

DISEÑO CONCEPTUAL DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA MEDIR Y
ACONDICIONAR UN FLUJO DE GAS DE SUMINISTRO A UNA PLANTA
TERMOÉLECTRICA, DE ENTRE 700 PSIG Y 290 PSIG A 50 PSIG

JOSÉ ISAAC ÁLVAREZ VERGARA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
ESPECIALIALISTA EN INGENERÍA DEL GAS
BUCARAMANGA

2018

DISEÑO CONCEPTUAL DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA MEDIR Y
ACONDICIONAR UN FLUJO DE GAS DE SUMINISTRO A UNA PLANTA
TERMOÉLECTRICA, DE ENTRE 700 PSIG Y 290 PSIG A 50 PSIG

JOSÉ ISAAC ÁLVAREZ VERGARA

Trabajo de Grado para Optar por el título de Especialista en Ingeniería del Gas

Director

Julio César Pérez

Especialista en Ingeniería del Gas

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA DEL GAS
BUCARAMANGA

2018

AGRADECIMIENTOS

El autor de este trabajo de grado presenta sus agradecimientos, primeramente, a Dios por darme la sabiduría y por abrirme todas las puertas de bendición para cumplir esta meta.

A mi familia, por brindarme todo el apoyo a lo largo de este camino.

Al Ingeniero Argemiro Álvarez Arrieta por compartirme sus conocimientos a través de todas las asesorías brindadas.

A la Universidad Industrial de Santander y a la escuela de ingeniería de petróleos, por la formación brindada a lo largo de esta especialización.

Al Esp. Julio César Pérez, director de este trabajo de grado, por sus orientaciones y sabios concejos para poder concluir este sueño.

TABLA DE CONTENIDOS

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1 GENERALIDADES DE LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD MEDIANTE EL USO DE GAS NATURAL.....	17
1.1 MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA.....	18
1.2 CLASIFICACIÓN DEL GAS NATURAL SEGÚN SU COMPOSICIÓN.....	18
1.2.1 Gas ácido.....	19
1.2.2 Gas agrio.	19
1.2.3 Gas dulce.....	19
1.2.4 Gas Seco.	19
1.2.5 Gas húmedo.	19
1.3 CONTROL DE PUNTO DE ROCÍO DE HIDROCARBURO.....	19
1.4 ESPECIFICACIÓN DE CALIDAD PARA EL GAS VENTA EN COLOMBIA SEGÚN EL RUT	20
1.5 TRANSFERENCIA EN CUSTODIA DEL GAS.....	20
1.6 CONCEPTOS BÁSICOS DE CONTROL.....	21
1.6.1 Variable de proceso y salida.....	21
1.6.2 Plantas.....	21
1.6.3 Procesos.....	21
1.6.4 Sistemas.....	22
1.6.5 Control realimentado.....	22
1.6.6 Los lazos de regulación.	22
1.6.7 La acción Proporcional.....	24
1.6.8 La acción Integral.....	24
1.6.9 Acción derivativa.....	24
1.7 SISTEMA HMI O SCADA	24

2	IDENTIFICACION DE LAS PRINCIPALES FACILIDADES DE SUPERFICIE PARA EL TRANSPORTE Y ACONDICIONAMIENTO DEL FLUJO DE GAS DE SUMINISTRO DE LA PLANTA TERMOELÉCTRICA	26
2.1	PLANTA DE GAS	28
2.2	ESTACIÓN DE MEDICIÓN A LA SALIDA DE LA PLANTA DE GAS	26
2.3	GASODUCTO.....	29
2.4	TRAMPA DE ENVÍO Y RECIBO DE RASPADORES.....	29
2.5	ESTACIÓN DE CONTROL EN LA PLANTA TERMOELÉCTRICA.....	28
2.6	SEPARADOR TIPO SCRUBBER	28
2.7	BATERÍA DE FILTROS	28
2.8	SISTEMA DE ALIVIO.....	28
2.9	SEPARADOR TIPO KOD Y TEA.....	29
2.10	SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CONDENSADO.....	29
2.11	DIAGRAMA GENERAL DE PROCESO.....	29
3	EQUIPOS QUE FORMARAN PARTE DEL SISTEMA DE CONTROL.....	31
3.1	SENSOR DE TEMPERATURA PT100	31
3.2	TRANSMISOR DE TEMPERATURA YTA610	33
3.3	TRANSMISORES DE PRESIÓN EJX630B Y EJX630C.....	36
3.4	SWITCH A 01 09X SERIES DE NIVEL ALTO PARA EL SCRUBBER Y EL KOD.....	37
3.5	SWITCH A 01 09X SERIES DE NIVEL BAJO PARA EL SCRUBBER Y EL KOD.....	38
3.6	INDICADOR DE NIVEL DE LÍQUIDO SERIES LG PARA EL SCRUBBER Y EL KOD	37
3.7	BOMBA ELÉCTRICA DE PALETAS PARA EL KOD.....	38
3.8	MEDIDOR DE FLUJO TIPO CORIOLIS OPTIMASS 6000.....	39
3.9	TRANSMISOR MFC 400 PARA CAUDALÍMETRO MÁSIKO DE TIPO CORIOLIS.....	40

3.10	MEDIDOR DE CAUDAL DE GAS TIPO VORTEX PARA TEA	41
3.11	VÁLVULA DE CONTROL 1	42
3.12	VÁLVULA DE CONTROL 2	43
3.13	VÁLVULA DE SHUTDOWN 1.....	46
3.14	VÁLVULA DE SHUTDOWN 2.....	46
3.15	VÁLVULA DE SHUTDOWN 3.....	45
3.16	RTU2020	45
4	SISTEMA DE CONTROL PROPUESTO PARA EL ACONDICIONAMIENTO DEL GAS DE SUMINISTRO DE LA PLANTA TERMOELÉCTRICA.....	48
4.1	SISTEMA DE MEDICIÓN 1	50
4.2	SISTEMA DE MEDICIÓN 2	52
4.3	SISTEMA DE MEDICIÓN 3	53
4.4	SISTEMA DE REGULACIÓN 1	54
4.5	SISTEMA DE REGULACIÓN 2	57
4.6	SISTEMA DE MEDICIÓN DE LÍQUIDO EN EL SCRUBBER	58
4.7	SISTEMA DE MEDICIÓN DE LÍQUIDO EN EL KOD DE TEA.....	58
4.8	SISTEMA DE PARADA DE EMERGENCIA GENERAL DEL SISTEMA DE CONTROL Y VÁLVULA DE SHUTDOWN VS-1	60
4.9	ESQUEMA GENERAL DEL SISTEMA DE CONTROL PROPUESTO PARA MEDICIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DEL GAS DE SUMINISTRO A LA PLANTA TERMOELÉCTRICA.....	61
5	CONCLUSIONES	62
6	RECOMENDACIONES	64
	BIBLIOGRAFÍA.....	65

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Especificaciones de calidad del gas venta en Colombia según el RUT ...	20
Tabla 2. Abreviaciones para los protocolos de comunicación	48
Tabla 3. Abreviaciones para los equipos	49

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Generación de electricidad global.....	17
Figura 2. Sistema de control de temperatura PID.....	23
Figura 3. Ejemplo de un sistema SCADA o HMI.....	25
Figura 4. Principales facilidades de superficie para el transporte y acondicionamiento del gas en custodia	30
Figura 5. Sensor de presión PT100	32
Figura 6. Ejemplos de valores de resistencia según la temperatura en la PT100 .	32
Figura 7. Transmisor de temperatura YTA610.....	34
Figura 8. Presentación física de los transmisores de presión EJX630B y EJX630C	35
Figura 9. Switch A 01 09X SERIES de nivel alto para el scrubber y el KOD	36
Figura 10. Indicador de nivel Series LG con su transmisor Series LTM	38
Figura 11. Ejemplo de una bomba de paleta	39
Figura 12. Caudalímetro de tipo coriolis OPTIMASS 6000	40
Figura 13. Transmisor de caudal MFC 400.....	41
Figura 14. Ejemplo de un caudalímetro tipo vortex.....	42
Figura 15. Ejemplo de una válvula de control	43
Figura 16. Ejemplo de una válvula de shutdown.....	44
Figura 17. RTU2020	46
Figura 18. Módulos de ampliación de la RTU2020	48
Figura 19. Librerías de la RTU2020 para medidores y cálculos del flujo de gas ...	49
Figura 20. Puntos de instalación de los instrumentos de campo	50
Figura 21. Sistema de medición 1.....	51
Figura 22. Sistema de medición 2.....	55
Figura 23. Sistema de medición 3.....	56
Figura 24. Sistema de regulación 1	57

Figura 25. Sistema de medición 2.....	58
Figura 26. Sistema de medición de líquido en el scrubber	57
Figura 27. Sistema de medición de líquido del KOD de TEA.....	59
Figura 28. Diagrama general del sistema de control propuesto para medición y acondicionamiento del gas de suministro de la planta termoeléctrica	61

LISTA DE ABREVIATURAS ESPECIALES

AGA	Asociación Americana de Gas
API	Instituto Americano del Petróleo
BPCS	Sistema de Control Básico de Proceso
CREG	Comisión de Regulación de Energía y Gas
DCS	Sistema de Control Distribuido
HMI	Interfaz Humano-Máquina
KOD	(Knock Out Drum) Separador de Antorcha
MMSCFD	Millones de pies cúbicos estándar por día
P&ID	Diagrama de Instrumentación y Tuberías
PID	Proporcional Integral Derivativo
PLC	Controlador lógico programable
RTD	Unidad terminal Remota
SCADA	Sistemas de Supervisión, Control y Adquisición de Datos

RESUMEN

TITULO: DISEÑO CONCEPTUAL DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA MEDIR Y ACONDICIONAR UN FLUJO DE GAS DE SUMINISTRO A UNA PLANTA TERMOELECTRICA, DE ENTRE 700 PSIG Y 290 PSIG A 50 PSIG*

AUTOR: JOSÉ ISAAC ÁLVAREZ VERGARA**

PALABRAS CLAVES: CONTROL, AUTOMATIZACIÓN, SISTEMAS, SCADA, INGENIERÍA CONCEPTUAL

DESCRIPCIÓN:

En esta monografía de grado se realizó el diseño conceptual de un sistema de control para medir y acondicionar un flujo de gas de suministro a una planta termoeléctrica. Teniéndose en cuenta las exigencias requeridas por parte de una empresa termoeléctrica, las cuales consistieron en acondicionar una corriente de gas de entre 700 psig y 290 psig a 50 psig. Dicho diseño conceptual se realizó mediante la evaluación de todo el proceso que sigue la corriente de gas desde la planta de suministro hasta la planta termoeléctrica e identificando las principales facilidades de superficie necesarias para el acondicionamiento y transporte de dicha corriente de gas y los puntos en donde el sistema de control ejercerá mando.

Está provista de un capítulo con los principales conceptos teóricos, un capítulo con la descripción de las principales facilidades de superficie para el transporte y acondicionamiento del flujo de gas de suministro a la planta termoeléctrica, un capítulo con la descripción de los equipos que formaran parte del sistema de control, un capítulo donde se describe el sistema de control propuesto para el acondicionamiento del flujo de gas de suministro a la planta termoeléctrica y sus debidas conclusiones y recomendaciones.

Con el diseño conceptual del sistema de control propuesto en esta monografía, se proporcionan todas las bases necesarias para el desarrollo de la ingeniería básica y de detalle de tal proyecto.

* Monografía de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería de petróleos. Director: Julio César Pérez. Especialista en Ingeniería del Gas

ABSTRACT

TITLE: CONCEPTUAL DESIGN OF A CONTROL SYSTEM TO MEASURE AND CONDITION A GAS FLOW OF SUPPLY TO A THERMOELECTRIC PLANT, BETWEEN 700 PSIG AND 290 PSIG AT 50 PSIG *

AUTHOR: JOSÉ ISAAC ÁLVAREZ VERGARA **

KEYWORDS: CONTROL, AUTOMATION, SYSTEMS, SCADA, CONCEPTUAL ENGINEERING

DESCRIPTION:

In this monograph, the conceptual design of a control system was made to measure and condition a supply gas flow to a thermoelectric plant. Taking into account the requirements required by a thermoelectric company, which consisted of the conditioning of a current of 700 psig and 290 psig at 50 psig. This conceptual design is shown by evaluating the entire process that follows the gas flow from the supply plant to the thermoelectric plant and the identification of the main surface facilities for the conditioning and transportation of said gas stream and the points where The control system of the command operates.

It is provided with a chapter with the main theoretical concepts, a chapter with the description of the main facilities of the surface for the transport and the conditioning of the flow of supply of the thermoelectric plant, a chapter with the description of the equipment that are part of the Control system, a chapter that describes the control system for the conditioning of the supply gas flow to the thermoelectric plant and its conclusions and recommendations.

With the conceptual design of the control system in this monograph, all the bases for the development of basic engineering and the detail of such a project are developed.

* Thesis

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería de petróleos. Advisor: Julio César Pérez. Gas Engineering Specialist

INTRODUCCIÓN

El control automático ha desempeñado una función vital en el avance de la ingeniería y la ciencia. Se ha vuelto una parte importante e integral de los procesos modernos industriales y de manufactura. Por ejemplo, es esencial en el control numérico de las máquinas y herramienta de las industrias de manufactura, en el diseño de sistemas de pilotos automáticos en la industria aeroespacial, y en el diseño de automóviles y camiones en la industria automotriz.¹ De igual forma, en la industria de hidrocarburos, los sistemas automáticos de control también se han convertido en una parte vital, en operaciones tales como: El cierre y apertura de válvulas, control de presión, control de temperatura, medición de flujo, entre otros.

En la actualidad, el gas natural se ha convertido en un hidrocarburo con una gran amplia variedad de usos, tanto como para el sector industrial y doméstico (usado como combustible), como para el petroquímico (usado como materia prima). Un uso particular que tiene el gas natural como combustible, es en la generación de energía eléctrica. Este uso ha crecido en más del 50% entre los años de 1996 y 2005 a nivel mundial, debido a que existen las facilidades en la construcción de las plantas generadoras y así como también la predisposición por parte de los gobiernos para proveer de permisos de operación de estas plantas. Después del uso del carbón, el gas natural es la fuente de generación de electricidad con amplio crecimiento a nivel mundial.²

No obstante, a través de la tecnología que se dispone hoy día y del uso de la ingeniería de control, se ha buscado lograr que procesos como la generación de energía eléctrica con gas natural, sean seguros y óptimos.

¹ OGATA, Katsuhiko. Dinámica de sistemas. 1 ed., México: Editorial Prentice Hall, 1987.

² MENA INTRIAGO, D. F. (2012). Diseño de un sistema de remoción de condensados en el gas natural utilizado para los generadores de la empresa ENAP SIPEC (Bachelor's thesis, QUITO/EPN/201

Para el desarrollo del presente proyecto, se contó con las exigencias requeridas por parte de una empresa termoeléctrica. Las cuales consistieron en realizar el diseño conceptual de un sistema de control para acondicionar un flujo de gas proveniente de una planta de gas, con una condición máxima de 10 MMSCFD a 100 °F @ 700 psig y una condición mínima de 5 MMSCFD a 40 °F @ 290 psig. Dado que la empresa cuenta con unos generadores termoeléctricos que funcionan a una condición de presión de gas de 50 psig. Adicional a ello, la empresa también requirió que se obtuvieran datos de medición de flujo de gas en varios puntos del proceso de acondicionamiento del gas, y realizar el control del proceso desde una estación remota.

Por esta razón, el objetivo de este proyecto es realizar el diseño conceptual de un sistema de control, para medir y acondicionar un flujo de gas de suministro a una planta termoeléctrica, de entre 700 psig y 290 psig a 50 psig. El propósito de hacer el diseño conceptual de dicho sistema de control, es proporcionar las pautas para el desarrollo de la ingeniería básica y de detalle de tal proyecto, para que, una vez culminadas las tres fases de ingeniería, la planta termoeléctrica pueda contar con las siguientes posibilidades y de beneficios:

Garantizar la generación de energía eléctrica para la prestación de tal servicio.

Contar con un sistema seguro y confiable.

Evitar gastos adicionales en personal de operación.

Disponer de tecnología flexible para contar con la posibilidad de ampliaciones futuras del sistema.

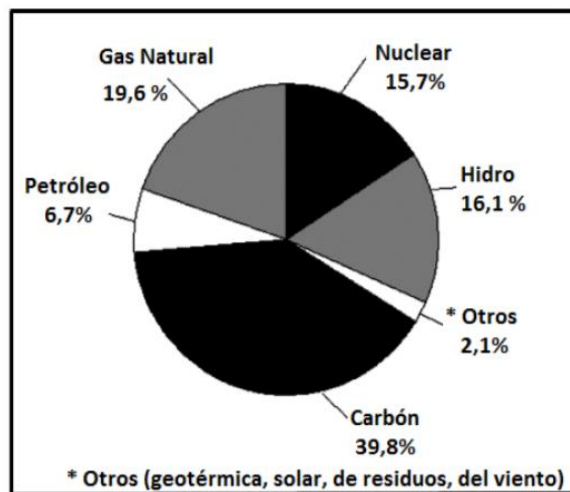
Control remoto del proceso.

Tener la posibilidad de supervisión del proceso desde una interfaz hombre maquina (HMI) o sistema SCADA.

1 GENERALIDADES DE LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD MEDIANTE EL USO DE GAS NATURAL

El uso de gas natural como combustible de generadores de electricidad ha crecido en más del 50% entre los años de 1996 y 2005 a nivel mundial. Esto debido gracias a que existen las facilidades en la construcción de las plantas generadoras, hay predisposición por parte de los gobiernos para proveer de permisos de operación de estas plantas y a que el gas natural es una energía mucho más limpia que el resto de hidrocarburos porque genera menos emisiones de contaminantes a la atmosfera. Después del uso del carbón, el gas natural es la fuente de generación de electricidad con amplio crecimiento a nivel mundial como se aprecia en la figura 1.³

Figura 1. Generación de electricidad global



Fuente: BALAT, M., Global Trends on Production and Utilization of Natural Gas, Energy Sources Part B: Economics Planning and Policy, 2009, p. 333.

³ Ibíd., p. 31.g

1.1 MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA.

El desarrollo de los motores de combustión interna, a crecidos en los últimos 100 años gracias a que estos son usados por industrias como la de transporte, de hidrocarburos, de generación eléctrica, etc. Debido a su masivo uso alrededor del mundo, los gobiernos cada vez buscan que estos motores sean eficientes tanto en consumo de combustibles y en emisiones de contaminantes a la atmósfera. Los motores de combustión interna generan potencias entre 100 a 3 500 hp, mientras que las turbinas de gas generan de 1500 a 75000 hp.⁴

Los MCI pueden trabajar con combustibles gaseosos y líquidos como: basura, madera, gas natural procesado, gas natural de yacimiento, propano, entre otros. Sin embargo, los motores que funcionan a gas natural presentan mayor eficiencia porque pueden trabajar con relaciones de compresión del orden de doce a trece, mientras que los que usan combustible líquido, con relaciones de compresión de hasta nueve.⁵

A continuación, en el siguiente apartado se presentarán los conceptos básicos y relevantes que se tuvieron en cuenta para el desarrollo de este proyecto. Estos conceptos le permitirán al lector mejorar el entendimiento del mismo.

1.2 CLASIFICACIÓN DEL GAS NATURAL SEGÚN SU COMPOSICIÓN

De acuerdo a su composición, el gas se clásica en: gas ácido, gas agrio, gas dulce, gas seco y gas húmedo.

⁴ MARTÍNEZ, S., RIESCO, J., GALLEGOS, A., Procesos Alternativos de Combustión en Motores de Combustión Interna, Universidad de Guanajuato, Guanajuato, México, 2006, p. 3.

⁵ MENA INTRIAGO, D. F. Op.Cit., p. 32.

1.2.1 Gas ácido. Gas con contenido de H₂S y CO₂.⁶

1.2.2 Gas agrio. Gas que contiene más de 4 ppm de H₂S y menos de 2% de CO₂.⁷

1.2.3 Gas dulce. Gas que contiene menos de 4 ppm de H₂S y menos de 2% de CO₂.⁸

1.2.4 Gas Seco. Está compuesto principalmente por metano y posee algunos hidrocarburos intermedios. Usualmente algo de agua líquida se condensa en superficie.⁹

1.2.5 Gas húmedo. Gas con contenido de hidrocarburos líquidos que se condensan a condiciones de superficie.¹⁰

1.3 CONTROL DE PUNTO DE ROCÍO DE HIDROCARBURO.

El control de punto de rocío de hidrocarburo es el proceso mediante el cual, el gas rico es despojado de los componentes pesados C₃+. Este parámetro es muy importante en la cadena del gas natural, ya que afecta a los diferentes entes de la cadena.¹¹

⁶ PEREZ BALAGUERA, Carlos Andrés, & SANTOS SANTOS, Nicolás. Mejoramiento de la eficiencia de las plantas de endulzamiento de gas en CUSIANA [recurso electrónico]. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2013. p. 10.

⁷ *Ibíd.*, p. 10.

⁸ *Ibíd.*, p. 10.

⁹ MARGARITA RIBÓN, H. (2017). MÓDULO PROPIEDADES DE LOS HIDROCARBUROS [recurso electrónico]. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2017. p. 39.

¹⁰ *Ibíd.*, p. 38.

¹¹ PEREZ AGUDELO, Helí, POTOSI HERNÁNDEZ, Oscar Javier, & SANTOS SANTOS, Nicolás, Estudio técnico para optimizar la producción de condensados de Las Plantas De Gas Ventas En El CPF CUSIANA [recurso electrónico]. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2014.

1.4 ESPECIFICACIÓN DE CALIDAD PARA EL GAS VENTA EN COLOMBIA SEGÚN EL RUT

En la figura 2, se ilustran las especificaciones de calidad según el Reglamento Único de Transporte (RUT) para el gas venta en Colombia.

Tabla 1. Especificaciones de calidad del gas venta en Colombia según el RUT

PROPIEDAD FISICA DEL GAS	VALOR
Máximo poder calorífico superior	1150 BTU/pie ³
Máximo poder calorífico inferior	950 BTU/pie ³
Contenido de líquidos	Libre de líquidos
Máximo contenido de H ₂ S	0.25 granos/1000pc. 4 ppmv
Máximo contenido de CO ₂	2 % vol.
Máximo contenido de vapor de agua	6 lb/MMPCS
Máxima temperatura de entrada	120 °F
Mínima temperatura de entrada	45 °F
Contenido máximo de polvos y material en suspensión	0.7 granos/1000 pc Máximo tamaño de partículas 15 micras

Fuente: Tomado de la Resolución CREG 071 de 1999. Diario Oficial 43.859 de la República de Colombia, Bogotá, Colombia, 19 de enero de 2000.

1.5 TRANSFERENCIA EN CUSTODIA DEL GAS

La transferencia en custodia de gas natural, es el proceso que se da entre el proveedor y consumidor cuando la responsabilidad del Gas cambia de uno al otro. Ambas entidades realizan la medición del hidrocarburo para posteriormente determinar con exactitud los pagos a recibir o a desembolsar por el gas comercializado. El sistema de medición de transferencia en custodia es considerado la caja registradora en la negociación de compraventa, debido a que

se lleva a cabo un proceso de y intercambio de dinero. Por ello la medición de flujo de gas debe de ser un proceso que se realice con la mayor exactitud.¹²

Los medidores aprobados por la CREG para transferencia de custodia son: placa de orificio, ultrasónico, másico (coriolis), turbina, rotativo y diafragma.

1.6 CONCEPTOS BÁSICOS DE CONTROL

1.6.1 Variable de proceso y salida. La variable de proceso es la cantidad que se mide y controla, mientras que la variable de salida, es aquella que el controlador modifica para afectar el valor de la variable controlada. Comúnmente, la variable de proceso es la salida del sistema y por tanto controlarla significa medir el valor de ésta y aplicar la variable salida para corregir o limitar una desviación del valor medido a partir de un valor deseado.¹³

1.6.2 Plantas. Una planta en control, puede ser una parte de un equipo o un conjunto de las partes de una máquina que funcionan juntas. El propósito de la misma es ejecutar una operación particular.¹⁴

1.6.3 Procesos. Se llama proceso a cualquier operación que se va a controlar.¹⁵

¹² BARAJAS HERRERA, Edgar Javier, & BARRERO PÉREZ, Jaime Guillermo. Computador de flujo: Diseño construcción e implementación de un prototipo para medición de flujo de gas [recurso electrónico]. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2004. p. 16.

¹³ ÁLVAREZ ARRIETA, A., & ÁLVAREZ VERGARA, J. Diseño e implementación del sistema de control del secador de alimentos del laboratorio de Mecánica De Fluidos de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Montería, mediante el uso de un controlador siemens s7-200 y sistema SCADA wincc. Tesis Pregrado. Facultad de Ingeniería electrónica, Universidad Pontificia Bolivariana, Montería, 2010.

¹⁴ *Ibíd.*, p. 34.

¹⁵ *Ibíd.*, p. 34.

1.6.4 Sistemas. Un sistema es una combinación de componentes que actúan juntos y realizan un objetivo determinado. No necesariamente es físico, el concepto se aplica también a fenómenos abstractos y dinámicos, tales como los que se encuentran en la economía. Por tanto, esta palabra debe interpretarse como una implicación de sistemas físicos, biológicos, económicos y similares.¹⁶

1.6.5 Control realimentado. El control realimentado se refiere a una operación que, en presencia de perturbaciones, tiende a reducir la diferencia entre la salida de un sistema y alguna entrada de referencia. De modo que lo continúa haciendo con base en esta diferencia.¹⁷

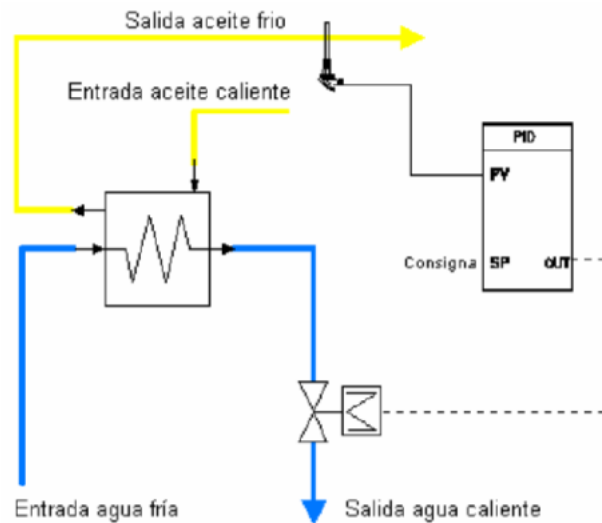
1.6.6 Los lazos de regulación. En todo proceso industrial existe una señal de proceso, una consigna y una acción de control. Estas tres variables están interrelacionadas entre sí por medio de lo que se denomina un lazo de regulación. En la figura 13 se observa un ejemplo que puede ser válido para definirlo.¹⁸

¹⁶ OGATA, Katsuhiko. Dinámica de sistemas. 1 ed., Editorial Prentice Hall: México, 1987.

¹⁷ OGATA, Katsuhiko. Ingeniería de control moderna, Pearson Educations, tercera edición. p. 669-690.

¹⁸ ÁLVAREZ ARRIETA, A., & ÁLVAREZ VERGARA, J. Op.Cit., p. 34.

Figura 2. Sistema de control de temperatura PID



Fuente: ÁLVAREZ ARRIETA, A., & ÁLVAREZ VERGARA, J. Diseño e implementación del sistema de control del secador de alimentos del laboratorio de Mecánica De Fluidos de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Montería, mediante el uso de un controlador siemens s7-200 y sistema SCADA wincc. Tesis Pregrado. Facultad de Ingeniería electrónica, Universidad Pontificia Bolivariana, Montería, 2010, p. 35.

Para el caso de la Figura 3, la variable de proceso (PV, del inglés process value) es la temperatura de salida de aceite del intercambiador, la señal de consigna (SP, del inglés set point) es el valor de temperatura deseada y la salida de control (OUT, ó CV, output ó control value, respectivamente y en inglés) es la acción que va a producir la apertura ó cierre de la válvula motorizada, para que entre más ó menos agua fría al intercambiador y de esa modo alcanzar la temperatura deseada.¹⁹

La estrategia de control utiliza un dispositivo PID que en función de unos parámetros de ajuste internos variará la salida OUT intentando que la diferencia entre la consigna SP y el valor de proceso PV sea mínima ó nula. Las siglas PID provienen de los tres parámetros de ajuste más importantes del mismo, que son, la ganancia proporcional (P), el tiempo integral (I) y el tiempo derivativo (D).²⁰

¹⁹ *Ibíd.*, p. 35.

²⁰ *Ibíd.*, p. 35.

1.6.7 La acción Proporcional. Genera una salida de control proporcional al error entre SP y PV. Si este parámetro es la ganancia proporcional, dicha acción será directamente proporcional al error. En cambio, si el parámetro es la banda proporcional la acción de control será inversamente proporcional al error entre SP y PV.²¹

1.6.8 La acción Integral. Produce un cambio en el tiempo, es decir, va a hacer que la acción de control varíe en sentido ascendente ó descendente, aunque el error entre el SP y el PV sea el mismo. Al igual que en el caso anterior hay dos tipos de tiempos integrales, uno viene dado en repeticiones por minuto y otro en minutos por repetición y al igual que en el caso anterior, uno es inverso del otro.²²

1.6.9 Acción derivativa. Varía la acción de control en función de la velocidad del proceso, esto es en función de la velocidad con que crece ó decrece el error entre SP y PV.²³

1.7 SISTEMA HMI O SCADA

Un sistema SCADA o HMI es una interfaz entre el hombre y el proceso, que permite la adquisición de datos y control de dicho proceso. A través de esta interfaz se puede hacer la representación gráfica de un proceso para desde un panel de operador o computador, realizar acciones como la modificación de valores de proceso. También se pueden emitir avisos o alarmas de valores críticos en el proceso, así como archivar valores de proceso y avisos. En la figura 4 se ilustra un ejemplo de un sistema SCADA o HMI.²⁴

²¹ *Ibíd.*, p. 35.

²² *Ibíd.*, p. 35.

²³ *Ibid.*, p. 31.

²⁴ *Ibíd.*, p. 35.

Figura 3. Ejemplo de un sistema SCADA o HMI



Fuente: AUTOMATIZARLO. ¿Qué es un SCADA? [En línea]. Abril 2011. [Consultado: 10 de septiembre de 2018]. Disponible en internet: <http://automatizarlo.blogspot.com/2011/04/scada.html>

2 IDENTIFICACION DE LAS PRINCIPALES FACILIDADES DE SUPERFICIE PARA EL TRANSPORTE Y ACONDICIONAMIENTO DEL FLUJO DE GAS DE SUMINISTRO DE LA PLANTA TERMOELÉCTRICA

Para el desarrollo de la ingeniería conceptual de este proyecto, fue necesario hacer un estudio de todo el proceso que requiere el gas antes de ser suministrado a la planta termoeléctrica, para que, en base a los datos obtenidos en dicho estudio, se pudieran identificar las principales facilidades de superficie.

A continuación, se describen las principales facilidades de superficie a tener en cuenta para el diseño conceptual del sistema de control.

2.1 PLANTA DE GAS

Inicialmente, la planta termoeléctrica contara con un suministro de gas entregado por una planta de gas, a una condición mínima de 5 MMSCFD a 40°F @ 290 psig para alimentar 10 generadores termoeléctricos. Pero como se esperan realizar ampliaciones a futuro dentro de la planta termoeléctrica, la condición máxima para el suministro de gas de la misma será de 10 MMSCFD a 100 °F @ 700 psig. Cabe destacar que el flujo de gas que suministrará la planta de gas, será entregado bajo las especificaciones de calidad del gas natural para la venta en Colombia según el RUT (figura 2), con una composición correspondiente a la de un gas seco.

2.2 ESTACIÓN DE MEDICIÓN A LA SALIDA DE LA PLANTA DE GAS

La planta de gas como agente de venta, cuenta con una estación de medición para cuantificar y fiscalizar el gas de venta.

La estación de medición consta de un medidor de tipo coriolis y de una válvula shutdown, cuyo cierre es activado desde el pulsador de parada de emergencia

general existente en la planta de gas, en caso de existir una alta presión en la entrada al gasoducto. Esta estación también dispone de un cromatógrafo que permite medir el contenido de H₂O, punto de rocío y poder calorífico de gas de venta.

En la línea de entra a la estación de medición, se dispondrá de una válvula, la cual estará como facilidad para conexión a futuro de cualquier entrada de gas a requerimiento, teniéndose en cuenta que, para el desarrollo de las tres fases de ingeniería de todo el proyecto de suministro de gas a la planta termoeléctrica, el caso máximo de presión de operación evaluado es de 700 psig.

2.3 GASODUCTO

Para suplir la necesidad de transporte del gas hasta la planta termoeléctrica, será necesario diseñar un gasoducto, teniéndose en cuenta que el caso máximo de presión de operación será de 700 psig con un flujo máximo de gas de 10 MMSCFD a 100 °F. Así como también la distancia entre la planta de gas y la planta termoeléctrica y las condiciones geográficas del terreno.

2.4 TRAMPA DE ENVÍO Y RECIBO DE RASPADORES

Al inicio del gasoducto será necesario diseñará una estación de lanzamiento de la herramienta de marraneo o trampa de envió de raspadores. Así como también al final del gasoducto se implementará una trampa de recibo de raspadores. Esto con el fin de poderle realizar mantenimiento al gasoducto.

2.5 ESTACIÓN DE CONTROL EN LA PLANTA TERMOELÉCTRICA

Debido a las exigencias de funcionamiento de los generadores termoeléctricos y a los requerimientos por parte de la planta termoeléctrica, será necesario diseñar un sistema de medición dividido en tres etapas, para cuantificar el flujo de gas en tres puntos del proceso. De igual manera se diseñará un sistema de regulación de dos etapas para establecer la presión del gas en 50 psig.

2.6 SEPARADOR TIPO SCRUBBER

Para garantizar una larga vida útil de los generadores termoeléctricos, será necesario diseñar un separador tipo scrubber, con el cual se buscará tener una corriente de gas mucho más adecuada para el funcionamiento de estos generadores. El diseño del separador tipo scrubber se elaborará teniendo en cuenta las condiciones de la corriente del gas a la entrada de este equipo, para que al interior del mismo se pueda llevar un correcto control de punto de rocío de hidrocarburos que permita recobrar líquidos de la corriente del gas.

2.7 BATERÍA DE FILTROS

Una vez el gas recorra todos los sistemas anteriormente mencionados y que tengas la presión deseada (50 psig), éste llegará a un manifold donde se distribuirá en un sistema conformado por 10 filtros asociados cada uno a un generador termoeléctrico.

2.8 SISTEMA DE ALIVIO

El sistema de alivio será diseñado como elemento de protección de las tuberías y equipos que conformaran la estación donde se alojaran todas las facilidades necesarias para el acondicionamiento del gas. Este sistema de alivio debe de ser

diseñado de acuerdo a los equipos y tuberías que sean necesario proteger de sobrepresiones en el sistema.

2.9 SEPARADOR TIPO KOD Y TEA

El separador tipo KOD será el equipo que recibirá todas las corrientes de gas recopiladas por el sistema de alivio, para mandar el gas separado en su interior a TEA.

Para el diseño del KOD y de la TEA, se deberán tener en cuenta los valores máximos de presión, temperatura y flujo del gas, que pueda entregar el sistema de alivio.

2.10 SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CONDENSADO

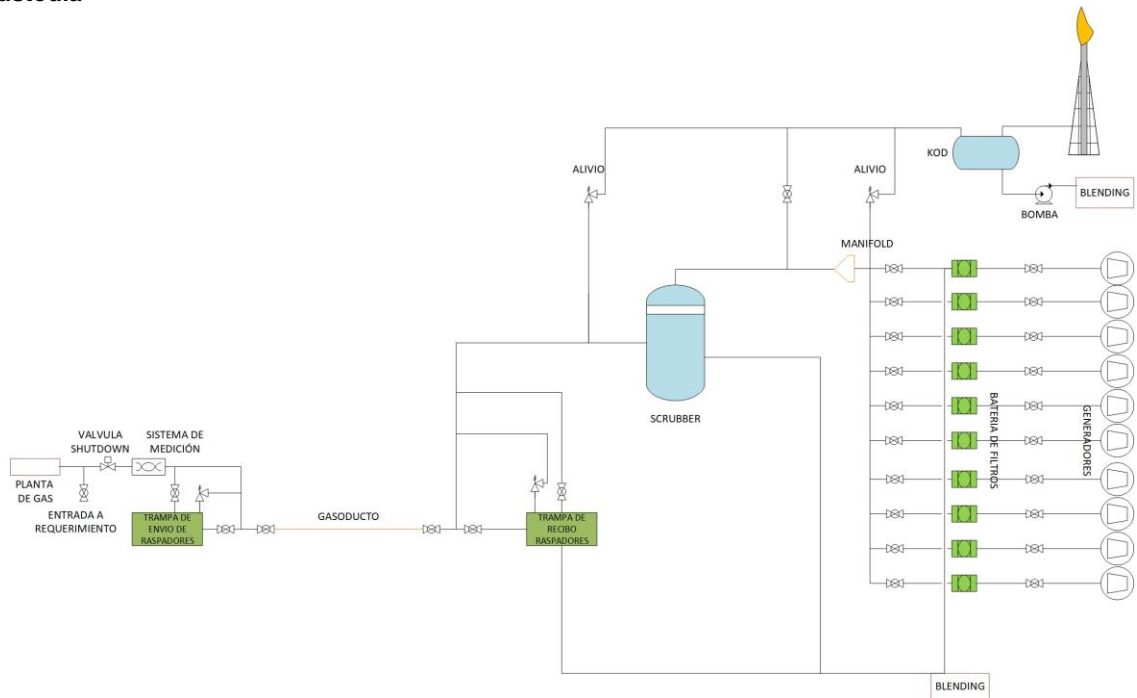
El sistema de recuperación de condensados será el encargado de tomar los líquidos separados en el Scrubber, los líquidos del KOD, los condensados removidos en la batería de filtros y los líquidos arrastrados por la herramienta de marraneo, para que estos sean dispuestos en un sistema de Blending (Mezcla).

Una vez implementadas todas las facilidades de superficie para el transporte y acondicionamiento del gas, se dará paso a la implementación del sistema de control que acondicionará la corriente de gas a 50 psig, partiendo de las bases que se establezcan en el diseño conceptual que se presentará en este trabajo de grado.

2.11 DIAGRAMA GENERAL DE PROCESO

En la figura 5 se pueden observar las principales facilidades de superficies necesarias para el transporte en custodia del gas de suministro de la planta termoeléctrica.

Figura 4. Principales facilidades de superficie para el transporte y acondicionamiento del gas en custodia



Cabe destacar que el diseño de las facilidades de superficie para el transporte y acondicionamiento del gas en custodia, no hacen parte de los alcances de este proyecto y cuyo desarrollo estará a cargo de la planta termoeléctrica.

3 EQUIPOS QUE FORMARAN PARTE DEL SISTEMA DE CONTROL

Para realizar el diseño conceptual del sistema de control, fue necesario realizar el estudio del proceso que requiere el gas para ser suministrado a los generadores termoeléctrico, para que, en base a los datos obtenidos en dicho estudio, se pudieran determinar aspectos como: rangos de operación, robustez, confiabilidad, protocolos de comunicación y tipo de respuesta de los equipos que formará parte del sistema de control.

Debido a que el objetivo de este proyecto es hacer una ingeniería conceptual, algunos de los equipos que aquí se describen, no son definidos por tipo o modelo, ya que para ello se necesita de una ingeniería básica.

3.1 SENSOR DE TEMPERATURA PT100

La PT100 (figura 6) es un sensor de temperatura que posee en su interior un alambre de platino que a 0 °C tiene 100 ohm y que al aumentar la temperatura aumenta su resistencia eléctrica. El incremento de la resistencia no es lineal, pero si creciente y característico del platino, de modo que mediante tablas como la descrita en la figura 7, es posible encontrar la temperatura exacta a la que corresponde.²⁵

²⁵ ARIAN Control & Instrumentación. Pt100, su operación, instalación y tablas [En línea]. S.f. PDF. p. 1. [Consultado: 06 de septiembre de 2018]. Disponible en Internet: <http://www.arian.cl/downloads/nt-004>

Figura 5. Sensor de presión PT100



Fuente: SRC. ¿Qué ES UN SENSOR PT100? [En línea]. S.f. [Consultado: 06 de septiembre de 2018]. Disponible en Internet: <https://srcls.com/que-es-un-sensor-pt100/>

Figura 6. Ejemplos de valores de resistencia según la temperatura en la PT100

Pt 100 ohms	°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-190	22.78	22.35	21.93	21.50	21.08	20.66	20.23	19.81	19.38	18.96	
-180	27.01	26.59	26.17	25.74	25.32	24.90	24.47	24.05	23.63	23.20	
-170	31.24	30.81	30.39	29.97	29.55	29.13	28.70	28.28	27.86	27.44	
-160	35.45	35.03	34.61	34.19	33.77	33.34	32.92	32.50	32.08	31.66	
-150	39.65	39.23	38.81	38.39	37.97	37.55	37.13	36.71	36.29	35.87	
-140	43.78	43.37	42.96	42.54	42.13	41.72	41.30	40.89	40.48	40.06	
-130	47.90	47.49	47.08	46.67	46.26	45.85	45.43	45.02	44.61	44.20	
-120	52.01	51.60	51.19	50.78	50.37	49.96	49.55	49.14	48.73	48.32	
-110	56.11	55.70	55.29	54.88	54.48	54.07	53.66	53.25	52.84	52.43	
-100	60.20	59.79	59.38	58.98	58.57	58.16	57.75	57.34	56.93	56.52	
-90	64.23	63.83	63.43	63.02	62.62	62.22	61.81	61.41	61.01	60.60	
-80	68.25	67.85	67.45	67.05	66.65	66.25	65.84	65.44	65.04	64.64	
-70	72.26	71.86	71.46	71.06	70.66	70.26	69.86	69.46	69.06	68.66	
-60	76.26	75.86	75.46	75.06	74.67	74.27	73.87	73.47	73.07	72.67	
-50	80.25	79.85	79.45	79.06	78.66	78.26	77.86	77.46	77.06	76.66	
-40	84.22	83.83	83.43	83.03	82.64	82.24	81.84	81.44	81.05	80.65	
-30	88.18	87.79	87.39	87.00	86.60	86.21	85.81	85.41	85.02	84.62	
-20	92.13	91.74	91.35	90.95	90.56	90.16	89.77	89.37	88.98	88.58	
-10	96.07	95.68	95.29	94.89	94.50	94.11	93.71	93.32	92.92	92.53	
0	100.00	99.61	99.22	98.82	98.43	98.04	97.65	97.25	96.86	96.47	

Fuente: ARIAN Control & Instrumentación. Pt100, su operación, instalación y tablas [En línea]. s.f. [Consultado: 06 de septiembre de 2018]. Disponible en Internet: <http://www.arian.cl/downloads/nt-004.pdf>. p. 5.

Los sensores de temperatura PT100 fácilmente pueden entregar precisiones de una décima de grado, lo que los hace una buena opción a la hora de usarlos para mediciones en procesos industriales.²⁶

²⁶ Ibid., p. 2.

Las PT100 pueden ser fabricadas bajo los requisitos de cada aplicación (diámetros y longitudes), con una amplia gama de accesorios para su montaje como, por ejemplo: bridas, racores y cabezales de conexión. También se encuentran disponibles en configuración simple y doble a 2, 3 o 4 hilos y con amplios rangos de temperatura de trabajo.²⁷

Los sensores PT100 serán empleados para medir temperatura en los puntos donde el proceso lo requiera.

3.2 TRANSMISOR DE TEMPERATURA YTA610

El YTA610 (figura 8) es un transmisor de temperatura que convierte la señal de una RTD en una señal analógica de corriente continua de 4 a 20 miliamperios (protocolo HART) o en una señal digital de protocolo Fieldbus o FOUNDATION, siendo de muy alta precisión y con la robustez necesaria para trabajar en ambientes industriales (aplicaciones de manejo de gas). Estos transmisores están disponibles con entradas para dos sensores RTD para medir temperatura diferencial o para emplear una función de respaldo que consiste en dejar una RTD en espera por si la otra falla y de ese modo no perder valores de medición en el proceso.²⁸

²⁷ SRC. Sensores de temperatura RTD [En línea]. S.f. PDF. p. 1. [Consultado: 06 de septiembre de 2018]. Disponible en Internet:

https://srcsl.com/catalogoPDFs/SensoresTemp/Pt100/Introducci%C3%B3n_sensores_modelos

²⁸ YOCAGAWA. Transmisor de Temperatura YTA610 [En línea]. s.f. [Consultado: 06 de septiembre de 2018]. Disponible en Internet: <https://www.yokogawa.com/mx/solutions/products-platforms/field-instruments/temperature-transmitters/field-mount/yta610-temperature-transmitter/>

Figura 7. Transmisor de temperatura YTA610



Fuente: YOCAGAWA. Transmisor de Temperatura YTA610 [En línea]. s.f. [Consultado:06 de septiembre de 2018]. Disponible en Internet: <https://www.yokogawa.com/mx/solutions/products-platforms/field-instruments/temperature-transmitters/field-mount/yta610-temperature-transmitter/>

Los Trasmisores de temperatura serán usados en conjunto con los sensores PT100, para medir temperatura en donde el proceso lo requiera.

3.3 TRANSMISORES DE PRESIÓN EJX630B Y EJX630C

Los transmisores de presión EJX630B y EJX630C (figura 9), son equipos de alto rendimiento, desempeño y estabilidad. Los cuales cuentan con un sensor resonante de silicio monocristal adecuados para medición de gas. El rango de operación del EJX630B va de -14,5 a 290 psi y el del EJX630C va de -14,5 a 1450 psi, por lo que son una buena opción para emplearlos en la aplicación del sistema de control. Ambos transmisores cuentan con una salida analógica de 4 a 20 miliamperios de corriente continua correspondiente a la presión medida, disponibles también para protocolos Fieldbus y FOUNDATION.²⁹

²⁹ YOCOGAWA. General Specifications [En línea]. June 2017. PDF. p. 1. [Consultado: 07 de junio de 2018]. Disponible en Internet: <https://web-material3.yokogawa.com/GS01C25F05-01EN>

Figura 8. Presentación física de los transmisores de presión EJX630B y EJX630C



Fuente: YOCOGAWA. General Specifications [En línea]. June 2017. PDF. p.1 [Consultado: 07 de junio de 2018]. Disponible en Internet: <https://web-material3.yokogawa.com/GS01C25F05-01EN>. Los transmisores de presión EJX630B y EJX630C, serán usados en la aplicación del sistema de control, donde el proceso lo requiera.

3.4 SWITCH A 01 09X SERIES DE NIVEL ALTO PARA EL SCRUBBER Y EL KOD

El A 01 09X SERIES (figura 10), es un switch de nivel alto que se puede usar tanto como para el scrubber, como para el KOD, el cual contiene en su interior un interruptor normalmente abierto, que cierra sus contactos cuando el nivel de liquido en el scrubber o en el KOD, se eleve por encima de su bolla. Una vez se cierren los contactos en el interruptor, éste manda una señal de voltaje aun controlador o actuador. La Potencia de conmutación del Switch es de 250 VAC a 5 Amp para corriente alterna y de 30 VDC a 5 Amp para corriente directa. La presión de trabajo es de máximo 362,59 psi y la temperatura de trabajo es de máximo 572 °F. Por lo anterior, éste Switch de nivel es una buena opción ya que las condiciones

de temperatura y de presión al interior de scrubber serán de máximo 100 °F y de máximo 100 psig, así como para el KOD.³⁰

Figura 9. Switch A 01 09X SERIES de nivel alto para el scrubber y el KOD



Fuente: DIRECT INDUSTRY. INTERRUPTOR DE NIVEL DE FLOTADOR HORIZOTAL / PARA LÍQUIDOS / DE ACERO INOXIDABLE / DE ALUMINIO A 01 09X SERIES [En línea]. s.f. [Consultado: 07 de septiembre de 2018]. Disponible en Internet: http://www.directindustry.es/prod/trimod-besta-11841.html#product-item_1216465

3.5 SWITCH A 01 09X SERIES DE NIVEL BAJO PARA EL SCRUBBER Y EL KOD

El switch A 01 09X SERIES de nivel bajo en el scrubber o en él KOD, posee las mismas características del switch de nivel alto, con la diferencia que éste mandara la señal de voltaje al controlador o actuador cuan el nivel de líquido esté por debajo de su bolla.

³⁰ DIRECT INDUSTRY. Interruptor de nivel de flotador horizontal /para líquidos/ de acero inoxidable/ de aluminio A 01 09x Series. [En línea]. s.f. [Consultado: 07 de septiembre de 2018]. Disponible en Internet: http://www.directindustry.es/prod/trimod-besta-11841.html#product-item_1216465

3.6 INDICADOR DE NIVEL DE LÍQUIDO SERIES LG PARA EL SCRUBBER Y EL KOD

Los indicadores de nivel Series LG (figura 11), constan de un compartimiento que contiene un flotador magnético que sube o baja de acuerdo a la variación de nivel de líquido. Son contruidos según las conexiones que se realicen en el tanque de almacenamiento, reactor o contenedor donde se requiera medir el nivel de líquido. Estos indicadores de nivel pueden ser diseñados para soportar presiones de hasta 4500 psi y temperaturas de hasta 1100 °F.³¹

Los indicadores de nivel Series LG, van de la mano junto con unos transmisores magnetostrictivos Series LTM, los cuales se encargan de transformar la señal generada por la bolla magnética, en una señal estándar análoga de 4 a 20 miliamperios de corriente continua para que dicha señal sea interpretada por un PLC.³²

³¹ MAGTECH. Indicadores de Nivel Magnético Serios LG [En línea]. s.f. [Consultado: 2018-09-07]. Disponible en Internet: http://www.boletinindustrial.com/fotos/companias/originals/lg_12pg_spanish_lr60.pdf. p. 2.

³² *Ibíd.*, p. 6.

Figura 10. Indicador de nivel Series LG con su transmisor Series LTM



Figura 10 (Continúa): Fuente: MAGTECH. Indicadores de Nivel Magnético Series LG [En línea]. PDF. p.1. s.f. [Consultado: 07 de septiembre de 2018]. Disponible en Internet: http://www.boletinindustrial.com/fotos/companias/originals/lg_12pg_spanish_lr60

3.7 BOMBA ELÉCTRICA DE PALETAS PARA EL KOD

La bomba de paletas (figura 12), será la encargada de extraer los líquidos separados en el KOP para enviarlos al sistema de blending. Esta bomba deberá de contar con las especificaciones técnicas adecuadas para esta aplicación.

Figura 11. Ejemplo de una bomba de paleta



Fuente: ALIBABA. Portátil de llenado de GLP estación bombas de paletas de Gas eléctrica GLP líquido de la bomba de transferencia de [En línea], s.f. [Consultado: 09 de septiembre de 2018]. Disponible en Internet: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/portable-lpg-filling-station-vane-pumps-electric-gas-liquid-lpg-transfer-pump-60742668500.html>

3.8 MEDIDOR DE FLUJO TIPO CORIOLIS OPTIMASS 6000

El medidor de flujo OPTIMASS 6000 de tipo coriolis (figura 13), es un caudalímetro másico de alto rendimiento e idóneo para la medición de gas. Dentro de sus principales características radican: medición de masa, densidad y temperatura; cálculos de volumen, densidad referencial, concentración y velocidad. Por otra parte, cuenta con la capacidad de soportar temperaturas de $-94\text{ }^{\circ}\text{F}$ a $446\text{ }^{\circ}\text{F}$ y presiones de hasta 1450 psig.³³

³³ KROHNE. OPTIMASS 6000 Hoja de datos técnica [En línea]. Enero 2017. PDF. p. 8. [Consultado: 2018-09-07]. Disponible en Internet: https://cdn.krohne.com/dlc/TD_OPTIMASS6000_es_170126_4004211802_R03

Figura 12. Caudalímetro de tipo coriolis OPTIMASS 6000



Fuente: KROHNE. OPTIMASS 6000 Hoja de datos técnica [En línea]. Enero 2017. PDF. p. 1. [Consultado: 07 de septiembre de 2018]. Disponible en Internet: https://cdn.krohne.com/dlc/TD_OPTIMASS6000_es_170126_4004211802_R03

3.9 TRANSMISOR MFC 400 PARA CAUDALÍMETRO MÁSIICO DE TIPO CORIOLIS

El MFC 400 (figura 14), es un transmisor diseñado para caudalímetros de tipo coriolis, el cual toma la señal que le manda el caudalímetro y la convierte en una señal de protocolo HART, Foundation Fieldbus, Profibus PA y DP, PROFINET IO o Modbus, de acuerdo a como se vaya a usar. Esto, para transmitir los valores medidos a un PLC.³⁴

³⁴ KROHNE. MFC 400 Hoja de datos técnica [en línea]. Diciembre 2017. PDF. p. 9. [Consultado: 2018-09-07]. Disponible en Internet: <http://meditecna.com/wp-content/uploads/2016/12/Hoja-Tecnica-MFC-400>.

Figura 13. Transmisor de caudal MFC 400



Fuente: KROHNE. MFC 400 Hoja de datos técnica [en línea]. Diciembre 2017. PDF. p. 1. [Consultado: 07 de septiembre de 2018]. Disponible en Internet: <http://meditecna.com/wp-content/uploads/2016/12/Hoja-Tecnica-MFC-400>

Para la aplicación del sistema de control se recomienda que se usen dos caudalímetros de tipo coriolis junto con sus respectivos transmisores. Uno para medir el caudal de gas a la entrada de la estación de medición y el otro para medir el flujo a la salida del scrubber sin la componente líquida.

El caudalímetro OPTIMASS y el transmisor de caudal MFC 400 vienen en una presentación de un solo cuerpo, como se observa en la figura 13.

3.10 MEDIDOR DE CAUDAL DE GAS TIPO VORTEX PARA TEA

Un caudalímetro por desprendimiento de vórtices o conocido también como vortex (figura 15), está basado en el principio de Von Karman, el cual consiste en generar en forma periódica y alternativa, un tren de vórtices cuando un fluido líquido o gaseoso pasa a través de un obstáculo de forma triangular, aguas debajo de esta restricción. Mediante un sensor piezoeléctrico se detecta la frecuencia de vibración que es proporcional al volumen del flujo circulante. Esta frecuencia es entregada a un transmisor que posteriormente transforma dicha señal, a un estándar de 4 a 20 miliamperios de corriente continua para comunicación con un PLC. Los caudalímetros vortex son ampliamente usados para la medición de

líquidos, gases y vapor. Ya que éstos no necesitan de medición de presión, temperatura, densidad y viscosidad del fluido y tienen la ventaja de no poseer piezas en movimiento.³⁵

Figura 14. Ejemplo de un caudalímetro tipo vortex



Fuente: NIKRON AUTOMACION. CAUDALIMETTROS VORTEX [En línea]. s.f. [Consultado: 09 de septiembre de 2018]. Disponible en Internet: <http://nikron.com.ar/automacion/productos/caudalimetros-vortex/>

El medidor de caudal tipo vortex para TEA, será usado para cuantificar el flujo de gas que se desvíe a la misma. Éste será dimensionado de acuerdo al flujo de gas que se use para diseñar la TEA.

3.11 VÁLVULA DE CONTROL 1

Una válvula de control es un actuador que permite controlar el paso de un flujo a través de la misma, mediante su cierre o apertura, proporcional a una señal de mando generada por un controlador o autómatas.

La válvula de control 1 (figura 16) debe de ser un equipo robusto, preciso y especial para aplicaciones de gas. Se debe de dimensionar para que soporte un flujo máximo de gas de 10 MMSCFD a 100 °F @ 700 psig. Debe de disponer de

³⁵ NIKRON AUTOMACION. CAUDALIMETTROS VORTEX [En línea]. s.f. [Consultado: 09 de septiembre de 2018]. Disponible en Internet: <http://nikron.com.ar/automacion/productos/caudalimetros-vortex/>

una entrada de control analógica de 4 a 20 miliamperios de corriente continua para poder controlar su cierre o apertura desde un PLC.

Figura 15. Ejemplo de una válvula de control



Fuente: FLOWSERVER. LINEAR GLOBE/ANGLE CONTROL VALVES – MARK ONE [En línea]. s.f. [Consultado: 07 de septiembre de 2018]. Disponible en Internet: <https://www.flowserve.com/en/products/valves/linear-control-valves/linear-globeangle-control-valves/linear-globeangle-control-valves-mark-one>

La válvula de control 1 será usada para establecer una presión a la entrada del scrubber de 100 psig, teniéndose en cuenta que aguas arriba de la válvula se tendrá una presión de 290 a 700 psig.

3.12 VÁLVULA DE CONTROL 2

La válvula de control 2, debe de contar con robustez, precisión y dimensionada de tal forma que pueda manejar un flujo de gas de máximo 10 MMSCFD a 100 °F @ 100 psig. De modo que también posea una entrada de control analógica de 4 a 20 miliamperios de corriente continua para poder controlar su cierre o apertura desde un PLC. Esta válvula de control será usada para establecer una presión aguas abajo de 50 psig, teniéndose en cuenta que el máximo valor de presión aguas arriba de ella, será de 100 psig.

3.13 VÁLVULA DE SHUTDOWN 1

Las válvulas de Shutdown (figura 17), son válvulas de control empleadas como elemento de seguridad. Por tanto, deben de ser robustas, precisas y de rápida respuesta.³⁶

La válvula de Shutdown 1 debe de ser dimensionada para un flujo de gas de máximo 10 MMSCFD a 100 °F @ 700 psig y contar con una entrada digital para poder controlar su cierre o apertura desde un PLC. Esta válvula estará ubicada a la entrada de la estación de medición, para que en caso de existir una sobre presión en el gasoducto, esta se cierre y proteja todas las instalaciones aguas debajo de ella.

Figura 16. Ejemplo de una válvula de shutdown



Fuente: ECI, Equipos y Controladores Industriales. Válvula de Shutdown [En línea]. s.f. [Consultado: 09 de septiembre de 2018]. Disponible en Internet: <http://www.eci.co/es/prods/valvulas-de-shutdown>

3.14 VÁLVULA DE SHUTDOWN 2

La válvula de Shutdown 2 debe de ser dimensionada para un flujo de gas de máximo 10 MMSCFD a 100 °F @ 50 psig y contar con una entrada digital para poder controlar su cierre o apertura desde un PLC. Esta válvula estará ubicada

³⁶ ECI, Equipos y Controladores Industriales. Válvula de Shutdown [En línea]. s.f. [Consultado: 09 de septiembre de 2018]. Disponible en Internet: <http://www.eci.co/es/prods/valvulas-de-shutdown>

entre la válvula de control 2 y el manifold y será usada para proteger la integridad de los generadores termoelectrónicos, en caso de que la presión del gas se eleve por encima de 50 psig aguas arriba de la válvula.

3.15 VÁLVULA DE SHUTDOWN 3

La válvula de Shutdown 3 debe de ser dimensionada para un flujo de gas de máximo 10 MMSCFD a 100 °F @ 100 psig y contar con una entrada digital para poder controlar su cierre o apertura desde un PLC. Esta válvula estará ubicada en la salida de líquidos del scrubber para que, en caso de existir un nivel de líquido alto, estos se evacúen a través de dicha la válvula.

3.16 RTU2020

La RTU2020 (figura 18) de sus siglas en inglés Remote Terminal Unit, es una unidad terminal remota con la capacidad de monitorear y diagnosticar procesos, de una forma segura y confiable. Esta unidad está dotada con la capacidad de ampliación (figura 19) para cuando el número de variables de proceso son mayor a su capacidad de manejo, convirtiéndola en un equipo especial de campo. Es compatible con varios protocolos de comunicación de campo como TCP/IP, Modbus, HART, entre otros. Cuenta con la capacidad de comunicación remota con sistemas SCADA y es un equipo robusto que resiste los ambientes más hostiles.³⁷

³⁷ HONEYWELL. RTU2020 Process Controller Specification [En Línea]. Agosto 2015. PDF. [Consultado: 09 de septiembre de 2018]. Disponible en Internet: https://www.honeywellprocess.com/library/marketing/tech-specs/SC03-300-110_RTU2020

Figura 17. RTU2020



Fuente: HONEYWELL. RTU2020 Process Controller [En línea]. Noviembre 2015. PDF. [Consultado en: 09 de septiembre de 2018]. Disponible en Internet: <https://www.honeywellprocess.com/library/marketing/notes/pin-honeywell-rtu2020>

Figura 18. Módulos de ampliación de la RTU2020



Fuente: HONEYWELL. RTU2020 Process Controller [En línea]. Noviembre 2015. PDF. [Consultado en: 09 de septiembre de 2018]. Disponible en Internet: <https://www.honeywellprocess.com/library/marketing/notes/pin-honeywell-rtu2020.pdf>

Las RTU2020, dentro de su arquitectura de programación, contienen una variedad de librerías que le permiten usar diferentes tipos de medidor. De igual manera contiene librerías para obtener una variedad de cálculos de la corriente de gas (figura 20).

Figura 19. Librerías de la RTU2020 para medidores y cálculos del flujo de gas

Librería	Tipo de medido / Calculo
AGA 3	Medidor de orificio.
AGA 5	Cálculo de volumen a energía.
AGA 7	Medidor de turbina.
AGA 8	Compresibilidad de gas.
AGA 9	Medidor ultrasónico.
AGA 11	Medidor de coriolis.
API 11.1	Factor de corrección de volumen.
API 11.2.2 / M	Factores de compresibilidad.
API 11.2.4	Corrección de temperatura.
API 11.2.5	Factor de corrección para la presión.
ISO 6976 Gas natural	densidad de valor calorífico, densidad relativa y Índice de Wobbe.
ISO 5167	Dispositivos de presión diferencial tales como placas de orificio y venturis.

La RTU2020 será la unidad lógica programable que ejercerá el control sobre el proceso de medición y acondicionamiento del gas de suministro a la planta termoeléctrica.

4 SISTEMA DE CONTROL PROPUESTO PARA EL ACONDICIONAMIENTO DEL GAS DE SUMINISTRO DE LA PLANTA TERMOELÉCTRICA

Por efectos de simplificación, en las tablas 1 y 2 se presentan unas listas de abreviaciones de los protocolos de comunicación y equipos a mencionar en este apartado.

Tabla 2. Abreviaciones para los protocolos de comunicación

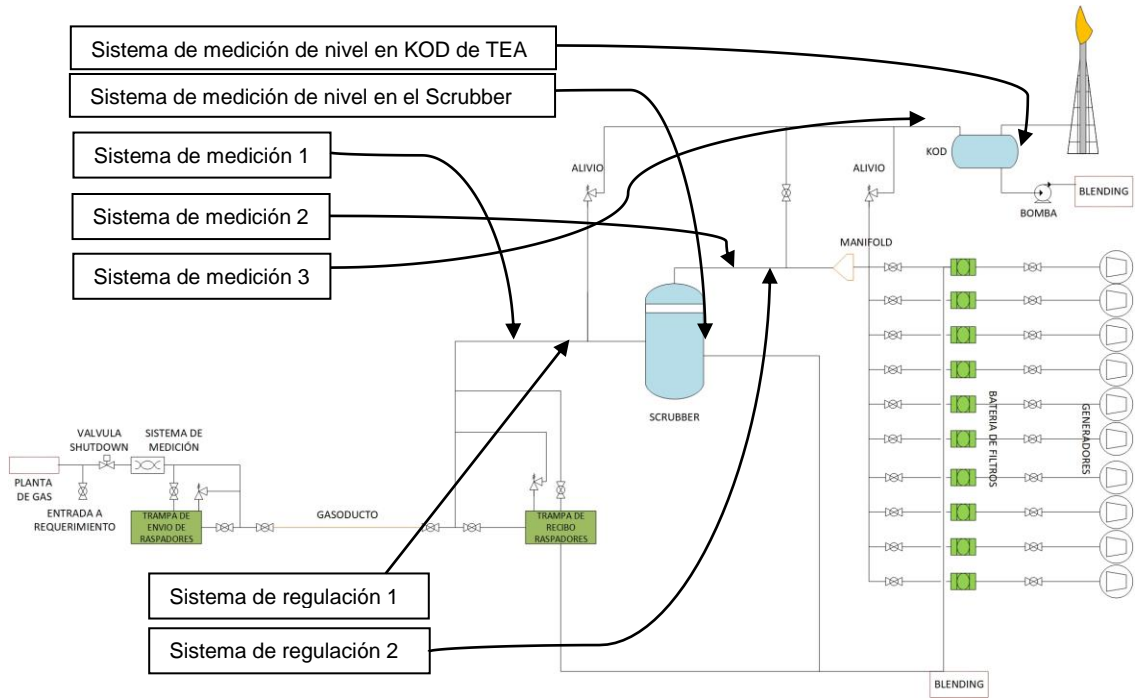
Nombre	Abreviación
Protocolo estándar de 4 a 20 mA C.C	PCS4-20mA
Protocolo digitala 0V - L; 24V - H	PCD24V
Protocolo Modbus (RS485)	PCModbus

Tabla 3. Abreviaciones para los equipos

Nombre	Abreviación
PLC RTU2020	RTU
sensor de temperatura PT100	ST-PT100
Transmisor de temperatura YTA610	TT-YTA610
Sensor-Transmisor de presión EJX630B	STP- EJX630B
Sensor-Transmisor de presión EJX630C	STP- EJX630C
Switch de nivel alto A 01 09X SERIES	SNH-AS
Switch de nivel bajo A 01 09X SERIES	SNL-AS
indicador de nivel Series LG	IN-SLG
Caudalímetro tipo coriolis OPTIMASS 6000	CTC-OP
Caudalímetro tipo vortex	CTV
Bomba eléctrica de paletas	BEP
Válvula de control 1	VC-1
Válvula de control 1	VC-2
Válvula de Shutdown 1	VS-1
Válvula de Shutdown 2	VS-2
Válvula de Shutdown 3	VS-3
Pulsador de parada de emergencia	PPE

En el diagrama de la figura 21 se muestran los puntos en donde se instalarán los sistemas de medición y actuadores que formarán parte del sistema de control.

Figura 20. Puntos de instalación de los instrumentos de campo

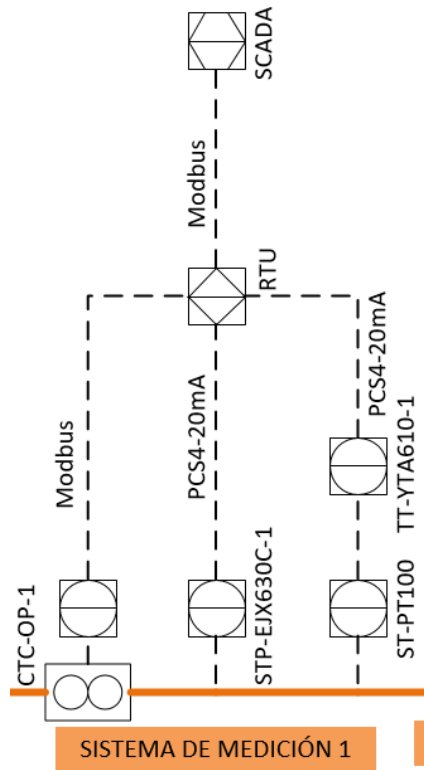


A continuación, se describen los sistemas que formaran parte del sistema de control.

4.1 SISTEMA DE MEDICIÓN 1

El sistema de medición 1, estará conformado por un sensor de temperatura ST-PT100-1, un transmisor de temperatura TT-YTA610-1, sensor-transmisor de presión STP-EJX630C-1 y por un caudalímetro CTC-OP-1. En el diagrama de la figura 22 se presenta la jerarquía de control para este sistema.

Figura 21. Sistema de medición 1



A la cabeza de este sistema estará la RTU, la cual recibirá las señales de los transmisores de presión (STP-EJX630C-1) y de temperatura (TT-YTA610-1) por medio del protocolo de comunicación PCS4-20mA. Y a través del protocolo Modbus, recibirá los valores de medición del caudalímetro CTC-OP-1.

Mediante el bloque AGA 11 que contiene la RTU en su arquitectura de programación para medidores de tipo coriolis, ésta realizará los cálculos de medición de la corriente de gas, como si se tratara de un computador de flujo, permitiendo conocer los valores de masa, densidad, temperatura, volumen, concentración, velocidad y presión de la corriente de gas. Los datos de medición calculados por la RTU serán enviados a la interfaz HMI o SCADA por medio de protocolo Modbus para su visualización y registro en base de datos. Cada una de las variables obtenidas de la medición del flujo de gas, serán presentadas en la

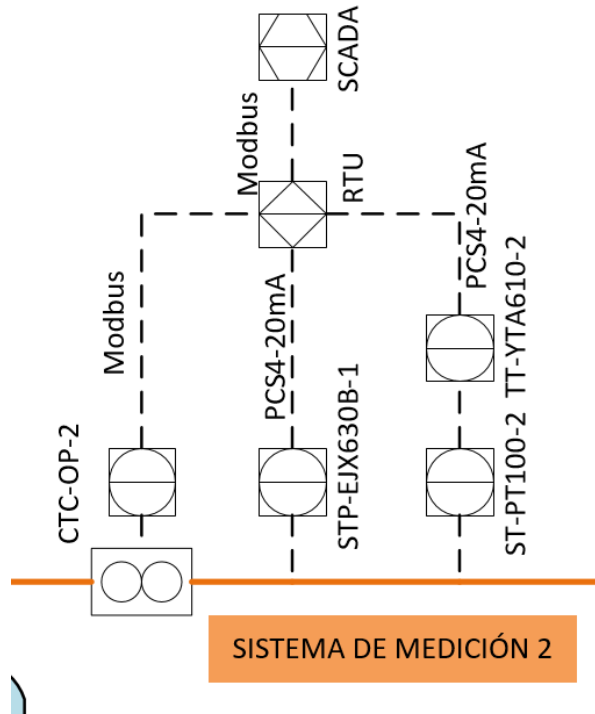
interfaz HMI con sus correspondientes unidades, de acuerdo como lo solicite el usuario final.

4.2 SISTEMA DE MEDICIÓN 2

El sistema de medición 2 (figura 23), estará conformado por un sensor de temperatura ST-PT100-2, un transmisor de temperatura TT-YTA610-2, sensor-transmisor de presión STP-EJX630B-1 y por un caudalímetro CTC-OP-2.

Al igual que en el sistema de medición 1, en el sistema de medición 2 los datos de medición de presión, temperatura y caudal del gas, serán recibidos por la RTU a través de los protocolos PCS4-20mA y Modbus, como se ilustra en la figura 23. Para que ésta realice los respectivos cálculos de medición del flujo de gas en este punto del proceso y así enviar los datos obtenidos a la interfaz HMI para sus visualización y registro en base de datos.

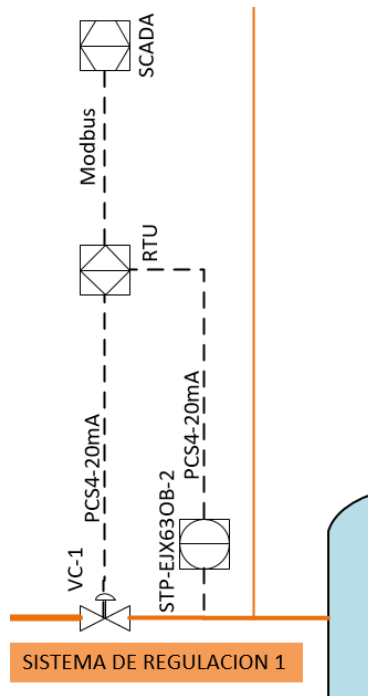
Figura 22. Sistema de medición 2



4.3 SISTEMA DE MEDICIÓN 3

El sistema de medición 3 (figura 24), estará conformado por un caudalímetro CTV, el cual, a través de su transmisor de caudal enviará una señal PCS4-20mA a la RTU, la cual transformará dicha señal en unidades de caudal de gas (MMSCFD) para su visualización en un sistema HMI y para almacenamiento en base de datos.

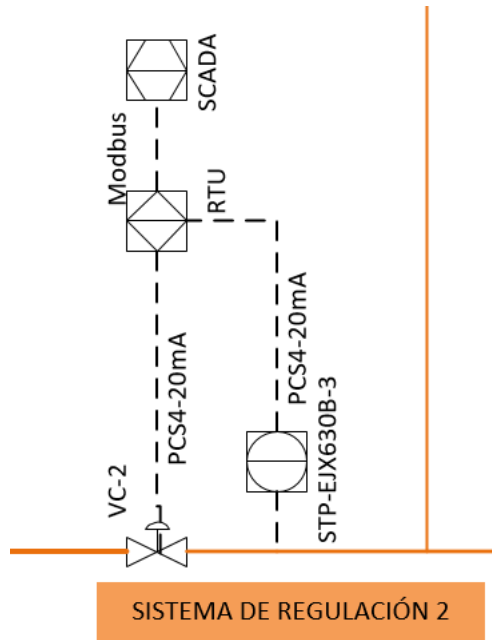
Figura 24. Sistema de regulación 1



4.5 SISTEMA DE REGULACIÓN 2

El sistema de regulación 2, estará conformado por una válvula de control VC-2 y por un sensor-transmisor de presión STP-EJX630B-3. El STP-EJX630B-3 estará ubicado aguas abajo de la válvula VC-2 como se indica en la figura 26. La RTU tomara los datos de medición del STP-EJX630B-3 por medio de protocolo PCS4-20mA y enviara la señal de control a la válvula VC-2 por medio del mismo protocolo.

Figura 25. Sistema de medición 2



Para el sistema de regulación 2, la estrategia de control será similar que la que se empleará en el sistema de regulación 1 pero con la diferencia que el control proporcional que ejercerá la RTU en la válvula VC-2, permitirá fijar la presión en 50 psig aguas abajo de la misma. Los valores del proceso en este punto, también estarán disponible para visualización en un sistema HMI y para almacenamiento en base de datos.

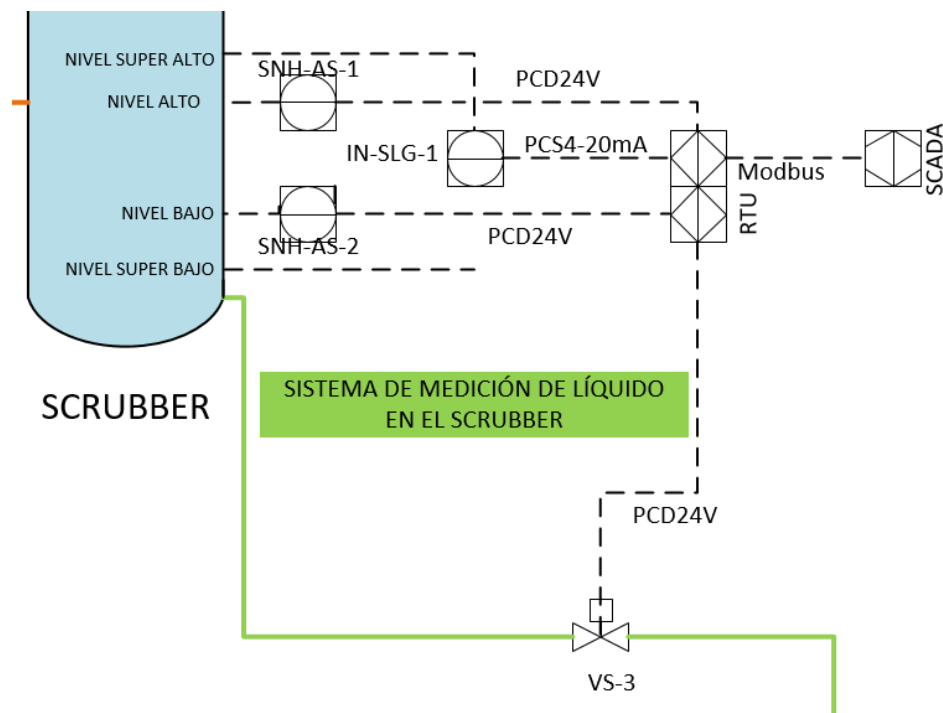
4.6 SISTEMA DE MEDICIÓN DE LÍQUIDO EN EL SCRUBBER

El sistema de medición de líquido del scrubber (figura 27), estará conformado por un switch de nivel alto SNH-AS-1, un switch de nivel bajo SNL-AS-2, un indicador de nivel IN-SLG-1 y por una las válvulas de shutdown VS-1, VS-2 y VS-3 (figura 28). Los switch de nivel alto y bajo, mandaran una señal digital (PCD24V) a la RTU. El indicador de nivel IN-SLG-1 se comunicará con la RTU por medio de

PCS4-20mA Y la RTU se comunicará con las válvulas de Shutdown VS-1, VS-2 y VS-3 por medio de una señal digital (PCD24V).

El Indicador IN-SLG-1 servirá para monitorear el nivel de líquido al interior del scrubber localmente y también a través de la interfaz HMI. Con el indicador IN-SLG-1 se establecerá un nivel de líquido super alto y un nivel de líquido super bajo en el scrubber para efectos de control.

Figura 26. Sistema de medición de líquido en el scrubber



En este punto del proceso existirán 3 escenarios para la apertura y cierre de las válvulas de shutdown VS-1, VS-2 y VS-3.

✓ Escenario 1: Si el nivel de líquido en el scrubber se eleva por encima del SNH-AS-1, la RTU ordenara la apertura de la válvula VS-3 para que los líquidos al interior del scrubber sean evacuados hacia el sistema de blending. A lo que el nivel de líquido disminuya por debajo de SNL-AS-2, la VS-3 se cerrara.

✓ Escenario 2: Si el nivel de líquido al interior del scrubber alcanza un nivel super alto, la RTU ordenara el cierre de la VS-2 para evitar arrastre de líquido a los generadores termoeléctricos. Al mismo tiempo se generará una alarma de nivel super alto de líquido del scrubber, en el sistema HMI para que el operador de campo evacue los líquidos de forma manual mientras se corrige la falla. Si la falla no se llegara a corregir, se hará uso de la parada de emergencia general del sistema para que de ese modo se cierre la válvula de shutdown VS-1 y así evitar que la corriente de gas siga entrado al sistema hasta que la falla sea corregida.

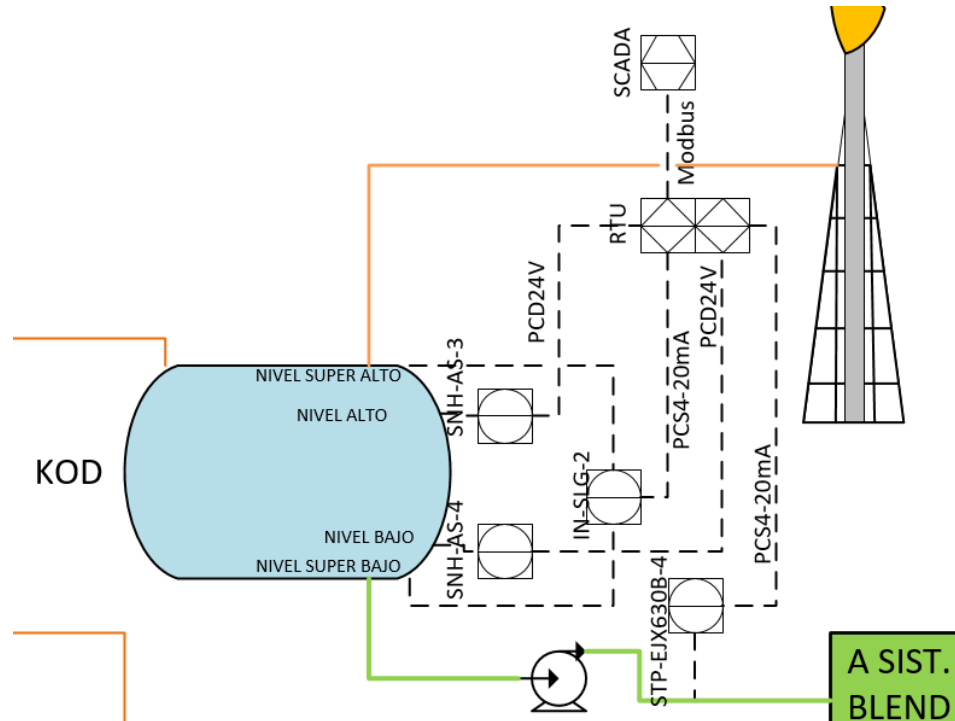
✓ Escenario 3: Si el nivel de líquido al interior del scrubber alcanza un nivel super bajo, es porque posiblemente el SNL-AS-2 fallo. Por tanto, la RTU ordenará el cierre de la VS-3 para evitar desviación del flujo de gas al sistema de blending. Al mismo tiempo se generará una alarma de nivel super bajo de líquido del scrubber, en el sistema HMI para que el operador de campo corrija la falla. Otra posibilidad es que la VS-2 falle y permanezca abierta, en este caso la RTU ordenaría el cierre de la válvula VS-1 hasta que la falla sea corregida. En caso de que las fallas no se puedan corregir, el operador hará uso de la parada de emergencia general del sistema para que de ese modo se cierre la válvula de shutdown VS-1.

4.7 SISTEMA DE MEDICIÓN DE LÍQUIDO EN EL KOD DE TEA

El sistema de medición de líquido del KOD de TEA (figura 28), estará conformado por un switch de nivel alto SNH-AS-3, un switch de nivel bajo SNL-AS-4, un indicador de nivel IN-SLG-2, una bomba BEP y por un sensor-transmisor STP-EJX630B-4. Los switch de nivel alto y bajo, mandaran una señal digital (PCD24V) a la RTU. El indicador de nivel IN-SLG-2 y el sensor-transmisor STP-EJX630B-4 se comunicará con la RTU por medio de PCS4-20mA. Y la RTU se comunicará con la BEP por medio de una señal digital PCD24V que llegará aun relé o contactor que servirá de intermediario para la activación de la BEF. La ubicación de los equipos en este sistema se ilustra en la figura. El Indicador IN-SLG-2

servirá para monitorear el nivel de líquido al interior del KOD localmente y también a través de la interfaz HMI. Con el indicador IN-SLG-2 se establecerá un nivel de líquido super alto y un nivel de líquido super bajo en el KOD para efectos de control.

Figura 27. Sistema de medición de líquido del KOD de TEA



La RTU formara un control realimentado con el STP-EJX630B-4 para que cada vez que se generen una señal de activación de la bomba BEP, se pueda controlar la succión de la misma a la salida de líquidos del KOD para no generar sobre presiones en la línea de descarga de la BEP hacia el sistema de blending.

Para el sistema de medición de líquidos del KOD existirán 2 escenarios para el encendido y apagado de la BEP y 1 escenario para el cierre de la VS-1.

✓ Escenario 1: Si el nivel de líquido en el KOD se eleva por encima del SNH-AS-3, la RTU le ordenará a la bomba BEP que se encienda para evacuar los

líquidos del KOD hacia el sistema de blending. Una vez el nivel de líquido disminuya por debajo de SNL-AS-4, la RTU le ordenara a la BEP que se apague.

✓ Escenario 2: Si el STP-EJX630B-4 llegara a detectar un nivel de presión alta en la línea de descarga de BEP (sobrepresión causada por BEP), la RTU le ordenará a la BEP que se apague. En el sistema SCADA se generará una señal de alarma indicando un nivel de presiona alta en la línea de descarga de la BEP.

✓ Escenario 3: Si el nivel de líquido al interior del KOD alcanza un nivel super alto, la RTU ordenara el cierre de la VS-1 para evitar arrastre de líquido a TEA. Al mismo tiempo se generará una alarma de nivel super alto de líquido del KOD, en el sistema HMI para que el operador de campo evacue los líquidos de forma manual mientras se corrige la falla. Si la falla no se llegara a corregir, el operador de campo hará uso de la parada de emergencia general del sistema para que de ese modo se cierre la válvula de shutdown VS-1.

4.8 SISTEMA DE PARADA DE EMERGENCIA GENERAL DEL SISTEMA DE CONTROL Y VÁLVULA DE SHUTDOWN VS-1

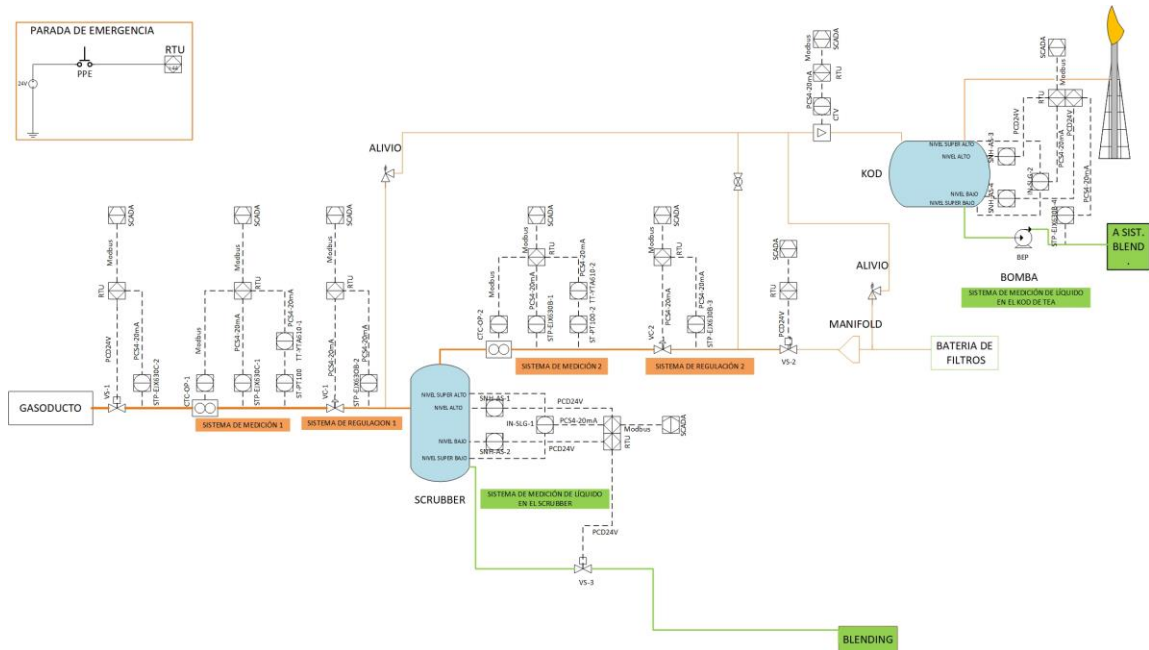
EL sistema de para de emergencia general será el encargado de ocasionará el cierre de la válvula de shutdown VS-1, cuando el pulsador PPE sea presionado por el operador de campo. Esta acción solo se llevará a cabo en caso de que el operador de campo así lo determine.

La válvula de shutdown VS-1 tendrá 2 escenarios más de control. Uno para cuando la RTU detecte por medio del sensor-transmisor STP-EJX630C-2, un nivel alto de presión en el gasoducto. Y dos, para cuando la RTU detecte por medio de STP-EJX630B-2, un incremento de presión muy por encima de 100 psig. Estos dos valores de nivel de presión alta, serán establecidos de acuerdo a las características de diseño de las facilidades de superficie que conformarán todo el sistema de transporte y condicionamiento del gas de suministro a la planta termoeléctrica.

4.9 ESQUEMA GENERAL DEL SISTEMA DE CONTROL PROPUESTO PARA MEDICIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DEL GAS DE SUMINISTRO A LA PLANTA TERMOELÉCTRICA

En la figura 29 se muestra el diagrama general del sistema de control propuesto para medición y acondicionamiento del gas de suministro de la planta termoeléctrica. En él se podrá visualizar la jerarquía de control y protocolos de comunicación de los equipos.

Figura 28. Diagrama general del sistema de control propuesto para medición y acondicionamiento del gas de suministro de la planta termoeléctrica



5 CONCLUSIONES

Se evaluó el proceso que requiere el gas para ser transferido a la planta termoeléctrica.

En base al estudio del proceso que requiere el gas de suministro de la planta termoeléctrica, se identificaron las principales facilidades de superficie para tal fin.

Se realizó la descripción y valoración de los equipos con los que se hizo el diseño conceptual del sistema de control para el acondicionamiento del gas de suministro a la planta termoeléctrica.

Se realizó el diseño conceptual del sistema de control para medir y acondicionar el gas de suministro a la planta termoeléctrica.

Para la transferencia de gas en custodia, siempre será imprescindible que éste sea medido durante tal proceso. Tanto por el que lo suministra como por el que lo recibe. Ya que, en este escenario se está en juego el factor económico de las partes involucradas.

Para la generación de energía eléctrica con gas, siempre será necesario que las especificaciones técnicas del gas, sean según el RUT. Ya que los generadores termoeléctricos empleados en esta labor, son equipos que requieren tales especificaciones por su composición y funcionamiento interno. Todo lo anterior mencionado para el caso en Colombia.

La implementación de un sistema scrubber para acondicionar una corriente de gas de suministro a generadores termoeléctricos, será necesario según las especificaciones técnicas de calidad del gas según cada país.

En un sistema de control, es posible controlar la variable de un proceso por medio de un lazo de realimentación. Ya que por medio del mismo se puede compensar el sistema hasta llegar a un valor muy aproximado de la referencia.

Un PLC es un dispositivo de control que puede manejar un sin número de variable de campo ya que, en la actualidad, estos cuentan con una arquitectura física y de programación muy desarrollada.

6 RECOMENDACIONES

Para realizar la ingeniería conceptual de un sistema de control en un proyecto en el sector gas, se recomienda evaluar previamente el proceso que seguirá el gas para determinar los puntos necesarios en donde el sistema de control tomará acción.

Para la transferencia en custodia de gas, se recomienda que el cliente o la parte que recibe el gas transferido, realice la medición del mismo para corroborar la cantidad recibida por día y para detectar posibles fugas en las líneas de transferencia.

Para escoger los equipos más adecuados para un sistema de control, se recomienda tener en cuenta los valores máximos y mínimos de las variables que manipulará cada equipo.

Antes de alimentar un generador termoeléctrico con gas, se recomienda instalar filtros a la entrada del generador para garantizar una corriente de gas más libre de componentes que puedan afectar la integridad del mismo.

BIBLIOGRAFÍA

ÁLVAREZ ARRIETA, A., & Álvarez Vergara, J. Diseño e implementación del sistema de control del secador de alimentos del laboratorio de Mecánica De Fluidos de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Montería, mediante el uso de un controlador siemens s7-200 y sistema SCADA wincc. Tesis Pregrado. Facultad de Ingeniería electrónica, Universidad Pontificia Bolivariana, Montería 2010.

BALAT, M., 2005, "World Natural Gas (NG) Reserves, NG Production and Consumption Trends and Future Appearance, Energy, 27 (10), 921.

BARAJAS HERRERA, Edgar Javier, & BARRERO PÉREZ, Jaime Guillermo. Computador de flujo: Diseño construcción e implementación de un prototipo para medición de flujo de gas [recurso electrónico]. Bucaramanga: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER , 2004.

CABÚS, J. R., NAVARRETE, D. G., & Porras, R. P. 2004. Sistemas SCADA. Comunicación, 1024, 64k.

CORZO RUEDA, Mónica Patricia, BARRERO PEREZ, Jaime Guillermo. & BARAJAS HERRERA, Edgar Javier. Computador de flujo: Diseño e implementación del soporte de hardware y selección de la instrumentación. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2003.

DELGADO MEJIA, José Luis. & PARADA CORRALES Abel Antonio. Potencia fluida hidráulica industrial catedra multimedial autoinstructiva de sistemas oleoneumaticos modulo válvulas direccionales de control de presión y de control de caudal. Bucaramanga: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER , 2003.

ESPINOSA ARZUZA, Nurys Esther. CHAVES JAIMES, Carlos Arturo and GONZÁLEZ PARDO, Claudia Nelly. Prefactibilidad para la instalación de una planta termoeléctrica a base de gas natural para autogenerar en Ecopetrol campos periféricos en Tibú norte de Santander [recurso electrónico. Bucaramanga : UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER , 2009. Biblioteca Universidad Industrial de Santander, EBSCOhost (accessed May 21, 2018).

FLORES FERNÁNDEZ, D. M. (2016). Integración de la planta de almacenamiento de gas licuado de petróleo Monteverde De Ep-Petroecuador al SCADA del centro de monitoreo y control hidrocarburífero de la ARCH (Bachelor's thesis, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control.).

GARCÍA, Heguel César A. LOMBANA MONTAÑEZ, Edilson. CABARCAS SIMANCAS, Manuel. Evaluación de viabilidad técnico económica para optimización operativa de las plantas de gas en el campo CUSIANA [recurso electrónico] Bucaramanga: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER , 2013.

GIRALDO GARCÍA, Luis Rodrigo, & SANTOS SANTOS, Nicolás. Estrategia para el manejo de la integridad mecánica de plantas de gas [recurso electrónico]. Bucaramanga : UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER , 2013.

GONZÁLEZ VÁSQUEZ, Ricardo. & GALVIS BARRERA, Hernando. Diseño e implementación del hardware y firmware para un computador de flujo tipo turbina usando la norma aga 7. Bucaramanga: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER , 2000.

GUAMÁN VILLA, N. F. (2012). Diseño e implementación de un sistema SCADA en las plantas de tratamiento y compresión de gas natural del Bloque Gustavo Galindo Velasco (Bachelor's thesis, QUITO/EPN/2012).

HARPER, G. E. (2000). El ABC de la instrumentación en el control de procesos industriales. Editorial Limusa.

KATSUHIKO OGATA, Ingeniería de control moderna, Pearson Educations, tercera edición. pp. 669-690.

MENA INTRIAGO, D. F. (2012). Diseño de un sistema de remoción de condensados en el gas natural utilizado para los generadores de la empresa ENAP SIPEC (Bachelor's thesis, QUITO/EPN/2012).

MENESES FLOREZ, Jorge Enrique. Válvula de control de caudal con regulación local y conexión a un sistema de control distribuido. Bucaramanga : UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER . Escuela de Ingeniería Mecánica, 1997.

MONTANA JAIME, Luis M., CACERES AMAYA, Sergio A., & Parada Corrales Abel Antonio, d. (2009). Diseño y construcción del manifold para el montaje de una válvula reductora de presión controlada de manera proporcional utilizada para el sensado de carga en un sistema de control realimentado [recurso electrónico] / Bucaramanga: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER , 2009.

OGATA, Katsuhiko. (1897). Dinámica de sistemas. 1 ed., Editorial Prentice Hall: México, 1987.

PENIN, A. R. (2011). Sistemas Scada. Marcombo.

PEREZ AGUDELO, Helí., POTOSÍ HERNÁNDEZ, Oscar Javier & SANTOS SANTOS, Nicolás. Estudio técnico para optimizar la producción de condensados de Las Plantas De Gas Ventas En El CPF CUSIANA [recurso electrónico]. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2014.

PEREZ BALAGUERA, Carlos Andrés. & SANTOS SANTOS, Nicolás. Mejoramiento de la eficiencia de las plantas de endulzamiento de gas en CUSIANA [recurso electrónico. Bucaramanga: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER , 2013.

RAMÓN, A. J., Ramón, B., & Carrillo, E. Y. Diseño de un sistema de supervisión y control multivariable por medio de un sistema SCADA para una planta piloto en fases separadas de biodigestión anaeróbica. REVISTA COLOMBIANA DE TECNOLOGIAS DE AVANZADA (RCTA), 1(17).

RONCANCIO RODRÍGUEZ, Rafael. & GALVIS BARRERA, Hernando. Diseño e implementación del hardware y software de presentación para el computador de flujo de un medidor de gas tipo turbina. Bucaramanga: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER , 2000.

RIVERA SILVA, Daniel Alexander, & Cabarcas Simancas, Manuel. Sistema de control SCADA de lazo cerrado en un CITY GATE [recurso electrónico]. Bucaramanga: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER , 2013.

ROBLES NETTO, C. (2011). Reingeniería del sistema SCADA en la gestión de alarmas de la distribución del gas natural.

RUIZ BURGOS, Yolanda. & ORTIZ CANCINO, Olga Patricia. Guía para la identificación de peligros, evaluación de riesgos y determinación de controles durante la operación de plantas de gas [recurso electrónico]. Bucaramanga: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER , 2015.

RUIZ MACIAS, Silvia Juliana, & AMAYA PALACIO, José Alejandro. Propuesta de diseño de un sistema SCADA para GASES DEL CUSIANA S.A. E.S.P. [recurso electrónico]. Bucaramanga: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER , 2008.