

**Optimización del procesamiento de gas natural a  
través de un sistema de control centralizado**

**Tesis final para el Postgrado: Especialización en Petróleo y Gas**

**Instituto Tecnológico de Buenos Aires (ITBA)**

**Tutor**

**Ing. Julio SHIRATORI**

**Alumnos:**

**Ing. Federico STRADA**

**Ing. Alejandro CASALE**

# TRABAJO FINAL – POSTGRADO ITBA

## Optimización del procesamiento de gas natural a través de un sistema de control centralizado

Alejandro Casale – Federico Strada

---

### Índice

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>3</b>
<b>DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA .....</b>	<b>4</b>
CAPTACIÓN Y SEPARACIÓN PRIMARIA .....	4
PLANTA COMPRESORA .....	5
SEPARADOR DE ENTRADA.....	6
COMPRESORES.....	7
DESHIDRATACIÓN .....	11
SKID DE GAS COMBUSTIBLE.....	14
SEGURIDAD .....	14
PROCESAMIENTO DE GAS.....	14
RECUPERACIÓN .....	20
<b>INTRODUCCIÓN AL SISTEMA DE CONTROL Y TELESUPERVISIÓN .....</b>	<b>22</b>
NIVELES DE UN SISTEMA DE CONTROL.....	22
<i>Nivel 0: Sensores y actuadores de campo.....</i>	<i>24</i>
<i>Nivel 1: PLC (Programmable Logical Controller).....</i>	<i>25</i>
<i>Nivel 2: SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) .....</i>	<i>26</i>
<i>Nivel 3: Sistemas de gerenciamiento e Intranets .....</i>	<i>27</i>
SISTEMA DE COMUNICACIÓN .....	28
EL SISTEMA DE CONTROL APLICADO A LA SEGURIDAD PERSONAL Y PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE .....	28
<b>SISTEMA DE CONTROL DE PROCESO.....</b>	<b>29</b>
VARIABLES DE CONTROL.....	29
CONTROLADORES.....	33
TELESUPERVISIÓN .....	33
CENTRO DE CONTROL .....	34
DISTRIBUCIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	34
<b>BIBLIOGRAFIA DE CONSULTA .....</b>	<b>36</b>
<b>ANEXO 1 – SIMULACIÓN DE COMPRESOR.....</b>	<b>37</b>
<b>ANEXO 2 – SIMULACIÓN DE PLANTA TURBO-EXPANDER.....</b>	<b>38</b>
<b>ANEXO 3 – TEORÍA DEL CONTROL AUTOMÁTICO .....</b>	<b>39</b>
<b>ANEXO 4 – SENSORES.....</b>	<b>46</b>
<b>ANEXO 5 – ACTUADORES.....</b>	<b>47</b>
<b>ANEXO 6 – PLC.....</b>	<b>48</b>
<b>ANEXO 7 – SCADA.....</b>	<b>51</b>

## INTRODUCCIÓN

En el contexto actual de la economía las empresas están preocupadas en disminuir sus costos a través de la optimización de sus procesos, y control de los mismos.

Esto implica la revisión de los costos laborales, de mantenimiento de equipos, la minimización de riesgos/ accidentes, y paradas de producción.

El propósito de este trabajo es lograr la optimización de un proceso de gas a través de la incorporación de tecnología de control.

Algunos de los procesos a los que se somete el gas natural tienen como finalidad remover el H<sub>2</sub>S y el CO<sub>2</sub> superiores admitidos por las normas de transporte y/o seguridad personal y ambiental (procesos de endulzamiento de gas); otros, tienen el objetivo de deshidratarlo, para prevenir hidratos al transportarlo; y muchas veces, dependiendo de la calidad del gas, existe la posibilidad de extraerle componentes más pesados a través de procesos de expansión o refrigeración mecánica, para obtener gasolinas, que desde un punto de vista comercial, pueden ser muy interesantes.

Dada una composición de gas se pretende describir el proceso del mismo, desde la captación, y determinar el tratamiento más adecuado para maximizar el valor del mismo, agregando al proceso, una variante tecnológica para lograr una mayor eficiencia, apuntando a los objetivos mencionados, de optimización de costos.

El objetivo es comunicar el sistema entre sí, a través de la telesupervisión, considerando distancias del yacimiento. La clave de la eficiencia del sistema radicará en la selección de las variables a controlar, que permitan minimizar tiempos de paro de planta, anticipar fallas y proteger el sistema en general.

Un buen sistema de control implica poder supervisar los procesos desde un sitio determinado a través de una visión macro del sistema. A su vez, permite el seguimiento de tendencias, y estados de alarma para anticipar situaciones de riesgo, y optimizar los tiempos de mantenimiento.

El trabajo se plantea en dos etapas, la primera, un desarrollo de los procesos de tratamiento del gas, y luego, la descripción del sistema de control de los mismos.

## DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA

El objetivo será describir básicamente en qué consiste el sistema típico para el procesamiento del gas de pozo, y los equipos fundamentales con que se debe contar para lograr un proceso adecuado, desde la boca de pozo, hasta la entrega final en gasoducto.

A su vez se planteará una composición de gas del yacimiento en estudio, y especificará en mayor detalle el proceso específico de tratamiento del mismo. Esta descripción de será la base sobre la cual se incorporarán las variables de control en la segunda etapa del presente trabajo.

### Captación y separación primaria

La captación se refiere a las instalaciones de superficie requeridas para recolectar el gas de pozos para su posterior procesamiento en la planta de tratamiento. Para el caso en cuestión, la captación es en baja presión, para lo cual se necesitará posteriormente, elevar la presión para llegar a la planta de tratamiento. Básicamente, la captación en baja presión es la que abarca la recolección de “gases asociados” al petróleo producido en las baterías de crudo.

Las baterías son instalaciones que tienen el objetivo de reunir las líneas provenientes de los pozos productores de gas en un radio aproximado de 4 km. Para el caso, el tipo de baterías del campo en estudio es tipo Cluster. Esto quiere decir, que se colecta el gas de diferentes pozos en un manifold, y transporta el fluido en forma multifásica hasta la planta compresora, donde ocurrirá una primer separación, y posteriormente a la planta de tratamiento.

#### • BATERIA - TIPO CLUSTER



Los equipos principales en la batería son el *manifold*, que es una unidad paquetizada que posee las facilidades necesarias para enviar el fluido de diferentes pozos a producción y/o control.

Se cuenta a su vez con separadores de producción, que separan el gas de los líquidos, que serán enviados a la planta, en cañerías independientes; y separador de control, que tiene la función de separar y medir gas, HC y agua de cada pozo para introducirlo luego en la o las cañerías principales de la unidad.

En cuanto al diseño de la batería, se debe tener en cuenta la presión operativa de la planta, que será la de la batería, más la pérdida de carga producida entre planta y batería. Este es un punto importante que ha de tenerse en cuenta, para evaluar las presiones máximas operativas y adecuar así los elementos de seguridad (alivios por sobrepresión, sistema de shutdown y blowdown) y requerimientos particulares.

La ubicación de la planta compresora está determinada por un análisis que apunta a minimizar la inversión en cañerías para el sistema de recolección (gathering system). Una alternativa posible es calcular el baricentro del sistema, considerando los caudales de gas asociado y las coordenadas de cada batería.

### **Planta Compresora**

La necesidad de compresión de gas puede ser para diferentes fines, entre ellos, proveer energía suficiente para alcanzar una etapa posterior (ej. Tratamiento, gasoducto de distribución), ó simplemente fines de transporte de la producción a través de líneas de menor diámetro. Otros fines pueden tener que ver con el medio ambiente, reinyectando gases ácidos, o mantener la producción en yacimientos maduros, depletados.

Nuestro proyecto prevé la necesidad de compresión para transportar la producción a la planta de tratamiento, y posteriormente inyectar el gas residual (tratado) en el gasoducto de distribución.

El yacimiento en estudio consta de 4 plantas compresoras con dos compresores cada una, distribuidas en el campo según su cercanía a las baterías de producción. Aguas debajo de las compresoras se encuentra una planta de recuperación de LPG, donde además de separar líquidos, se acondiciona el gas a la especificación de gasoducto de la distribuidora.

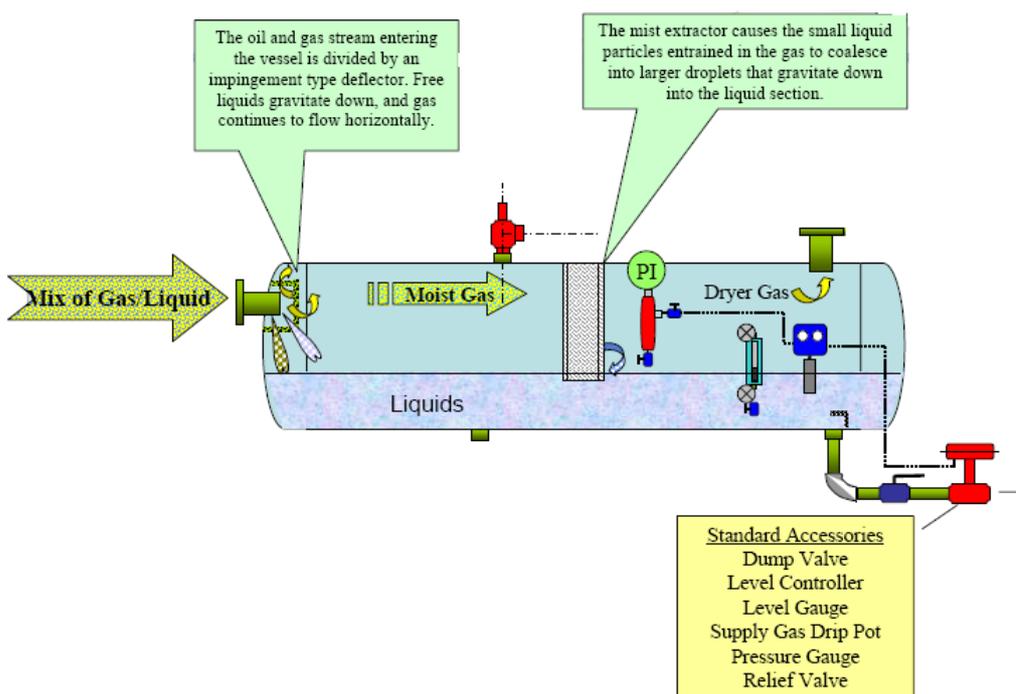
La cantidad de gas a procesar, y las presiones de entrada a planta compresora son las que definen la potencia (# de compresores) a instalar en cada una. El dimensionamiento de los equipos (separadores, filtros, compresores, válvulas de shutdown y blowdown, etc ) dependerá de los caudales y características del gas a procesar.

A continuación se hará una descripción breve de los componentes principales de una estación compresora:

### Separador de entrada

Se considera para la planta en cuestión un separador bifásico, es decir, se busca separar la producción en dos fases, líquidos y gas. Hay consideraciones a tener en cuenta para el diseño de separadores. Se debe tener en cuenta los materiales extraños que pueden venir del pozo (arena, productos corrosivos, etc.), se debe considerar la posible necesidad de calentamiento y/o limpieza. Tendrá la función principal de slug catcher (variaciones de volúmenes de líquido). Se debe considerar el tiempo de retención de líquido (clave, para lograr una buena separación), el caudal máximo de gas y las presiones de gas.

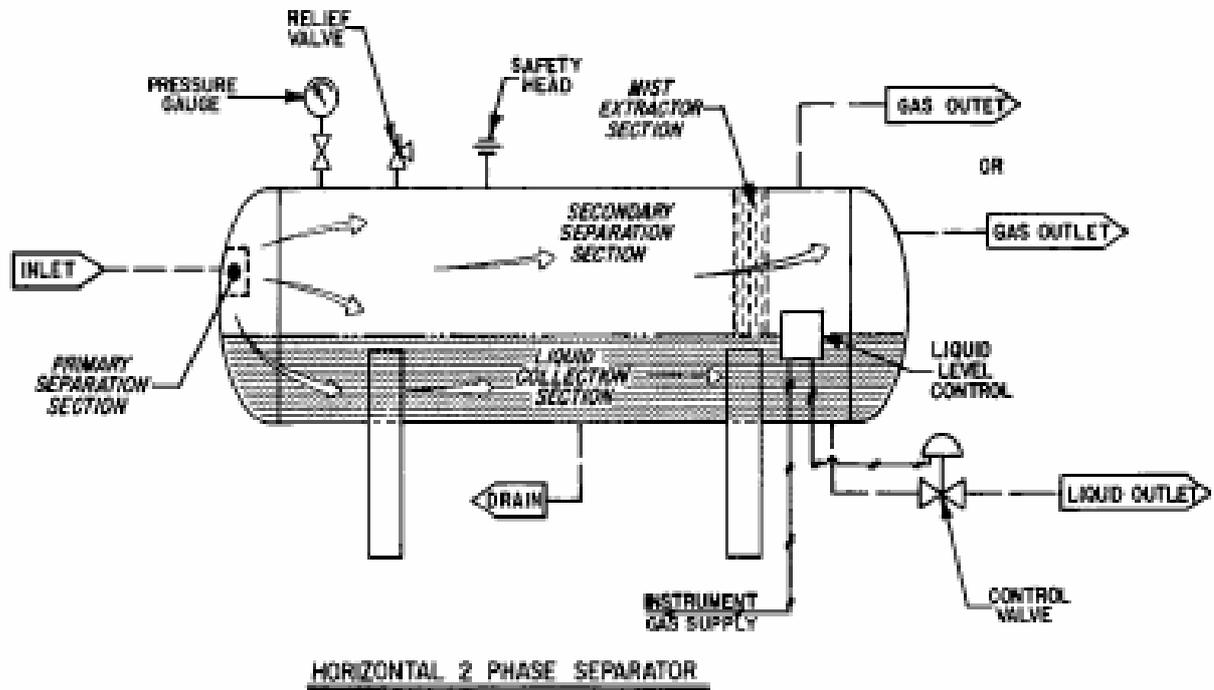
Los separadores generales de entrada para la planta en cuestión serán horizontales. El fluido entra al separador, y choca con un deflector interno, causando la separación, ésta es la separación inicial del líquido y vapor; la fuerza de gravedad causa que el líquido se vaya hacia el fondo y el gas vaya hacia el domo del recipiente. La recolección de líquido en el fondo provee un tiempo de retención que ayuda a que los gases y líquidos encuentren el equilibrio a una dada presión.



# TRABAJO FINAL – POSTGRADO ITBA

## Optimización del procesamiento de gas natural a través de un sistema de control centralizado

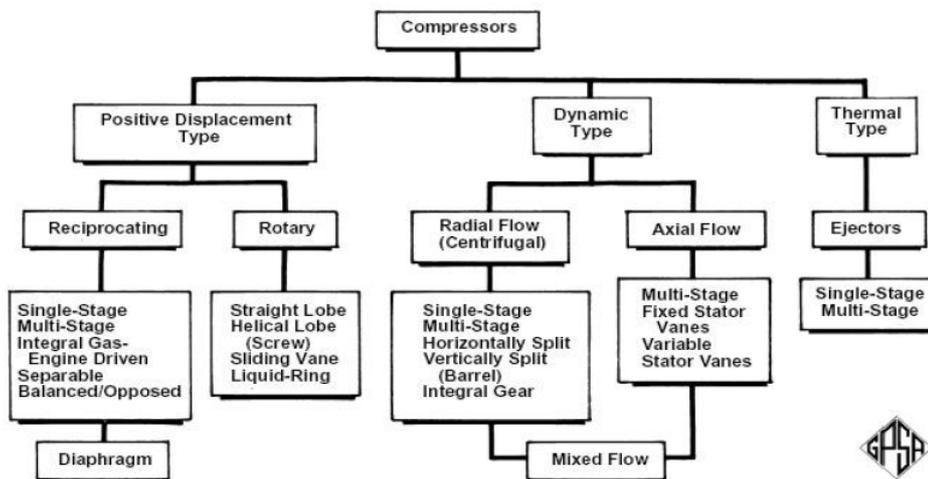
Alejandro Casale – Federico Strada



## Compresores

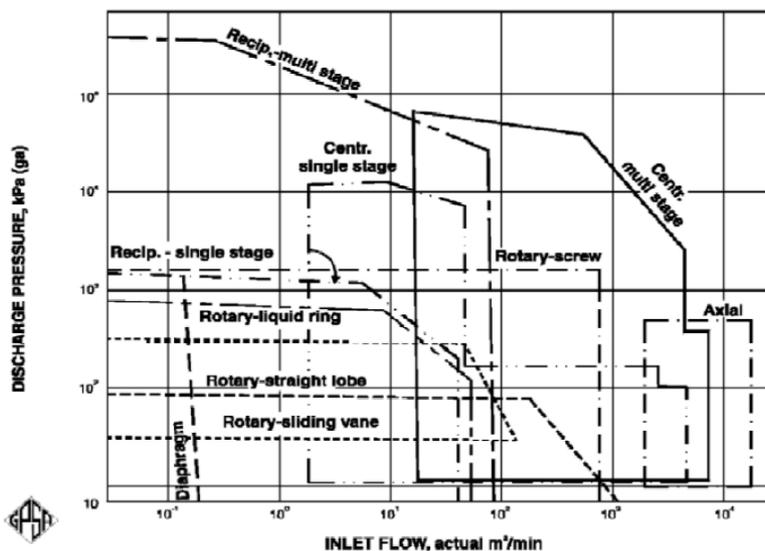
Existen diversas alternativas (ver recuadro de abajo –*Tipo de compresores*–) para comprimir el gas, y la selección básicamente está sujeta a las presiones de trabajo que se manejan, y los caudales a procesar.

### • TIPO COMPRESORES



Dadas las condiciones de trabajo del equipo, se puede definir preliminarmente, que tipo de compresor convendría utilizar para la aplicación. Existen gráficos que nos pueden orientar en tal sentido, basados en distintos rangos operativos.

### • GRÁFICOS DE SELECCIÓN



A su vez, algo importante a tener en cuenta, más allá de la preselección realizada, es la disponibilidad y plazo de entrega (normalmente largos), consideraciones operativas y de mantenimiento, y los costos asociados a estos. Se trata de equipos costosos, y es por ello que se debe analizar estos detalles.

Los sistemas de compresión más difundidos en Argentina, dada las características de nuestros yacimientos (maduros), son los reciprocantes. También se suelen utilizar turbocompresores para aplicaciones tipo booster, donde el objetivo es básicamente mantener la presión en un gasoducto (elevando la presión en un pequeño  $\Delta P$ ); o

# TRABAJO FINAL – POSTGRADO ITBA

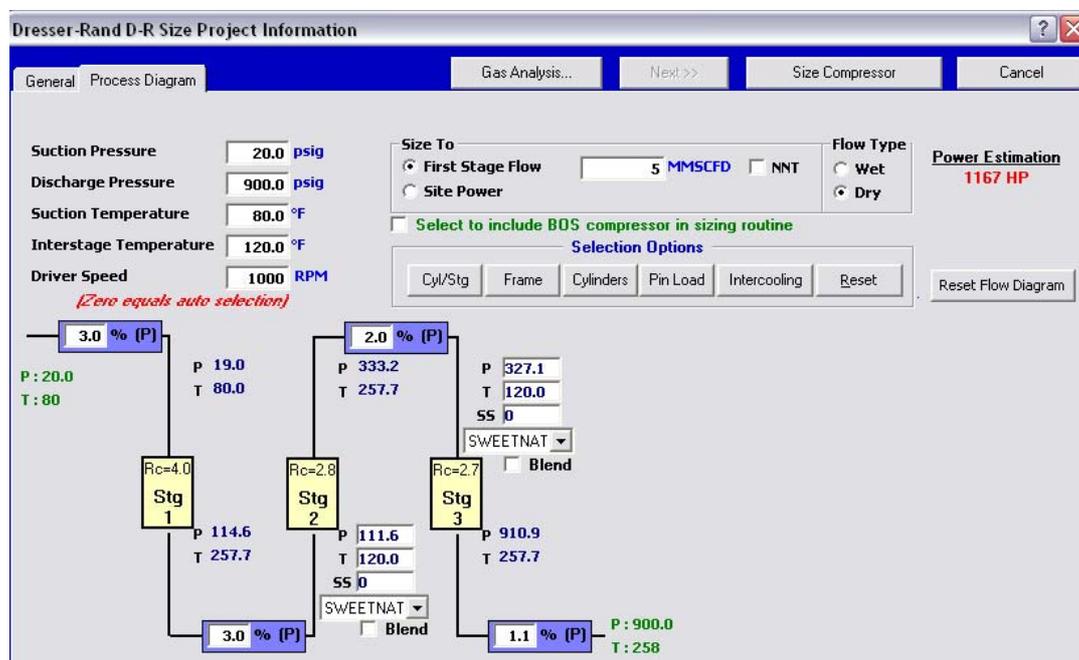
## Optimización del procesamiento de gas natural a través de un sistema de control centralizado

Alejandro Casale – Federico Strada

compresores a tornillo, utilizados frecuentemente en plantas de tratamiento, para circuitos de refrigeramiento mecánico, o en yacimiento, para elevar presiones muy bajas de pozo para llegar a la planta compresora principal.

El accionamiento de un compresor, puede ser con motor a gas, eléctrico, o mediante una turbina. Los motores a gas, son muy comunes en yacimiento dado que se puede aprovechar el mismo gas de proceso (tratado) como gas combustible. En cuanto al motor eléctrico, debe considerarse la disponibilidad de energía en el campo.

Los fabricantes de compresores suelen contar con programas que permiten dimensionar, y simular un compresor para poder definir cuál es la mejor configuración, y la potencia necesaria para el proyecto.

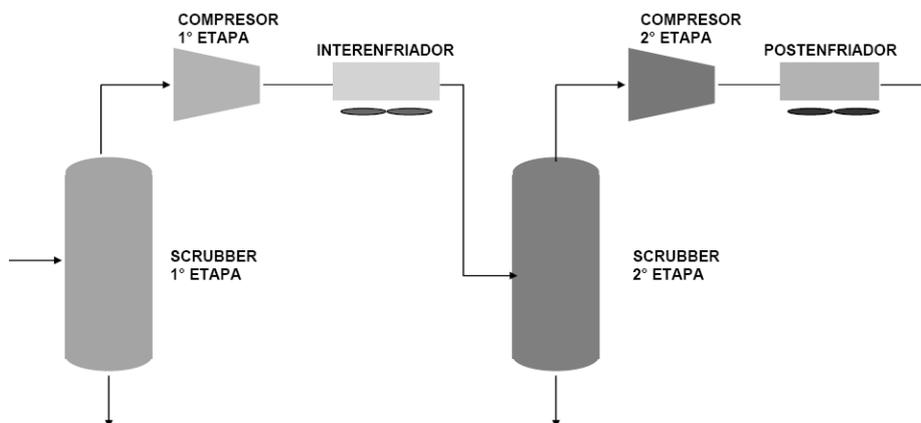


Para nuestro proyecto se considerará el uso de compresores recíprocos, accionados por un motor de combustión interna, a gas.

A modo de ejemplo, y para facilitar la descripción de los componentes principales incluidos en un patín de compresión, nos basaremos en el siguiente diagrama de flujo:

• **COMPRESOR ALTERNATIVO- EJEMPLO**

**DIAGRAMA DE FLUJO:**

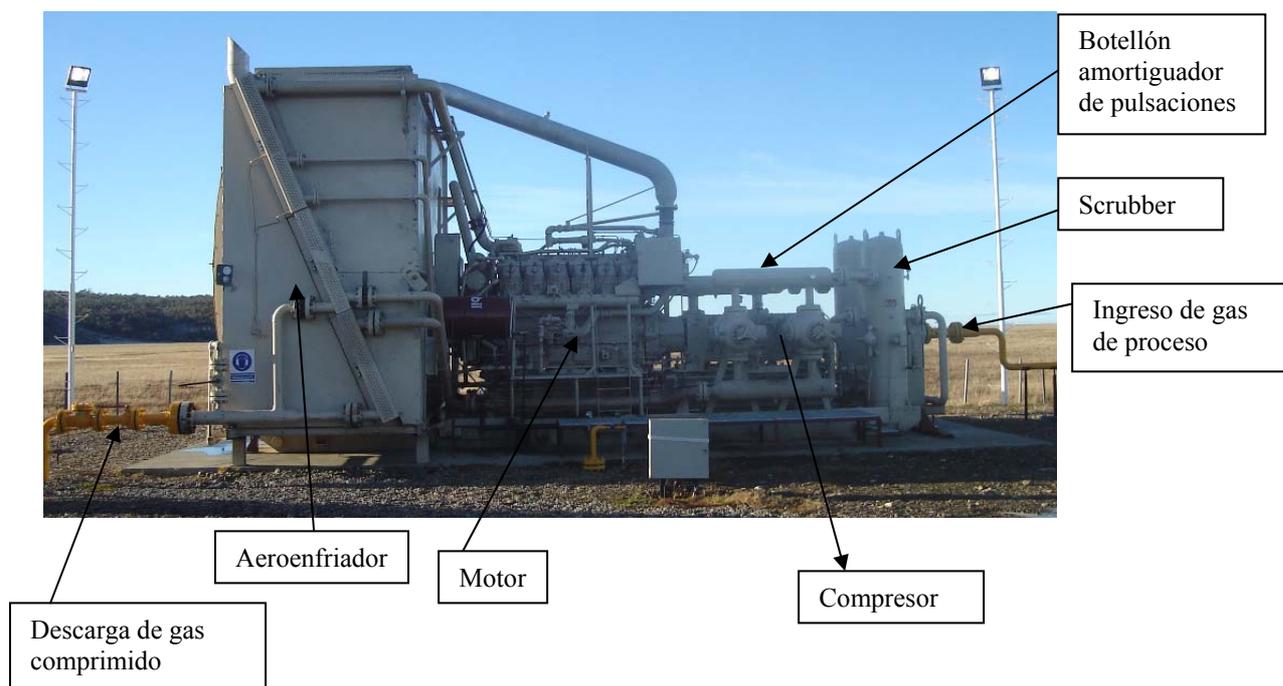


En el diagrama se pueden observar componentes elementales. El gas de proceso ingresa al patín, y antes de ser comprimido, atraviesa un scrubber, que no es ni más ni menos que un separador de niebla. Lo que hace es separar gotas en la corriente de gas, para que no ingresen al cilindro compresor. Esto es básicamente con el fin de proteger las válvulas del compresor, que son componentes muy sensibles, y a su vez, evitar el ingreso de líquido al cilindro de compresión. Previo al ingreso del gas al cilindro, la corriente atraviesa un botellón amortiguador de pulsaciones y luego ingresa al cilindro. El pistón comprime el gas, y descarga, con una mayor presión, y a una temperatura más elevada. Dada la temperatura, es necesario enfriar el gas en proceso, haciéndolo circular por los mazos de un aerofriador, para luego ingresar a la segunda etapa de compresión (las altas temperaturas pueden dañar las válvulas y los internos del compresor). En la segunda etapa se repite el proceso, y eventualmente, dependiendo del  $\Delta P$  necesario, puede ser necesaria una tercera etapa de compresión.

La cantidad de etapas de compresión está ligada básicamente a las temperaturas máximas que pueden alcanzarse, limitadas básicamente por los materiales. Existen formas de calcular en cuantas etapas ha de realizarse el proceso, y se basan en la relación de compresión. A modo de ejemplo, suponiendo que la presión de succión es de  $2.8 \text{ kg/cm}^2$  y la descarga es de  $66.8 \text{ kg/cm}^2$  usando la siguiente regla del dedo, podemos tener una buena idea de cuantas etapas de compresión estaríamos necesitando; lo ideal es que  $r \leq 3$  (para no lograr a la descarga temperaturas que superen los  $150^\circ\text{C}$ )

$$2 \text{ (dos): } r_2 = \sqrt{\frac{66.8}{2.8}} = 4.88$$

$$3 \text{ (tres): } r_3 = \sqrt[3]{\frac{66.8}{2.8}} = 2.88$$



## Deshidratación

El objetivo principal de la deshidratación del gas es:

- ❖ Prevenir la formación de hidratos (en nuestro sistema)
- ❖ Cumplir con requerimientos de gasoducto
- ❖ Prevenir la corrosión

Hay ciertas acciones que se pueden tomar para evitar la formación de hidratos, como modificar las condiciones de presión, llevar el punto de rocío de agua por debajo de la temperatura de operación (deshidratación), o introducir sustancias que bajan la temperatura de formación de hidratos (inhibidores).

Existen distintos métodos para deshidratar el gas, por *absorción* (con un líquido higroscópico con el cual se pone en contacto la corriente de gas); o por *adsorción* (con un lecho de material sólido de estructura porosa por el cual se hace circular la corriente de gas).

En las estaciones compresoras del proyecto en cuestión consideramos la existencia de un sistema de deshidratación aguas debajo de los compresores. El proceso en este caso es realizado por una deshidratadora de gas con TEG (trietilenglicol). La corriente de gas circula en contra corriente del TEG, que absorbe el agua que contiene el gas. El gas entra en contacto con el TEG en una torre, con internos de platos o rellenos.

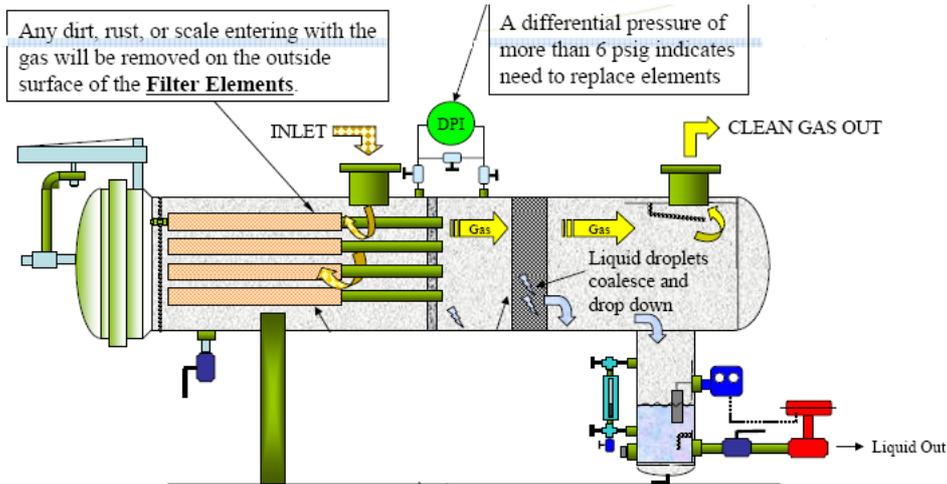


# TRABAJO FINAL – POSTGRADO ITBA

## Optimización del procesamiento de gas natural a través de un sistema de control centralizado

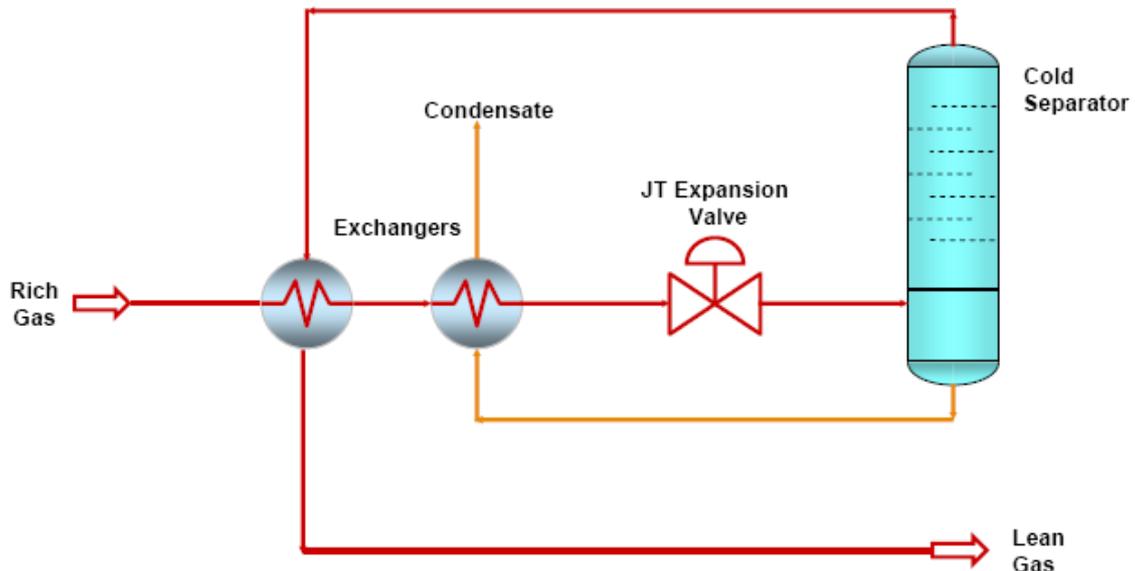
Alejandro Casale – Federico Strada

corriente de gas, proveniente del compresor. Esto se hace básicamente para que el proceso de deshidratación sea más eficiente.



Estos son los componentes más elementales para la estación compresora. Adicionalmente a estos, cabe mencionar que dado que el gas de yacimiento se utiliza normalmente como gas combustible de los motores que accionan los compresores, lo que se suele hacer es tomar gas aguas debajo de la deshidratación (el gas de proceso ya está en mejores condiciones); y eventualmente se lo hace pasar por un skid de gas combustible, donde se realiza una expansión (proceso Joule Thompson) que enfría la corriente de gas, que libera condensados logrando un gas de mejores características para el motor (más rico produciría eventualmente detonaciones), y adecúa la presión para ingresar al sistema de combustible de la unidad.

### Skid de gas combustible



### Seguridad

Dadas las presiones, y características del proceso es importante tomar recaudos de seguridad, es por ello que estas plantas deben contar con shutdowns de entrada y salida de planta, y blowdown. Esto quiere decir, que ante cualquier inconveniente mayor en la planta, se puede aislar la misma del sistema, y despresurizar mandando el gas a venteo a través de un flare o quemador. A su vez, es importante considerar la instalación de sensores de mezcla explosiva, especialmente en los casos en que los skids de compresión están en un shelter o galpón. Estos sensores, en caso de detectar mezcla explosiva deben dar señal para aislar el sistema.

### Procesamiento de gas

Para el trabajo en estudio consideramos un yacimiento en el cual se procesan aproximadamente 1,4 MMSCMD (millones de metros cúbicos estándar por día), o en unidades inglesas, unos 50 MMSCFD (millones de pies cúbicos estándar por día). El gas proviene de distintos pozos en el yacimiento, colectados en baterías, y es comprimido en cuatro plantas compresoras, que elevan la presión del mismo de tal modo que ingresan a una planta de tratamiento a una presión de 70 kg/cm<sup>2</sup>\_g. Esta es la hoja de datos bajo la cual se dimensionó la planta:

# TRABAJO FINAL – POSTGRADO ITBA

## Optimización del procesamiento de gas natural a través de un sistema de control centralizado

Alejandro Casale – Federico Strada

---

Presión de entrada	70 (kg/cm <sup>2</sup> _g)
Temperatura de entrada	50 °C
<b>Composición</b>	<b>% molar</b>
N <sub>2</sub>	0.2
CO <sub>2</sub>	0.04
C <sub>1</sub>	92.37
C <sub>2</sub>	4.40
C <sub>3</sub>	1.79
iC <sub>4</sub>	0.33
nC <sub>4</sub>	0.35
iC <sub>5</sub>	0.14
nC <sub>5</sub>	0.11
C <sub>6</sub>	0.15
C <sub>7+</sub>	0.12
Total	100 %

En el [Anexo 1](#) se ha incluido la simulación de una unidad compresora donde se pueden apreciar los valores de presión de inter-etapas, y temperaturas para la unidad trabajando en las condiciones de diseño.

Se observa en la composición que el gas es relativamente rico, es decir, que podría llegar a recuperarse LPG (liquefied petroleum gas), principalmente propano y butano; y gasolina (C<sub>5+</sub>). Esto es interesante básicamente por el valor económico que tienen estos líquidos que se puedan recuperar, vendiéndolos por otros canales de distribución.

A su vez, observamos que el porcentaje de CO<sub>2</sub>, es aceptable para inyectar en gasoducto, y no hay presencia de SH<sub>2</sub>; con lo cual, podemos decir que no es un gas ácido, que debiéramos tratar a través de algún proceso de endulzamiento con aminas o con membranas.

El proceso de recuperación de LPG se hará a través de una planta criogénica. Al hablar de criogénico, nos referimos a algo frío, es un proceso de enfriamiento del gas. El enfriamiento de un gas natural reduce la cantidad de vapores de hidrocarburo en equilibrio, comenzando a separarse en estado líquido por condensación. El nivel de recuperación logrado (propano, butano, pentanos) dependerá del grado de enfriamiento que obtenga.

La planta criogénica en cuestión podrá a su vez, recuperar un porcentaje interesante de etano. El etano es muy utilizado en la industria petroquímica para obtener glicoles y plástico; o también puede ser vendido como combustible teniendo en cuenta que libera un 75% más de calor que el metano, cuando es quemado.

El enfriamiento del gas, se hace a través de una turbo expansión, que consiste básicamente en una expansión JT (Joule Thompson) isoentrópica, con el agregado de una turbina de flujo radial.

## TRABAJO FINAL – POSTGRADO ITBA

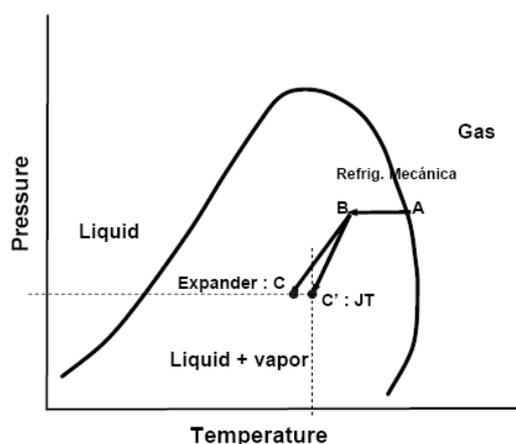
### Optimización del procesamiento de gas natural a través de un sistema de control centralizado

Alejandro Casale – Federico Strada

Es un proceso de expansión, en el cual las moléculas quedan más separadas, consumiéndose trabajo para vencer las fuerzas intramoleculares que tienden a juntarlas. Dicho trabajo se realiza a expensas de la propia energía cinética del gas, disminuyendo por lo tanto, la energía interna, y en consecuencia, la temperatura.

Lo más notable en este proceso es que al trabajo de expansión, se le suma el trabajo de impulsar la turbina, a medida que el gas va expandiéndose, obteniéndose en consecuencia, mayor grado de enfriamiento, puesto que se absorbe el calor equivalente al trabajo mecánico realizado.

En resumen, el proceso consiste en la expansión de un gas a alta presión, produciendo un enfriamiento a muy baja temperatura, y obteniendo trabajo mecánico y condensación de líquidos.



Los equipos principales que tiene una planta de las características mencionadas son:

- Deshidratadores
- Filtro de gas
- Intercambiadores
- Separador frío
- Turboexpander
- Columna deetanizadora

El flujo a través de la planta ingresa a un deshidratador, donde casi el 100% de la humedad es removida, para prevenir hidratos en el resto del proceso, especialmente al tiempo en que el gas es enfriado. Al salir del deshidratador, el gas se divide en dos corrientes. Aproximadamente un tercio del gas recorre un circuito de intercambiadores de calor que actúan sobre los productos (LPG) finales del tratamiento. El caudal restante se lo va enfriando a través de intercambiadores gas-gas (se pre-enfría con gas ya procesado), y en este caso, también con refrigeración a través de un circuito de propano. En este proceso, ya hay hidrocarburos que comienzan a condensar. Las dos corrientes de gas mencionadas, se juntan nuevamente, antes de ingresar al separador, aguas arriba

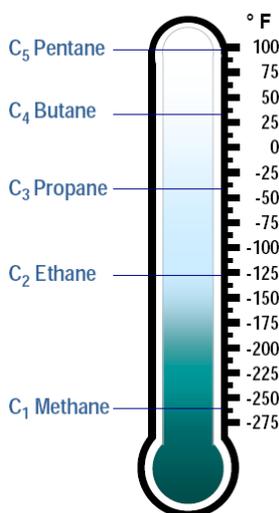
# TRABAJO FINAL – POSTGRADO ITBA

## Optimización del procesamiento de gas natural a través de un sistema de control centralizado

Alejandro Casale – Federico Strada

de la Expander. En el separador condensan los líquidos, y éstos son enviados a la torre de fraccionamiento. En este punto, la temperatura es aproximadamente entre -45 a 50 °C.

Condensation Points @ 1 Atm.



El gas que sale del separador pasa a través de la Expander, donde la temperatura desciende hasta aproximadamente -90 °C; y esto produce más condensación de hidrocarburo. El gas-liquido ingresa luego por la parte superior de la torre fraccionadora, que en definitiva, no es ni más ni menos que un separador. Los líquidos decantan, y van a la parte inferior de la torre. La temperatura en la torre es inferior en la parte superior; y aumenta a medida que voy bajando. Esto resulta en que el metano se evapora de los líquidos, y por ende, el gas bien frío sale por la parte superior de la torre. Ese gas, que está a una temperatura realmente baja se aprovecha para pre-enfriar el gas previo a su paso por la Expander, o sea, enfría el gas que ingresa a la planta, para lograr mayor eficiencia del proceso.

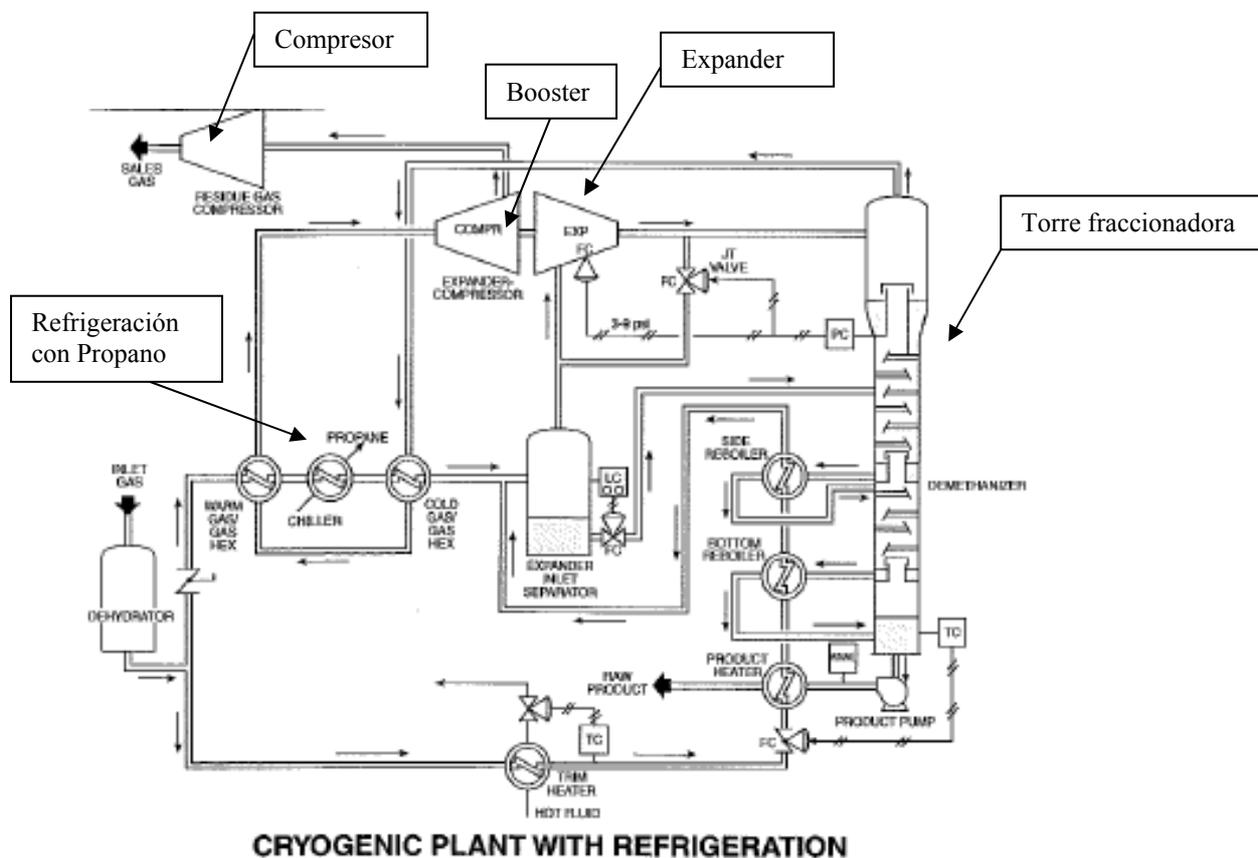
Los líquidos que se acumulan en la parte inferior de la torre son una mezcla de etano, propano, butano, y gasolina. Este producto es bombeado para su posterior fraccionamiento, o a un ducto, para ser vendido (a mayor precio).

Hay variaciones a este proceso, elementos que se podrían agregar, u obviar (ej. el pre-enfriamiento con propano), dependiendo básicamente de las características del gas que se está procesando.

# TRABAJO FINAL – POSTGRADO ITBA

## Optimización del procesamiento de gas natural a través de un sistema de control centralizado

Alejandro Casale – Federico Strada

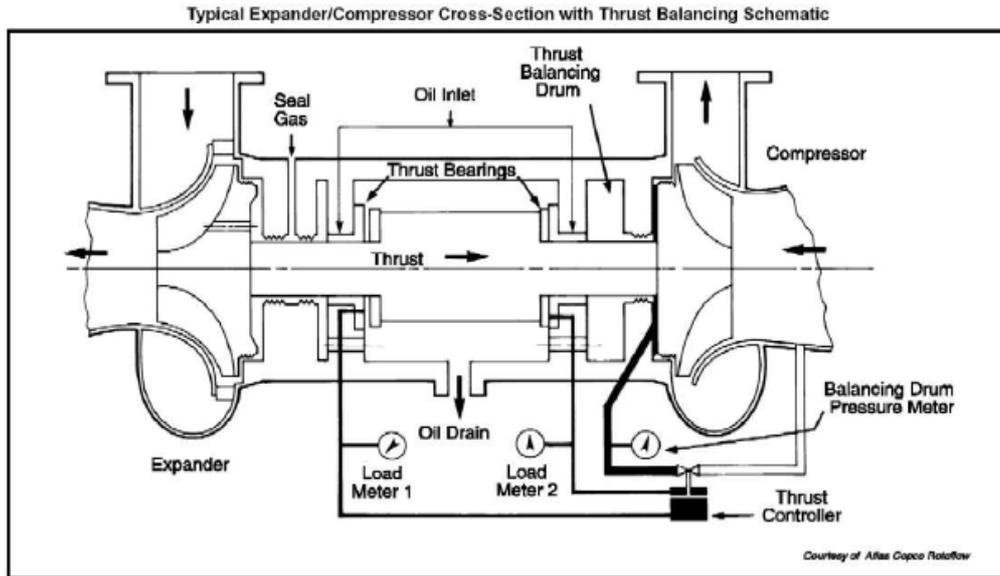


Las temperaturas en la torre de fraccionamiento son más bajas en la parte superior (del orden de los  $-80$  a  $-100$  °C). en la mitad de la torre, la temperatura es cercana a los  $-50$ °C donde ya comienza a separar los líquidos. Previo a la entrada en la Expander, la temperatura, en el separador es de aproximadamente  $-40$ °C

Luego de la expansión, para lograr la separación de los componentes más pesados del gas en cuestión, la presión del gas residual (porción de gas tratado) es muy baja, y es necesario, para poder inyectar esta corriente en un gasoducto para la venta, elevar la misma, a través de un compresor.

El hecho de utilizar una turboexpander, implica que al realizar la expansión del gas con una turbina, genero trabajo, que puede ser recuperado, en buena medida, por un compresor (centrifugo) que se vincula a través de un eje. Esto me permite elevar la presión (booster) previo al ingreso del gas al compresor final, y hace que éste ultimo necesite menor potencia que en el caso en que no se hubiese contado con el booster mencionado.

### Turboexpander



La planta, relativamente compleja por los equipos necesarios, sumado a la compresión necesaria para inyectar el gas residual en gasoducto, hacen que este tipo de proyectos sea de un costo muy elevado; y es por ello que es elemental evaluar en detalle, el beneficio que se obtendría con la venta de los productos que se obtienen luego del tratamiento.



*En la foto se muestra una planta Criogénica capaz de procesar hasta 200 MMSCFD (aprox. 6 MMSCMD)*

# TRABAJO FINAL – POSTGRADO ITBA

## Optimización del procesamiento de gas natural a través de un sistema de control centralizado

Alejandro Casale – Federico Strada

---

### Recuperación

Luego de realizada la simulación del sistema sugerido (ver [Anexo 2](#)) se puede observar que a partir de la composición del gas procesado en el yacimiento en cuestión:

Presión de entrada	70 (kg/cm <sup>2</sup> g)
Temperatura de entrada	50 °C
<b>Composición</b>	<b>% molar</b>
N <sub>2</sub>	0.2
CO <sub>2</sub>	0.04
C <sub>1</sub>	92.37
C <sub>2</sub>	4.40
C <sub>3</sub>	1.79
iC <sub>4</sub>	0.33
nC <sub>4</sub>	0.35
iC <sub>5</sub>	0.14
nC <sub>5</sub>	0.11
C <sub>6</sub>	0.15
C <sub>7+</sub>	0.12
Total	100 %

Se logra recuperar con la planta turboexpander descripta, los siguientes porcentajes de LPG:

<b>Recoveries</b>	
<b>Componente</b>	<b>%</b>
C <sub>2</sub>	90.08
C <sub>3</sub>	98.15
iC <sub>4</sub>	99.41
nC <sub>4</sub>	99.60
iC <sub>5</sub>	99.86
nC <sub>5</sub>	99.90
C <sub>6</sub>	99.98

## TRABAJO FINAL – POSTGRADO ITBA

### Optimización del procesamiento de gas natural a través de un sistema de control centralizado

Alejandro Casale – Federico Strada

---

El gas residual, que es el que se estaría inyectando en el gasoducto tendría la siguiente composición:

<i>Composición</i>	<i>% molar</i>
N2	0.22
CO2	0.02
C1	99.26
C2	0.47
C3	0.04
iC4	0.00
nC4	0.00
iC5	0.00
nC5	0.00
C6	0.00
C7+	0.00

Es importante conocer estos valores dado que estos productos, como se ha mencionado más arriba, son comercialmente de mayor valor económico. Es una forma de hacer más rentable la producción del yacimiento, aunque se debe tener en cuenta que el volumen sea lo suficientemente razonable como para lograr el repago de la inversión tan considerable que implica una planta de ésta complejidad.

## INTRODUCCIÓN AL SISTEMA DE CONTROL Y TELESUPERVISIÓN

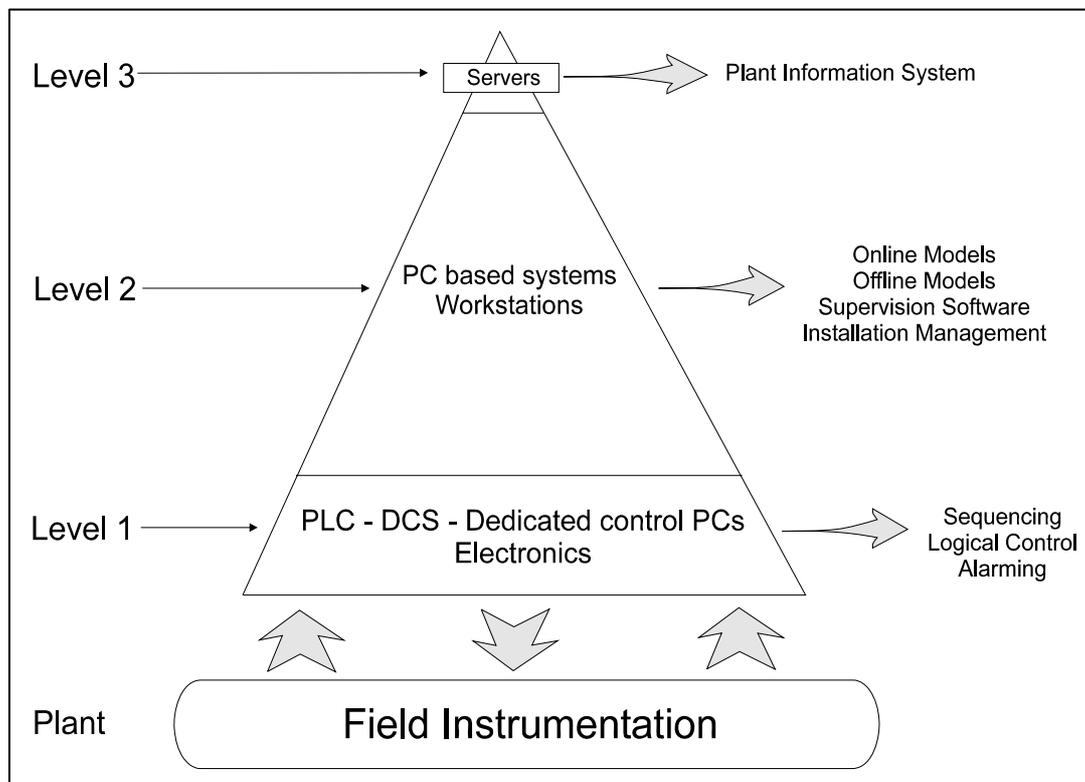
Todo proceso debe tener la capacidad de controlarse de manera automática.

Tradicionalmente el control se realizaba con simples sistemas de sensado y activación mecánica, neumática o hidráulica, con poca o nula capacidad de modificar sus parámetros o niveles de control. La técnica para registrar el valor de determinadas variables críticas era graficándolas sobre papel para luego poder analizar su variación.

La tecnología moderna permitió disponer de un control y adquisición de los datos mucho más complejo y preciso, de bajo costo, permitiendo centralizar la información.

### Niveles de un sistema de control

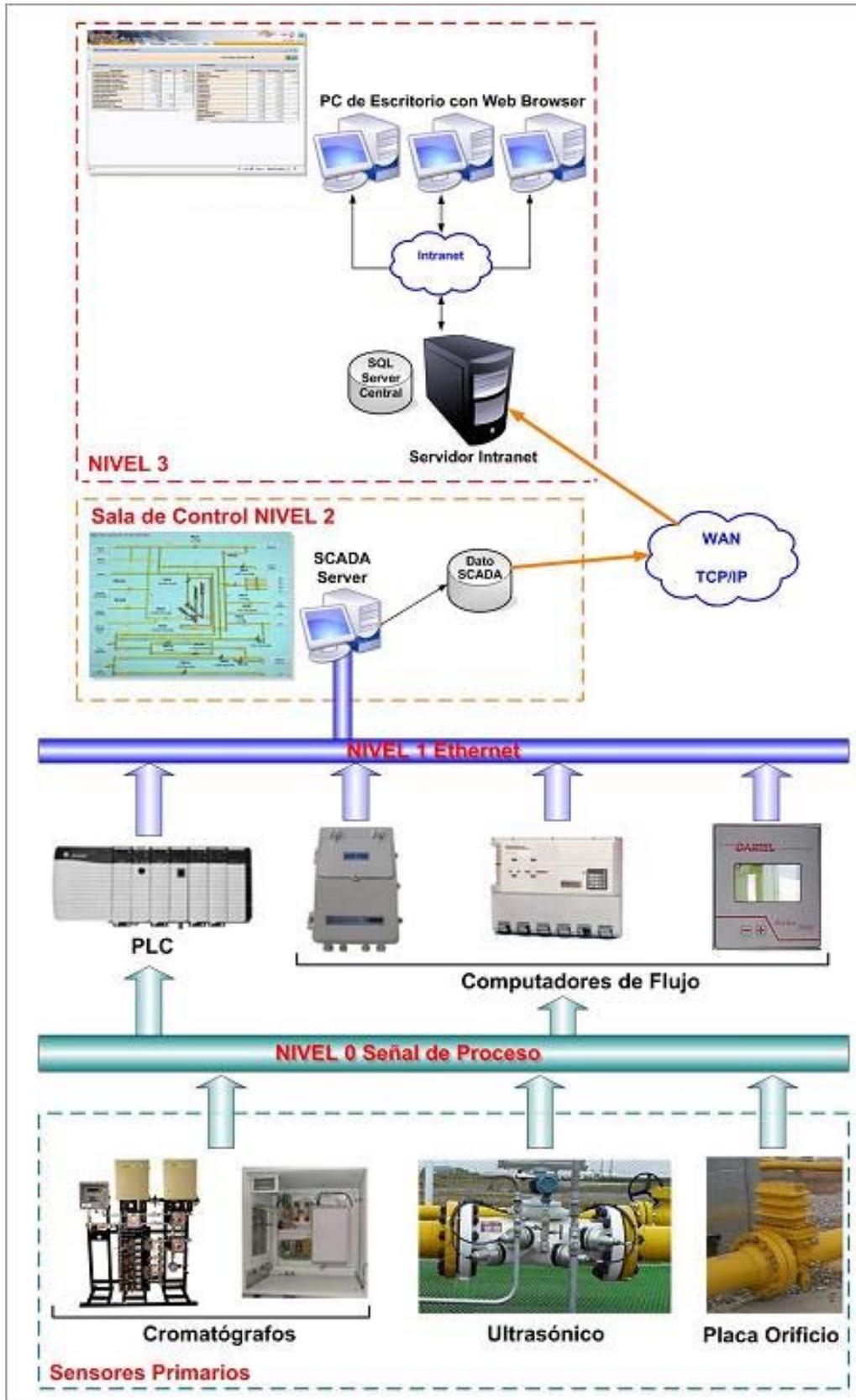
Un sistema de control podría subdividirse en distintos niveles de manejo de información:



# TRABAJO FINAL – POSTGRADO ITBA

## Optimización del procesamiento de gas natural a través de un sistema de control centralizado

Alejandro Casale – Federico Strada



### Nivel 0: Sensores y actuadores de campo

#### Sensores

Un sensor es un dispositivo que recibe información de una magnitud del exterior y la transforma en otra magnitud, normalmente eléctrica, que permita cuantificarla y manipularla.

Ver más detalles en [Anexo 3](#)

#### Actuadores

Un actuador es un dispositivo inherentemente mecánico cuya función es proporcionar fuerza para mover o “actuar” otro dispositivo mecánico, tanto de manera lineal o rotativa. La fuerza que provoca el actuador proviene de tres fuentes posibles: neumática, hidráulica y eléctrica

Ver más detalles en [Anexo 4](#)



Sensor ultrasónico de caudal (gas)



Medidor másico de caudal (líquidos)



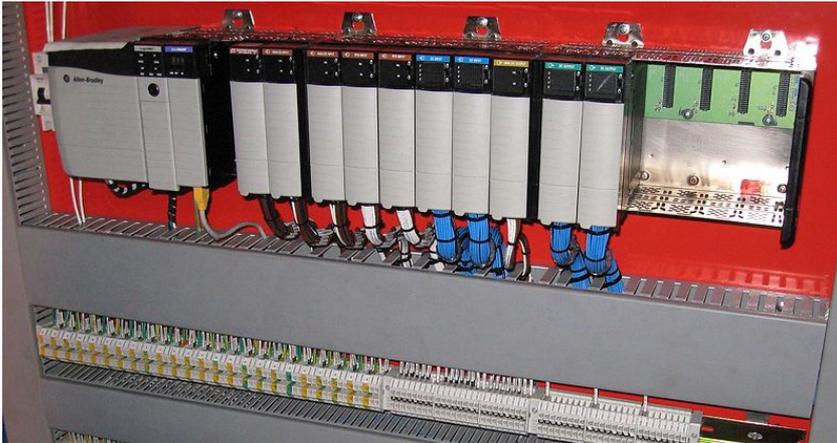
Medidor de nivel tipo radar



Válvula de seguridad con actuador neumático

### Nivel 1: PLC (Programmable Logical Controller)

Es un dispositivo que aplica un criterio o lógica pre programada. Toma datos de los sensores y los parámetros de control introducidas por el operador desde la aplicación SCADA y actúa sobre el proceso modificando la apertura de válvulas, encendiendo o apagando motores, u otros acciones.



Típico PLC para control industrial y de plantas de procesamiento



Computador de flujo y cromatógrafo para puntos de entrega de gas

Ver más detalle en [Anexo 5](#).

### **Nivel 2: SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)**

Este es el nivel donde se encuentra el Centro de control de la planta o sistema en cuestión.

Es una aplicación que se ejecuta en una PC que actúa de intermediario entre las variables de campo, el PLC y el operador de la planta, permitiendo ver los procesos en su totalidad, analizar datos históricos con gráficos, reporte de alarmas, modificar valores de control del proceso como ser temperaturas y presiones de los procesos, entre otras cosas. Esta aplicación puede supervisar todos los sistemas de control de una planta industrial en forma centralizada.

El centro de control puede abarcar varias plantas alejadas entre sí permitiendo el acceso a un especialista, que dará soporte a los técnicos que están operando las plantas.

Desde el centro de control se podrá:

- Supervisar y controlar la totalidad de los procesos
- Visualizar los procesos desde una visión macro de todo el sistema
- Visualizar los procesos por cada subsistema
- Parada remota de planta
- Monitorear el sistema de seguridad
- Administrar las alarmas del proceso
- Programar tareas de mantenimiento e inspección
- Analizar los datos recibidos y tendencias (históricos)
- Enviar información de forma automática a otras aplicaciones corporativas

NOTA: ver más detalle en [Anexo 6](#)

### Nivel 3: Sistemas de gerenciamiento e Intranets

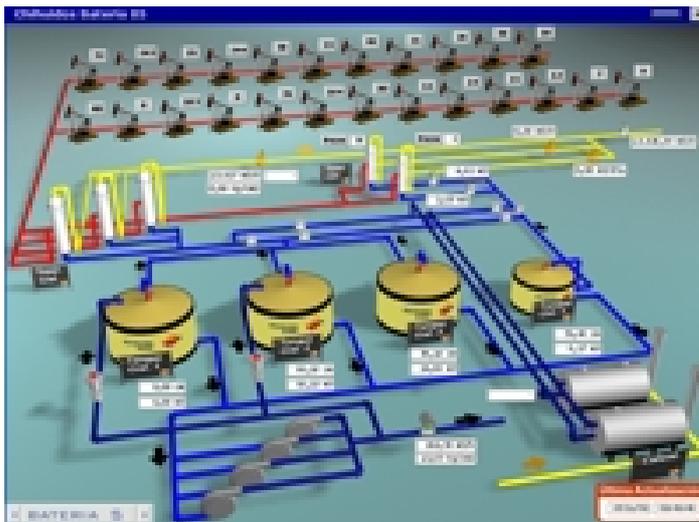
Está compuesta generalmente por una Intranet, que concentra la información de proceso de la planta, permitiendo realizar la gestión de la misma. Recibe la información desde el nivel 2 y permite la visualización de la marcha global de la empresa. Es un nivel integrador que consolida toda la información proveniente desde diversos niveles 2 de la planta. Desde este nivel se comunican directivas globales hacia el nivel 2 (por ej.: plan de producción).

Hay aplicaciones, que por medio de la WEB Corporativa, permiten a cualquier usuario habilitado consultar el estado de los procesos, sus datos, graficar históricos, etc...

En esta etapa no se controla ningún parámetro de proceso de la planta. Solo se supervisan los datos y se administra la información.



Intranet sistema de transporte de gas



Intranet de una batería Oil&Gas

NOTA: ver más detalle en [Anexo 7](#)

### **Sistema de comunicación**

Entre los Sensores y Actuadores (Nivel 0) y los PLC (Nivel 1) se suele utilizar un tendido con cables para la transmisión de los datos.

Lo mismo entre los PLC (Nivel 1) y el SCADA (Nivel 2) se utiliza habitualmente cable, fibra óptica o Radio de baja velocidad.

El avance de la tecnología está permitiendo que se establezcan comunicaciones inalámbricas de alta velocidad, de manera segura y confiable entre todos los equipos, como es la actual WiFi u otras tecnologías más modernas.

### **El sistema de control aplicado a la seguridad personal y protección del medio ambiente**

#### **Dispositivos de control para el Safety Shut Down de los sistemas**

Hay determinadas fallas que pueden desencadenar una situación de descontrol. Para evitar dichas situaciones, se deben utilizar dispositivos de control de seguridad que detengan los procesos de manera ordenada, aislando el impacto hacia el resto del sistema. Esto puede implicar que se cierren válvulas o se realice una acción en distintos puntos del sistema para minimizar pérdidas de compuestos o fallas.

Ejemplos de fallas críticas que podrían generarse:

- Ruptura de recipientes por sobrepresión.
- presencia de fuego o principio de incendio.
- Desbordamiento de recipientes por exceso de fluido y/o presión.

En estos casos se debe disponer de un mecanismo de seguridad mecánico. Su estado debe ser supervisado por el SCADA y un sistema electromecánico controlado por un PLC a prueba de fallas y dedicado (PLC especial). Este PLC se encargará de controlar el sistema si se exceden determinados valores de seguridad, actuando en válvulas y actuadores. Su estado debe ser supervisado por el SCADA, pero no debe poder modificar los valores de control.

## SISTEMA DE CONTROL DE PROCESO

### Variables de control

El sistema está formado por:

- 4 plantas compresoras que reciben gas de las baterías
- 1 planta tratamiento gas que recibe el gas de las plantas compresoras y lo inyecta en el gasoducto

El sistema de control se encargara de mantener bajo control las 5 plantas.

#### 1 - Planta compresora

Dentro de la planta compresora hay varios procesos:

<u>Proceso</u>	<u>Variable a medir/controlar</u>
<b>Entrada de gas + liquido</b>	<p>Control de la válvula de cierre de fluido <i>Ante una emergencia (ej.: parada del compresor por baja presión de entrada) se ordena cerrar la válvula de entrada</i></p> <p>Medición de presión <i>Se mide la presión del fluido de entrada para registrar su valor y detectar fluctuaciones perjudiciales al resto del sistema que pueden neutralizarse regulando la misma.</i></p> <p>Medición de temperatura <i>El registro de su valor permite realizar análisis de tendencias que alerten sobre la necesidad de proteger materiales aguas abajo.</i></p>
<b>Separador bifásico de entrada</b>	<p>Medición del caudal de gas de salida <i>Para registrar su valor instantáneo y acumulado diario</i></p> <p>Análisis de calidad del gas de salida <i>Con un cromatografo en tiempo real o por muestreo que se envía a laboratorio se conoce la composición media del gas que proviene de un determinado yacimiento</i></p> <p>Medición del caudal de liquido de salida <i>Básicamente para registrar su valor instantáneo y acumulado diario</i></p> <p>Medición del nivel de liquido tanque <i>El objetivo es regular la apertura de la válvula de salida del separador para mantener el nivel correcto y activar una alarma por si hay exceso o poco nivel</i></p> <p>Medición de temperatura <i>Se mide la temperatura del fluido de entrada para mantener el registro de su valor y realizar análisis de tendencias</i></p>

## TRABAJO FINAL – POSTGRADO ITBA

### Optimización del procesamiento de gas natural a través de un sistema de control centralizado

Alejandro Casale – Federico Strada

	<p><b>Medición de presión de operación</b>  <i>Se mide la presión del tanque para registrar su valor y detectar fluctuaciones perjudiciales al resto del sistema por medio de una alarma ante variaciones excesivas o fuera de rango de funcionamiento normal</i></p>
	<p><b>Corte de HC</b>  <i>Se mide el nivel de Petróleo con flotadores de diferentes densidades para mantener el registrar de su valor y realizar análisis de tendencias</i></p>
	<p><b>Corte de H2O</b>  <i>Se mide el nivel de agua con flotadores de diferentes densidades para mantener el registrar de su valor y realizar análisis de tendencias</i></p>
	<p><b>Control de la Válvula de descarga de líquidos</b>  <i>Válvula que regulada el caudal de salida del tanque, y que es controlada en función del nivel de liquido dentro del tanque</i></p>
	<p><b>Estado de la válvula de seguridad de presión</b>  <i>Un interruptor mecánico se activa cuando se dispara la válvula de seguridad por exceso de presión para alertar con una alarma al operador de la planta y actuar sobre la válvula de entrada del separador, cerrándola</i></p>

<b>Tanque líquidos</b>	<p><b>Medición del Nivel</b>  <i>Se mide con un sensor tipo radar o por flotante. Permite activar una bomba o una alarma cuando alcanza un excesivo nivel</i></p>
------------------------	---

<p><b>Compresor de 3 etapas</b>  <b>(ver Anexo 1)</b>  <i>dos cilindros en primera etapa de , uno para la segunda y uno para la tercera</i></p> <p><i>Los ΔP de tolerancia están en el orden de los 0,5 Kg/cm2. De superar este Δse activa la protección de la unidad ya que se puede estar elevando la temperatura, y puede dañar las válvulas, los cortes se pueden setear manualmente. Puede darse que sea necesario modificar los parámetros de diseño originales, lo que provocaría cambios en el caudal procesado y las temperaturas.</i>  <i>Esto implica que se variaran también los cortes</i></p>	<p><b>Presión entrada etapa 1 (succión)</b>  <i>Presión con que ingresa el gas: 3.5 Kg/cm2</i>  <i>Un valor más bajo no permitiría lograr los valores de salida</i></p>
	<p><b>Presión entrada etapa 1 cilindro 2 (succión)</b>  <i>Presión con que ingresa el gas: 3.5 Kg/cm2</i>  <i>Un valor más bajo no permitiría lograr los valores de salida</i></p>
	<p><b>Presión entrada etapa 2 (inter-etapa)</b>  <i>Presión con que ingresa el gas: 8.76 Kg/cm2</i></p>
	<p><b>Presión entrada etapa 3</b>  <i>Presión con que ingresa el gas: 25.44 Kg/cm2</i></p>
	<p><b>Presión de descarga</b>  <i>Seteada en 70Kg/cm2, el corte podría darse en caso de que por algún inconveniente aguas abajo, se produzca una contrapresión</i></p>
	<p><b>Temperatura descarga etapa 1</b>  <i>Se pueden observar los valores en la simulación, el objetivo es proteger las válvulas y los materiales. Al comprimir el gas se eleva la temperatura, por ello la necesidad de enfriar previo al ingreso en la segunda etapa de compresión.</i></p>
	<p><b>Temperatura descarga etapa 2</b></p>
	<p><b>Temperatura descarga etapa 3</b></p>
	<p><b>Medición presión alta/baja en succión/descarga</b>  <b>RPM o tacómetro motor</b></p>

## TRABAJO FINAL – POSTGRADO ITBA

### Optimización del procesamiento de gas natural a través de un sistema de control centralizado

Alejandro Casale – Federico Strada

<p><i>El control de estas variables es clave para proteger al motor, valores extremos indican la presencia de fallas en el sistema, y acciones tomadas a tiempo evitan la rotura. Realizar el paro a distancia da tiempo al mecánico para llegar al sitio. No se incluye arranque remoto al considerarse elemental el chequeo insitu antes de recomenzar.</i></p>	<p><i>Se trata de motores de bajas vueltas (1400 rpm de máximo)</i></p>
	Temperatura motor
	Presión aceite lubricante
	Temperatura aceite lubricante
	Medición del nivel de aceite
	Medición de la vibración del motor
	Temperatura enfriador gas de descarga
Botón de parada de emergencia	
<b>Filtro coalescente</b>	<p>Presión diferencial para detección de filtro sucio <i>Un valor elevado indica que se debe cambiar el mismo</i></p>
	<p>Medición nivel líquido <i>Para activar drenaje</i></p>
	Control de válvula para liberación de líquidos
<b>Skid de gas combustible del motor del compresor</b>	Presión entrada de la válvula de expansión JT
<p><i>El salto de presión debe permitir “escurrir” el gas para evitar detonación en el motor. El salto de presión hace que licúen componentes pesados y a su vez produce un enfriamiento</i></p>	Presión salida de la válvula de expansión
	Temperatura entrada separador
	Temperatura salida separador
<b>TEG (Deshidratadora por Trietilenglicol)</b>	<p>Temperatura gas entrada <i>Valores superiores a los 40°C inhiben la acción del TEG</i></p>
	<p>Presión gas entrada <i>Si la presión es menor, la velocidad del gas es mayor, con lo cual la deshidratación al nivel deseado puede no alcanzarse</i></p>
<b>Separador de entrada</b>	Presión salida
	Medición nivel líquido
	Control de válvula para liberación de líquidos
<b>Columna de absorción</b>	Medición nivel líquido
<p><i>El TEG se regenera, si baja el nivel puede ser por arrastre de la corriente de gas</i></p>	Control de válvula para liberación de líquidos
	Temperatura salida TEG
<b>Intercambiador GAS/TEG</b>	Temperatura entrada TEG
	Temperatura entrada GAS
	Temperatura salida TEG
	Temperatura salida GAS
<b>Filtro TEG</b>	Presión diferencial
<b>Bombas circulación TEG</b>	<p>Presión entrada <i>Dependiendo de la distancia entre la regeneradora y la torre contactora, se define la presión</i></p>
	Presión salida

# TRABAJO FINAL – POSTGRADO ITBA

## Optimización del procesamiento de gas natural a través de un sistema de control centralizado

Alejandro Casale – Federico Strada

<b>Separador de fase TEG</b>	Medición nivel liquido
	Control de válvula para liberación de líquidos
<b>Recuperador calor TEG/TEG</b> <i>El intercambio agrega eficiencia al sistema</i>	Temperatura entrada TEG rico
	Temperatura entrada TEG pobre
	Temperatura salida TEG rico
	Temperatura salida TEG pobre
<b>Recuperador TEG</b>	Temperatura entrada TEG rico
	Medición nivel liquido
	Control de válvula para liberación de líquidos
	Temperatura salida TEG pobre
<b>Salida de gas tratado</b>	Control de la válvula de cierre de fluido
	Medición de presión
	Medición de temperatura

## 2 - Planta tratamiento

<u>Proceso</u>	<u>Variable a medir/controlar</u>
<b>Entrada de gas</b> <i>Estas variables permiten simular la planta y comparar los valores esperados de recuperación vs. real</i>	Control de la válvula de cierre de fluido
	Medición de presión
	Medición de temperatura
	Medición de caudal del gas
	Análisis de calidad del gas en tiempo real
<b>Turboexpander</b> <i>Este es el corazón de la planta dado que la expansión principal se dá aquí, y a su vez se aprovecha la potencia descargada en la expansión para elevar la presión de gas residual</i> <i>Aguas arriba de la expansión se dan una serie de intercambios de calor que son fundamentales para alcanzar los valores esperados de recuperación</i>	Presión de entrada del separador
	Control de la válvula de entrada del separador
	Temperatura de entrada del separador
	Presión demetanizador
	Control de la válvula de derivación del calentador
	Temperatura separador de entrada
	Temperatura del producto inferior
	Control de la Válvula JT
	RPM Expander
	Control de la Válvula del separador de líquidos
	Control de la Válvula del producto inferior
	Nivel del separador de líquidos
	Control de la válvula del calentador
Temperatura del calentador	

# TRABAJO FINAL – POSTGRADO ITBA

## Optimización del procesamiento de gas natural a través de un sistema de control centralizado

Alejandro Casale – Federico Strada

<b>Salida de Gas Natural</b>	Control de la válvula de cierre de fluido
	Medición de presión
	Medición de temperatura
	Medición de caudal
	Análisis de calidad del gas en tiempo real

<b>Salida de Gas Licuado de Petróleo</b>	Control de la válvula de cierre de fluido
	Medición de presión
	Medición de temperatura
	Medición de caudal

<b>Salida de Líquidos</b>	Control de la válvula de cierre de fluido
	Medición de presión
	Medición de temperatura
	Medición de caudal

### Controladores

Los controladores tendrán una programación interna con una lógica de control que permite que el sistema se controle a sí mismo.

Debe tener la capacidad de:

- ser reprogramado en forma remota
- simular y verificar su funcionamiento
- visualizar el valor de las variables y los estados de las entradas, salidas y variables internas.

La comunicación entre el PLC y los sensores de campo y actuadores se podrá realizar de manera inalámbrica, debido a la confiabilidad cada vez mayor de estas tecnologías.

Se deberá disponer de un PLC que controle todos los sistemas de emergencia de la planta, como ser el shutdown. Los sensores y actuadores de este sistema serán cableados.

### Telesupervisión

La Telesupervisión del sistema se realizará a través del SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition o registro de datos y control de supervisión).

Este programa informático, especialmente diseñado para el control de procesos industriales, se conecta con los PLC y equipos en planta para intercambiar datos. No se encarga de tomar decisiones de control, ya que solo permite leer variables del proceso y cambiar valores y estados. Es decir, todo lo que necesite realizar el operador de la planta

para ajustar las condiciones de funcionamiento deseadas. Son los PLC los encargados de actuar sobre el proceso.

Se dispondrá de un SCADA por planta, de ser necesario terminales distribuidos en la planta.

Desde el SCADA se podrá detener manualmente un proceso o parte de él, pero no se podrá poner el mismo en marcha. Esto es básicamente dado que en caso de existir un paro debido a la lectura de una variable fuera de su rango normal, se considera necesario verificar las condiciones generales previo al reinicio del sistema.

La puesta en marcha se realizará desde la planta. Por ello, debe disponerse de una interface con el operario (puede ser una pantalla adicional del SCADA) para que el mismo pueda ir visualizando las variables del proceso y pueda ir actuando sobre los controles de manera manual para lograr un arranque sin problemas. Esta metodología se considera clave para los procesos críticos en que es necesario disponer de un operario al pie de la máquina, para realizar un procedimiento seguro de re arranque. Es la forma más segura de proceder en el caso de los compresores de gas.

La comunicación entre el SCADA, PLC y equipos de campo será a través de IP (ethernet), puede ser por cable o por radio cuando las distancias sean importantes, o fibra óptica. Estará formada por una red propia que no se deberá mezclar con la red corporativa (se la podrá unir por medio de un switch y firewall inteligente que administre los datos y filtre ingresos malintencionados).

El mismo SCADA podrá enviar información a otros sistemas corporativos, como ser los comerciales para facturar o SAP.

### **Centro de control**

Es una sala o centro de control el que cuenta con un SCADA que centraliza la información de todas las plantas.

Se utilizarán las mismas pantallas de las plantas, más algunas otras que permitirán unificar y analizar de diferente manera los datos. Como ser en los análisis de balances de masa, las alarmas globales y análisis de gráficos de tendencias.

### **Distribución de la información**

Para permitir que toda la información esté disponible en todos los ámbitos de la organización y fuera de ella se suelen utilizar herramientas WEB. Cada usuario particular podrá acceder a ciertos datos según un perfil que se le haya asignado y podrá visualizar, descargar información y realizar otros procesos que permita la herramienta.

## **TRABAJO FINAL – POSTGRADO ITBA**

### **Optimización del procesamiento de gas natural a través de un sistema de control centralizado**

Alejandro Casale – Federico Strada

---

Existen aplicaciones que inclusive pueden mandar mails con informes de manera periódica, o enviar los datos a un celular.

Las aplicaciones de campo como SCADA u otros sistemas similares, deberán poder alimentar de información a ésta herramienta WEB y procesarla. De este modo, podrá también suministrar datos a otros productos de la compañía que usan la información de campo, tal como ser informes periódicos de caudales a órganos de control, sistemas de facturación, SAP, entre otros sistemas.

## **BIBLIOGRAFIA DE CONSULTA**

1. Petroleum Engineer Handbook (Bradley):
  - Cap.3 : Flow Control Device: Safety Shut-in Systems
  - Cap.12: Oil&Gas Separator
  - Cap.16: Automation of Lease Equipment
2. Rosen, Ward: “Petroleum Learning Programs” – Training Manual P-1  
“Cryogenic Gas Plants”, July 2008
3. Bradley, Howard: “Petroleum Engineering Handbook”, Third Printing, February 1992
4. IAPG: “Procesamiento del Gas Natural”, Septiembre 2007.
5. Exterran Energy Solutions: “Production Equipment Training”, April 2008
6. McGraw Hill - Process Industrial Instruments And Control Handbook, 5th 1999
7. Practical Process Control: Tuning and Troubleshooting (Cecil L. Smith)

# TRABAJO FINAL – POSTGRADO ITBA

## Optimización del procesamiento de gas natural a través de un sistema de control centralizado

Alejandro Casale – Federico Strada

### ANEXO 1 – Simulación de compresor

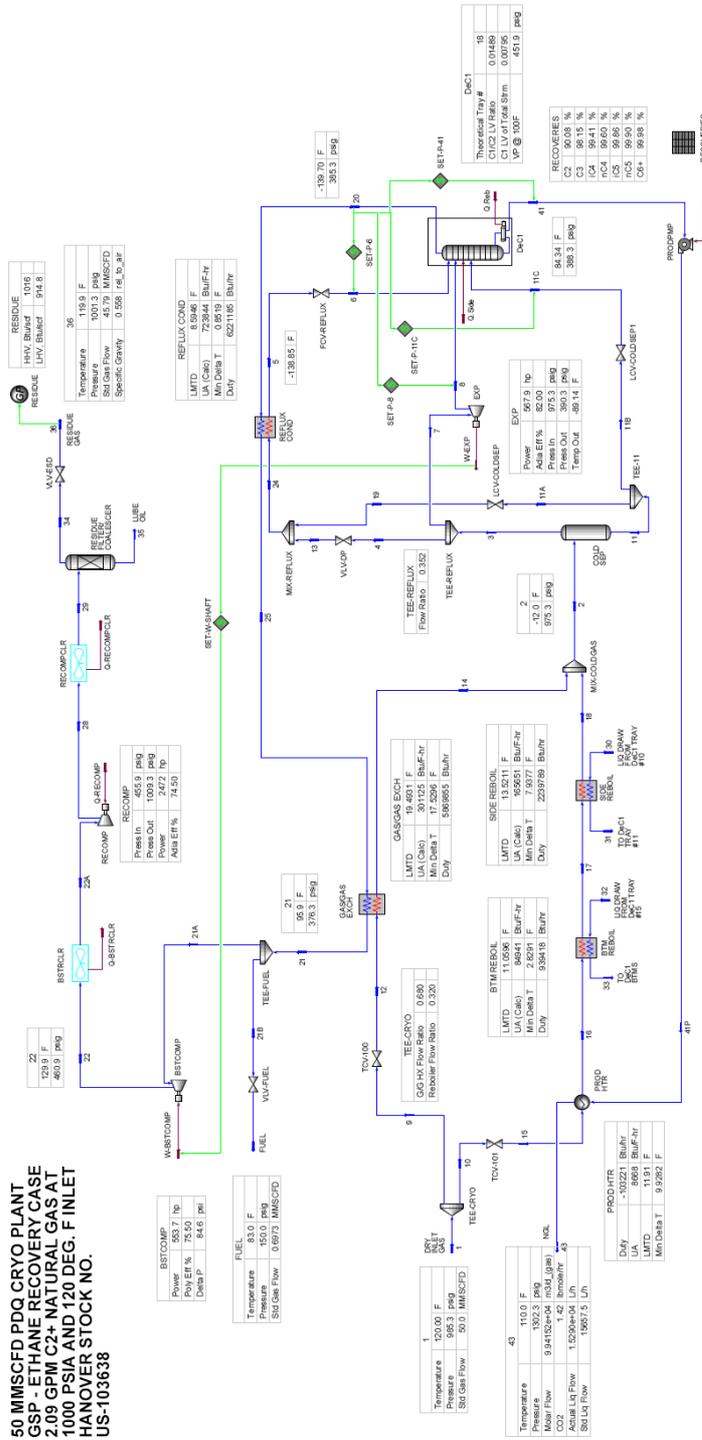
Ariel Performance		Company: Tesis ITBA	
7.6.0.1 Case 1:		Customer: Tesis ITBA	
Quote:		Inquiry:	
Project:		Project:	
<b>Compressor Data:</b>			
Elevation,ft:	50.00	Barmtr.kg/cm2a:	1.031
Frame:	JGT/4	Stroke, in:	4.50
Max RL Tot, lbf:	74000	Max RL Tens, lbf:	37000
Rated RPM:	1500	Rated BHP:	2600.0
Calc RPM:	1350.0	<b>BHP:</b>	<b>1171</b>
<b>Driver Data:</b>			
Type:	Nat. Gas		
Mfg:	Caterpillar		
Model:	G3516 LE (20)		
BHP:	1292 (1240)		
Avail:	1180 (60)		
<b>Services</b>			
<b>Stage Data:</b>	<b>1</b>	<b>---</b>	<b>2</b>
Flow Req'd, E3m3/D	180.000	---	180.000
<b>Flow Calc, E3m3/D</b>	<b>180.000</b>	<b>---</b>	<b>180.000</b>
Cyl BHP per Stage	312.7	---	417.9
<b>Specific Gravity</b>	<b>0.62</b>	<b>---</b>	<b>0.62</b>
Ratio of Sp Ht (N)	1.2622	---	1.2562
Comp Suct (Zs)	0.9885	---	0.9801
Comp Disch (Zd)	0.9856	---	0.9763
<b>Pres Suct Line, kg/cm2g</b>	<b>3.50</b>	<b>---</b>	<b>N/A</b>
Pres Suct Flg, kg/cm2g	3.41	---	8.76
Pres Disch Flg, kg/cm2g	9.11	---	26.04
<b>Pres Disch Line, kg/cm2g</b>	<b>N/A</b>	<b>---</b>	<b>N/A</b>
Pres Ratio F/F	2.284	---	2.765
<b>Temp Suct, °C</b>	<b>26.67</b>	<b>---</b>	<b>48.89</b>
<b>Temp Clr Disch, °C</b>	<b>48.89</b>	<b>---</b>	<b>48.89</b>
<b>Cylinder Data:</b>	<b>Throw 1</b>	<b>Throw 3</b>	<b>Throw 4</b>
Cyl Model	12-1/2T	12-1/2T	11-1/2ET
Cyl Bore, in	12.500	12.500	11.500
Cyl RDP (API), kg/cm2g	40.6	40.6	40.6
Cyl MAWP, kg/cm2g	44.6	44.6	44.6
Cyl Action	DBL	DBL	DBL
Cyl Disp, CFM	851.8	851.8	719.3
<b>Pres Suct Intl, kg/cm2g</b>	<b>3.19</b>	<b>3.19</b>	<b>8.19</b>
<b>Temp Suct Intl, °C</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>53</b>
Suct Zsph	0.9888	0.9888	0.9809
Pres Disch Intl, kg/cm2g	9.56	9.56	27.44
<b>Temp Disch Intl, °C</b>	<b>93</b>	<b>93</b>	<b>137</b>
HE Suct Gas Vel, FPM	7384	7384	8418
HE Disch Gas Vel, FPM	6449	6449	7346
HE Spcra Used/Max	0/4	0/4	0/2
HE Vol Pkt Avail, %	0.88+51.34	0.88+51.34	No Pkt
Vol Pkt Used, %	40.79 (V)	40.79 (V)	No Pkt
HE Min Clr, %	22.53	22.53	17.08
HE Total Clr, %	44.36	44.36	17.08
CE Suct Gas Vel, FPM	7195	7195	8164
CE Disch Gas Vel, FPM	6284	6284	7123
CE Spcra Used/Max	0/4	0/4	0/2
CE Min Clr, %	23.80	23.80	17.90
CE Total Clr, %	23.80	23.80	17.90
Suct Vol Eff HE/CE, %	53.4/72.1	53.4/72.1	72.3/71.3
Disch Event HE/CE, ms	7.4/9.9	7.4/9.9	8.0/9.0
Suct Pseudo-Q HE/CE	4.7/4.4	4.7/4.4	4.8/4.5
Gas Rod Ld Comp, lbf	11267 C	11267 C	28947 C
Gas Rod Ld Tens, lbf	10677 T	10677 T	27185 T
Gas Rod Ld Total, lbf	21944	21944	56032
Xhd Pin Deg/%RvrsI lbf	164/72.3	164/72.3	178/98.2
Flow Calc, E3m3/D	90.000	90.000	180.000
Cyl BHP	156.4	156.4	417.9

# TRABAJO FINAL – POSTGRADO ITBA

Optimización del procesamiento de gas natural a través de un sistema de control centralizado

Alejandro Casale – Federico Strada

## ANEXO 2 – Simulación de planta turbo-expander



Flowsheet: Case (Main)

Tue Aug 25 15:29:21 2009

### ANEXO 3 – Teoría del control automático

La teoría del control automático se aplica a sistemas eléctricos, mecánicos, neumáticos, hidráulicos, etc. Esta teoría tiene como objeto de estudio los sistemas físicos en sus características más generales, prescindiendo de las particularidades.

En el área industrial se encuentra una gran variedad de componentes y mecanismos de diversa naturaleza; mecánicos, eléctricos, térmicos, etc. Para comprender el funcionamiento de los sistemas que hacen uso de estos dispositivos, sean procesos controlados de producción o máquinas automáticas, es preciso poseer un conocimiento de las leyes que rigen su funcionamiento.

#### Elementos de los sistemas de control

El objeto de un sistema de control automático es mantener bajo control (de allí que se denominan variables controladas) una o más salidas del proceso. Se utiliza la palabra proceso en un sentido muy general, entendiendo que el mismo es el conjunto de fenómenos físicos que determinan la producción de las variables controladas.

Desde el punto de vista matemático, el proceso quedará representado por un conjunto de relaciones fundamentales, a través de las cuales las variables controladas quedan puestas en función de dos tipos de variables independientes:

##### 1. Variables aleatorias

Las variables aleatorias son aquellas variables que escapan a cualquier control o posibilidad de manipulación, es decir, que adoptan valores que pueden variar al azar dentro de ciertos límites prácticos, constituyen perturbaciones, pues una vez obtenidos los valores deseados en las variables controladas, se tiende a apartarlas de los mismos.

##### 2. Variables manipuladas

Si al proceso ingresaran solamente las variables aleatorias, no se dispondría ningún grado de control sobre el mismo y el valor de las variables controladas sería, también, aleatorio. Para poder introducir cualquier grado de control, se deberá disponer de variables sobre cuyos valores sea posible operar; de allí que se denominen variables manipuladas. Son precisamente estas variables las que permiten gobernar el sistema, y su característica esencial es que pueden ser manejadas a voluntad dentro de ciertos límites. El problema de controlar el proceso consiste en eliminar los efectos de las perturbaciones producidas por la variación de las variables aleatorias, mediante la introducción de variaciones compensatorias en las variables manipuladas.

#### Controlador

La parte del sistema que sintetiza las variables manipuladas es el controlador, contiene el programa necesario para introducir las variaciones en las variables manipuladas, a fin de obtener el comportamiento deseado de las variables controladas. Para ello el controlador puede disponer de distintos tipos de información:

### *1. Valores de referencia*

Estos valores, que pueden ser constantes o variables en el tiempo, representan el comportamiento deseado en las variables controladas, por eso se les suele denominar también valores deseados o valores de comando. Si el sistema tuviera un grado de control perfecto, idealmente los valores de las variables controladas deberían ajustarse en todo momento a los valores de referencia.

En el caso del control manual, las funciones asignadas al controlador en un sistema automático los valores de referencia están presentes en las intenciones del operador, y constituyen su idea acerca de los resultados deseados del proceso.

Ante la presencia de una perturbación (modificación de una variable aleatoria) el controlador debe iniciar una acción correctiva trabajando con las variables manipuladas, a fin de eliminar el efecto de la perturbación sobre las variables controladas. Para cumplir esa función, se dispone de dos técnicas completamente distintas en su enfoque, aunque compatibles entre sí, diferenciándose en la información relativa a las variables aleatorias y a las variables controladas.

### *Controles de lazo abierto y de lazo cerrado*

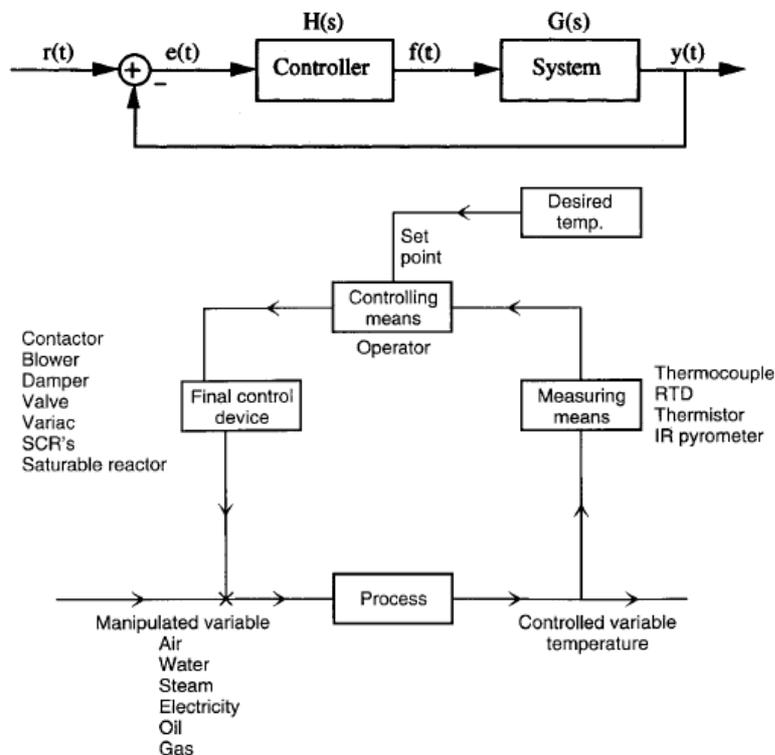
Las dos técnicas básicas de control, es decir, el ingreso al controlador de las variables aleatorias y de las variables controladas, dan lugar, respectivamente, a los sistemas de lazo abierto y de lazo cerrado. La distinción entre ambos tipos de sistemas se basa en la existencia o ausencia de un camino de realimentación mediante el cual las variables controladas ingresen al controlador; si existe este camino, el sistema será de lazo cerrado; en caso contrario, será de lazo abierto.

#### *A. Precompensación*

La primera de las técnicas disponibles (ingreso de las variables aleatorias al controlador) recibe el nombre de precompensación. El control se efectúa previendo el efecto de cada perturbación sobre las variables controladas, y realizando los ajustes necesarios en las variables manipuladas para compensarlo. Mediante esta técnica se corrige el efecto de la perturbación (en el caso ideal) antes de que esta llegue realmente a afectar las variables controladas. Sin embargo aunque esto pueda parecer muy promisorio, en la práctica puede presentar considerables dificultades.

En esta técnica es necesario poder prever con exactitud el efecto de cada perturbación sobre las variables de salida, y saber también con exactitud que cantidad de corrección debe introducirse en las variables manipuladas para compensarlo. Para eliminar el efecto de las perturbaciones mediante la precompensación se requiere que el controlador esté implementado sobre la base de un conocimiento exhaustivo del modelo matemático del sistema. Esto hace que sea necesario calibrarlo con mucho cuidado, y obliga a modificar la calibración cada vez que se produzca alguna variación en las características físicas del sistema. Téngase en cuenta que con esta técnica el controlador no tiene manera de saber si las correcciones que efectúa arrojan el resultado deseado, y sólo puede suponerse que será así en la medida en que el modelo utilizado se ajuste a la realidad. Puede decirse, por lo tanto, que se realiza un control a priori y a ciegas.

B. Realimentación



La otra técnica, ampliamente utilizada, es la realimentación. Da lugar, como se expresara anteriormente, a los sistemas de lazo cerrado, y se caracteriza por reincorporar los valores controlados al elemento controlador. De esta manera, éste puede efectuar una comparación continua de los valores controlados con los de referencia, e iniciar una acción correctiva cada vez que se aparten de los mismos. En este caso no se requiere de parte del controlador la adaptación a un modelo matemático preciso del proceso controlado. El controlador puede incluso ignorar por completo las variables aleatorias, toda vez que no le interese la causa de las variaciones sino solamente corregirlas. Puede afirmarse, pues, que se realiza un control a posteriori y con pleno conocimiento de los resultados. El controlador no necesita suponer que los resultados de sus correcciones son adecuados, pues dispone permanentemente de la información relativa a la salida del proceso y efectúa sus correcciones sobre la base de dicha información. Tolerancia perfectamente variaciones de los parámetros propios del proceso, y la existencia de fuentes de perturbación desconocidos o con mecanismos suficientemente complicados para dificultar su tratamiento matemático.

Precompensación o Realimentación. ¿Cuál de estas técnicas es más conveniente?  
 No es nada fácil responder a esta pregunta en forma general. En muchos casos la solución óptima consiste en combinarlas inteligentemente para aprovechar las ventajas de cada una de ellas.

La precompensación ofrece la ventaja de eliminar los efectos de las perturbaciones antes de que éstas se produzcan; idealmente, puede ofrecer un control perfecto, aunque en la práctica las cosas suelen ser bastante diferentes. Suponiendo un proceso con una sola variable aleatoria  $y$ , y una variable manipulada  $x$ , siendo  $z$  la variable controlada. Se tendría:

$$z = f(x, y)$$

El sistema realimentado resulta, a primera vista, más simple. El controlador compara continuamente la variable controlada con su valor de referencia. Mientras ambos se mantengan iguales, quedarán fijos los valores de las variables manipuladas. Cuando se observa una diferencia, corrige los valores de las variables manipuladas en un sentido tal que produzca un acercamiento de la variable controlada a su valor de referencia; a medida que se va reduciendo el error o diferencia entre ambos, va disminuyendo también la magnitud de la corrección, hasta que se llega hasta un nuevo punto de equilibrio en el cual la variable controlada permanece dentro de un entorno de tolerancia aceptable del valor de referencia.

Este sistema tiene la imposibilidad de anticiparse a los efectos de las perturbaciones, es decir, que el controlador tiende a corregir el efecto una vez que éste se ha producido. Una vez iniciada la acción correctiva ésta debe propagarse a través del proceso, de modo que si existen tiempos muertos en el mismo, tampoco en este caso será posible efectuar una corrección instantánea. Pero aunque así no fuera, desde el momento en que la corrección depende de la existencia de un error, éste no puede eliminarse nunca. En el caso de la precompensación, en determinados casos teóricos e ideales el error puede anularse por completo. En cambio, en el caso de la realimentación su misma naturaleza matemática hace que, aún en la teoría, el error pueda reducirse a límites muy pequeños, pero jamás anularse.

Hay otras limitaciones de la realimentación que no resultan tan evidentes a simple vista; suele ocurrir que las características que se pretenden del sistema impongan al circuito de realimentación requisitos incompatibles entre sí, y que sea imposible mejorar una de las características sin empeorar las restantes; en este caso, deberá arribarse a una solución de compromiso.

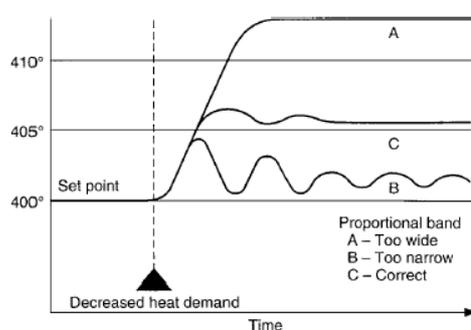
Suele ocurrir que en un sistema dado pueden conseguirse resultados óptimos utilizando simultáneamente ambas técnicas, la precompensación y la realimentación. Para ello se establece un modelo sencillo del proceso a controlar, y sobre la base de ese modelo se establece una precompensación de las perturbaciones más importantes. Esto asegura que, aún en ausencia de realimentación, los errores producidos serán de una magnitud razonable, y que los valores de las variables controladas no se apartarán muy significativamente de los de referencia. Se logra, así, un control grueso del sistema. Luego se introduce cierta cantidad de realimentación para eliminar o reducir los errores que han quedado sin compensar, debido a la imperfección del modelo utilizado, la dispersión de los parámetros del sistema o el efecto de perturbaciones menores que no se tomaron originalmente en cuenta.

Existe a veces una tendencia a exagerar los beneficios obtenidos con la realimentación, considerándola como una estrategia capaz de remediar cualquier defecto o perturbación. Esto es una sobrevaloración. La mayor parte de la teoría del control automático trata de los sistemas realimentados, porque los sistemas a lazo abierto no presentan dificultades matemáticas, mientras que los sistemas realimentados requieren el uso de un aparato matemático bastante complejo.

### Característica de los sistemas de control

Las características más importantes de un sistema de control son 3:

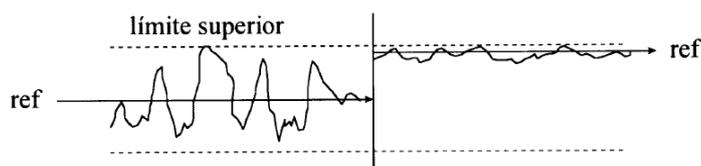
#### 1. Estabilidad



La condición de estabilidad es fundamental; todo sistema de control deberá ser estable para prestar alguna utilidad. La condición de estabilidad significa que, estando el sistema en un punto de equilibrio y sometido a la acción de una perturbación, o a una variación del valor de referencia, presentará una respuesta que tenderá a un nuevo estado de equilibrio. En cambio, un sistema inestable iniciará una oscilación de amplitud creciente alrededor del valor de equilibrio, o se saturará en alguno de sus valores extremos.

Aún siendo estable, un sistema puede presentar un grado de estabilidad insuficiente. Esto significa que, para llegar a un nuevo punto de equilibrio, produce oscilaciones amortiguadas de excesiva duración antes de estabilizarse en los valores definitivos. La medición del grado de estabilidad de los sistemas tiene que ver con ciertas características de las ecuaciones diferenciales que describen su comportamiento, y existen técnicas que permiten variar el grado de estabilidad para obtener una respuesta satisfactoria.

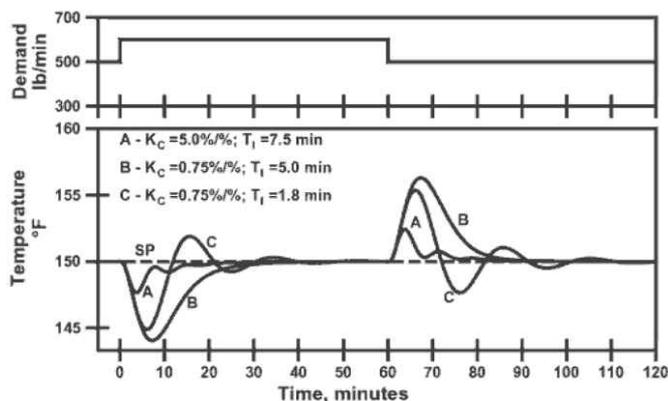
#### 2. Exactitud



La exactitud implica mantener las variables controladas dentro de un cierto entorno tolerable alrededor de sus valores de referencia, en otras palabras, con un error

suficientemente pequeño para los fines a los que está destinado el sistema. La exactitud constituye un factor importante en la determinación de la proyección del costo de un sistema de control automático, y por lo tanto no debe pretenderse obtener más de lo necesario.

### 3. Velocidad de respuesta



Responses to changes in hot water demand.

Similares consideraciones se aplican al diseño de la velocidad de respuesta de un sistema de control automático. La velocidad de respuesta indica la rapidez con que el sistema se adapta a nuevas condiciones de equilibrio, ya sea por perturbaciones o por que se varían los valores de referencia. Así, pues, si la exactitud nos indica una condición más bien estática, la velocidad de respuesta nos ilustra sobre la capacidad de adecuación dinámica del sistema a requisitos cambiantes. Sea cual fuere el origen de las variaciones (perturbaciones o modificación de los valores de referencia), el diseño del sistema en lo que hace a su velocidad de respuesta se efectuará estimando la máxima velocidad de variación de las variables, y en base al máximo retardo tolerable en la respuesta.

### Control de procesos y servomecanismos

Debido a sus orígenes, la teoría del control automático se desarrolló inicialmente en dos direcciones:

Si bien cada terreno tiene sus particularidades, actualmente se prefiere englobarlos en una misma disciplina.

#### 1. Control de procesos

En el control de procesos los valores de referencia son constantes, y por lo tanto el sistema de control automático se transforma en un regulador que tiende a evitar las variaciones de las variables controladas. La única función del sistema es compensar los efectos de las perturbaciones que inciden sobre el proceso.

### 2. *Servomecanismos*

En el caso de los servomecanismos, la característica fundamental es que las variables controladas deben variar en el tiempo siguiendo a los valores de referencia. Vale decir, que si en el control de procesos el sistema funciona como un regulador, en el caso del servomecanismo su acción es la de un amplificador. Por supuesto, en el caso de los servomecanismos generalmente resultan mucho más importantes las características dinámicas de respuesta ante las variaciones de los valores de referencia. La teoría de ambos sistemas, sin embargo, es la misma. Los servomecanismos suelen formar parte, como subunidades, de lazos de control automático más amplios; hay numerosos dispositivos eléctricos y neumáticos que funcionan sobre esta idea. En estos casos, el servomecanismo recibe como valor de referencia una señal eléctrica o neumática, y produce como salida (variable controlada) un desplazamiento del vástago de la válvula, proporcional a la señal de referencia.

### ANEXO 4 – Sensores

Hay dos tipos de señales:

DIGITALES: Son señales con dos estados: Apagado – Prendido / SI-NO

ANALÓGICAS: Son señales variables (Ej.: Temperatura)

Algunos de los sensores más utilizados:

- Medición temperatura
- Medición Presión
- Interruptores de Presión
- Sensor de posición de válvulas
- Medidor del nivel de líquidos
- Medidor del caudal de líquidos y gases

Entre las características técnicas de un sensor destacan las siguientes:

- **Rango de medida:** dominio en la magnitud medida en el que puede aplicarse el sensor.
- **Precisión:** es el error de medida máximo esperado.
- **Offset o desviación de cero:** valor de la variable de salida cuando la variable de entrada es nula. Si el rango de medida no llega a valores nulos de la variable de entrada, habitualmente se establece otro punto de referencia para definir el offset.
- **Linealidad o correlación lineal.**
- **Sensibilidad de un sensor:** relación entre la variación de la magnitud de salida y la variación de la magnitud de entrada.
- **Resolución:** mínima variación de la magnitud de entrada que puede apreciarse a la salida.
- **Rapidez de respuesta:** puede ser un tiempo fijo o depender de cuánto varíe la magnitud a medir. Depende de la capacidad del sistema para seguir las variaciones de la magnitud de entrada.
- **Derivas:** son otras magnitudes, aparte de la medida como magnitud de entrada, que influyen en la variable de salida. Por ejemplo, pueden ser condiciones ambientales, como la humedad, la temperatura u otras como el envejecimiento (oxidación, desgaste, etc.) del sensor.
- **Repetitividad:** error esperado al repetir varias veces la misma medida.

## ANEXO 5 – Actuadores

Los actuadores más usuales son:

- **Cilindros neumáticos e hidráulicos.** Realizan movimientos lineales.
- **Motores (actuadores de giro) neumáticos e hidráulicos.** Realizan movimientos de giro por medio de energía hidráulica o neumática.
- **Válvulas.** Las hay de mando directo, motorizadas, electro neumático, etc. Se emplean para regular el caudal de gases y líquidos.
- **Resistencias calefactores.** Se emplean para calentar.
- **Motores eléctricos.** Los más usados son de inducción, de continua, sin escobillas y paso a paso.
- **Bombas, compresores y ventiladores.** Movidos generalmente por motores eléctricos de inducción.

## ANEXO 6 – PLC

*Programmable Logic Controller o Controlador lógico programable.*

Los PLC sirven para realizar automatismos. Se les ingresa un programa en su memoria de almacenamiento, y un microprocesador ejecuta el programa.

Hay infinidad de tipos y marcas de PLC, los cuales tienen diferentes propiedades para poder adecuarlos a las tareas requeridas.

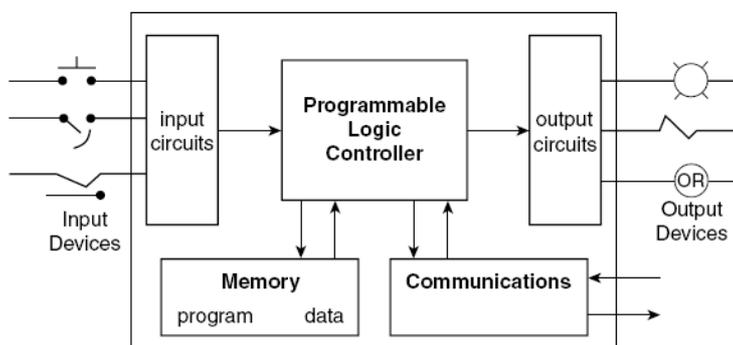


FIGURE 1 Basic PLC components.

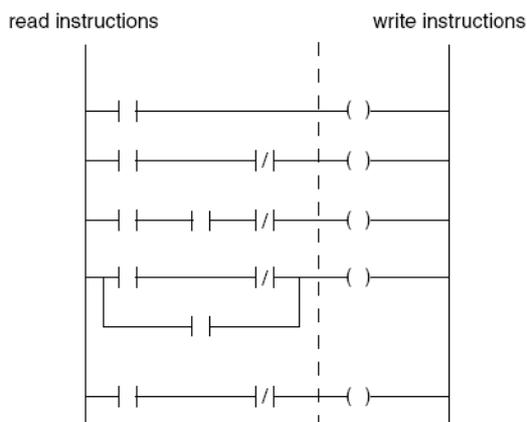


FIGURE 2 Relay ladder logic.

La estructura básica de cualquier controlador programable es:

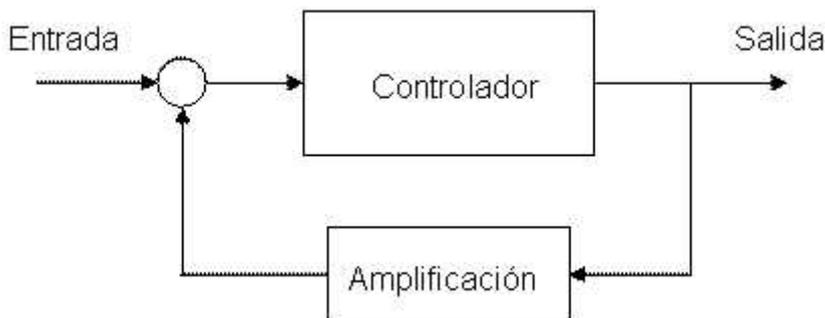
- **Fuente de alimentación:** convierte la tensión de la red, 110 ó 220V ac a baja tensión de cc (24V por ejemplo) que es la que se utiliza como tensión de trabajo en los circuitos electrónicos que forma el autómata.
- **CPU:** la Unidad Central de Procesos es el auténtico cerebro del sistema. Es el encargado de recibir órdenes del operario a través de la consola de programación y el módulo de entradas. Después las procesa para enviar respuestas al módulo de salidas.
- **Módulo de entradas:** aquí se unen eléctricamente los captadores (interruptores, finales de carrera... ). La información que recibe la envía al CPU para ser

procesada según la programación. Hay 2 tipos de captadores conectables al módulo de entradas: los pasivos y los activos.

- **Módulo de salida:** es el encargado de activar y desactivar los actuadores (bobinas de contactores, motores pequeños... ). La información enviada por las entradas a la CPU, cuando esta procesada se envía al módulo de salidas para que estas sean activadas (también los actuadores que están conectados a ellas). Hay 3 módulos de salidas según el proceso a controlar por el autómatas: relés, triac y transistores.
- **Terminal de programación:** la terminal o consola de programación es el que permite comunicar al operario con el sistema. Sus funciones son la transferencia y modificación de programas, la verificación de la programación y la información del funcionamiento de los procesos.

Los sistemas de control son aquellos dedicados a obtener la salida deseada de un sistema o proceso. En un sistema general se tienen una serie de entradas que provienen del sistema a controlar, llamado planta, y se diseña un sistema para que, a partir de estas entradas, modifique ciertos parámetros en el sistema planta, con lo que las señales anteriores volverán a su estado normal ante cualquier variación.

Un sistema de control básico es mostrado en la siguiente figura:



Hay varias clasificaciones dentro de los sistemas de control. Atendiendo a su naturaleza son analógicos, digitales o mixtos; atendiendo a su estructura (número de entradas y salidas) puede ser control clásico o control moderno; atendiendo a su diseño pueden ser por lógica difusa, redes neuronales...

Los principales tipos de sistemas de control son:

- **Sí/No.** En este sistema el controlador enciende o apaga la entrada y es utilizado, por ejemplo, en el alumbrado público, ya que éste se enciende cuando la luz ambiental es más baja que un nivel predeterminado de luminosidad.
- **Proporcional (P).** En este sistema la amplitud de la señal de entrada al sistema afecta directamente la salida, ya no es solamente un nivel prefijado sino toda la gama de niveles de entrada. Algunos sistemas automáticos de iluminación utilizan un sistema P para determinar con qué intensidad encender lámparas dependiendo directamente de la luminosidad ambiental.
- **Proporcional derivativo (PD).** En este sistema, la velocidad de cambio de la señal de entrada se utiliza para determinar el factor de amplificación, calculando la derivada de la señal.

## TRABAJO FINAL – POSTGRADO ITBA

### Optimización del procesamiento de gas natural a través de un sistema de control centralizado

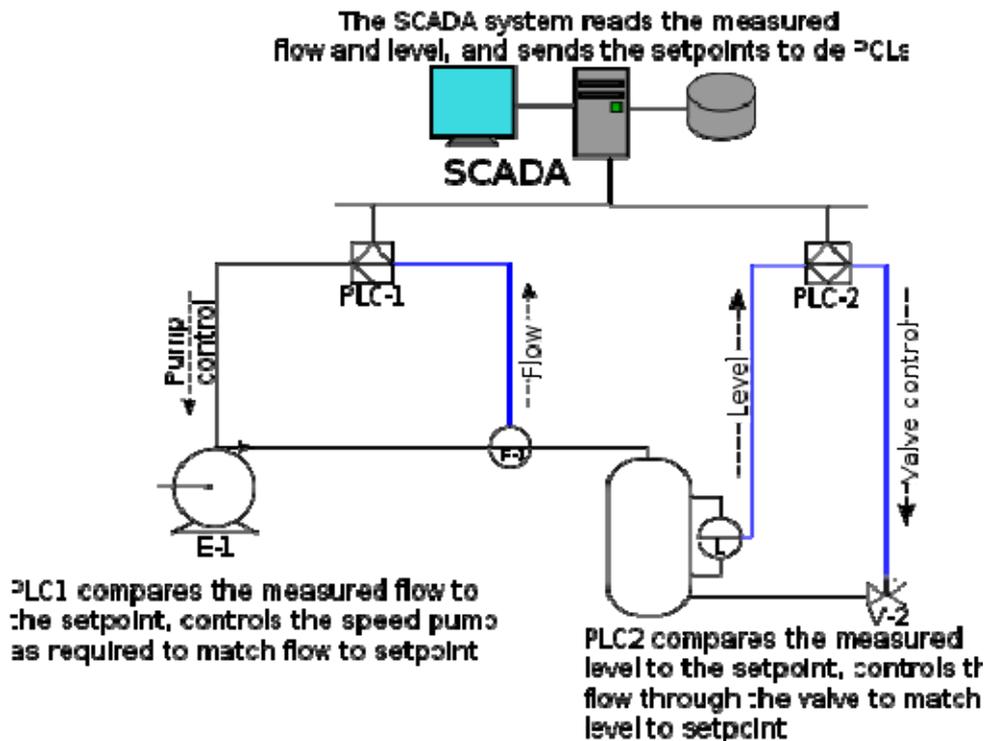
Alejandro Casale – Federico Strada

---

- **Proporcional integral (PI).** Este sistema es similar al anterior, solo que la señal se integra en vez de derivarse.
- **Proporcional integral derivativo (PID).** Este sistema combina los dos tipos anteriores.
- **Redes neuronales.** Este sistema modela el proceso de aprendizaje del cerebro humano para aprender a controlar la señal de salida.

### ANEXO 7 – SCADA

Esquema de un sistema típico



Este esquema es un ejemplo de la aplicación del sistema SCADA en áreas industriales. Estas áreas pueden ser:

- Monitorear procesos químicos, físicos o de transporte en sistemas de suministro de agua, para controlar la generación y distribución de energía eléctrica, de gas o en oleoductos y otros procesos de distribución.
- Gestión de la producción (facilita la programación de la fabricación).
- Mantenimiento (proporciona magnitudes de interés tales para evaluar y determinar modos de fallo, MTBF, índices de Fiabilidad, entre otros).
- Control de Calidad (proporciona de manera automatizada los datos necesarios para calcular índices de estabilidad de la producción CP y CPk, tolerancias, índice de piezas NOK/OK, etc).
- Administración (actualmente pueden enlazarse estos datos del SCADA con un servidor ERP (Enterprise Resource Planning o sistema de planificación de recursos empresariales), e integrarse como un módulo más).
- Tratamiento histórico de información (mediante su incorporación en bases de datos).

El término SCADA usualmente se refiere a un sistema central que monitorea y controla un sitio completo o una parte de un sitio que nos interesa controlar (el control puede ser sobre máquinas en general, depósitos, bombas, etc.) o finalmente un sistema que se extiende sobre una gran distancia (kilómetros / millas). La mayor parte del control del sitio es en realidad realizada automáticamente por un Controlador Lógico Programable (PLC). Las funciones de control del servidor están casi siempre restringidas a reajustes básicos del sitio o capacidades de nivel de supervisión. Por ejemplo un PLC puede controlar el flujo de agua fría a través de un proceso, pero un sistema SCADA puede permitirle a un operador cambiar el punto de consigna (set point) de control para el flujo, y permitirá grabar y mostrar cualquier condición de alarma como la pérdida de un flujo o una alta temperatura. La realimentación del lazo de control es cerrada a través del PLC; el sistema SCADA monitorea el desempeño general de dicho lazo. El sistema SCADA también puede mostrar gráficas con históricos, tablas con alarmas y eventos, permisos y accesos de los usuarios...

*Interfaz humano-máquina:* Una interfaz Hombre - Máquina o HMI ("Human Machine Interface") es el aparato que presenta los datos a un operador (humano) y a través del cual éste controla el proceso.

Los sistemas HMI podemos pensarlos como una "ventana de un proceso". Esta ventana puede estar en dispositivos especiales como paneles de operador o en un ordenador. Los sistemas HMI en ordenadores se los conoce también como software HMI o de monitoreo y control de supervisión. Las señales del proceso son conducidas al HMI por medio de dispositivos como tarjetas de entrada/salida en el ordenador, PLC's (Controladores lógicos programables), PACs (Controlador de automatización programable), RTU (Unidades remotas de I/O) o DRIVER's (Variadores de velocidad de motores). Todos estos dispositivos deben tener una comunicación que entienda el HMI.

La industria de HMI nació esencialmente de la necesidad de estandarizar la manera de monitorear y de controlar múltiples sistemas remotos, PLCs y otros mecanismos de control. Aunque un PLC realiza automáticamente un control pre-programado sobre un proceso, normalmente se distribuyen a lo largo de toda la planta, haciendo difícil recoger los datos de manera manual, los sistemas SCADA lo hacen de manera automática. Históricamente los PLC no tienen una manera estándar de presentar la información al operador. La obtención de los datos por el sistema SCADA parte desde el PLC o desde otros controladores y se realiza por medio de algún tipo de red, posteriormente esta información es combinada y formateada. Un HMI puede tener también vínculos con una base de datos para proporcionar las tendencias, los datos de diagnóstico y manejo de la información así como un cronograma de procedimientos de mantenimiento, información logística, esquemas detallados para un sensor o máquina en particular, incluso sistemas expertos con guía de resolución de problemas. Desde cerca de 1998, virtualmente todos los productores principales de PLC ofrecen integración con sistemas HMI/SCADA, muchos de ellos usan protocolos de comunicaciones abiertos y no propietarios. Numerosos paquetes de HMI/SCADA de terceros ofrecen compatibilidad incorporada con la mayoría de PLCs, incluyendo la entrada al mercado de ingenieros mecánicos, eléctricos y técnicos para configurar estas interfaces por sí

# TRABAJO FINAL – POSTGRADO ITBA

## Optimización del procesamiento de gas natural a través de un sistema de control centralizado

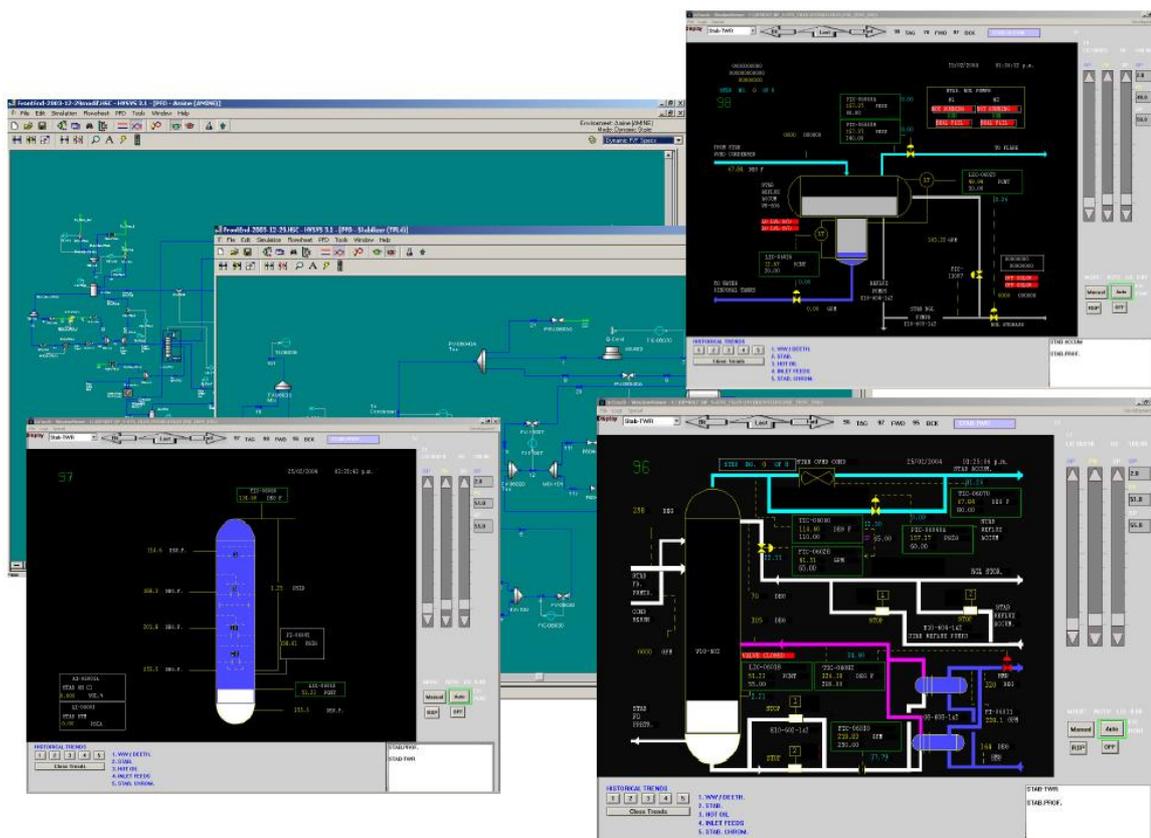
Alejandro Casale – Federico Strada

mismos, sin la necesidad de un programa hecho a medida escrito por un desarrollador de software.

Los sistemas SCADA son muy populares debido a esta compatibilidad y seguridad. Ésta se usa desde aplicaciones pequeñas, como controladores de temperatura en un espacio, hasta aplicaciones muy grandes como el control de plantas nucleares.

Soluciones de Hardware: La solución de SCADA a menudo tiene componentes de sistemas de control distribuido, DCS (Distributed Control System). El uso de RTUs o PLCs o últimamente PACs sin involucrar computadoras maestras está aumentando, los cuales son autónomos ejecutando procesos de lógica simple. Frecuentemente se usa un lenguaje de programación funcional para crear programas que corran en estos RTUs y PLCs, siempre siguiendo los estándares de la norma IEC 61131-3. La complejidad y la naturaleza de este tipo de programación hace que los programadores necesiten cierta especialización y conocimiento sobre los actuadores que van a programar. Aunque la programación de estos elementos es ligeramente distinta a la programación tradicional, también se usan lenguajes que establecen procedimientos, como pueden ser FORTRAN, C o Ada95. Esto les permite a los ingenieros de sistemas SCADA implementar programas para ser ejecutados en RTUs o un PLCs.

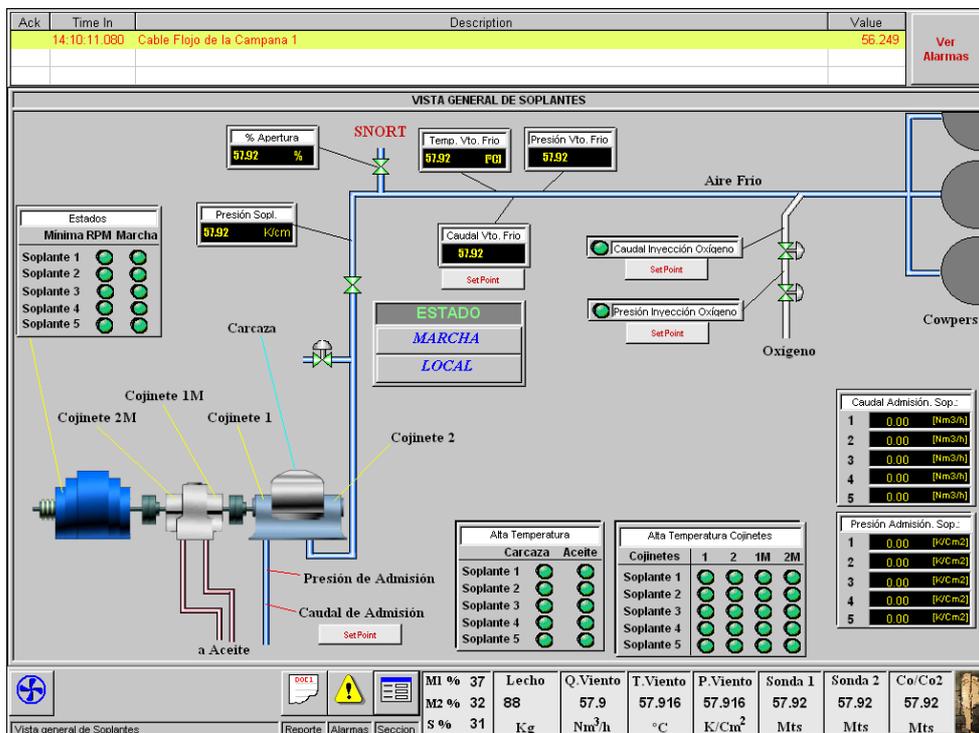
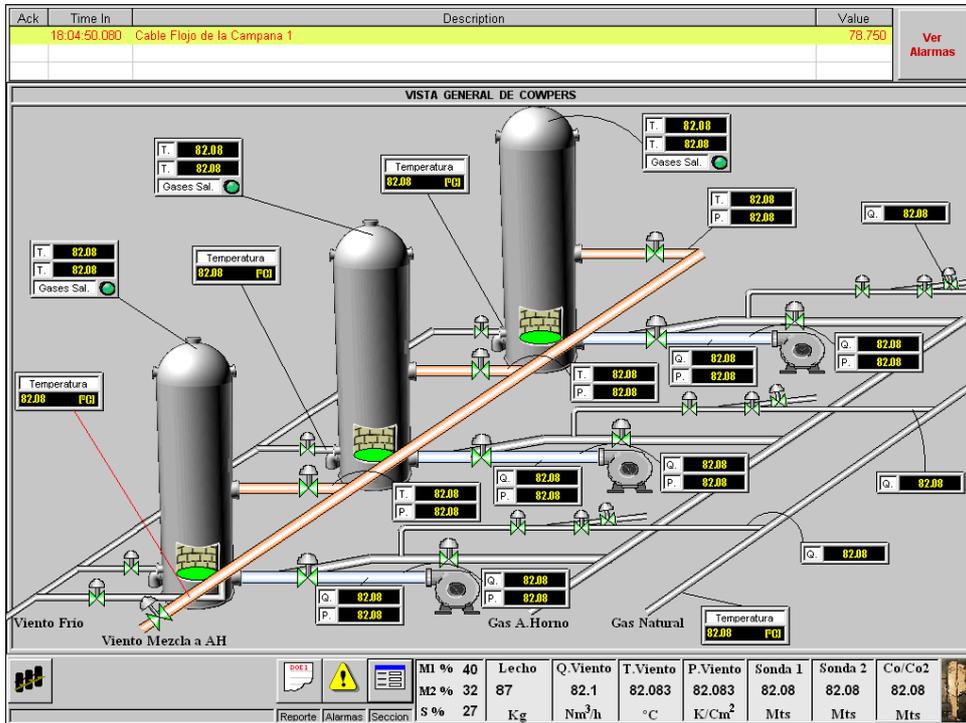
Pantallas de ejemplo:



# TRABAJO FINAL – POSTGRADO ITBA

## Optimización del procesamiento de gas natural a través de un sistema de control centralizado

Alejandro Casale – Federico Strada



# TRABAJO FINAL – POSTGRADO ITBA

## Optimización del procesamiento de gas natural a través de un sistema de control centralizado

Alejandro Casale – Federico Strada

