

MONITOREO DE LA PROVISIÓN DE GAS NATURAL AL GRAN BUENOS AIRES.

Salvador Gil y Edgardo Fusario

ENARGAS - Ente Nacional Regulador del Gas.
Suipacha 636 - 5p. (1008) Cap. Fed. -Argentina.
FAX: (5411) 4348 -0449 - *e-mail*: sgil@enargas.gov.ar

*Primer Congreso Austral del Gas
Tierra del Fuego- Argentina.
Noviembre 11 al 13 de 1997*

Resumen: En este trabajo presentamos las principales características de un modelo para el anillo de 22 Kg/cm² de Capital Federal y Gran Buenos Aires. El presente modelo intenta predecir posibles situaciones de emergencias en el sistema de abastecimiento de gas natural a Capital Federal y Gran Buenos Aires con dos o tres días de anticipación. El mismo está basado en la dependencia del consumo de gas natural con las temperaturas medias, el estado de las presiones en las cámaras reguladoras que alimentan el anillo y los pronósticos de temperaturas. Los resultados del modelo, usando los datos correspondientes a los periodos invernales de 1994, 1995, 1996 y 1997, sugieren que el mismo provee adecuadas señales de alarma con dos días de anticipación. Finalmente, presentamos un análisis para evaluar la contabilidad de los valores de temperaturas pronosticadas para esta área. Este análisis permite a su vez evaluar la robustez del presente modelo para predecir posibles situaciones de críticas.

INTRODUCCIÓN.

El abastecimiento de gas natural a Buenos Aires (BA) y al Gran Buenos Aires (GBA) proviene de cinco gasoductos: Gasoducto norte, Gasoducto Gral. San Martín (sur), y los tres gasoductos provenientes de Neuquén (Neuba I, Neuba II y Centro-Oeste). Todos estos gasoductos alimentan el anillo en cuestión a través de básicamente cuatro (4) estaciones de medición y regulación de presión.

Según la normativa vigente, las compañías transportadoras de gas deben suministrar gas al anillo a una presión no menor de 20 bar. Si la presión de salida en una estación, cae por debajo de 17 bar por más de 3 horas por día, la compañía responsable de dicha instalación, es imputada por parte del ENARGAS.

Por lo tanto, parte de nuestra actividad es ejercer los controles que nos son propios, de modo que los usuarios reciban el servicio que contrataron en el modo pautado. Está bien establecido que cuando la presión del anillo cae por debajo de 17 bar, se generan situaciones de escasez de abastecimiento en toda la cadena de distribución. Por consiguiente, el poseer una herramienta informática que controle el estado del anillo y en lo posible informe señales tempranas ante posibles situaciones de emergencia en el sistema, detecte infracciones y prevenga desabastecimiento, es crucial para el cumplimiento de nuestra misión.

En este trabajo, presentamos las características de un modelo desarrollado en la Gerencia de Transmisión del ENARGAS, que permite detectar con dos días de anticipación, posibles situaciones de emergencia en el abastecimiento de Gas natural a BA y al GBA, usando un número mínimo de parámetros del anillo.

Nuestro modelo, de carácter estadístico, se basa en la variación del consumo con la temperatura, el estado de las presiones en las cámaras de regulación, los pronósticos de temperatura y el día de la semana. Asimismo permite definir parámetros de alarma que nos permiten predecir y alertarnos ante situaciones críticas en el sistema.

Nuestro análisis de los datos correspondientes a los años 1994, 1995, 1996 y 1997 indican que el modelo efectivamente es útil en predecir situaciones de emergencia.

En la primera parte de este trabajo, presentamos las características básicas del modelo desarrollado, luego discutimos los resultados del

análisis de los datos correspondientes a los años 1994-1997. Finalmente presentamos un estudio de exactitud de los pronósticos de temperatura usados y en los que se basa la posibilidad de predecir del modelo. Este último análisis permite poner a prueba la robustez del presente estudio.

CARACTERÍSTICAS DEL MODELO PROPUESTO.

Variación del consumo con la temperatura: En principio existen diversos modos de caracterizar la variación del consumo diario con la temperatura (**T**). Se podría usar la sensación térmica, la temperatura mínima, etc. Nuestros análisis de los datos de variación del consumo diario del GBA (**Q_{tr}**) con la temperatura, indican que los valores de **Q_{tr}** muestran menos dispersión si se los gráfica en función de la temperatura media ($\langle T \rangle$) de cada día.

En las figuras 1 y 2 presentamos los datos de **Q_{tr}** versus $\langle T \rangle$ para el anillo de BA y GBA para los años 1995 y el período 1994-1997 respectivamente. En la figura 1, también hemos incluido la variación de **Q_{tr}** asociado a las usinas, los consumos residenciales y los totales. Las unidades usadas para **Q_{tr}** son millones de metros cúbicos standard por día [M_m^3/d].

Estas figuras muestran la previsible tendencia de **Q_{tr}** a aumentar cuando $\langle T \rangle$ disminuye. En las mismas se muestran además dos modos de describir este comportamiento, (a) modelo lineal y (b) modelo lineal con saturación a bajas y altas temperaturas medias.

Este último esquema parece más adecuado y realista para describir el comportamiento en estudio, ya que en los días fríos, una vez que todos los sistemas de calefacción han entrado en servicio, el consumo tiende a nivelarse, asimismo, en días calurosos siempre existe un consumo mínimo.

Las temperaturas de saturación son en nuestro caso de 8°C y 21°C ($\pm 1^\circ C$) para la bajas y altas temperaturas medias respectivamente. Entre estas temperaturas medias, **Q_{tr}** se incrementa a razón de 1.25(± 0.20) $M_m^3/d/^\circ C$. La incertidumbre en esta razón de variación esta relacionada a la dispersión de los datos y a su diferencia de año a año.

Definición de los parámetros de Alarma: Como se mencionó más arriba, el objetivo de este trabajo es lograr definir parámetros de alarmas (**PA**) que sean indicativas de las condiciones operativas ante potenciales situaciones de infracción o desabastecimiento, generados en el anillo de BA y GBA. Estos parámetros deben usar un mínimo de información relevante y proveer señales tempranas ante posibles situaciones de emergencia.

Finalmente, los parámetros de alarma deben poder expresarse en forma de algoritmos susceptibles de implementarse a través de un programa de computación.

Los factores que se tuvieron en cuenta en la definición de los parámetros de alarma fueron:

- Pronósticos térmicos
- Presiones en estaciones de regulación.
- Día de la semana
- Condiciones preexistente al comienzo de semana, histerisis.

A continuación discutimos cada uno de estos factores:

• **Pronósticos térmicos:** Dado que el consumo de gas está fuertemente relacionado con las temperaturas medias ($\langle T \rangle$) y que los pronósticos meteorológicos tienen cierta inseguridad que aumenta rápidamente después de las 72 horas, en este trabajo se consideró prudente utilizar sólo los valores de temperaturas pronosticadas a tres días. Usando estos datos de temperaturas pronosticadas definimos el factor:

$$\langle\langle T_3 \rangle\rangle = (\langle T \rangle_{\text{hoy}} + \langle T \rangle_{\text{mañana}} + \langle T \rangle_{\text{pasado}}) / 3, \quad (1)$$

que representa una temperatura media pronosticada para los tres próximos días. Sabemos que para $\langle T \rangle$ menor que $T_{\text{crit}} = 12^\circ\text{C}$, muy probablemente Q_{tr} excede $30 \text{ M}_m^3/\text{d}$. Por lo tanto el riesgo de ocurrencia de una potencial situación de emergencia será proporcional a :

$$\delta T = \begin{cases} (\langle\langle T_3 \rangle\rangle - T_{\text{crit}}) & \text{Si } \langle\langle T_3 \rangle\rangle \text{ menor que } T_{\text{crit}} \\ 0 & \text{Si } \langle\langle T_3 \rangle\rangle \text{ mayor que } T_{\text{crit}} \end{cases} \quad (2)$$

• **Presiones en los reguladores:** Para caracterizar el estado del anillo resulta útil introducir la cantidad $\langle D_P \rangle$, definida como el valor medio de la diferencia de presiones de entrada y salida en las cámaras reguladoras que abastecen el anillo

$$\langle D_P \rangle = \frac{\sum_i Q_i \cdot (P_i^{(in)} - P_i^{(out)})}{\sum_i Q_i}. \quad (3)$$

Aquí Q_i , es la contribución al anillo de la estación i , ($i = \text{Gral. Pacheco, Ezeiza, Gral. Rodriguez y Gutiérrez}$), $P_i^{(in)}$ y $P_i^{(out)}$ son

las presiones a la entrada y salida de la estación i . Dado que disponemos de los datos de Q_i , $P_i^{(in)}$ y $P_i^{(out)}$ para cada hora, el cálculo de $\langle D_P \rangle$ para cada día es el promedio diario realizado hora a hora. El valor de $\langle D_P \rangle$ esta relacionado con el estado del line-pack de los tramos finales de los gasoductos.

Analizando los datos correspondientes a los años 1993 y 1994, se observa que cuando $\langle D_P \rangle$ disminuye por debajo de 3 bar, el sistema no tiene capacidad de responder a los aumentos en la demanda. En estas condiciones, si el caudal aumenta, las válvulas reguladoras pierden su capacidad y es previsible que las presiones de salida caigan debajo de 20 bar. Además, como puede observarse en la figura 3, las caídas en $\langle D_P \rangle$ preceden a las ocurrencias de infracciones a la normativa vigente en un par de días.

En base a lo expuesto resulta útil definir:

$$\delta P = \begin{cases} (P_{crit} - \langle D_P \rangle) & \text{Si } \langle D_P \rangle \text{ menor que } P_{crit} = 10bar \\ 0 & \text{Si } \langle D_P \rangle \text{ mayor que } P_{crit} \end{cases} \quad (4)$$

De este modo que δP es a (o al menos aumenta en forma uniforme) de acuerdo con la situación que presenta el estado del anillo.

- **Día de la semana:** Un factor importante a tener en cuenta es el día de la semana en que una situación critica ocurre. Como es de conocimiento, una condición de este tipo se considera riesgosa. Sobre todo cuando más temprano ocurre en la semana, dado que en general los fines de semanas el consumo se reduce, permitiendo la recuperación del sistema.

-

Por lo tanto introducimos el factor **Peso_Día** que toma el valor de 1 en los fines de semana y se incrementa en forma monótona a 1.5 los día lunes, como se indica en la tabla siguiente.

Día	Peso_Día
Lunes	1.5
Martes	1.5
Miércoles	1.3
Jueves	1.2
Viernes	1.2
Sábado	1
Domingo	1

(5)

- **Condiciones preexistentes, histerisis:** Otro factor a tener en cuenta en la definición de los parámetros de alarma es la situación en la que se encuentra el sistema al comenzar la semana (lunes). Si el sistema se recuperó en las condiciones optimas, caracterizada por valor de $\langle D_P \rangle_{dom} > P_{crit}$, el valor de este factor será **1**, en caso contrario:

$$\text{Histeresis} = 1 + \frac{P_{crit} - \langle D_P \rangle_{dom}}{\langle D_P \rangle_{dom}} \quad \text{si} \quad \langle D_P \rangle_{dom} < P_{crit} = 10bar \quad (6)$$

donde $\langle D_P \rangle_{dom}$ es el valor de $\langle D_P \rangle$ para el día domingo precedente a la semana en cuestión.

- **Baja presión de salida, infracción:** Como se indico más arriba, si la presión de salida de las cámaras cae por debajo de **17 bar**, el sistema esta en situación de emergencia y estamos ante una potencial infracción del vigente “Reglamento Interno de los Centros de Despacho.

Para tener en cuenta estas situaciones, definimos el parámetro **BP** como:

$$\text{BP} = W0 * (\langle P_s \rangle - 17) \quad (7)$$

donde **W0** es un factor de peso igual a 200.

- **Parámetro de alarma:** En base a lo expuesto más arriba, el parámetro de alarma **PA** que se define como:

$$\begin{aligned} \text{PA} &= W * (\delta P) * \langle \delta T \rangle * \text{Peso_Día} * \text{Histerisis} + \text{BP} \\ (8) \quad &= W * (P_{crit} - \langle D_P \rangle) * (T_{crit} - \langle T3 \rangle) * \text{Peso_Día} * \text{Histerisis} + \text{BP} \end{aligned}$$

Donde **W** =1.5 es un factor de normalización arbitrario, que se elige de modo tal que el valor de **PA** se encuentre en el rango de 0 a 100.

Otra magnitud que resulta útil de introducir, es el valor Integrado del Parámetro de Alarma, **PAI**, definido como:

$$\text{PAI} = k \cdot \int_{T_i}^{\text{Hoy}} \text{PA}(t) \cdot dt \quad (9)$$

Donde **Ti** es el día inicial en que **PA**>0, con la condición de que si **PA**=0 para dos días consecutivos, **PAI** se vuelve a cero (condición de "reset"). El valor de la constante k se eligió igual a 1/60.

En la figura 4, puede verse el comportamiento de **PA**. Vemos que su importancia refleja razonablemente la dimensión de la "crisis" observada

en 1994. En particular, magnitudes grandes en ambos parámetros son indicativas de estas situaciones..

En las figuras 5, 6 y 7 puede verse el comportamiento de los parámetros de alarma para los períodos invernales de 1995, 1996 y 1997. Como puede observarse en estos gráficos, en los últimos años, no se notan situaciones similares a las de julio de 1994, donde tanto PA como PAI se disparan simultáneamente, reflejando lo crítico del evento ocurrido en este período, cuando se registraron infracciones y se produjeron situaciones de desabastecimiento.

COMPARACIÓN DE TEMPERATURAS PRONOSTICADAS CON LAS REALES.

La metodología utilizada en el presente análisis se basa en comparar las temperaturas reales, es decir aquellas que fueron efectivamente registradas, con las temperaturas pronosticadas con 24 horas, 48 horas y 72 horas respectivamente.

La fuente de información utilizada fue la misma que la que corrientemente se usa en la Gerencia de Transmisión del ENARGAS, proveniente de las agencias Telmet inc./Accu Weather.

Como se mencionó anteriormente, el consumo de gas esta ligado principalmente a la temperatura media, en este estudio se privilegió el análisis de este parámetro. Dado que los datos disponibles para cada día son las temperaturas máximas y mínimas, operacionalmente, la temperatura media se definió en todo este estudio como el promedio de la máxima y la mínima de cada día, o sea:

$$\text{Temperatura Media} = \langle T \rangle = \frac{T_{Max} - T_{min}}{2} \quad (10)$$

En las figuras 8 y 9 se presentan las temperaturas medias reales (línea llena gruesa y círculos) junto con los valores pronosticados 24 horas antes, 48 horas antes y 72 horas antes. En estos gráficos se tomaron los datos de temperaturas correspondientes a los meses de invierno de 1995.

Como puede apreciarse fácilmente de estos gráficos, los pronósticos tiene un comportamiento que en general acompaña bien las tendencias globales, existiendo desde luego discrepancias. Con el objeto de

cuantificar la magnitud de las diferencias, se realizó un tratamiento estadístico de los datos de temperatura.

Usamos el subíndice α (1,2,3) para definir a cada conjunto de datos correspondientes a los pronósticos realizados 24hs, 48hs y 72 hs respectivamente.

Para cada uno de estos conjuntos de predicciones definimos la desviación standard σ_α , como:

$$\sigma_\alpha^2 = \frac{\sum_i (T_i^{(\alpha)} - T_i^{(real)})^2}{N}, \quad i = 1, \dots, N; \quad (11)$$

Donde el subíndice i representa el día al que hace referencia el pronóstico, $T_i^{(real)}$, (Temperatura realmente registrada para ese día) y $T_i^{(\alpha)}$ la temperatura pronosticada 24hs antes ($\alpha=1$), 48hs antes ($\alpha=2$) y 72 hs antes ($\alpha=3$).

Si se hace la hipótesis que los pronósticos tienen una distribución normal, lo cual es solo una suposición aproximada, pero razonable, el parámetro σ_α es una medida de la magnitud correspondiente a la inseguridad asociada a los pronósticos usados. Más específicamente, puede decirse que para un pronóstico dado, con 68% de probabilidad, la temperatura observada estará en el intervalo $(T_i^{(\alpha)} - \sigma_\alpha, T_i^{(\alpha)} + \sigma_\alpha)$ y con 96% de probabilidad, la temperatura observada estará en el intervalo $(T_i^{(\alpha)} - 2 \cdot \sigma_\alpha, T_i^{(\alpha)} + 2 \cdot \sigma_\alpha)$.

Para los datos de temperaturas correspondientes a los meses de invierno de 1995 los valores de la desviaciones standard fueron:

$$\begin{aligned} \sigma(\alpha=1) &= 3.1^\circ C \quad (24Hs) \\ \sigma(\alpha=2) &= 3.3^\circ C \quad (48Hs) \\ \sigma(\alpha=3) &= 3.5^\circ C \quad (72Hs). \end{aligned} \quad (12).$$

Esta falta de precisión en las predicciones térmicas, equivalen a variaciones de consumo de aproximadamente 4 M_m³/d. Cabe destacar que es algo menor que el consumo asociado a las usinas, que tienen contratos interrumpibles y pueden reducir su consumo dentro de las 6 horas de aviso. Por tanto, este hecho permite cierta flexibilidad para maniobrar el sistema en situaciones críticas.

CONCLUSIONES.

Las figuras 4, 5, 6 y 7 indican que los parámetros de alarma, **PA** y **PAI**, cumplen con las condiciones requeridas. Ambos tienen valores que son indicativos de la gravedad de las distintas situaciones operativas que pueden afectar el estado del anillo de BA y GBA.

En particular, la gravedad de una situación de emergencia está caracterizada por un incremento simultáneo de ambos parámetros como se observa en el escenario ocurrido en julio de 1994. Estos parámetros engloban las variables relevantes que pueden afectar su funcionamiento y tienen la posibilidad de dar avisos tempranos ante posibles situaciones de emergencia. Finalmente estas variables pueden fácilmente implementarse en un software, que en el caso de ENARGAS está asociado al Tablero de Datos de Despacho.

El estudio de los valores de temperaturas y sus pronósticos para Buenos Aires y el Gran Buenos Aires, indica que los datos son confiables en el entorno aproximado de los 3.5°C. La desviación standard de la distribución de los pronósticos térmicos se incrementa ligeramente con el número de días con que se realiza, pero para predicciones de hasta 72 horas, su variación es pequeña, indicando que la confiabilidad de los valores de temperaturas de 24 horas, 48 horas y 72 horas son similares.

En términos de volúmenes consumidos en BA y el GBA, esta inseguridad en los datos de temperatura, se traduce en una variación de consumo de aproximadamente 4 M_m³/d.

Agradecemos el apoyo brindado por todo el personal de la Gerencia de Transmisión del ENARGAS, en particular al Ing. G. Cavallo, como así también al Sr. Fabio Dángelo por su asistencia en la construcción de las bases de datos.

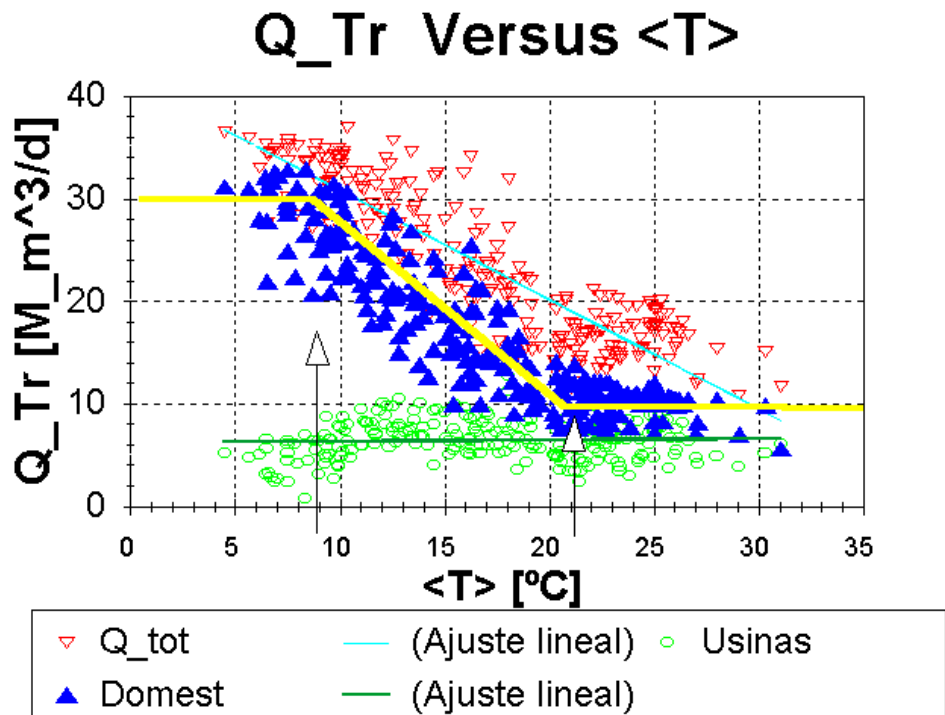


Figura 1. Consumo de Gas Natural en BA y GBA para el año 1995 como función de la temperatura media $\langle T \rangle$. Los círculos abiertos corresponden a las usinas productoras de electricidad. Los cuadrados están asociados al consumo residencial y comercial. Los triángulos corresponden al consumo total.

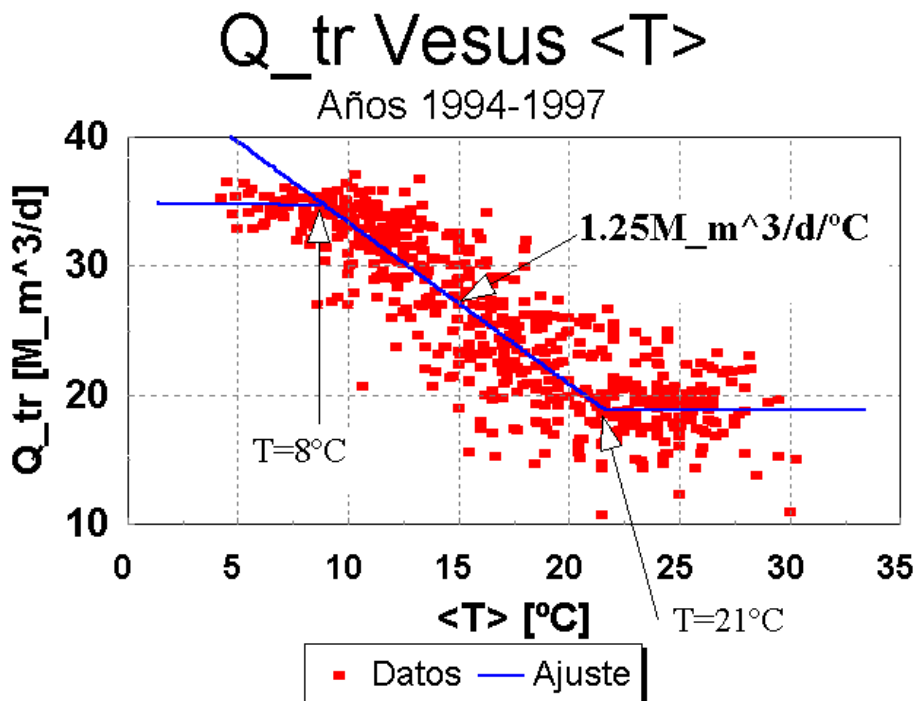


Figura 2. Consumo total de Gas Natural en BA y GBA para los años 1994 al 1997 como función de la temperatura media $\langle T \rangle$. Los cuadrados corresponden al consumo total. En este gráfico se excluyeron los fines de semanas.

Presiones de Salidas - Invierno 1994

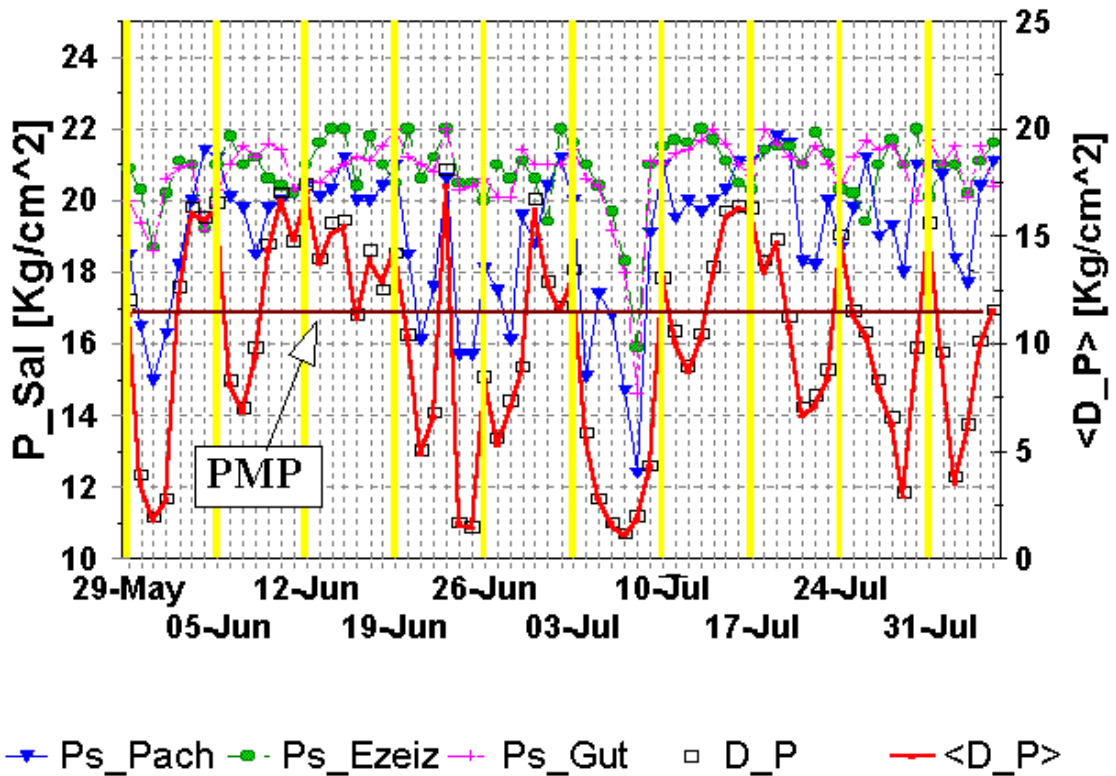


Figura 3. Presiones de salida en las cámaras reguladoras y valor del parámetro $\langle D_P \rangle$ para el período mayo-julio de 1994. Las barras verticales grises indican los días domingo de cada semana. La línea horizontal indicada con PMP corresponde a la presión de salida mínima permitida (17 bar). La línea gruesa indica el valor de $\langle D_P \rangle$ para cada día. Como puede verse para la última semana de mayo como para la primera de julio, la disminución de este parámetro, se adelanta a las caídas de las presiones de salida en un par de días aproximadamente.

Parametros de Alarma -1994

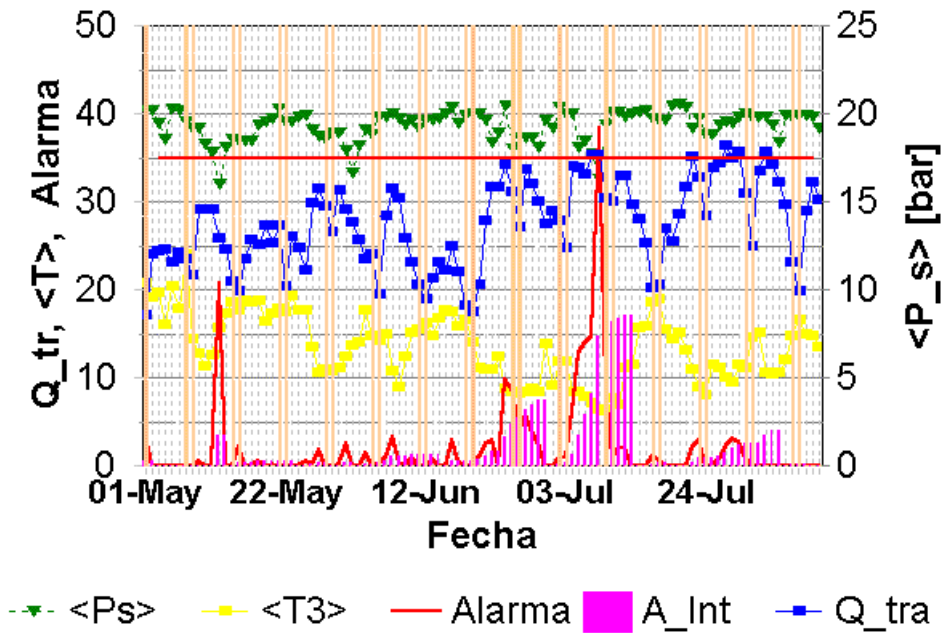


Figura 4. Presiones de salida en las cámaras reguladoras y valor del parámetro $\langle D_P \rangle$ para el período mayo-julio de 1994. Las barras grises verticales indican los fines de semanas.

Parametros de Alarma -1995

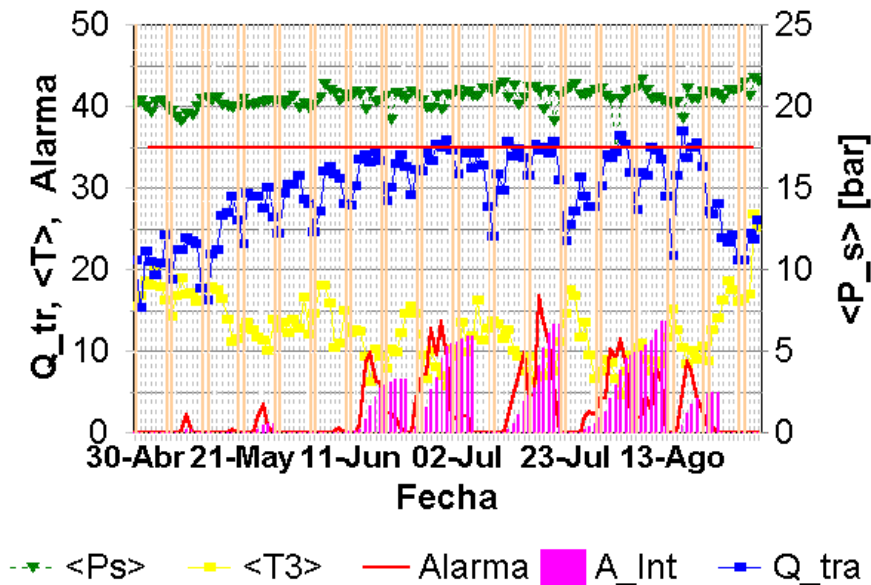


Figura 5. Presiones de salida en las cámaras reguladoras y valor del parámetro $\langle D_P \rangle$ para el período mayo-julio de 1995.

Parametros de Alarma -1996

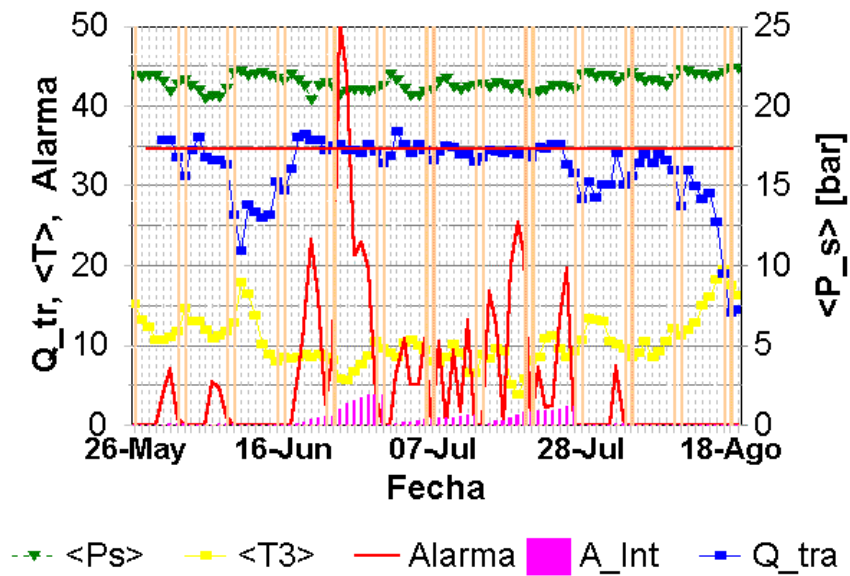


Figura 6. Presiones de salida en las cámaras reguladoras y valor del parámetro <D_P> para el período mayo-julio de 1996.

Parametros de Alarma -1997

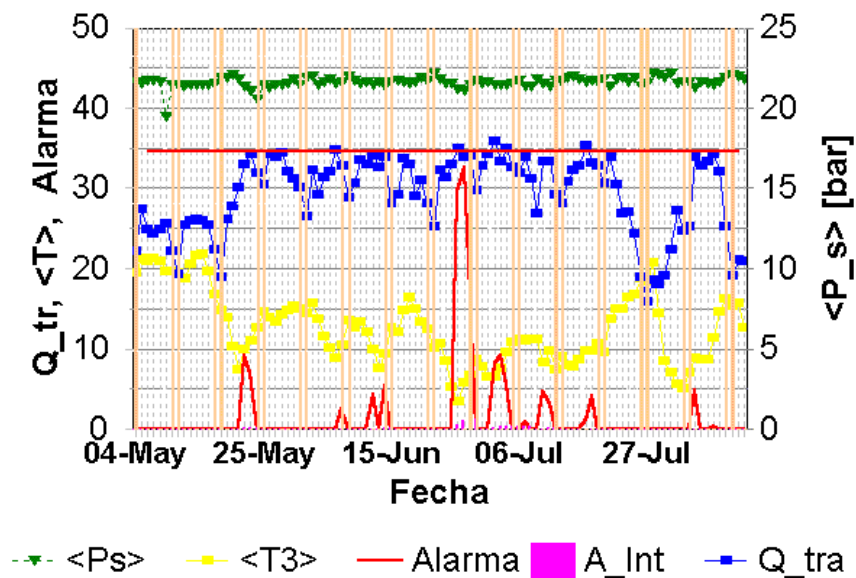


Figura 7. Presiones de salida en las cámaras reguladoras y valor del parámetro <D_P> para el período mayo-julio de 1997.

Temperaturas - Reales Vs. Pronostico

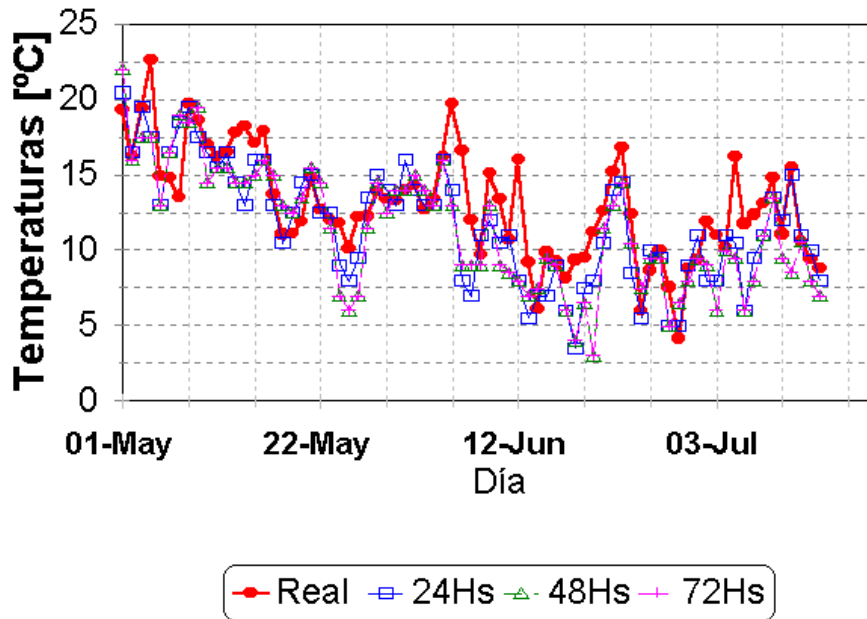


Figura 8. Temperaturas medias reales y pronosticadas para los meses de mayo y junio de 1995.

Temperaturas - Reales Vs. Pronostico

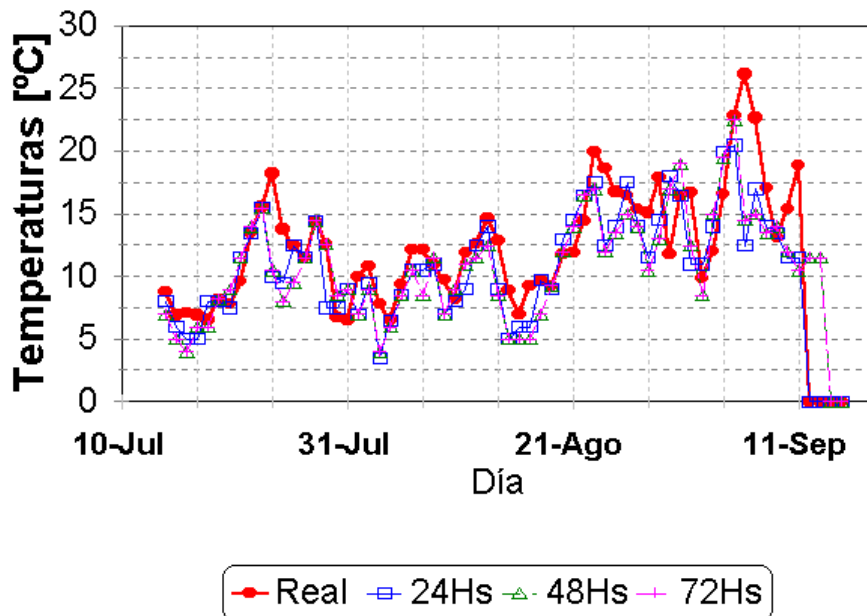


Figura 9. Temperaturas medias reales y pronosticadas para los meses de junio y julio de 1995.