



Pozos de gas inteligentes

Por Jorge A. Llera, Capex S.A.

© IAP

Este trabajo describe y analiza el comportamiento de los primeros pozos de gas totalmente automatizados en un yacimiento de nuestro país, que forman parte de un sistema de captación de gas cuya producción promedio es de 2.400.000 Sm³/día. Este sistema es capaz de adecuar el caudal de extracción al de consumo sin necesidad de ventear excedentes ante las fluctuaciones del mismo, que pueden alcanzar en operación valores del orden del 25 % sobre el caudal normal y en tiempos muy reducidos.

Dicho sistema alimenta con gas extraído del mismo yacimiento a la Central Termoeléctrica Agua del Cajón, provincia del Neuquén, con una potencia instalada de 371 MW(ISO).

El estudio "Pozos de gas inteligentes", que hoy publicamos, describe el sistema mencionado. Este estudio recibió la máxima distinción, el Premio Ing. Raúl Mucci al mejor trabajo técnico presentado en el 3er Congreso Latinoamericano de Gas realizado en Buenos Aires el pasado mes de octubre.

El desarrollo que han experimentado durante los últimos años los **sistemas de telesupervisión y control**, producto de la evolución del control automático y de la tecnología informática, han generado una verdadera transformación en las industrias manufacturera y de procesos continuos.

La explotación de yacimientos de gas y petróleo no fueron ajenos, es más, sin lugar a dudas es uno de los mayores desafíos que pueden enfrentar sistemas de esta índole, por contar la extracción de hidrocarburos con características particulares, como:

- Ubicación de yacimientos en zonas de difícil acceso o alejados.
- Diseminación de equipos de captación en áreas extensas, con distancias y variaciones de niveles topográficos importantes que dificultan en algunos casos la transmisión de datos.
- Movilidad en la ubicación de los equipos de captación de acuerdo con el desarrollo del yacimiento.
- Imposibilidad de contar en la mayoría de los casos con suministro de energía eléctrica, utilizándose en ese caso paneles solares que obligan, debido a su elevado costo, a contar con unidades remotas y radios de bajo consumo y un adecuado diseño del ciclo de interrogación (*polling*), que define dicho consumo.

- Aumento de las zonas en explotación y de equipos afectados a la extracción según el crecimiento del yacimiento, requiriéndose de Unidades Remotas con adecuada capacidad de expansión.
- Condiciones climáticas severas, exigiendo equipos con electrónica apta para temperaturas extremas y gabinetes totalmente estancos.

DESCRIPCION DEL PROYECTO

Son numerosos los yacimientos que han incorporado **sistemas de telesupervisión y control**, variando el grado de sofisticación de los mismos, tanto en adquisición y procesamiento de datos como en telecomandos.

En nuestro caso, hemos implementado un nuevo **concepto de operación**, utilizando *software* de aplicación específico que controla y genera automáticamente los comandos requeridos para adecuar el caudal de gas de extracción al de consumo, siendo la variable de ajuste la presión del gasoducto de captación.

Dicho sistema se halla en funcionamiento desde el 2 de diciembre de 1993 en el Yacimiento Agua del Cajón, provincia del Neuquén, alimentando actualmente una Central Termoeléctrica de 371 MW(ISO), produciendo en condiciones normales de operación

Jorge A. Llera es Ingeniero Mecánico egresado de la Universidad Tecnológica Nacional, Regional Buenos Aires en 1984. Se desempeñó en CAPSA (Yacimiento Diamante) desde 1985 en el área de Obras y Mantenimiento, retirándose en 1990 como Jefe de Ingeniería de Obras. Ingresó en CAPEX, hallándose a cargo desde entonces de la Elaboración, Evaluación y Ejecución de Proyectos de Captación y Procesamiento de Gas y Petróleo.

de 2.400.000 Sm³/día de gas, de los cuales el 12,50% (300.000 Sm³/día) corresponde a pozos en baja presión (4 Kg/cm²) y el 87,5% restante (2.100.000 Sm³/día) se extrae en media presión (32 Kg/cm²)

Los factores que nos llevaron a la concepción de un sistema de este tipo fueron:

- La variación de consumo de gas que se produce durante el período de arranque de "cada" turbogenerador, que en ningún caso supera los 30 minutos y representa entre un 15 a un 25% del caudal total de extracción (dependiendo del turbogenerador).
- La variación del caudal de consumo, producto de la variación de la temperatura ambiente que influye linealmente en el consumo de gas y que puede variar en +/- 15%, sobre el caudal en condiciones ISO, teniendo en cuenta las temperaturas extremas.

Dichas condiciones de operación requirieron de la **Total automatización del sistema de extracción y conducción de gas**, minimizando el tiempo de operación, costos de inversión y operación, priorizando la seguridad del suministro de combustible sin necesidad del venteo de excedentes para compensar las fluctuaciones del sistema.

De esta manera, un solo operador por turno, ubicado en la sala de control central es suficiente para controlar el funcionamiento de todo el yacimiento.

El **sistema de captación de gas** cuenta para cumplir su finalidad con:

- Gasoducto de captación en media presión



- de 20,2 km. de longitud.
- Gasoducto de captación en baja presión de 17,5 km. de longitud.
- 5 Baterías de media presión, que operan en conjunto según el concepto operativo que se describe más adelante.
- 20 pozos productores en media presión
- 7 baterías de baja presión, 4 de ellas incluyen tanques de recepción de líquidos producidos (petróleo, gasolina, agua).
- Planta deshidratadora de petróleo.
- Batería central de gas y sala de control, donde se encuentran las terminales de operación que monitorean las variables del proceso en tiempo real, se emiten los telecomandos y se ejecuta la lógica principal para modular la producción en media presión.

El Sistema de Telesupervisión y Control cuenta en el campo con un total de 34 Unidades Remotas, alrededor de 900 Entradas/Salidas y 1.400 Tag's.

una batería de media presión con únicamente 2 pozos. Por el mismo motivo se han simplificado al máximo los esquemas que se acompañan con el fin de captar más fácilmente dicho concepto.

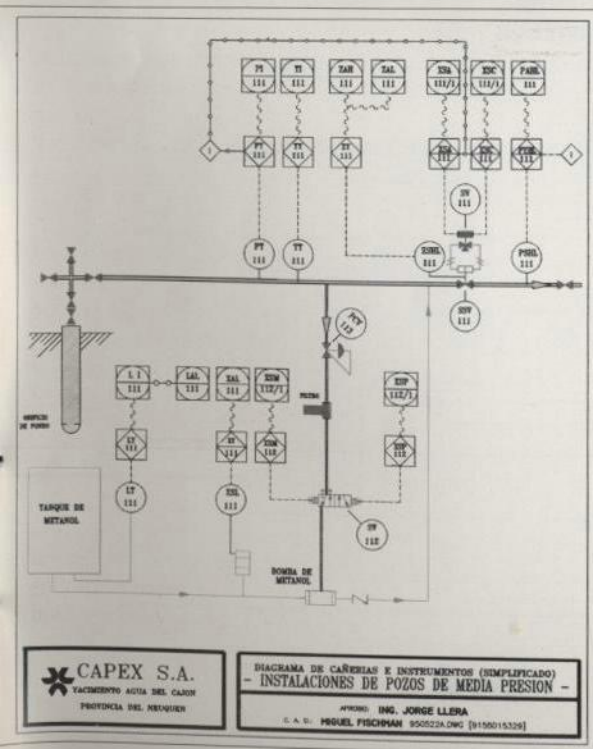
Pozos productores en media presión (Figura 1)

Cuentan en boca de pozo, a la salida de la armadura de surgencia con:

- 1) Válvula de esclusa plana con asientos flotantes y actuador neumático, con las siguientes funciones:
 - Válvula de seguridad por bloqueo que actúa cerrando el pozo cuando la presión en la línea de conducción (aguas abajo) alcanza valores por encima o por debajo de los calibrados en los pilotos sensores de presión.
 - Válvula de apertura o cierre de pozo por telecomando, señal emitida desde Sala de control y recibida por la válvula a través de su RTU individual, contando con la posibilidad de regular la velocidad de apertura y cierre de la válvula.
- 2) Sistema de inyección de metanol, con el fin de evitar la formación de hidratos en la línea de conducción del pozo, que lo une con la batería separadora correspondiente y que actúa únicamente en caso de que la temperatura de llegada del gas al manifold de la batería alcance el valor calibrado (set point), o bien la estrangulación del pozo en el manifold sea igual o menor al 20% del caudal potencial.
- 3) Transmisor de presión y temperatura en boca de pozo, variables que permiten conocer el comportamiento estático y dinámico del pozo.

El primero de ellos permite disponer de una señal adicional para el control de la función de seguridad por bloqueo de la válvula en boca de pozo por medio de un lazo P D; muy útil inclusive durante la puesta en marcha del sistema y de pozos en forma indivi-

Figura 1 INSTALACIONES DE POZOS DE MEDIA PRESION



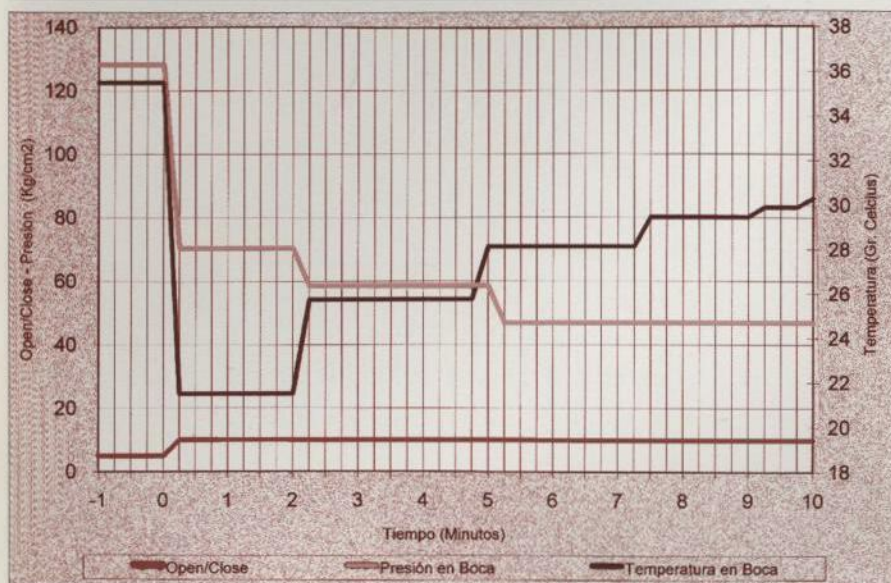
DESARROLLO

Indudablemente, la columna vertebral del sistema de extracción de gas es, por caudal y complejidad, el sistema de media presión, cuyo **concepto de operación** explayaremos en el presente.

El mismo cuenta en total con 5 baterías de media presión, cada una de las cuales puede captar la producción de 5 pozos, con posibilidades de ampliación. Todas ellas aportan su producción a un gasoducto troncal que alimenta la Central Termoeléctrica.

A los efectos de facilitar la comprensión del **concepto de operación**, analizaremos el subsistema construido por

Figura 3. POZOS DE GAS. Transitorio de Apertura de Pozo.



dual, dado que a través del sistema de telesupervisión y desde la sala de control es posible realizar rápidos cambios de los *set point* y lograr el rango más apropiado para cada pozo, sin necesidad de reiteradas calibraciones del interruptor correspondiente en boca de pozo.

En la Figura 2, podemos observar la evolución de la presión y temperatura en boca de pozo para un ciclo de apertura y cierre, durante un período de 100 minutos.

Es notorio en el mismo la influencia del **orificio de fondo**, que permite alcanzar temperaturas en boca satisfactorias en tiempos breves (alrededor de 25 minutos).

El análisis de la Figura 3 (Transitorio de apertura de pozo), muestra claramente la influencia de la regulación en la velocidad de apertura del pozo, calibrada para abrir en 3 minutos (rango regulable). Su apertura controlada evita la descompresión brusca del pozo, amortiguando adecuadamente su ingreso al sistema.

Dicho control evita durante el período de explotación del pozo y en su habilitación, que se produzcan cierres reiterados por sobrepresión en la línea de conducción, ante la imposibilidad de las válvulas de control ubicadas aguas abajo de adecuarse instantáneamente al caudal ingresante.

El Figura 4 (Transitorio de cierre de pozo), muestra la regulación de cierre, calibrada en 1 minuto, permitiendo una distribución más homogénea de los saltos de presión, hasta alcanzar la presión estática del pozo, que en nuestros pozos no supera los 150 kg/cm².

4) Regulación del caudal de gas de pozo.

Regulación en pozo: los pozos tienen un período breve de explotación de flujo lineal, radio de drenaje reducido, caudal significativamente mayor y declinación pronunciada; requiriendo de plazos prolongados para su estabilización como consecuencia de la baja permeabilidad del reservorio.

Por esta razón se optó por limitar el aporte de los pozos durante el régimen transitorio, utilizando como método de regulación o limitación de caudal de aporte, orificios de fondo, con las siguientes ventajas:

- Se limita el caudal del pozo durante un período de tiempo que presenta grandes producciones y declinación pronunciada que dificultaría sensiblemente regular el sistema provocando en forma constante la apertura y cierre de pozos.

- Se incrementa la temperatura del gas en boca de pozo en 10°C, permitiendo su explotación sin costosos equipos adicionales; únicamente el sistema de metanol que actúa en período invernal y en los primeros meses de explotación del pozo, cuando su caudal suele hallarse más controlado.

El orificio de fondo, que para las grandes producciones iniciales representa un límite importante, a medida que el pozo abandona el régimen transitorio y se estabiliza, disminuye progresivamente su incidencia en el caudal, debido a que la caída de presión en la formación es más grande y el flujo en el *choke* cada vez más crítico, diluyendo así su único inconveniente que es, en caso requerir su recambio, realizar una intervención de *Wireline*, lo que resulta costoso y complica la operación en yacimientos alejados.

Regulación en batería: por medio de la válvula de control telecomandada (FV-2235 / FV-2236) ubicada en el colector de la batería de media presión.

Baterías de media presión (Figura 5)

Cuentan con el siguiente equipamiento según el circuito del proceso:

- 1.- *Manifold* de entrada (línea individual por pozo)
- Medición de caudal de gas corregido por temperatura y presión.
- Válvula de control telecomandada con posicionador electro-neumático (FV-2235 y FV-2236), que constituye la pieza clave de la regulación de caudales.
- 2.- Separador general y de control (gas - líquido).

El control de nivel de líquido en los separadores se realiza con un transmisor diferencial con sellos a diafragma remotos. Con circuito normal de descarga a través de la

Figura 4. POZOS DE GAS. Transitorio de Cierre de Pozo.

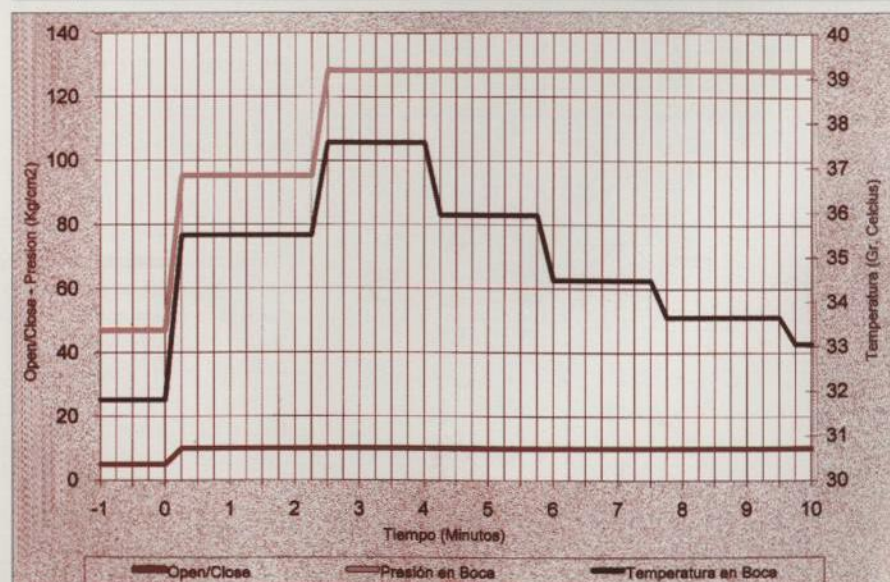
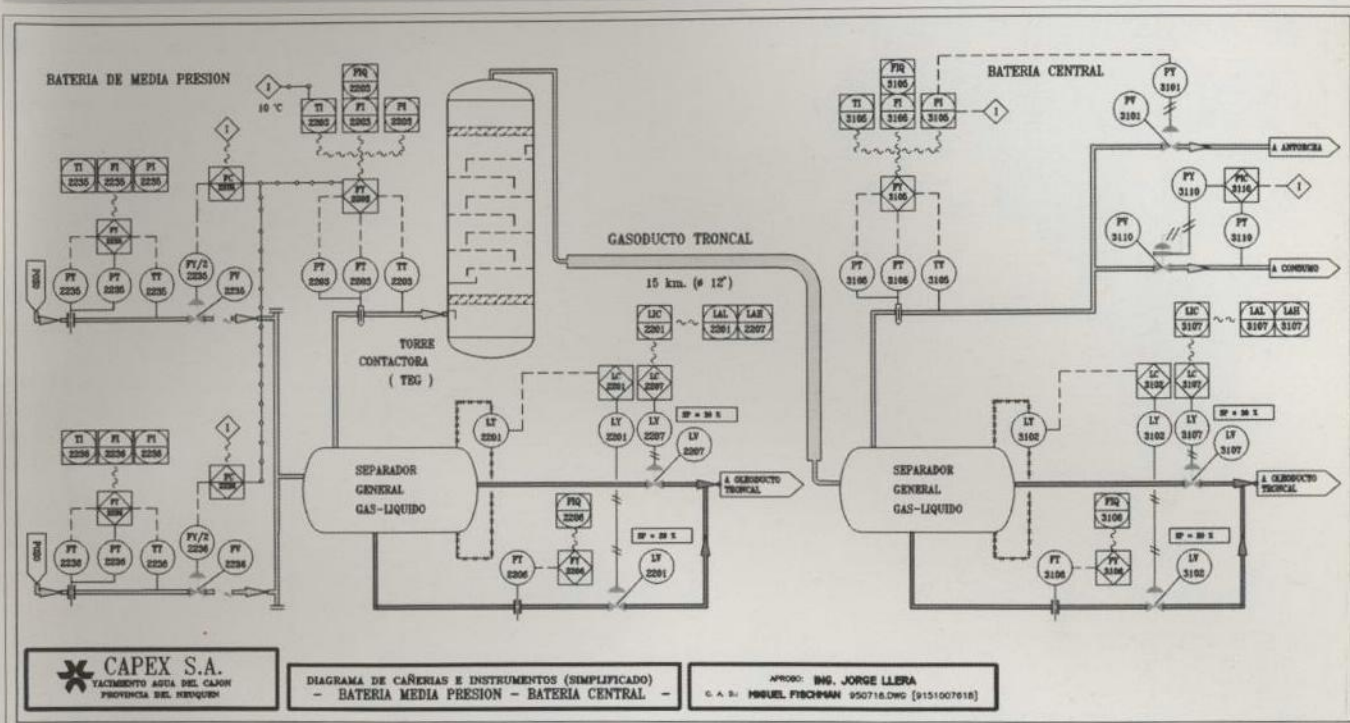


Figura 5. BATERIA MEDIA PRESION - BATERIA CENTRAL



válvula LV-3201 (configurable desde sala de control) y de emergencia por medio de la válvula LV-3207, que opera a un nivel superior y es únicamente configurable desde la unidad remota local.

3.- Planta deshidratadora de gas con trietilenglicol, con el fin de asegurar el transporte del gas hasta el punto de consumo.

Sistema operativo

En el Figura 5, puede observarse el esquema base de nuestro análisis, en este caso simplificado a 2 pozos, que aportan su pro-

ducción a una batería de media presión vinculada con la batería central, último punto de separación de líquidos condensables previo a los turbogeneradores, a través de un gasoducto de Ø 12" y 15 km de longitud.

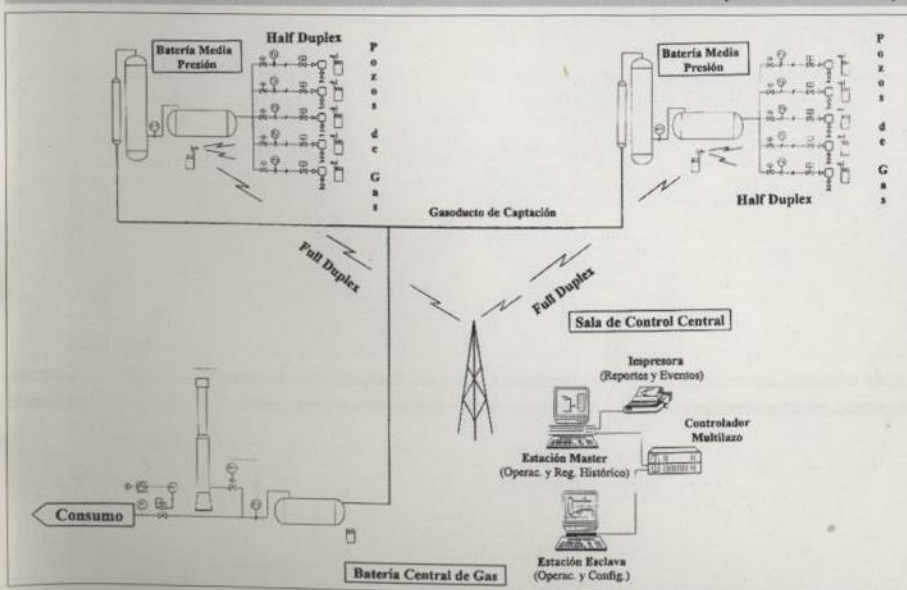
En la batería central se encuentran las válvulas de control PV-3110 (Control de presión de gas de consumo), PV-3101 (Control de presión de gas a antorcha) y Transmisor de presión PT-3105 (Presión de operación), a partir de las cuales podremos operar el sistema a una presión superior a la de consumo (*set point* PV-3110), utilizando de esta mane-

ra el gasoducto como pulmón que absorberá las fluctuaciones de consumo instantáneas.

El sistema de control central controlaba, a intervalos regulares, la presión del gasoducto (PI-3105), tomando acciones correctivas únicamente cuando su variación, respecto de la presión de operación normal es igual o superior a $0,5 \text{ kg/cm}^2$, en cuyo caso se compara el caudal de extracción total (FIQ-3105) en ese instante con el inmediato anterior, cociente con el cual se genera un **factor de ajuste**, que será mayor que la unidad (disminución de presión controlada), o menor que la unidad (aumento de la presión controlada).

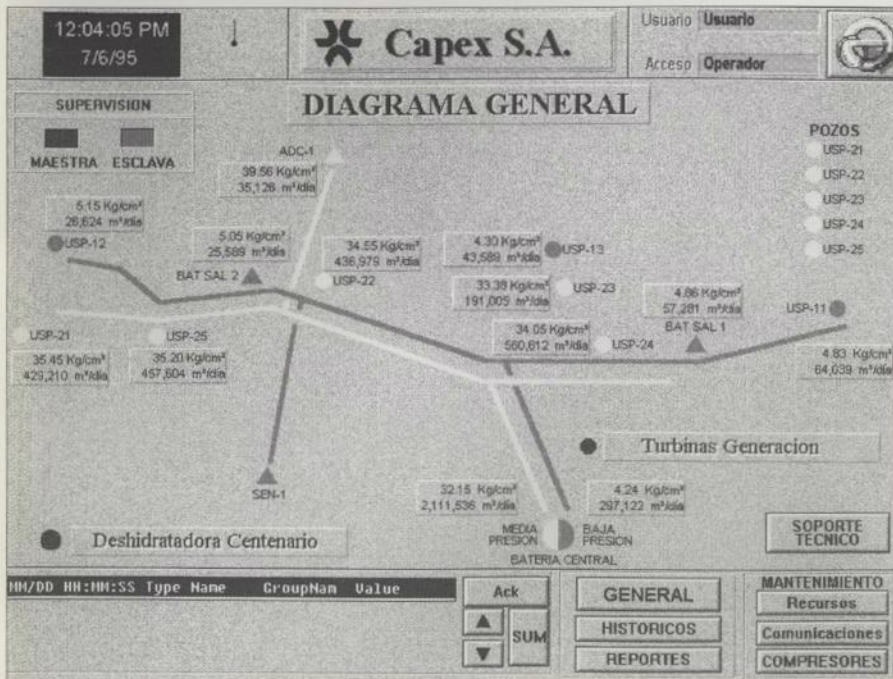
Dicho factor es transmitido a la RTU de la batería de media presión y utilizado para corregir los caudales individuales de los pozos, que intervienen en la ecuación que caracteriza la regulación proporcional de las válvulas de control de caudal FV-2235 y FV-2236, generando el porcentaje de apertura a cada una, señal que la RTU les transmite individualmente.

Figura 6. ESQUEMA SIMPLIFICADO DE COMUNICACIONES (Media Presión)



Presión (PI-3105) kg/cm ²	Operación
42,0	Venteo por antorcha (PV-3101)
40,0	Señal de cierre de pozos
38,0	Señal de cierre de pozos
32,5 a 37,5	RANGO DE REGULACIÓN (-)
32,0	Presión de operación normal
31,5 a 30,5	RANGO DE REGULACIÓN (+)
30,0	Condición de emergencia de suministro

Figura 7



unidad remota de dicha batería reduce "proporcionalmente" el caudal de extracción de los pozos afectados a ella por medio de la estrangulación de las respectivas válvulas de control (FV-2235 y FV-2236).

La correspondencia entre el caudal regulado de pozo, porcentaje de apertura real de la válvula de control (FV-2235 y FV-2236) y porcentaje de aporte del pozo respecto de su caudal potencial, han mostrado una adecuada correlación entre las 3 y fundamentalmente un error entre las 2 últimas, que no supera el 2%, indicando una correcta regulación proporcional de dichas válvulas.

Para el caso de que la presión continúe aumentando, a 38 kg/cm² se envía la señal de cierre de pozos seleccionados, a 40 kg/cm² se repite la señal y se incorporan nuevas señales de cierre a otros pozos; finalmente y como sistema de emergencia centralizado, a la presión de 42 kg/cm² se inicia la apertura del venteo a la antorcha de quema.

Para el caso de reducciones progresivas de presión, a 30 kg/cm² se produce la apertura automática de pozos con controles similares a los descritos pero de base neumática, cubriendo así la posibilidad extrema de una falla generalizada de las comunicaciones o de la alimentación eléctrica en batería central.

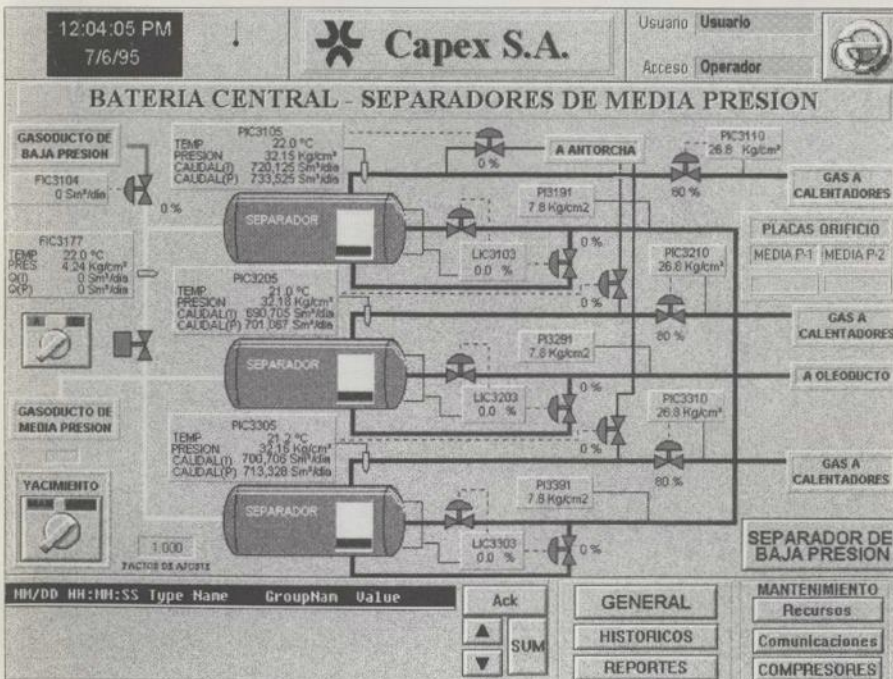
Con el fin de optimizar el ciclo de interrogación, la Sala de control central únicamente se comunica con las baterías de campo por sistema *full duplex* y los pozos de gas reportan a las baterías de media presión por sistema *half duplex* (Figura 6).

Todas las comunicaciones se realizan en alta frecuencia VHF (banda de 260 MHz) con velocidades de transmisión de 1.200 baudios y reporte por excepción.

Las pantallas del sistema de telesupervisión y control, que permiten monitorear el funcionamiento del yacimiento, pueden apreciarse en las siguientes figuras:

- Diagrama general (Figura 7): permite acceder a una visión global del sistema y sus variables mas importantes.
- Batería central-separadores de media presión (Figura 8): punto de acceso a la variable más importante de control y sobre la que apoya el Sistema operativo (Presión del gasoducto de media presión).
- Pozos de media presión USP-22 (Figura 9): agrupa a todos los pozos de una batería de media presión con sus correspondientes variables. Es aquí desde donde se abren los mismos por medio de telecomandos.

Figura 8



En síntesis, al aumentar, por ejemplo, en batería central la presión a 32,5 kg/cm², se genera un **factor de ajuste** menor que 1. El

mismo es transmitido a la batería de media presión como un comando de reducción del caudal de los pozos, en estas condiciones la

Figura 9

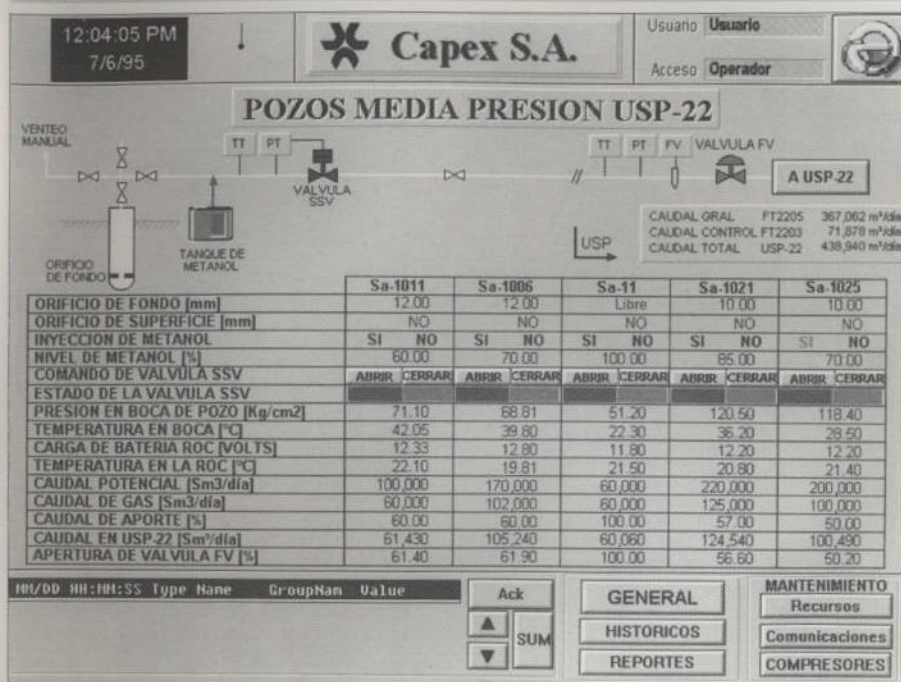
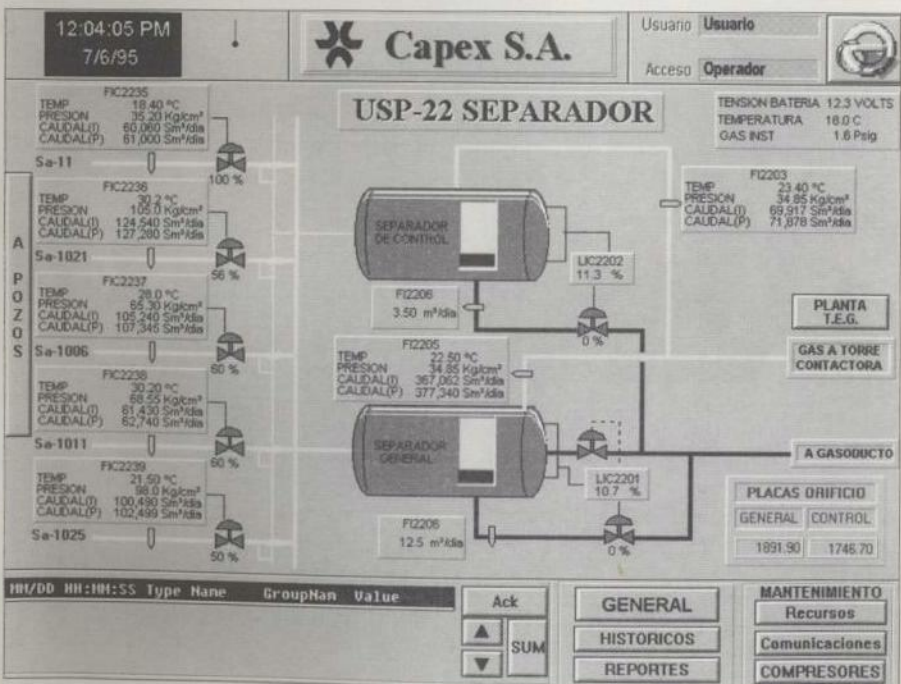


Figura 10



- USP-separadores (Figura 10): muestran las variables de la batería separadora.
- Comunicaciones: teniendo en cuenta que

la transmisión de datos se realiza por radiofrecuencia, dicha pantalla ha sido de mucha importancia tanto en la puesta en

marcha y ajuste del sistema de comunicaciones, como durante su operación, porque a través de ella se realiza el monitoreo permanente de las mismas.

CONCLUSIONES

Transcurridos casi dos años de la implementación de este sistema y luego de experimentar crecimientos sucesivos hasta alcanzar la envergadura que hoy tiene, podemos concluir que el mismo ha sido un éxito, destacándose:

- Se puso en marcha el **primer sistema de captación** donde una Central Termoeléctrica de elevada potencia es alimentada por **gas natural sin tratar de yacimiento**.
- Se habilitaron los **primeros pozos de gas totalmente automatizados** en la República Argentina, de los cuales el primero fue el pozo Sa-17 (15/09/93).
- Se implementó un sistema de extracción de gas que, utilizando *software* de aplicación específico, permite controlar y generar automáticamente los comandos requeridos para adecuar el caudal de gas de extracción al de consumo, sin intervención del operador.

Los beneficios más importantes, producto de implementar un sistema de esta índole, son:

Aspectos ambientales

Evitar el venteo de gas, en virtud de las características de autorregulación del sistema.

Aspectos de seguridad

Garantizar la seguridad del personal de operación y adicionalmente de los equipos involucrados en el suministro continuo de combustible a la Central Termoeléctrica, por contar con sistemas de seguridad automáticos y manuales.

Aspectos económicos

Minimizar el lucro cesante, al reducir los tiempos de operación y aumentar su eficacia.

Reducir los costos de operación, por ser un sistema totalmente automatizado.

Optimizar el uso racional de las reservas al operar **sin venteo de gas**.