. Con esta versión del modelo es posible estimar los consumos máximos, factores de carga y capacidades contratadas óptimas discriminadas por región y categoría de usuario para una dada región.

## Relación entre las distribuciones de consumos diarios y mensuales - factores de carga

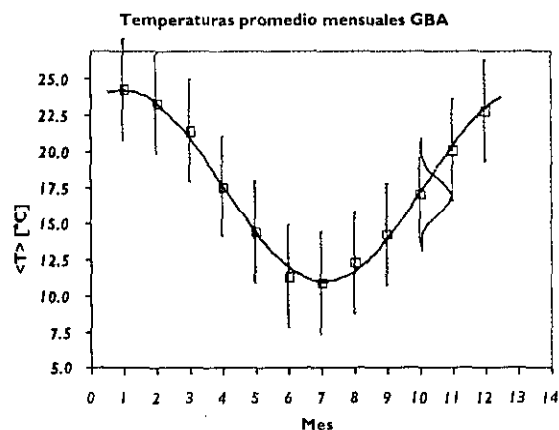
En esta sección presentamos un procedimiento para la obtención de los factores de carga, usando los valores de consumo obtenidos de facturación mensual de las distintas categorías de usuarios para una región compacta.

La metodología propuesta se basa en la hipótesis que cada componente del consumo sigue una distribución descrita por la expresión (5) de la primera parte:

$$Q^{(mint)}(T_{cf}) = Q_0^{(mint)} \cdot \left( 1 + f \cdot \tanh\left(\frac{T_{cf} - T_0}{\Delta T}\right) \right) \quad (1)$$

También suponemos que en cada mes del año las temperaturas medias diarias tienen una distribución que es aproximadamente normal, con un valor medio,  $\langle T \rangle_{mes}$ , que varía de mes a mes y una desviación estándar,  $\sigma_{mes}$  que también puede variar de mes a mes. Para el caso del Gran Buenos Aires (GBA), estas hipótesis se cumplen con muy buena aproximación teniendo una desviación estándar que es casi constante para todos los meses del año ( $\sigma \approx 3.1^\circ\text{C}$  ( $\pm 0.6^\circ\text{C}$ )).

Los valores de  $\langle T \rangle_{mes}$  se presentan en la Figura 1, basada en una base de datos de los últimos 56 años. En la figura 2 se muestra la distribución de temperaturas medias diarias para el mes de julio, usando los datos de los mismos años (1944 a 2000). Vemos que las temperaturas medias efectivamente tienen una distribución que puede ser bien reproducida por una distribución normal.



**Figura 1:** Temperaturas medias mensuales para la región del GBA. Las barras de error representan los valores de smes. La curva continua es un ajuste a los datos realizada usando la función:  $\langle T \rangle_{(mes)} = a + b \cdot \cos(c \cdot mes + d)$ .

**Algoritmo:** Si suponemos que la distribución de consumos diarios tiene un comportamiento como el descrito por la ecuación (1) y las temperaturas medias diarias siguen una distribución normal ( $T_{mes}$ ,  $\sigma_{mes}$ ), la distribución de consumos diaria, promediada para un

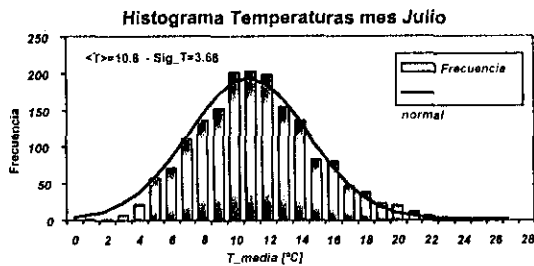
■ Continúa en página 28

dado mes la designaremos como el consumo mensual y la representamos con  $Q_{mes}$ .

Esta magnitud puede obtenerse tomando el promedio pesado del consumo diario para cada temperatura  $T$ , ecuación (1), con un factor de peso dado por la probabilidad que esa temperatura ocurra, es decir la distribución normal ( $T_{mes}$ ,  $\sigma_{mes}$ ).

De este modo la distribución de consumo mensual se puede escribir como un promedio pesado (por la distribución de temperaturas diarias) de la distribución de consumo diario para ese mes. Es decir:

$$Q_{mes}(T_{mes}) = Q_0 \cdot \frac{1}{2\pi \cdot \sigma_{mes}} \int_{-\infty}^{\infty} \left[ 1 - f \cdot \tanh\left(\frac{T - T_0}{\Delta T}\right) \right] \cdot \exp\left(-\frac{(T - T_{mes})^2}{2 \cdot \sigma_{mes}^2}\right) \cdot dT \quad (2)$$



**Figura 2:** Distribución de temperaturas medias diarias para el mes de julio. Los datos reunidos en este histograma corresponden a todos los meses de julio desde 1944 a 2000, para la zona del Gran Buenos Aires. La curva continua corresponde a una distribución normal con valor medio y desviación estándar indicados en el gráfico.

La integral indicada en (2) puede resolverse usando las propiedades de la transformada de Fourier. El resultado de esta expresión es:

$$Q_{mes}(T_{mes}) \equiv Q_0 \cdot \left[ 1 - f \cdot \tanh\left(\frac{T_{mes} - T_0}{\Delta T_{ef}}\right) \right] \quad (3)$$

donde el parámetro  $\Delta T_{ef}$ , que determina el ancho de la distribución viene dado por:

$$\Delta T_{ef} = \sqrt{\Delta T^2 + 1.382 \cdot \sigma_{mes}^2} \quad (4)$$

El valor de  $Q_{mes}$  en este caso se refiere al valor del consumo promedio diario para todo el mes en consideración. El valor del consumo mensual será el producto de  $Q_{mes}$  por el número de días en dicho mes.

Los resultados indicados por (2) y (4) indican que las distribuciones de consumos mensuales y diarios están relacionadas entre sí, pudiéndose obtener una si se conoce la otra.

En nuestro caso en particular deseamos estimar el consumo diario máximo,  $Q_{max}$ , para poder calcular los factores de carga. Para ello una posibilidad sería usar los datos de consumos mensuales que pueden ser obtenidos a partir de los datos de facturación, junto a los datos de temperaturas medias mensuales correspondientes,

para obtener la distribución mensual (3),  $Q_{mes}(T_{mes})$ .

Usando la ecuación (4), junto con los valores de  $\sigma_{mes}$ , podemos obtener la distribución diaria de consumo,  $Q(T)$  dada por la ecuación (1). Finalmente, de los datos históricos de temperaturas podemos estimar el valor de  $T_{min}$  para un año o conjunto de años de interés. El valor de  $Q_{max}$  para este período de tiempo se puede estimar como:

$$Q_{max} \equiv Q(T_{min}) = Q_0 \cdot \left[ 1 - f \cdot \tanh\left(\frac{T_{min} - T_0}{\Delta T}\right) \right] \quad (5)$$

Usando los datos de consumos totales anuales, podemos calcular  $\langle Q \rangle$  como el cociente entre el consumo total dividido por el número de días en este período. Empleando la ecuación (1) podemos obtener los valores de FC para cada categoría de usuario.

Con el objeto de poner a prueba el formalismo desarrollado aquí, tomamos como ejemplo las distribuciones de consumo ininterrumpibles (residencial, comercial, GNC, etc.) de la zona del GBA abastecida por MetroGas. Para esta zona y esta componente del consumo conocemos los mismos día a día. Por lo tanto también conocemos los valores mensuales, obtenidos sumando los valores diarios.

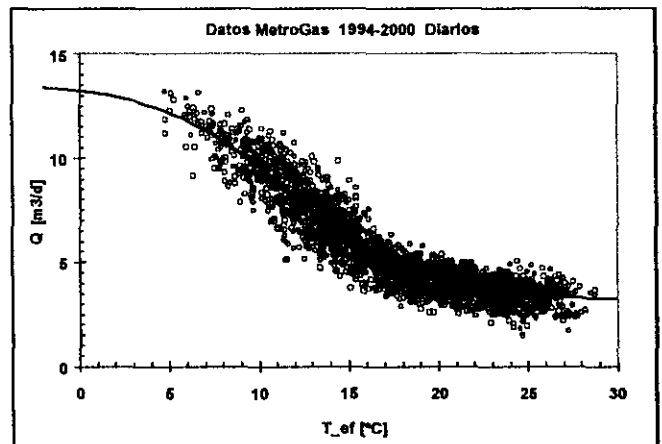
De este modo podemos comparar los valores de consumo diario en función de la temperatura efectiva diaria con la distribución (1). Esta comparación se muestra en la figura 3.

En la figura 4, se presentan los datos de consumos mensuales correspondientes en función de la temperatura media mensual. Es útil mencionar que al tomar las medias mensuales la diferencia entre temperatura media y efectiva desaparece.

También en la Figura 4 se muestra la predicción del modelo obtenida usando el formalismo propuesto, ecuación (3). Como se ve el ajuste es excelente, lo cual prueba que en este caso el formalismo propuesto para obtener una modelización de los consumos mensuales a partir del modelo diario efectivamente funciona.

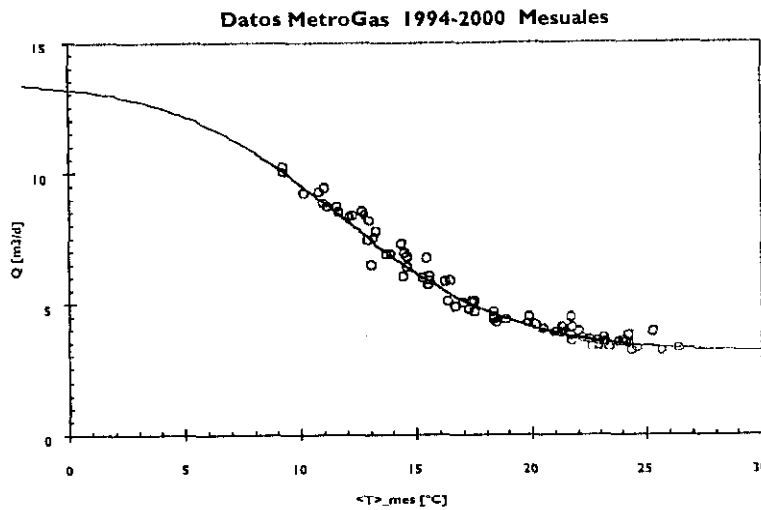
También puede apreciarse de estos gráficos que las distribuciones mensuales presentan mucho menos dispersión que las distribuciones diarias, siendo por lo tanto muy adecuadas para extraer los parámetros del modelo con poca incerteza y en forma robusta.

El valor del factor de carga obtenido de la distribución diaria (figura 9) para esta componente del consumo es  $FC=0.43(\pm 0.03)$ . El mismo factor de carga, obtenido de la distribución mensual, tomando como referencia la temperatura mínima ocurrida en este periodo de tiempo, es  $FC=0.45(\pm 0.02)$



**Figura 3.** Comparación de los consumos ininterrumpibles diarios para la zona del GBA abastecida por MetroGas (círculos) en función de la temperatura efectiva. La línea continua es un ajuste obtenido usando la función (1).

Continúa en página 29

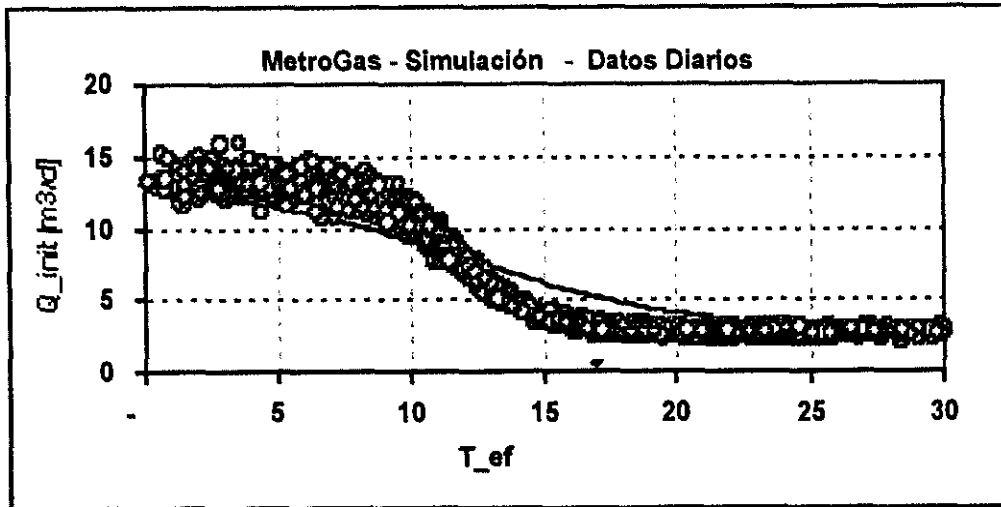


**Figura 4:** Comparación de los consumos ininterrumpibles mensuales para la zona del GBA abastecida por MetroGas (círculos) en función de la temperatura media mensual. La línea continua es un ajuste obtenido usando la expresión (2).

De igual modo es claro que la inversa también es cierta. Es decir si hubiésemos partido de la distribución mensual, podríamos obtener la distribución diaria. Esto último es precisamente el objetivo que deseábamos lograr.

Finalmente, se realizó una modelización de datos de consumos de una región hipotética usando la técnica de Monte Carlo, y se compararon los consumos mensuales y diarios con los obtenidos con el formalismo propuesto aquí y en todos los casos la correlación fue muy buena.

En las figuras 5 y 6 se presentan dos ejemplos de los resultados



**Figura 5.** Comparación de los consumos ininterrumpibles diarios, simulados por el método de Monte Carlo, para la zona del GBA (círculos) en función de la temperatura efectiva diaria. La línea de trazos (azul) es un ajuste obtenido usando la expresión (1). La predicción del modelo mensual (3) también se presenta para comparación (línea continua bordó).

obtenidos con la simulación Monte Carlo, junto a los predichos por el modelo propuesto para transformar las distribuciones de datos mensuales a distribuciones diarias y viceversa.

En resumen, se presentaron tres métodos de validación del formalismo propuesto para obtener la distribución de consumos diarios a partir de distribuciones mensuales: a) justificación matemática empleando el teorema de convolución de las transformadas de Fourier, b) comparación de distribuciones usando datos de consumos ininterrumpibles reales y c) a través de la simulación de distintos escenarios de consumos, usando la técnica de Monte Carlo.

En todos los casos los resultados son consistentes con el formalismo propuesto y los resultados de los valores de factores de carga coinciden entre sí con una dispersión menor que el 10%. Esta dispersión de los valores de factores de carga es del mismo orden que la variabilidad natural de dichos parámetros por efecto de que la rigurosidad de los inviernos varía de un año a otro.

## Conclusiones

En este trabajo se presenta un modelo de predicción de consumo de las distintas componentes ininterrumpible de gas natural, a mediano y corto plazo. El modelo puede estimar también la distribución de consumos futuros, esperables en una dada región o localidad.

Estas cantidades son útiles para evaluar las proyecciones de demandas picos a futuro y permiten estimar capacidades contratadas adecuadas a distintas regiones del País, discriminadas por categoría de usuario.

Las predicciones del modelo a mediano plazo tienen incertezas del orden del 10%, que son del mismo orden o menores que las fluctuaciones intrínsecas de un año a otro debido a las variaciones climáticas.

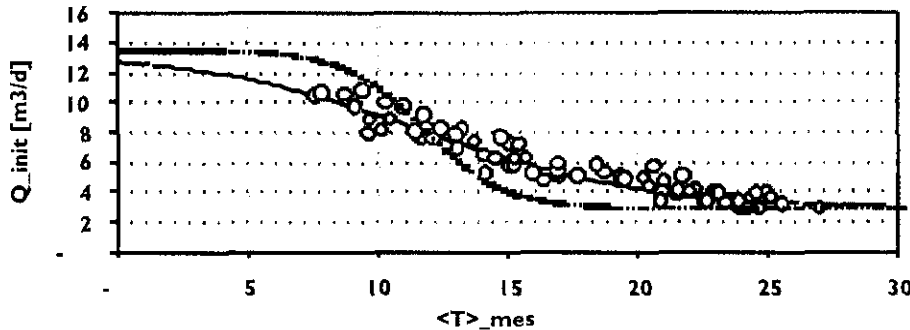
Una característica interesante y novedosa del modelo descrito aquí, es que permite determinar las distribuciones de consumos diarios a partir de los datos de consumos mensuales.

Esta técnica es de mucha utilidad para poder entender las características de consumo por tipo o categoría de usuario en una dada región. La misma permite estimar los factores de carga de dichas componentes del consumo, usando la información de consumos mensuales, disponibles en general a partir de los datos de facturación.

Esta posibilidad es de mucha significación económica, ya

Continúa en página 32

## MetroGas - Simulación - Datos Mensuales



**Figura 6. Comparación de los consumos ininterrumpibles mensuales, simulados por el método de Monte Carlo, para la zona del GBA (círculos) en función de la temperatura media mensual. Estos datos son los que corresponden a los datos diarios mostrados en la figura 5. La línea continua bordó es un ajuste obtenido usando la expresión (3). La predicción del modelo diario (1) también se presenta para comparación en trazos azules.**

■ Viene de página 31

que sin necesidad de realizar mediciones costosas y técnicas estadísticas sofisticadas, es posible determinar los factores de carga de los distintos tipos de usuarios para todas las regiones de interés.

Los autores y las instituciones involucradas en este trabajo, no se hacen responsables del uso no autorizado del material aquí expuesto. Deseamos agradecer a las distintas distribuidoras que nos facilitaron sus datos de consumos usados en este trabajo. También deseamos agradecer al Ing. L. Pomerantz por sus valiosos comentarios y sugerencias realizadas durante el desarrollo de este trabajo y a la Dra. M. Schwint por sus comentarios y lectura de este trabajo.

### Bibliografía

- Modelo de Predicción de Consumo de gas natural en la República Argentina. S. Gil y J. Deferrari. Petrotecnia (Revista del Instituto Argentino del Petróleo y del Gas) XL, N03, Sup. Tecn. 1,1 - Junio(1999).
- Matemáticas Superiores para Ingenieros y Científicos - M. R. Spiegel - McGraw Hill - México 1971
- Marco Regulatorio del Gas Ley 24.076 de la Nación Argentina - www.enargas.gov.ar
- Análisis de Fourier - Hsu Hweii P.- Addison-Wesley Iberoamericana - México 1987
- Física re-Creativa - S. Gil y E. Rodríguez - Prentice Hall - Buenos Aires 2001

### Los autores:

- **Salvador Gil** obtuvo el título de Doctor en Física (Ph.D.) de la Universidad de Washington Seattle - EE.UU. y el de Licenciado en Física de la Universidad de Tucumán, Argentina. Sus intereses profesionales incluyen la investigación en física experimental, la docencia universitaria y la industria del gas. Fue investigador del Laboratorio Tandar de la CNEA y de la Universidad de British Columbia de Canadá y de la Universidad de Washington. En la actualidad es profesor de Física de las universidades de Gral. San Martín y de Buenos Aires. Desde hace 4 años realiza tareas de consultoría para la industria del gas, en particular para el Enargas.
- **Jorge Deferrari** obtuvo el título de Ingeniero Mecánico en la Universidad Tecnológica Nacional. Se ha desempeñado en la ex Gas Del Estado en el área de Grandes Consumidores, monitoreando las restricciones de suministro que debían llevar a cabo aquéllos. En la actualidad es el Gerente de Distribución del ENARGAS y tiene bajo su órbita, entre otras cuestiones, el articular modelos de predicción de consumo para efectuar el seguimiento de la demanda de gas en los sistemas de distribución.
- **Luis Duperron** obtuvo el título de Ingeniero Industrial en la Universidad Buenos Aires. Desempeña su labor en la Gerencia de Distribución del ENARGAS.



**Una empresa dedicada al desarrollo de alternativas no tradicionales para la expansión del uso del gas natural.**

CON EL RESPALDO TECNICO DE:



**GNL-LFG**

Blas Parera 1675 (1602) - Vicente López, Buenos Aires - Líneas rotativas: (54-11) 4760-3418

E-mail: megsa@interlink.com.ar - Webs: www.altlngusa.com