

Estimación del consumo diario de gas a partir de lecturas periódicas de medidores

Por **Salvador Gil**, Gerencia de Distribución del Enargas,
A. Fazzini, Gas Natural Ban y
R. Prieto, Gerencia de Distribución del Enargas

El conocimiento del consumo diario de los distintos tipos de usuarios de gas es fundamental para conocer cómo funciona el sistema de abastecimiento de gas y para diseñar políticas y estrategias de este aprovisionamiento. En este trabajo se presenta un modelo que permite estimar los consumos diarios a partir de lecturas mensuales o bimestrales de medidores. El objetivo del estudio es disponer de un modelo consistente y confiable para evaluar los consumos diarios residenciales, comerciales, etc., con el menor margen de incertidumbre posible

Introducción

Una herramienta importante para operar y regular el sistema de gas consiste en disponer de información detallada y fidedigna del funcionamiento del sistema. En particular, es muy útil conocer los consumos diarios de los distintos tipos de usuarios de gas natural, es decir los consumos residenciales, comerciales, industriales, etcétera.

La dificultad para determinar los consumos diarios de gas para las categorías residencial y comercial, es que las lecturas de medidores se realizan en forma periódica, mensual o bimestral. Por lo tanto, solo se dispone de un valor de consumos integrado en todo el período comprendido entre dos lecturas consecutivas de los medidores. De hecho, este es el modo estándar con el que se registran los volúmenes de gas para estos usuarios en la Argentina y en varios lugares del mundo. Por otra parte, los turnos de facturación van rotando a lo largo de todo el período, de modo que para una ciudad o región solo existe una superposición continua de mediciones parciales.

Si bien existen caudalímetros capaces de ser consultados diariamente o con otros intervalos de tiempo en forma automática por sistemas de telecomunicación SCADA, su costo es elevado y en la Argentina su uso está limitado a grandes usuarios. También existen medidores con *data logger*, es decir, con memoria que almacenan los consumos en forma horaria, y que mensualmente o bimestralmente pueden proporcionar los consumos registrados. Estos, por su costo, se usan en pequeñas muestras de usuarios para monitorear los consumos y realizar estudios especiales. De hecho, los datos obtenidos con este tipo de *data loggers* se utilizan en este trabajo para validar el modelo propuesto¹.

Por lo tanto, para poder utilizar la información histórica disponible de los datos de facturación y analizar los consumos con la información con que se ha venido operando en la industria de gas hasta el presente, es necesario disponer de algún algoritmo de cálculo que permita reducir las mediciones mensuales o bimestrales a consumos diarios de modo consistente y bien fundamentado.

El objetivo de este estudio es desarrollar una herramienta de cálculo

precisa y consistente para estimar los consumos diarios de los usuarios residenciales y comerciales.

Características del consumo de gas natural en la Argentina

En la figura 1 se ilustra cómo se distribuye el consumo de gas natural, entre las distintas componentes de consumo, en la Argentina. Los componentes industriales y eléctricos tienen un elemento importante de sus consumos en modo interrumpibles².

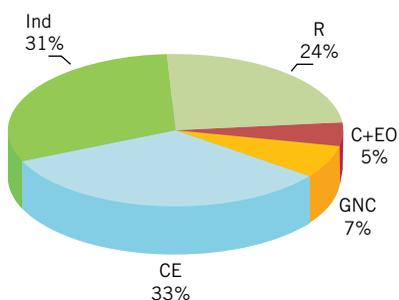


Figura 1. Distribución del consumo de gas según su uso en la Argentina para el año 2009. Fuente de los datos Enargas⁽⁵⁾, Ind es el consumo industrial y CE el consumo de centrales eléctricas

Estos consumos tienen una variación estacional, pero no necesariamente son termodependientes³. El consumo de GNC⁴, también tiene cierta estacionalidad, pero su comportamiento tampoco depende de la temperatura. Por su parte, los consumos residenciales, comerciales y el asociado a

entes oficiales, tienen un comportamiento que sí es fuertemente termodependiente.

Consumos de gas residencial, comercial y público

Las componentes de consumo residencial (R), comercial (C) y público o entes oficiales (EO), son de carácter ininterrumpible y tienen características semejantes entre sí. La prestación de estos servicios no prevé interrupciones y está en el tope de las prioridades de abastecimiento del sistema de gas conforme a la normativa vigente².

En la figura 2 se muestra la variación del consumo específico mensual promedio, esto es el consumo por usuario y por día, en función de la temperatura media para los usuarios residenciales y comerciales más entes oficiales (C+EO). En esta figura se presentan los datos correspondientes a todo el país. La figura 2 es representativa de prácticamente todas las regiones estudiadas y puede interpretarse de la siguiente manera: a altas temperaturas, el uso de gas residencial se reduce a cocción y calentamiento de agua, que en dichas temperaturas tiende a un valor constante. Este consumo, asociado a la cocción y calentamiento de agua lo denominamos *consumo base*. Estos estudios indican que el consumo residencial como el comercial y público dependen fundamentalmente, de las

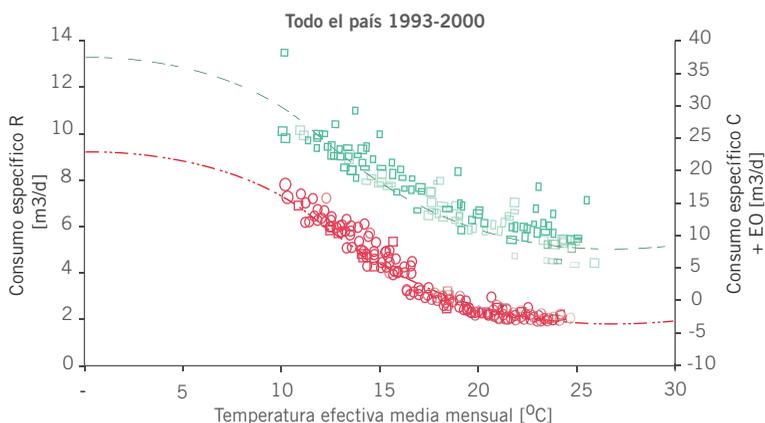


Figura 2. Variación de los consumos específicos R (residencial) círculos referidos al eje vertical izquierdo y Comercial y Entes Oficiales (C+EO) referidos al eje vertical derecho. Los consumos específicos que se grafican son los promedios diarios mensuales como función de la temperatura media mensual. Los datos corresponden a todo el país. Fuente de los datos ENARGAS⁽⁵⁾

TED (Temperatura Efectiva Diaria)⁶. Esta temperatura es el promedio del día en cuestión, con el promedio de los cuatro días previos y describe adecuadamente el consumo de gas residencial⁶. La razón de esta dependencia es que el consumo de gas en los meses invernales es en función, principalmente, de las temperaturas prevalentes en el interior de viviendas y edificios. La temperatura efectiva es representativa de estas temperaturas interiores, debido, en gran medida, a la inercia térmica asociada a los edificios y viviendas. La inercia térmica lleva a que deben transcurrir varias horas para que el interior de una vivienda cerrada alcance el valor de la temperatura externa.

Estudios empíricos indican^{6,7,8} que, si T_i representa la temperatura media para el día i , esto es el promedio entre la temperatura máxima y mínima para ese día, la temperatura efectiva T_i^{ef} para ese día (i) es:

$$T_i^{ef} = \frac{1}{2} [T_i + (T_{i-1} + T_{i-2} + T_{i-3} + T_{i-4}) / 4] = \quad (1)$$

$$\frac{T_i}{2} + \frac{T_{i-1}}{8} + \frac{T_{i-2}}{8} + \frac{T_{i-3}}{8} + \frac{T_{i-4}}{8}$$

Donde T_{i-1} es la temperatura media para el día anterior al día en estudio (i) y así sucesivamente. El número de días que se utiliza para calcular la TED se determina en forma empírica, buscando que la dispersión de consumos ininterrumpibles diarios, como función de la TED, presenten la menor dispersión posible^{6,7,9}.

A medida que la temperatura disminuye, el consumo aumenta por la necesidad de un mayor aporte de energía para la cocción, el calentamiento de agua y, fundamentalmente, en la calefacción. Una vez que toda la calefacción existente en las viviendas y edificios se ha encendido, el consumo de gas tiende a estabilizarse en su valor máximo. La implicancia de este gráfico es de mucha relevancia en el sistema de gas y la forma de esta dependencia del consumo específico con la temperatura puede modelarse muy bien^{6,7,8}. Se observa en esta figura que los consumos específicos R y C+EO tienen dependencia muy regular con la temperatura, independiente del tiempo y del contexto económico. Por lo tanto, es posible afirmar que durante el período

de 1993 a 2009, el comportamiento de los usuarios R y C+EO fue muy poco elástico y constante en el tiempo. Es decir, los patrones de consumo por usuario R y C+EO sólo dependen de la temperatura y no del tiempo. Desde luego, esta observación debe ser reexaminada periódicamente para constatar su vigencia, pues es posible que cambios significativos en el precio del gas o en las tecnologías usadas puedan alterar este comportamiento.

Los consumos específicos diarios R y C+EO puede modelarse por la función^{6,7,9}:

$$Q_{esp}^{(k)}(T) = FF_D \cdot Q_0^{(k)} \left(1 - q^{(k)} \tanh \left[\frac{(T - T_0)}{\Delta T} \right] \right), \quad (2)$$

$k = R \text{ ó } C+EO$

Donde Q_0 , q , T_0 y ΔT son parámetros característicos de la subzona tarifaria y del tipo de usuario (R o C+EO). T en esta ecuación, representa la temperatura efectiva (TED) para el día en cuestión y FF_D es un factor que depende del día y tiene en cuenta que los fines de semana y feriados el consumo es menor que durante los días de semana; $\tanh[X]$ es la función tangente hiperbólica del argumento X . En la figura 2, las líneas continuas son la representación gráfica de la expresión (2) para los usuarios R y C+EO. Los parámetros Q_0 , $q^{(k)}$, T_0 y ΔT , se obtienen de datos históricos.

Consideramos un turno de lectura de medidores dado, que consiste en N_p días, comenzando en la fecha F_A y terminando en la fecha F_B . El volumen total obtenido de la diferencia entre las dos últimas lecturas para todos los usuarios de turno de facturación, N_{user} , suponemos que da un

volumen de gas V_{Turno} , representado por el área sombreada de la figura 3. Dado que para cada uno de los días entre las fechas F_A y F_B , las temperaturas máximas y mínimas de cada día son conocidas, podemos calcular la temperatura media diaria:

$$T_i^{(m)} = (T_i^{(max)} + T_i^{(min)}) / 2 \quad (3)$$

Con este valor podemos, a la vez, obtener las temperatura efectivas diarias, ecuación (1), para cada uno de los días del período de facturación. Con esta información y el modelo de consumo, calculamos un volumen teórico, $Q_i^{(k)}$, de consumo para este grupo, N_{user} , de usuarios en forma diaria:

$$Q_i^{(k)} = N_{user} Q_{esp}^{(k)}(T_i) = N_{user} \cdot FF_D \cdot Q_0^{(k)} \left(1 - q^{(k)} \tanh \left[\frac{(T_i - T_0)}{\Delta T} \right] \right) \quad (4)$$

y el valor del consumo total teórico $Q_{Tot}^{(k)}$ correspondiente a todo el período de facturación:

$$Q_{Tot}^{(k)} = \sum_{i=F_A}^{i=F_B} Q_i^{(k)} = N_{user} \sum_{i=F_A}^{i=F_B} Q_{esp}^{(k)}(T_i) \quad (5)$$

Por otra parte, de los datos de lectura de medidores, correspondiente a todos los usuarios de este turno de facturación, obtenemos un volumen medido de $V_{Turno}^{(k)}$, por lo tanto, podemos definir el factor $F^{(k)}$ como:

$$F^{(k)} = \frac{Q_{Tot}^{(k)}}{V_{Turno}^{(k)}} = \frac{\sum_{i=F_A}^{i=F_B} Q_i^{(k)}}{V_{Turno}^{(k)}} \quad (6)$$

Este factor es la relación que existe entre los volúmenes de gas predicho por el modelo y los volúmenes efectivamente medidos para todo el período

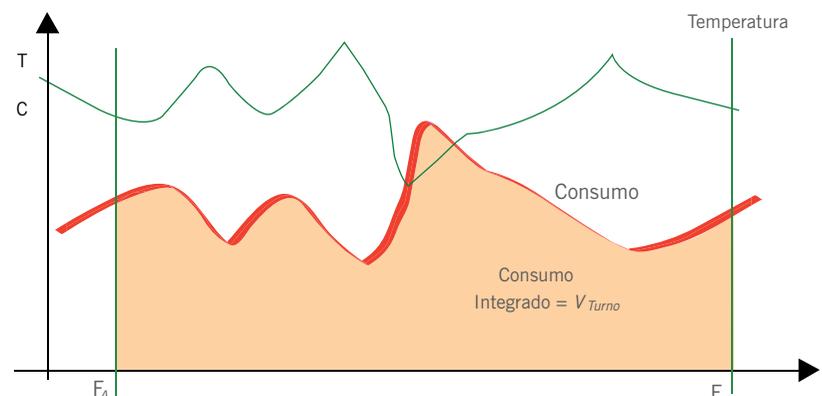
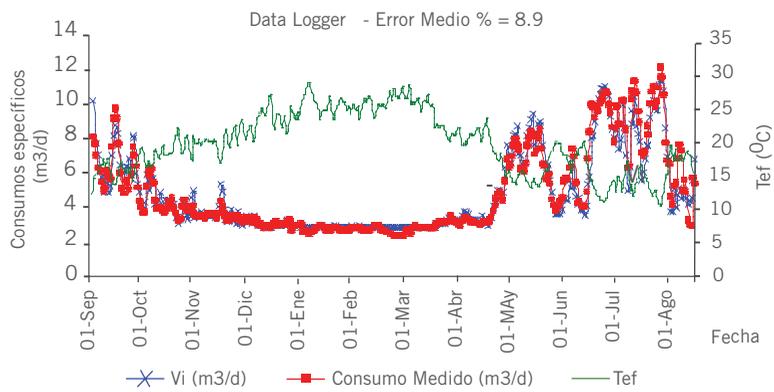


Figura 3. Diagrama esquemático de la variación de temperatura y consumo en un turno de facturación



el volumen total de los consumos ininterrumpibles, en caso que este dato esté disponible para la zona en consideración. Este volumen surge de la diferencia de los volúmenes entregados en City Gates menos los volúmenes consumidos por grandes usuarios industriales, centrales eléctricas y los utilizado en GNC (estaciones de servicio) siempre que estos últimos usuarios posean equipos de medición con registro diario. Imaginamos que a los consumos ininterrumpibles dia-

Figura 4. Variación de los consumos específicos R (residencial). Los círculos rojos son los valores efectivamente medidos (data loggers) referidos al eje vertical izquierdo. Las cruces azules son los valores de consumo estimados usando el modelo propuesto, ecuación (7). La curva continua (verde) representa las temperaturas efectivas para esos días, referidas al eje vertical derecho, facturación

de facturación para cada una de las categorías $k=R$ o $C+EO$. La hipótesis fundamental de esta propuesta es que esta proporcionalidad entre los consumos predichos por el modelo y los reales es la misma para el volumen total del período como para cada día del período de facturación. Por lo tanto, el volumen diario de consumo para todos los usuarios del correspondiente turno de facturación $V_i^{(k)}$ será:

$$V_i^{(k)} = \frac{Q_i^{(k)}}{F_{Turno}^{(k)}} \quad (7)$$

En la figura 4, se muestra el resultado del ensayo realizado usando los datos registrados durante un año (sep-2000 ago-2001) por 250 data loggers instalados en forma aleatoria en clientes residenciales en la zona norte y oeste del Gran Buenos Aires dentro del área de Licencia Gas Natural BAN¹.

En la figura 4 se comparan los consumos estimados usando el algoritmo propuesto en este trabajo con los valores realmente medidos. Se observa que la correspondencia es muy buena, el error medio entre los valores medidos y los estimados usando en la ecuación (7) es del 8,9%, lo cual sugiere que el modelo propuesto puede ser usado para estimar los consumos diarios con una incerteza aceptable.

Otra alternativa para estimar los consumos R (y C) consiste en usar

rios los designamos con $Q_i^{(k)}$ (inint), $k=R$ o $C+E$ y donde i representa el día. En este caso, en forma análoga a lo realizado anteriormente, definimos:

$$Q_{Tot}^{(k)}(\text{inint}) = \sum_{i=F_A}^{i=F_B} Q_i^{(k)}(\text{inint}) \quad (8)$$

Igual que antes, de los datos de lectura de medidores, correspondiente a todos los usuarios de este turno de facturación, obtenemos un volumen medido de $V_{Turno}^{(k)}$. Definimos el factor asociado a este nuevo procedimiento de cálculo como:

$$\tilde{F}_{Turno}^{(k)}(\text{inint}) = \frac{Q_{Tot}^{(k)}(\text{inint})}{V_{Turno}^{(k)}} = \frac{\sum_{i=F_A}^{i=F_B} Q_i^{(k)}(\text{inint})}{V_{Turno}^{(k)}} \quad (9)$$

Así el consumo diario para todos los usuarios del correspondiente turno de facturación, $V_i^{(k)}$, será:

$$\tilde{V}_i^{(k)}(\text{inint}) = \frac{Q_i^{(k)}(\text{inint})}{\tilde{F}_{Turno}^{(k)}(\text{inint})} \quad (10)$$

En la figura 5, se muestra el resultado obtenido para los mismos usuarios considerados en la figura 4, pero utilizando el último procedimiento. En este último caso, las desviaciones (errores) medias son del 11%, algo superiores a las obtenidas con el procedimiento indicado por la ecuación (7).

Una característica notable del procedimiento descrito por la ecuación (7) es que es muy poco sensible al valor $Q_0^{(k)}$ del modelo de la ecuación (2). Ya que el parámetro de norma-

lización $F^{(k)}$ compensa los efectos $Q_0^{(k)}$ de en el modelo propuesto. Esto hace que el modelo sea muy robusto para estimar los consumos diarios a partir de los datos de facturación.

Conclusión

En este estudio se presenta un formalismo para estimar los consumos diarios a partir de lecturas periódicas de medidores, tanto mensuales como bimestrales. El algoritmo propuesto, cuando se lo pone a prueba con datos de consumos diarios efectivamente medidos, brinda resultados que son consistentes con las mediciones reales, lo cual otorga validez al modelo propuesto, y permite estimar los consumos diarios con una incerteza del orden del 10%. El modelo propuesto brinda los consumos diarios con una precisión mayor que con otros esquemas, como el basado en los consumos diarios registrados en los City Gates. Por último, el modelo propuesto basado en las temperaturas puede ser utilizado para localidades en las que no se dispone de datos de consumo diarios de City Gates, lo cual es una gran ventaja, ya que el único requerimiento para su aplicación son las temperaturas diarias que, en general, son fácilmente disponibles. ■

Referencias

- 1 La distribuidora Gas Natural BAN instaló durante los años 2000 y 2001

unos 250 *data logger* en distintos puntos de su área de prestación de servicios, los cuales, por distintos tipos de ilícitos y su elevado costo de mantenimiento, fueron retirados a fines del año 2001.

- 2 ENTE NACIONAL REGULADOR DEL GAS, *Marco Regulatorio de la Industria de Gas en Argentina*, Ley N°:24.076/92, www.enargas.gov.ar
- 3 Salvador GIL, L. POMERANTZ y R. RUGGERO, "Caracterización de los inviernos según su impacto en el consumo de gas natural", *Petrotecnia XLVI*, N.º4, septiembre 2005.
- 4 Salvador GIL, L. POMERANTZ y R. RUGGERO, "Tendencias recientes en el comportamiento del consumo de gas natural en Argentina-II GNC", *Revista Petroquímica, Petróleo, Gas y Química* 23 (N.º 208) P.384, Nov. 2005.
- 5 Ente Nacional Regulador del Gas, www.enargas.gov.ar Datos Operativos de Gas Natural: Total Sistema, Tabal III.02 - Gas Entregado, por Tipo de Usuario.
- 6 Salvador GIL, L. POMERANTZ y R. RUGGERO, "Modelo de Predicción de Consumo de gas natural en la República Argentina", *Petrotecnia XL*, N°3, Sup. Tecn. 1,1 - Junio (1999).
- 7 S. GIL, J. DEFERRARI y L. DUPERRON, "Modelo generalizado de predicción de consumos de gas natural a mediano y corto plazo I", *Gas & Gas*, Año IV- N° 48, 24 (2002).
- 8 S. GIL, J. DEFERRARI y L. DUPERRON, "Modelo generalizado de predicción de consumos de gas natural a mediano y corto plazo II", *Gas & Gas*, Año IV- N° 49, (2002).
- 9 S. GIL y J. DEFERRARI "Generalized model of prediction of natural gas consumption", *Journal of Energy Resources Technology Journals of The American Association of Mechanical Engineers (ASME International)*, Vol. 126, 90, June. 2004.

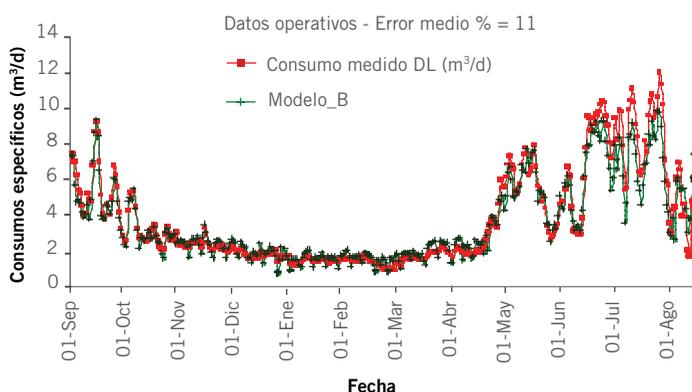


Figura 5. Variación de los consumos específicos R (residencial). Los círculos rojo son los valores efectivamente medidos (*data loggers*) referidos al eje vertical izquierdo. Las cruces verdes son los valores de consumo estimados usando el procedimiento descrito por la ecuación 10