

# Automatización del Sistema de Llenado de Carrotanques en Terpel (Chimitá) (Junio 2007)

María Alejandra Leal Piña y Diana Marcela Velásquez Peñaloza.

**Resumen**—Con el fin de mejorar la medición de la cantidad de combustible, alcanzando un buen grado de precisión y a su vez manteniendo un estándar en la filosofía de operación y plataforma de control, se diseñó e implementó un sistema de control tipo SCADA que opera y administra el llenado de carrotanques en la planta de abastecimiento de Terpel (Chimitá).

En este proceso se implementó el uso de un PLC de control, dos terminales de campo y un transmisor de temperatura tipo RTD, que junto con la instrumentación existente en la planta (bombas, turbinas y válvulas set-stop) forman el sistema de supervisión y control. A través de este sistema se monitorea la operación de despacho de combustibles permitiendo al operador una interacción continua con el proceso y almacena toda la información del despacho en una base de datos, permitiendo así un control tanto en la parte operativa como en la parte administrativa.

**Palabras Claves**—Automatización, Caudal, Combustible, Control, Despacho, HMI, Mecatrónica, Medición, PLC, Proceso, RTD, RTU, SCADA, Supervisión, Temperatura, Terpel, Turbina, Válvula set-stop, Volumen.

## I. INTRODUCCIÓN

Colombia actualmente enfrenta el reto de ejecutar sus procesos productivos en forma eficaz debido a la globalización de la economía, la cual lleva al país a estar en continuo contacto con el mundo y realizar de forma expedita los cambios que produce, obligando a las organizaciones a estar inmersas en el área de las nuevas tecnologías.

Este desarrollo tecnológico está en relación directa con la capacidad empresarial de lograr competitividad y depende fundamentalmente del grado de control adquirido sobre esta.

Terpel, buscando cumplir con el liderazgo en la distribución y comercialización de productos combustibles y lubricantes, quiso implementar el uso de estas nuevas tecnologías en sus plataformas de abastecimiento para así lograr un alto nivel de calidad, eficiencia y rendimiento.

En la búsqueda de la modernización y estandarización de todas sus plantas, la necesidad de optimizar y facilitar las operaciones, así como la toma de decisiones, tanto gerenciales como operativas, se automatizó la planta de abastecimiento de Terpel en Chimitá - Santander (PTC), diseñando e implementando un sistema de control para la operación del llenado de carrotanques.

En este trabajo se describe el diseño y desarrollo del sistema antes mencionado, en el cuál se utilizó un PLC y dos terminales de campo, que controlan el despacho de combustibles tales como gasmotor, extra, ACPM, JPA1 y Kerosene a través de doce brazos de despacho.

El PLC de control se divide en tres tableros, de los cuales uno se encarga de las comunicaciones y control de válvulas, otro se encarga del manejo de las señales de medición y otro de las señales de estado y comando de motores.

Todas las señales son monitoreadas a través de un sistema SCADA mediante el cual se puede controlar la operación de despacho de combustible. A través de este sistema el operador puede vigilar el proceso, autorizar órdenes de cargue, generar reportes, realizar consultas, manipular equipos (apertura y cierre de válvulas, encendido y apagado del motor y la turbina, habilitación de brazos de medición) y observar los parámetros de medición.

Todo este sistema mecatrónico montado permite un completo control tanto en la parte operativa como en la parte administrativa, demostrando así, que los beneficios obtenidos en el proceso justifican la inversión en el sistema. Estos beneficios pueden reflejarse como aumento de la exactitud en la medida del despacho, aumento de la confiabilidad y seguridad en la operación del sistema.

## II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

### ANTECEDENTES Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La Planta de abastecimiento de Terpel Chimitá, almacena combustible proveniente de la refinería de ECOPETROL en

Barrancabermeja, para finalmente ser despachado a las diferentes estaciones de servicio ubicadas en la región.

Esta planta cuenta con 15 tanques con una capacidad de 5000bls, cada tanque almacena diferentes tipos de combustibles como son: Gasmotor, Extra, ACPM, JPA1 y Kerosene, y de estos el combustible se transporta hacia los 12 brazos de medición dotados de la instrumentación necesaria para realizar el control en la medida del despacho.

Cuando el proceso de despacho inicia se encienden las bombas y comienza la transferencia de combustible, el bachador cuenta los pulsos del medidor (turbina) y cuando llega al set point del preguard (galoneo) envía la señal para cerrar la válvula de control set-stop hasta una posición prefijada y una vez se llega al número de pulsos correspondiente al número de galones programado, se cierra totalmente la válvula.

A partir de la observación de campo del proceso de despacho descrito anteriormente, se ha llegado a un diagnóstico y a una definición del problema que se pueden sintetizar de la siguiente manera:

El despacho de combustible con el sistema de “bachador”, en los carrotanques de PTC, presenta los siguientes inconvenientes:

1. Inexactitud de hasta 50 pulgadas cúbicas en cada despacho de 750 galones. Mensualmente se despachan 12 millones de galones, o sea que el desfase por inexactitud con el sistema de bachador, bordea las 800.000 pulgadas cúbicas mensuales, o sea 3.463,2 galones, cantidad económicamente significativa.
2. El proceso actual no permite monitorear ni registrar variables de control tales como: temperatura, caudal y otros factores.

En consecuencia, el sistema actual presenta desventajas por ineficiencia económica y por ineficiencia operativa al no tener flexibilidad para el manejo y control de los factores durante el flujo en el proceso de cargue.

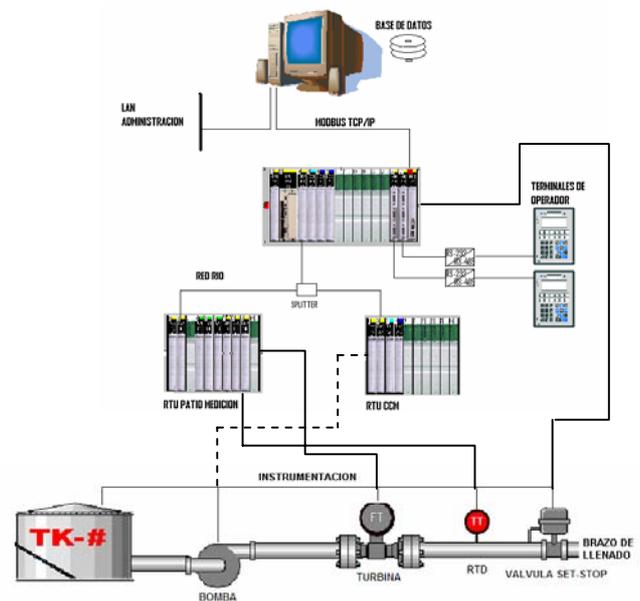
A partir de este diagnóstico el problema se define de la siguiente manera. Inexactitud en las mediciones de los volúmenes durante del proceso de despacho y falta de registro que permiten llevar un control sobre la facturación.

### SOLUCIÓN PLANTEADA

Con el fin de dar solución al problema anteriormente descrito se planteo lo siguiente:

- Diseñar un proceso de calibración más exacto y flexible para el despacho del combustible.

- Automatizar el proceso implementando un sistema de control supervisor y adquisición de datos.



Esto se logró automatizando la planta de abastecimiento, diseñando e implementando un sistema SCADA que permite el control y monitoreo de la operación de llenado de carrotanques.

El diseño y desarrollo del sistema SCADA, se realizó utilizando un sistema de supervisión y control basado en Intouch Wonderware, un PLC Modicon Quantum y dos terminales de campo, que en conjunto controlan el despacho de combustibles.

El Controlador Lógico Programable es el encargado de las comunicaciones, el control de válvulas, el comando de motores, las señales de medición y de estado y los cálculos de volumen.

A través de todo el sistema se monitorean todas las señales para que el operador tenga un control de la operación de llenado de carrotanques y pueda interactuar con el proceso.

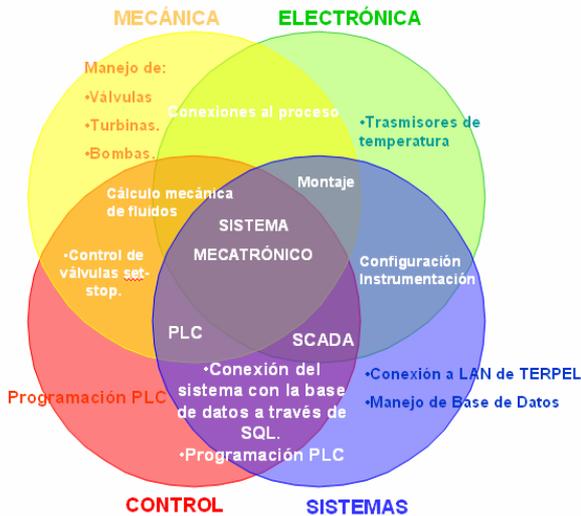
La automatización del sistema de llenado de carrotanques permite tener un control en la parte operativa y administrativa de la planta, obteniendo como resultado mayor exactitud en la cantidad de líquido despachada.

### III. DISEÑO METODOLÓGICO

El diseño de este proyecto se realizó con base en las necesidades y exigencias de la planta de TERPEL (Chimitá) que requería la automatización de su sistema de despacho de combustibles con el fin de realizar un mejoramiento en la medición de cantidad, alcanzando un buen grado de precisión

y a su vez manteniendo un estándar en su filosofía de operación y plataforma de control.

### DISEÑO MECATRÓNICO



El objetivo principal de este diseño fue el desarrollo de un sistema que integra tecnologías de tipo mecánico y electrónico ya existentes aplicando control automático y sistemas computacionales, para dar una solución mecatrónica automatizada, para el funcionamiento autónomo y supervisado del proceso de despacho.

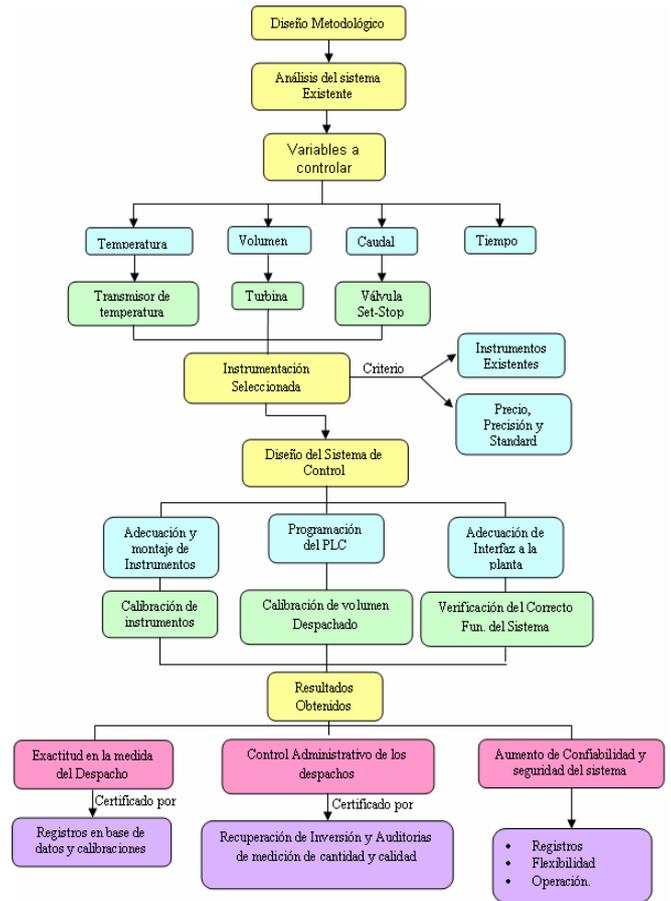
Para el diseño de esta aplicación, se hizo un análisis y evaluación de las variables que afectan la precisión de la medición de combustibles, buscando una solución adecuada para el control de éstas.

La solución mecatrónica planteada fue un sistema tipo SCADA, a través del cuál se realizará el control de la operación y la administración de la información de la operación de llenado, cumpliendo con las características y estándares exigidos por la Organización TERPEL.

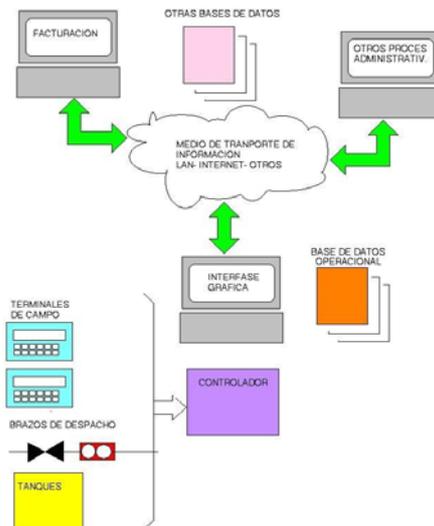
### DISEÑO METODOLÓGICO

A través del sistema SCADA todo el proceso de despacho se puede visualizar a través de un computador ubicado en la sala de procesos y este proceso puede ser generado, controlado o modificado por un operador que este previamente registrado en el sistema. Al final del día se consolida la base de datos desde el punto operativo y queda a disposición del sistema administrativo para consolidación.

El computador a su vez se encuentra conectado a la red LAN de la Organización Terpel a través de la cual se pueden realizar consultas a la base de datos desde cualquier PC conectado a esta por parte sistema administrativo.



### ARQUITECTURA DEL SISTEMA



### ELEMENTOS DEL SISTEMA

Para el desarrollo de este proyecto se utilizó instrumentación ya existente en la planta que se encontraba en buenas condiciones para seguir operando y se agregó instrumentación adicional necesaria para el control y supervisión de este. Se conservaron los mismos motores, las mismas turbinas y las

mismas válvulas Set-Stop y de la nueva instrumentación forman parte el PLC y los transmisores de temperatura.

## COMPUTADOR DE SUPERVISIÓN Y CONTROL

Es el encargado de:

- Interfase Gráfica (HMI)
- Manejo de la Base de Datos de datos
- Autorización de la Orden de Cargue
- Vigilancia y Administración de la Información del Cargue
- Generación de Reportes

## PLC DE CONTROL

El PLC seleccionado reúne las características de memoria, disponibilidad de instrucciones, opciones de comunicación y tiempo de ejecución de procesos necesarios para el control de la planta.

El PLC de control, realiza dos funciones básicas: Interactuar con el hardware (Bombas, Válvulas, Sistema de aditivación, etc.) y funciones de medición.

El PLC se divide en tres tableros

- **Tablero Maestro** Estas mantiene comunicación directa y constante con el PC, las dos RTU's y las dos terminales de campo. También se encarga de las señales de parada de emergencia y el control de las válvulas Set-Stop.
- **Tablero RTU Patio de Medición** Este concentra las señales asociadas con la medición (Turbinas, Transmisores de Temperatura).
- **Tablero CCM** En este se encuentra las señales de estado y comando de motores.

## TERMINAL DE CAMPO

Las terminales de campo permiten al operador interactuar con el sistema. En facturación se genera el cargue y en el campo a través de la terminal, el operador selecciona el brazo por el cual desea realizar el despacho e ingresa el número de despacho y el número de compartimiento para que el sistema de supervisión valide si es posible realizar el despacho.

## BRAZO DE MEDICIÓN

El brazo de medición es el hardware necesario para la medición del fluido. Los 12 brazos se encuentran montados en el patio de medición siguiendo las recomendaciones API en cuanto a medidas, instrumentación y accesorios y están constituidos por medidores de volumen (Turbina), medidores

de temperatura (RTD), acondicionadores de flujo e inyectores de aditivos.

A continuación se presenta la descripción del proceso de medición

- **Bomba** La operación de las bombas siempre se puede hacer Manual (Operación Local), o por operación automática (Sistema de control). De igual manera se tiene realimentación necesaria para un eficiente control de la operación, esto se logra teniendo dos señales de estado de la bomba. La primera señal indica el estado de disponibilidad de la bomba para lo cual se conectan en serie contactos de indicación Manual, Alimentación y Sobrecarga. La segunda señal indicara el estado del motor Corriendo o Parado.

El control dinámico de la rata de flujo se hace a través de la turbina, de la válvula y el PLC.

- **Turbina** La medición de flujo la realiza el medidor tipo turbina. De la turbina sale la señal análoga a un preamplificador de corte y saturación. El preamplificador envía pulsos al módulo de contadores rápidos EHC, que hace un conteo de los pulsos en galones por segundo. En el PLC se realiza la conversión a galones por minuto para hacer el control del volumen de despacho.
- **Transmisor de Temperatura** Los transmisores de temperatura instalados fueron configurados como tipo RTD, este es un Transmisor de 2 hilos y maneja una señal de salida de 4 a 20 mA. Están conectados al módulo de entradas análogas ACI del PLC.

Estos fueron instalados en la planta, ya que la temperatura de despacho es medida para lograr el balance interno de la planta y para mayor exactitud en el despacho de los combustibles; esto se debe a que cuando un líquido es sometido a un cambio de temperatura, su volumen variará proporcionalmente al coeficiente cúbico de expansión del mismo. Este efecto es corregido con el factor CTL. Además se utiliza para efectos de seguridad, ya que cuando se sobrepasa la temperatura máxima permitida 90°C se genera señal de alarma por temperatura.

- **Válvula Set-Stop** Las válvulas Set-Stop instaladas son válvulas de compuerta controladas por dos interruptores. Uno normalmente abierto y el otro normalmente cerrado, ubicados uno aguas arriba y el otro aguas abajo respectivamente que son los que se encargan de realizar el proceso de control.

Con ambos solenoides energizados, la alta presión aguas arriba es bloqueada permitiendo el paso del fluido en el diafragma baja presión aguas abajo, abriendo la válvula principal. Cuando se desenergizan ambos solenoides permite alta presión aguas arriba para cerrar la válvula.

Energizando solo el solenoide normalmente abierto cierra el fluido en el cuerpo de la válvula manteniendo una posición fija para conservar una tasa de flujo constante mientras las condiciones de operación no cambien. Cuando las condiciones de operación cambien, causando un cambio en la tasa de flujo, las solenoides abren momentáneamente reajustando la tasa de flujo al valor del set point.

Localizado entre cada solenoide y la puerta de la válvula principal se encuentra una válvula responsable del control del dispositivo, una válvula de bola típica. Este dispositivo es usado para afinar la resolución de la tasa de apertura y cierre de la válvula, brindando así de un lazo total de control.

Estas válvulas, están conectadas al módulo de salidas digitales DDO del PLC del tablero maestro, para realizar el control de tasa de despacho. Cuando el PLC recibe el orden de inicio de despacho, abre la válvula, arranca la bomba y contabiliza el producto despachado. Faltando 80 galones para finalizar el despacho, la válvula se pone en condición de galoneo. Una vez alcanzado el volumen programado, el PLC ordena el cierre de la válvula y detiene la bomba.

- **Acondicionadores de Flujo** Los medidores de turbina deben trabajar con una corriente de flujo que ha sido suficientemente acondicionada para eliminar remolinos y la deformación del perfil de la velocidad causada por filtros, codos, válvulas y otros accesorios.

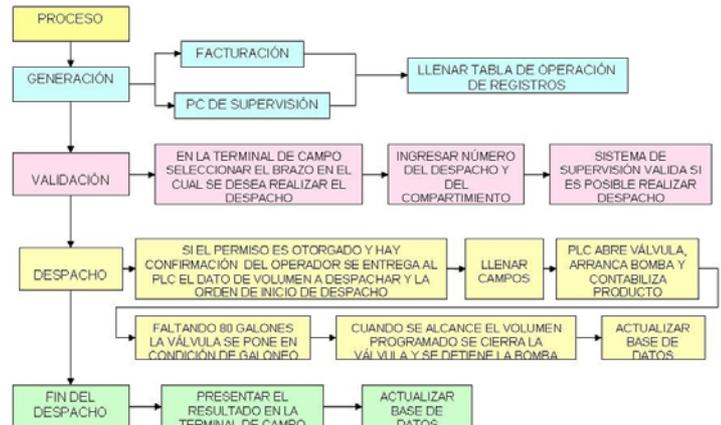
En la configuración del brazo se uso un acondicionador de flujo aguas arriba del medidor estándar bajo recomendación API. No se uso acondicionador de flujo aguas abajo, pero se respeto las medidas aguas abajo según recomendación API.

- **Inyectores de Aditivo** Para realizar la operación de adición de aditivo al combustible se utilizan los inyectores de aditivo o packs.  
El control de los packs consiste en dos señales, una de comando para que el sistema de aditivación inyecte y otra de realimentación para saber cuanto aditivo se ha inyectado  
En el SCADA, en la interfaz de mantenimiento, la opción de inyección de aditivo que se habilita o deshabilita con tan solo oprimir un botón.

## BRAZO DE LLENADO

Es el equipo final de cargue necesario para depositar el producto previamente medido en el carrotanque y es manipulado por lo conductores, en esta parte del proceso se vigila que no halla manipulación del brazo.

## ESTADO DEL PROCESO DESPUÉS DE LA SOLUCIÓN IMPLEMENTADA



- **Generación** El proceso de despacho se inicia en facturación o en el computador de supervisión, donde se anexa a la tabla de operación un registro.
- **Validación** En una terminal de campo se selecciona el brazo en el cual se desea realizar el despacho, se ingresa el número de despacho, y el compartimiento.

El sistema de supervisión valida si es posible realizar el despacho verificando que no se encuentre ya despachado o en proceso de despacho, que el brazo corresponda con el producto, presenta en la terminal los datos del despacho (Volumen, Compartimiento, Placa) y pide confirmación al operador para iniciar el despacho, en caso de no ser posible el despacho, se informa al operador la causa de la negación del permiso.

- **Despacho** Si el permiso de despacho es otorgado y hay confirmación por parte del operador, se marca el campo Estado del despacho con valor P, se entrega al PLC el dato de volumen a despachar y la orden de inicio del despacho.

El PLC abre la válvula, arranca la bomba y comienza a contabilizar el producto despachado. Faltando 80 galones para finalizar el despacho, la válvula set/stop se pone en condición de galoneo. Una vez se alcance el volumen programado, se cierra la válvula y se apaga la bomba.

Durante el despacho se vigila que la tasa de despacho sea mayor que el valor mínimo permitido, en caso de que la tasa de despacho este por debajo del valor permitido se realiza una acción de parada, se agrega un carácter al código de parada y se pregunta al operador si desea continuar el despacho. El valor de tasa mínima de despacho es parametrizado.

El sistema realiza un proceso de auto ajuste tendiente a determinar la inercia del cierre válvula y apagado de bomba, con lo cual dará la orden de cierre faltando un

volumen determinado antes de alcanzar el volumen programado, para que el volumen despachado coincida con el volumen programado. El volumen de ajuste del cierre es un parámetro que se modifica por el sistema. El tiempo de parada se controla de manera que una parada demasiado larga ocasione la finalización del despacho. El tiempo máximo de parada es parametrizado.

Durante el proceso de despacho se actualiza la base de datos con el volumen despachado.

Se implementó un contador de pulsos de aditivo inyectado, que se multiplica por el valor Volumen/Pulso de la bomba de inyección, para calcular el volumen de aditivo inyectado.

- **Fin Del Despacho** Al finalizar el despacho, se presenta en la terminal de campo el resultado del despacho y se actualiza la base de datos.

#### IV. CONCLUSIONES

- Se logro con éxito la implementación del sistema control y Supervisión en la Planta de Terpel Chimitá para la operación y administración de la información de llenado de carrotanques mediante el uso de PLC's a partir de estándares propuestos por la empresa, con el cuál logró un sistema mas flexible, se aumento el grado de precisión en los despachos y la facilidad de almacenar informes precisos en una base de datos.
- Se logro una disminución sustancial de las perdidas de producto por la inexactitud en los despachos obteniéndose un ahorro que en menos de dos meses logro recuperar la inversión del proyecto.
- Se obtuvo un impacto positivo en la imagen corporativa de Terpel, debido a que se han podido resolver y dudas y reclamaciones de los clientes, a través de la consulta a la base de datos y los gráficos históricos de despachos.

#### BIBLIOGRAFÍA

API Manual of Petroleum Measurement Standard (MPMS), Capítulo 12

BAUMEISTER, Theodore; AVALLONE, Eugene y BAUMEISTER III, Theodore Marks. Manual del Ingeniero Mecánico. Octava edición (Segunda edición en español) Volumen III. Mc Graw Hill.1984

CREUS SOLE, Antonio. Instrumentación industrial. Séptima Edición. México. Alfaomega. 2006.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Normas Colombianas para la presentación de tesis y otros trabajos de grado. Quinta Actualización. Santa fé de Bogotá D.C.: ICONTEC, 2002. 34p NT 1486

McALLISTER, E.W. Pipe Line Rules of Thumb. Handbook. Fourth edition. Gulf Publishing Company.

SGS Redwood Fluid & Gas Measurement Service

WARNETT, Chris. Entendiendo actuadores para válvulas. Rotork-actuation.

<http://bibliotecnica.upc.es/bustia/arxius/40201.pdf>

<http://info.smithmeter.com/literature/docs/ss03009.pdf>

<http://www.logitek.com/wonderware/Intouch.htm>

<http://www.terpel.com/Organizacion>