

EDGAR JAVIER BARAJAS HERRERA*,
EDGAR AUGUSTO SUÁREZ GARCÍA*,
JAIME BARRERO PÉREZ**,
RAFAEL RONCANCIO***,
JULIO CÉSAR PÉREZ ANGULO****

CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO DE SUPERVISIÓN Y CONTROL PARA EL SIMULADOR DE PRECIPITACIÓN DE HIDRATOS BAJO CONDICIONES DINÁMICAS

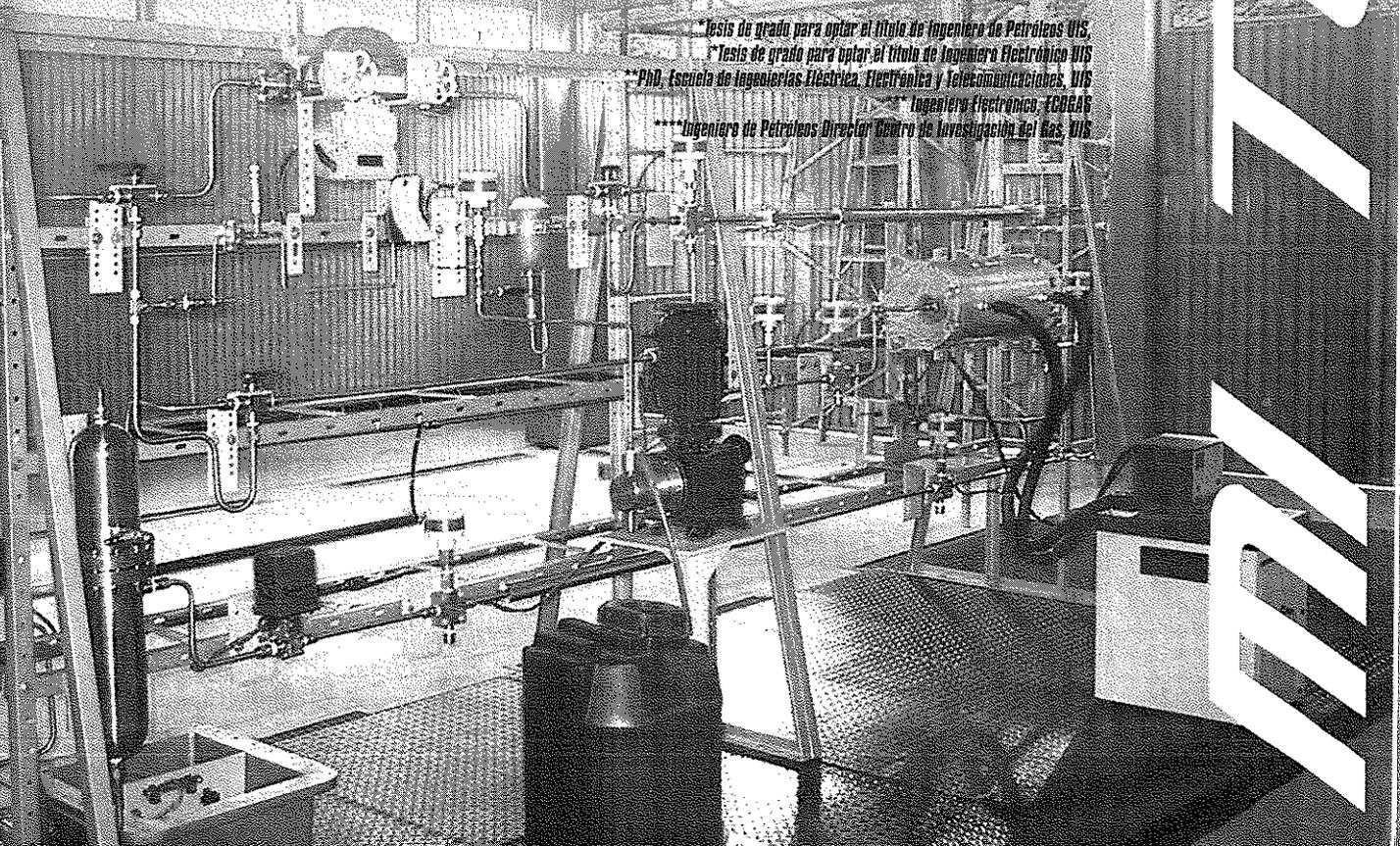
*Tesis de grado para optar el título de Ingeniero de Petróleos UIS.

**Tesis de grado para optar el título de Ingeniero Electrónico UIS.

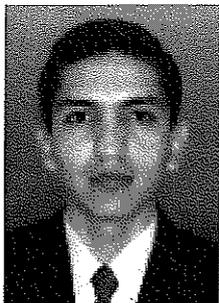
***PhD, Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, UIS.

****Ingeniero Electrónico, ECOMAG.

*****Ingeniero de Petróleos Director Centro de Investigación del Gas, UIS.



UIS



Edgar Javier Barea Herrera

Resumen

Este artículo presenta la construcción y el montaje de un sistema electrónico de supervisión y control automático para una mini-planta piloto, acondicionada como simulador de transporte y tratamiento de gas natural. Se utiliza instrumentación electrónica y se controlan variables como estado de equipos, caudal y temperatura. El software de monitoreo y control y el software para la interface hombre-máquina están desarrollados en LabVIEW® para MS-Windows®.

Palabras Claves

Automatización, Supervisión, Control, Proceso, Hidratos, Gas Natural, LabVIEW, Instrumentación.



Edgar Augusto Suárez García

Introducción

Un problema común en la explotación, producción, tratamiento y transporte de gas natural es la formación de partículas cristalinas llamadas "clatratos" o hidratos del gas natural, originadas por la unión de moléculas de agua y gas. La acumulación de hidratos puede provocar taponamientos y mal funcionamiento de los equipos. Un método convencional para eliminar o inhibir hidratos es la utilización de químicos. En Colombia, el Centro de Investigación del Gas (CIG) de la Universidad Industrial de Santander (UIS), construyó una mini-planta piloto para desarrollar y probar herramientas no-convencionales que inhiban la formación de hidratos. Los requerimientos de operación y seguridad del proceso hicieron necesaria la construcción de un sistema electrónico de supervisión y control, que garantizara un eficiente comportamiento del simulador, monitoreara en tiempo "real" las variables físicas del proceso, supervisara el proceso y realizara actividades de control remoto. El sistema está basado en una computadora personal, tarjetas de adquisición y control de señales analógicas y digitales, instrumentación industrial y elementos finales de control.

I. DESCRIPCIÓN DEL SIMULADOR

A nivel de laboratorio es posible implementar un sistema que permita simular el flujo de gas natural en un proceso industrial, incluyendo las zonas críticas de formación de hidratos. El CIG ha diseñado un simulador escalado de transporte y tratamiento de gas natural, que permite llevar el gas a condiciones de formación de hidratos, en altas presiones y bajo condiciones dinámicas (Fig. 1).

A. Características técnicas de la planta piloto.

Los equipos de proceso están dispuestos sobre un circuito abierto de volumen constante (Fig. 1), el cual opera bajo las condiciones dadas en la Tabla 1, simuladas en Hysys®.

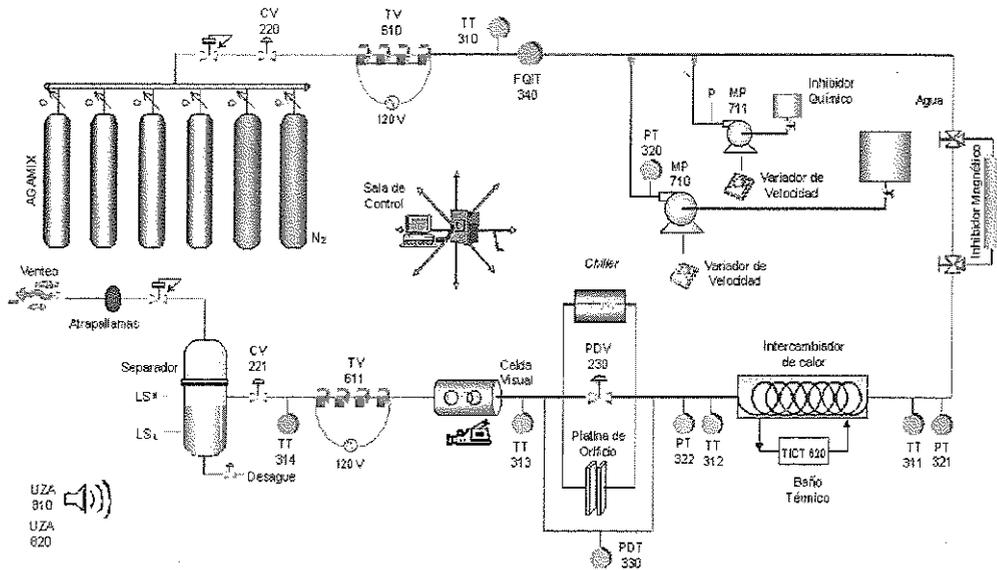


Figura 1. Esquema del simulador de transporte y tratamiento de gas natural.

Tabla 1. Condiciones de operación del simulador

| Parámetro | Valor |
|---|---------------|
| Presión de almacenamiento del gas | 800-3.000 psi |
| Presión de diseño | 4.000 psi |
| Presión de operación | 300-1.200 psi |
| Presión a condiciones estándar promedio | 840 psi |
| Caída en la zona de crecimiento de hidratos | 0-300 psid |
| Flujo de gas a condiciones estándar promedio | 5-135 lb/h |
| Mínima velocidad del gas (1200 psi, 60 °F, 5 lb/h) | 0,03 m/s |
| Máxima velocidad del gas (300 psi, 60 °F, 135 lb/h) | 3,34 m/s |
| Caudal de agua inyectado al simulador | 50-250 ml/min |
| Temperatura ambiente | 10-37,8 °C |
| Temperatura típica de formación de hidratos | 2-10 °C |
| Temperatura de desnucleación de hidratos | 15,6-26,7 °C |

El simulador está organizado en once módulos:

1. Módulo de suministro de gas
2. Módulo de calentamiento 1
3. Módulo de inyección de agua
4. Módulo de inyección de químico inhibidor
5. Módulo de inhibición magnética
6. Módulo de formación de hidratos
7. Módulo de visualización de hidratos
8. Módulo de calentamiento 2
9. Módulo de separación de fases
10. Módulo de señalización y alarmas
11. Módulo de supervisión y control.

B. Puntos de monitoreo y control del proceso.

En los Cuadros 1 y 2 se resumen los puntos de monitoreo y control actuales del proceso para el simulador.

Cuadro 1. Puntos de monitoreo del proceso.

| EQUIPO | RANGO | APLICACIÓN |
|---------------------------------------|---------------|---|
| Medidor de temperatura TT310 | 6-40 °C | Salida de la cinta de calentamiento 1 |
| Medidor de temperatura TT311 | 6-35 °C | Entrada del intercambiador de calor |
| Medidor de temperatura TT312 | 6-10 °C | Salida del intercambiador de calor |
| Medidor de temperatura TT313 | 2-6 °C | Salida módulo de formación |
| Medidor de temperatura TT314 | 15-30 °C | Salida de la cinta de calentamiento 2 |
| Baño térmico circulante TICT620 | 6-10 °C | Temperatura del líquido refrigerante del baño |
| Medidor de presión relativa PT320 | 300-1600 psig | Salida de la bomba de inyección de agua |
| Medidor de presión relativa PT321 | 300-1200 psig | Entrada del intercambiador de calor |
| Medidor de presión relativa PT322 | 290-1190 psig | Salida del intercambiador de calor |
| Medidor de presión diferencial PDT330 | 0-300 psid | Caída en la zona de crecimiento |
| Medidor de flujo másico FQIT340 | 5-135 lb/h | Flujo de gas inyectado al simulador |

Cuadro 2. Puntos de control del proceso

| EQUIPO | RANGO | APLICACIÓN |
|-------------------------------|---------------|---|
| Baño térmico TICT620 | 6-10 °C | Control temperatura del intercambiador de calor |
| Cinta calentadora TV610 | 6-40 °C | Control de temperatura de la cinta de calentamiento |
| Cinta calentadora TV611 | 15-30 °C | Control de temperatura de disgregación de hidratos |
| Bomba MP710 | 50-250 ml/min | Control caudal de agua inyectada |
| Válvula de control CV220 | Todo/Nada | Control principal de paso de gas hacia el simulador |
| Válvula de control CV221 | Todo/Nada | Control de paso de gas hacia el separador |
| Válvula de control CV222 | Todo/Nada | Control de drenaje de líquido del separador |
| Sirenas UZA810 | Todo/Nada | Indicación sonora de alarma general |
| Iluminación preventiva UZA820 | Todo/Nada | Seguridad e información preventiva |

II. COMPONENTES DEL SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL

El proceso es monitoreado y controlado desde una sala de control, separada del área de

pruebas mediante un muro resistente a la explosión (existe contacto visual entre estas dos áreas).

A. Instrumentación electrónica.

- 1) **Transmisores de temperatura.** Se adquirieron cinco transmisores de temperatura *Bristol Babcock* modelo 2508-41B, del tipo RTD — pt100—, con salida de 4-20 mA y calibrados de 0 °C a 100 °C.
- 2) **Transmisores de presión relativa.** Se adquirieron tres transmisores de presión estática relativa *Bristol Babcock* modelo 2508-15B, del tipo diafragma interno y galgas extensiométricas, salida de 4-20 mA y ajustados en el rango de 0-2000 psig.
- 3) **Transmisor de presión diferencial.** Se adquirió un transmisor de presión diferencial *Bristol Babcock* modelo 2508-35B, del tipo diafragma interno y galgas extensiométricas, salida de 4-20 mA y calibrado de 0-300 psid.
- 4) **Transmisor de flujo másico.** Se adquirió un medidor de flujo másico

marca *Micro Motion* tipo Coriolis, modelo R-025-IFT9703, calibrado de 0-3.000 lb/h y que posee dos salidas: una de 4-20 mA y otra de pulsos.

B. Elementos finales de control.

- 1) **Válvulas motorizadas.** Se adquirieron tres válvulas de bola, 2 vías-2 posiciones, accionadas por motor, marca Whitey modelo MS-141AC, que se alimentan a 120 VAC.
- 2) **Cintas de calentamiento.** Se adquirieron dos cintas de calentamiento (básicamente, son resistencias eléctricas flexibles fabricadas en ferro-níquel). Tienen una longitud de 2,5 m, una resistencia de 155 W y se alimentan a 120 V.
- 3) **Bomba dosificadora de agua.** Se adquirió una bomba dosificadora de pistón, marca ProMinent y modelo MTKa10617, accionada por un motor de ½ hp. Un variador de frecuencia localizado en la sala de control, alimenta y controla la velocidad del motor. La capacidad máxima de la bomba es de 288,33 ml/min.
- 4) **Baño térmico circulante.** Se adquirió un baño térmico marca Haake, modelo N6-C41 que puede incrementar o disminuir la temperatura del proceso, al refrigerarlo con un líquido que circula dentro del baño. El baño tiene una tasa de transferencia de temperatura promedio de 1 °C/min.

C. Computador dedicado.

Desde el computador dedicado se llevan a cabo todas las decisiones de supervisión y control automático de la planta, mediante una aplicación informática desarrollada en programación gráfica 'G' y dos tarjetas electrónicas dedicadas a la adquisición de datos y el mando sobre el proceso.

- 1) **Tarjeta PCI-6024E.** Es una tarjeta multifuncional [4] de 16 canales analógicos de entrada bipolar y ganancia programable, dos canales analógicos de salida de tensión bipolar y ganancia fija y ocho líneas digitales

TTL configurables como entrada o como salida. Esta tarjeta muestrea señales a una velocidad de 200 kS/s y con una resolución de 12 bits. Cada salida analógica es generada por un conversor digital-analógico (DAC) de 12 bits

- 2) **Tarjeta PCI-6713.** Es una tarjeta de ocho salidas analógicas [5], de ganancia fija y bipolar (± 10 V), ocho líneas digitales compatibles con tecnologías CMOS y TTL, configurables por software como entrada o salida. Cada salida analógica proviene de un conversor digital analógico (DAC) de 12 bits con una frecuencia máxima de 1 MHz.

D. Módulo de acondicionamiento de señales.

Las tarjetas de acondicionamiento de señal implementadas [6], sirven de interface entre las tarjetas de monitoreo y control PCI-6024E y -6713 y las señales analógicas y digitales del proceso, e incluyen utilidades como: conversión de corriente a tensión, conversión de tensión a corriente, aislamiento galvánico y filtrado de ruido de alta frecuencia. Se utilizaron circuitos integrados de Burr-Brown®, como: el RCV420, el XTR115, ISO124 y el ISO150.

- 1) **Tarjeta de acondicionamiento CIG_6024E.** Su función es acondicionar las señales de la tarjeta PCI-6024E. Las utilidades de acondicionamiento para las entradas analógicas se muestran en el Cuadro 3. El acondicionamiento de las salidas analógicas no ofrece aislamiento eléctrico ni filtrado de ruido y genera sólo señales de corriente (4-20 mA). El módulo de acondicionamiento de señales digitales ofrece aislamiento eléctrico y permite configurar manualmente cada línea digital como entradas o como salidas, utilizando *jumpers*.

Cuadro 3. Acondicionamiento de las entradas analógicas CIG_6024E.

| Canal | Modo: Entrada de corriente de 4-20 mA | | | | Modo: Entrada de tensión | |
|-------|---------------------------------------|----------|--------------------|--------------------|--------------------------|-------------------|
| | Permitido | Conexión | Filtro Pb (50 kHz) | Aislamiento 1500 V | Permitido | Acondicionamiento |
| 0-3 | Sí | 2-hilos | Sí | No | Sí | No |
| 4-7 | Sí | 2-hilos | Sí | Sí | Sí | No |
| 8-11 | Sí | 2-hilos | Sí | Sí | No | — |
| 12-15 | Sí | 4-hilos | Sí | No | No | — |

- 2) **Tarjeta de acondicionamiento CIG_6713.** Acondiciona las señales de la tarjeta de control PCI-6713. Ofrece filtrado de ruido a 50 kHz, aislamiento analógico para las salidas analógicas y se puede escoger entre salida de tensión o salida de corriente. El módulo de acondicionamiento de señales digitales es similar al de la tarjeta CIG_6024E.

E. Módulo de control de potencia.

Desde este módulo se manejan los equipos de potencia del simulador y se tiene acceso al control de emergencia para llevar el sistema a un estado seguro o de falla segura. Utiliza una lógica de relés electromecánicos y el control de los equipos puede hacerse desde el panel frontal del módulo o desde el computador dedicado. El mando desde este módulo tiene prioridad sobre el control desde el computador.

III. ALGORITMOS DEL SISTEMA

Para implementar un sistema automático de medida y control, se requieren básicamente dos elementos: una plataforma física (*hardware*) y un sistema de programación (*software*). En este capítulo, se describe lo concerniente a los algoritmos de computador realizados para el sistema.

A. LabVIEW

Para el desarrollo de las aplicaciones de medida y control se utilizó LabVIEW®. Sus programas reciben el nombre de "Instrumentos Virtuales" (VI).

B. Software de supervisión y control

El software elaborado utiliza las ventajas de interacción gráfica con el usuario de LabVIEW®, ofreciendo una interface hombre-máquina acorde con la excelencia y la calidad del

laboratorio. El algoritmo del sistema de supervisión y control está dividido en dos Instrumentos Virtuales principales: prueba de equipos, monitoreo y control.

- 1) **Prueba de equipos.** Este VI permite la prueba individual de sensores y equipos de control instalados en el simulador, de sus alarmas y de las tarjetas electrónicas del sistema, durante las labores de mantenimiento preventivo y correctivo del sistema.
- 2) **Monitoreo y control.** Es el algoritmo que el operario de proceso utiliza frecuentemente para interactuar con el proceso para monitorearlo y controlarlo. Además, el algoritmo ejecuta un subprograma que permite conocer y registrar los estados de alarma de los equipos del sistema. El registro de las lecturas de las variables físicas del proceso y el registro de los estados de alarma ocurridos durante una prueba, son almacenados en un archivo (*.dat) en el disco duro del computador dedicado, para su posterior análisis por parte de los ingenieros de procesos del simulador.
- 3) **Librería HIDRATOS.** Esta librería fue creada especialmente para el sistema y en ella se encuentran todos los subVI's que se utilizaron para desarrollar los principales programas del sistema (Prueba de equipos, y Monitoreo y control). Contiene funciones como: transducción de valores de voltaje a unidades físicas y viceversa, verificación de rangos de operación, control automático todo/nada, lectura y escritura de señales, administración de alarmas, almacenamiento de archivos y generación de reportes, entre otras.

En la Figura 2, se presenta un diagrama de bloques del sistema de supervisión y control con sus componentes físicos.

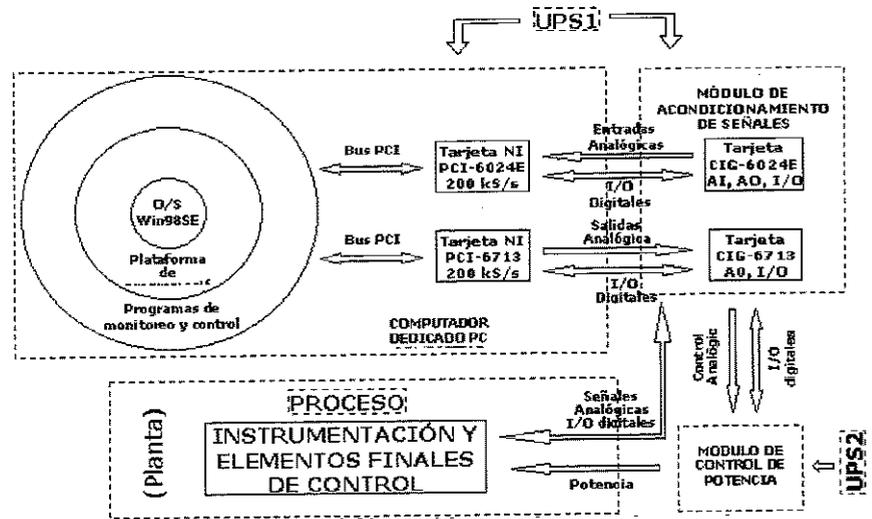


Figura 2.
Diagrama de bloques del sistema de supervisión y control

IV. CONCLUSIONES

- Para suplir las necesidades del proceso se instaló la instrumentación electrónica y los actuadores eléctricos requeridos para suplir las necesidades del proceso.
- Fueron prediseñadas e implementadas dos tarjetas de acondicionamiento de señal para las tarjetas de adquisición y control. Estas tarjetas se elaboraron en Bucaramanga, garantizando mayor calidad al sistema a un costo relativamente menor que otras utilidades del mercado y facilitando el servicio técnico.
- Se elaboraron, integraron y aplicaron el software de monitoreo y control y el software de presentación para la interface hombre-máquina del sistema.
- El sistema de supervisión y control implementado es expandible, desmontable y transportable, aumenta la seguridad de la mini-planta y está basado en un computador IBM PC-Compatible.

Referencias

- [1] LARA H., Sonia M. y LUQUE O., Isaac S. Selección de los elementos básicos de un simulador escalado a nivel de laboratorio, para la evaluación y predicción de la precipitación de hidratos bajo condiciones dinámicas. Bucaramanga, 1999, p. 82-110. Proyecto de grado (Ingeniero de Petróleos). Universidad Industrial de Santander.
- [2] VILLAMIZAR M., Rodolfo. Diseño de un Sistema de Supervisión y Control, para el Simulador de Inhibición de Hidratos Escalado a Nivel de Laboratorio. Bucaramanga, 2000, 200 p. Proyecto de Grado (Ingeniero Electrónico). Universidad Industrial de Santander.
- [3] DE LA HOZ M., Mario A. y GARCÍA D., Hugo A. Plan de seguridad para el diseño, construcción y operación del simulador inhibidor de hidratos. Bucaramanga, 2001, 300 p. Proyecto de Grado (Ingeniero de Petróleos). Universidad Industrial de Santander
- [4] NATIONAL INSTRUMENTS. DAQ : 6023E/6024E /6025E user manual : multifunction I/O board for PCI, PXI and CompactPCI bus computers. Austin, Texas: Author, January of 1999. 135 p.
- [5] _____. DAQ : PCI/PXI-6711/6713 user manual : analog voltage output device for PCI/PXI/CompactPCI. Austin, Texas: Author, October of 1998. 135 p.
- [6] CASTELBLANCO R., Nelfor. Manual de usuario de las tarjetas de acondicionamiento de señales. Bucaramanga: Centro de Investigación del Gas, 2001. 54 p.