

**BASIC AND DETAIL ENGINEERING DEVELOPMENT FOR THE  
AUTOMATION OF A BIOGAS GENERATING PILOT PLANT****DESARROLLO DE LA INGENIERIA BASICA Y DE DETALLE PARA LA  
AUTOMATIZACION DE UNA PLANTA PILOTO GENERADORA DE BIOGAS**

PhD. Jacipt Alexander Ramón\*, Ing. Walter Gastelbondo Barragán\*\*  
PhD. Luis Fernando Romero Castellanos\*

**Universidad de Pamplona**

\* **Grupo de Investigaciones Ambientales Agua, Aire y Suelo (GIAAS)**

\*\* **Instituto de Investigación y Desarrollo de Tecnologías Aplicadas (IIDTA)**

Ciudadela Universitaria. Pamplona, Norte de Santander, Colombia.

Tel: 57-7-5685303, Fax: 57-7-5685303 Ext. 140

E-mail: {jacipt, walter}@unipamplona.edu.co

**Abstract:** In the present document Basic Engineering is developed and of detail of a generating plant of biogás (Biodigestor), during the investigation the different schemes were generated, narratives (control and security), I calculate and selection of instruments, diagram P&ID and the interface man machine for the automatic control of form. For the development of engineering the suitable instruments of industrial type for the design of the control strategy calculated and quoted, supervision and monitored of the variables of the process, as they are, temperature, pressure, level and pH in the plant biodigestión pilot, using a PLC (PLC) and a control of supervision and data acquisition (SCADA) to interact with the process. Therefore, one looks for to optimize the process allowing the evaluation of the production of biogas and degrees of fermentation to define the capacities of real storage for the construction of new plants.

**Resumen:** En el presente documento se desarrolla la Ingeniería Básica y de Detalle de una planta generadora de biogás (Biodigestor), durante la investigación se generaron los diferentes esquemas, narrativas (control y seguridad), calculo y selección de instrumentos, diagrama P&ID y la interfaz hombre maquina para el control de forma automático. Para el desarrollo de la ingeniería se calcularon y cotizaron los instrumentos de tipo industrial adecuados para el diseño de la estrategia de control, supervisión y monitoreo de las variables del proceso, como son, temperatura, presión, nivel y pH en la planta piloto de biodigestión, utilizando un controlador lógico programable (PLC) y un control de supervisión y adquisición de datos (SCADA) para interactuar con el proceso. Por lo tanto, se busca optimizar el proceso permitiendo la evaluación de la producción de biogás y grados de fermentación para definir las capacidades de almacenamiento reales para la construcción de nuevas plantas.

**Keywords:** Biogas, Biodigestion Process, Basic Engineering, Simulation, Programmable Logic Controller, Supervision Control and Acquisition of Data.

## 1. INTRODUCCION

Un sistema de control puede definirse como aquel que compara el valor de la variable o condición a controlar con un valor deseado y efectúa una acción de corrección de acuerdo con la desviación existente sin que el operario intervenga en absoluto. Actualmente esta comparación de la variable deseada con respecto a la existente, se lleva a cabo de manera manual lo cual hace necesario la presencia de un operador para la manipulación de los equipos [3], [4].

Con el desarrollo de la ingeniería básica y de detalle se sentarán las bases necesarias para la implementación del sistema de control automático de biogás, con lo cual se incrementará la eficiencia, disponibilidad y confiabilidad del sistema actual.

## 2. SISTEMA ACTUAL Y SISTEMA PROPUESTO

Como se aprecia en la Fig. 1, la persona necesita estar monitoreando las variables de manera visual, para luego ejercer una acción de control manual, como es de saber, esta forma de control en el proceso disminuye la eficiencia actual del sistema.

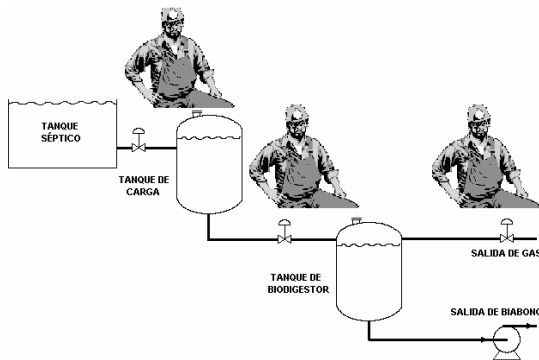


Fig. 1: Sistema de Control Actual del Biodigestor

Para el sistema propuesto se presenta un sistema de control a través de un PLC interconectado con un SCADA, como se muestra en la Figura 2. Mediante este esquema se pueden monitorear cada una de las variables como son la temperatura, presión, nivel y pH; como es de saber, con esta aplicación de automatización se disminuye el pago de personal y se aumenta la eficiencia del sistema, del igual manera se obtiene un aumento de confiabilidad en el proceso [8], [9], [10].

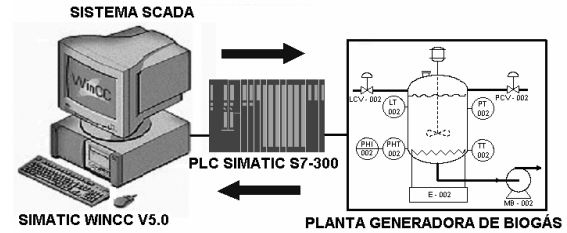


Fig. 2: Sistema de Control Propuesto

## 3. INGENIERIA BASICA

La ingeniería básica comprende la ingeniería conceptual y/o la ingeniería de proceso. Los principales documentos que deben ser generados en esta fase de la ingeniería son:

- Bases o Criterios de Diseños.
- Tipo de Instrumentación a Utilizar.
- Tipo de Panel de Control.
- Niveles de Señales a Trabajar.
- Diagrama EPS.
- Diagrama de Tubería e Instrumentos.

En general, las actividades que deben realizarse dependen del tipo de proyecto; sin embargo, existen ciertos documentos que deben ser producidos y tener en cuenta en la mayoría de proyectos [11], [12], [13].

### 3.1 Desarrollo de la Ingeniería Básica

#### 3.1.1. Bases o Criterios de Diseño

Para el desarrollo de la ingeniería se calcularon y se cotizaron instrumentos de tipo industrial, que cumplieran con estándares internacionales de seguridad.

#### 3.1.2. Tipo de Instrumentación a Utilizar

Los instrumentos a utilizar, son diseñados y fabricados, en empresas como, Honeywell, Rosemount, Masoneilan, Foxboro, Paragon, Taylor, Simatic entre otras.

#### 3.1.3. Tipo de Panel de Control

Para llevar a cabo la estrategia de control de la Planta Generadora de Biogás se utilizó un Controlador Lógico Programable (PLC S7-300) y un Control de Supervisión y Adquisición de Datos (Simatic WinCC), el cual permite monitorear y controlar, las variables del proceso como son, temperatura, pH, presión y nivel.

### 3.1.4. Niveles de Señales a Trabajar

El nivel de señal a trabajar es el estándar de 4 - 20 mA; esto debido a sus grandes ventajas con respecto a otros estándares, como lo es la gran inmunidad al ruido.

### 3.1.5. Diagrama EPS

En la Figura No. 3 se puede observar la distribución de las diferentes variables que interactúan en el proceso.

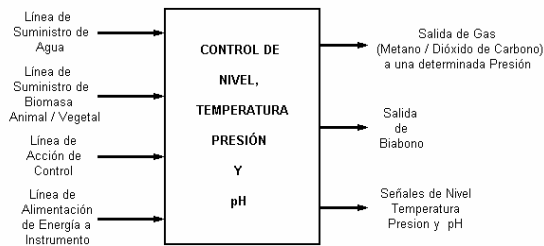


Fig. 3: Diagrama EPS del Proceso

### 3.1.6 Diagrama de Tubería e Instrumentos P&ID

En las figura 4 y 5 se puede apreciar los diagramas P&ID correspondiente al sistema de control y del sistema de seguridad del proceso propuesto, respectivamente. En estos diagramas las tuberías e instrumentos muestran esquemáticamente todas las líneas de suministro de los servicios y del proceso; generando información respecto a todos los equipos, instrumentos, tuberías de interconexión, numeración de cada uno de los componentes de los lazos de control y representación esquemática de todos los lazos de control el cual se desarrollo basados en la normativa ISA S5.1 y S51.3 sobre simbología e identificación de instrumentos; a menos que en las bases de diseño se haya especificado la utilización de otra simbología [5].

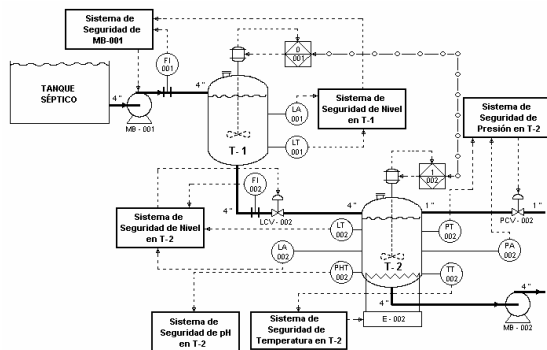


Fig. 4: Diagrama P&ID del Sistema de Control

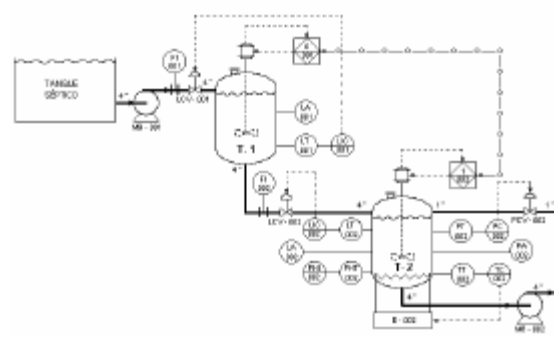


Fig. 5: Diagrama P&ID del Sistema de Seguridad

## 4. INGENIERIA DE DETALLE

Para el desarrollo de la ingeniería de detalle se interpretaron y se tradujo a nivel de detalle, en un lenguaje más específico las características de instrumentación y control que se realizaron dentro del proceso. Para tal fin se elaboraron cálculos, planos, cómputos métricos, especificaciones, listas de materiales y equipos, especificaciones de construcción, estimaciones detalladas de costo y memoria descriptiva.

Las principales actividades y documentos generados durante la fase de la ingeniería de detalle son:

- Narrativa de Proceso.
- Narrativas de Control.
- Narrativas de Seguridad.
- Diagramas de Lazo de Control.
- Hojas De Especificaciones.
- Normativa Utilizada.

### 4.1. Desarrollo de la Ingeniería de Detalle

#### 4.1.1. Narrativa de Proceso

El proceso dentro del Biodigestor consiste en la descomposición o degradación de los residuos orgánicos, por la acción de bacterias en un ambiente carente de oxígeno. Los sensores de temperatura actúan de acuerdo a la etapas de fermentación que ocurre dentro del proceso, esta variación se regula utilizando una resistencia de calefacción que ayuda a mantener una temperatura adecuada, el sensor de pH estará indicado el grado de acidez y en que etapa está ocurriendo la fermentación de las bacterias. La presión del gas dentro del recipiente será controlado a través del sensor de presión, que a su vez envía información al PLC controlando la válvula de salida de gas, para así dentro del tanque Biodigestor se realice

una regulación de gas de acuerdo a la necesidad requeridas. Después de un tiempo de residencia se tienen dos salidas, la primera posee una válvula para salida de gases, expulsa una mezcla de gases principalmente Metano ( $\text{CH}_4$ ) y Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ); la segunda salida posee una bomba para la evacuación de los residuos tanto sólidos como líquidos (Bioabono).

Todo este proceso será controlado mediante un PLC que estará en interfaz con la computadora para realizar un mejor control y mayor facilidad en la obtención de datos. El monitoreo se realizará mediante el software SCADA WinCC, que es el creador del primer paquete integrado de software industrial llamado Simatic.

El sistema automático deberá proporcionar control regulatorio de nivel en el tanque (T-1) en el en el tanque (T-2) se controlaran el nivel, la temperatura, presión y pH en lazos individuales, ofreciendo un nivel de supervisión sobre los diferentes lazos de control.

#### 4.1.2. Narrativas de Control

El sistema de control esta asociado a las variables de temperatura, presión, pH y nivel; a continuación se describe cada una de las narrativas de control asociadas a cada una de las variables mencionadas anteriormente:

##### 4.1.2.1. Narrativa del Lazo de Control de Temperatura

El objetivo de este sistema es mantener la temperatura del líquido en el Tanque T-2 en el nivel determinado que se desee. El lazo de control de temperatura se utiliza para mostrar algunas características más complejas del comportamiento de la planta de control incluyendo los efectos de distancia/ velocidad y retardos de propagación. En la Figura No. 6, se puede apreciar el diagrama en bloques de este lazo.

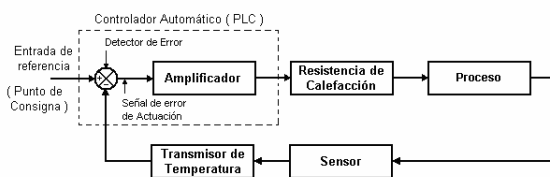


Fig. 6: Diagrama en Bloques del Sistema de Control de Temperatura

##### 4.1.2.2. Narrativa del Lazo de Control de Presión

El sistema regula la presión del gas en la parte de arriba del Tanque Biodigestor (T-2). El lazo de control esta compuesto por un transmisor de presión PT-002 que percibe la presión en el Tanque Biodigestor (T-2) y transmite una señal al control indicador de presión PIC-002. Como se muestra en la figura No. 7.

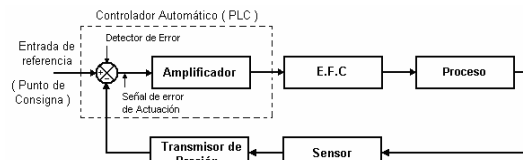


Fig. 7: Diagrama en Bloques de Sistema de Control de Presión

##### 4.1.2.3. Narrativa del Lazo de Control de Nivel

La función de los instrumentos asociados al lazo de control de nivel es la regulación del nivel del líquido en el Tanque de Premezcla (T-1) y Tanque Biodigestor (T-2).

En el sistema de control de nivel se puede ver en la figura No 8. La señal que procede del transmisor LT-001 y LT-002 se envía al controlador indicador de nivel LIC-001 y LIC-002.

Las salidas de los LIC-001 y LIC-002 envían la señal de control a las válvulas LCV-001 y LCV-002, que son las encargadas de controlar el flujo que circula entre los 2 contenedores.

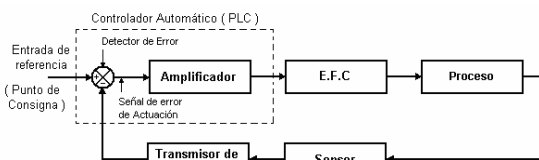


Fig. 8: Diagrama en Bloques del Sistema de Control de Nivel

#### 4.1.3 Narrativas del lazo de control y Seguridad

El Lazo de Control y Seguridad muestra como es el proceso de control completo dentro de una Planta de Biogás, de las válvulas, para el propósito general, el Diseño de la Automatización de una Planta Generadora de Biogás. Como se observa en la Figura 9.

#### 4.1.4. Diagramas de Lazo de Control

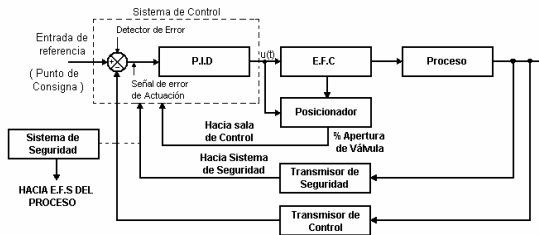


Fig. 9: Lazo de Control y Seguridad del Proceso

En la Figura 10, se puede observar uno de los diagramas de lazo que se llenaron en el desarrollo de esta ingeniería; en ellos se detalla cada uno de los puntos como y en donde se encuentra conectado cada instrumento, partiendo desde campo en donde se encuentra el instrumento de medición, pasando por los gabinetes de la sala de control y finalizando en el E.F.C.

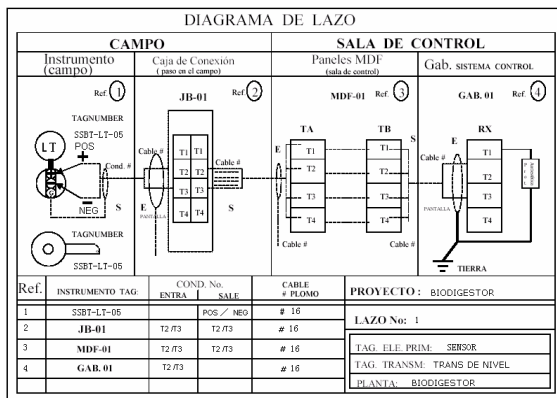


Fig. 10: Diagrama de Lazo

Este diagrama se utiliza para realizar pruebas de instrumentación durante el arranque de la planta y realizar labores de mantenimiento en fases posteriores. La simbología utilizada y la forma de construir el diagrama de lazo está especificada en la Norma ISA-S5.4; sin embargo, muchas empresas tienen sus propias normas para interpretar cada uno de los lazos de control que intervienen en el sistema, tanto desde el punto de vista de instalación, como de funcionamiento.

#### 4.1.5. Hojas de Especificación

Para facilitar y acelerar la especificación y compra de los elementos de instrumentación, se han desarrollado formularios que listan las características principales disponibles y deseadas para varias categorías de instrumentos.

La ISA (*Instrument Society of America*) ha normalizado este procedimiento y ha desarrollado formas Standard para más de 24 categorías de instrumentos.

Cada hoja de especificación contiene la siguiente información relacionada al proceso.

- Rango del Instrumento.
- Tipo de Conexiones.
- Energía con la que Trabaja. (Neumática, eléctrica, electrónica).
- Modelo
- Tipo.
- Departamento a cargo de la compra.
- Otra información relacionada con los equipos y el tipo de proceso.

Para realizar la especificación de los instrumentos se ha tenido en cuenta los criterios de diseño definidos anteriormente y los Standard utilizados por la empresa propietaria de la instalación.

#### 4.1.6. Normativas

En el desarrollo de la Ingeniería de Detalles de este trabajo se ha utilizado un gran número de normativas necesarias para una buena simbología e identificación de instrumentos para el desarrollo de los sistemas de control dentro del proceso de automatización [5].

Entre las normativas utilizadas se encuentran:

- Norma ANSI/ISA S.5.1. Sobre Instrumentación de Medición y Control.
- Norma ANSI/ISA S.5.3. Sobre Símbolos Gráficos de Control Distribuido.
- Norma ANSI/ISA S.5.4. Sobre como crear un diagrama de lazo de Control.
- Formato ISA S.20.11a. Sobre Hojas de Especificaciones de Instrumentos de Temperatura.
- Formato ISA S.20.20a. Sobre Hojas de Especificaciones de Elementos de Control.
- Formato ISA S.20.50. Sobre Hojas de Especificaciones de Válvulas de Control.

Este tipo de normas es de gran ayuda ya que proveen la información necesaria sobre simbología e identificación de instrumentos para el desarrollo de procesos de automatización industrial.



## 5. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos a lo largo del desarrollo de la ingeniería básica y de detalle, sientan las bases para la implantación de obtención del biogás de manera automática, incrementando la confiabilidad y eficiencia del sistema.

Al implantar el sistema de control automático, hay que tener en cuenta que el incremento de la eficiencia esta asociado de igual manera a factores como el número de animales productores de materia prima con los que cuenta la planta. Con la implantación del sistema automático de biogás se reduce la contratación de personal encargado de controlar y supervisar el proceso, conllevando a la disminución de los gastos por funcionamiento.

El costo de la automatización es un poco elevado pero si se analiza que anteriormente se estaba pagando un SMLV a un obrero, se puede reducir el presupuesto de funcionamiento en \$ 4800.000 al año, con lo que se recupera la inversión en 32 meses y queda la automatización. Una de las ventajas con las que cuenta el proyecto es que en el momento de ampliar la producción no es necesario cambiar de SCADA ni de PLC ya que dentro del diseño se incluyo una tarjeta adicional para el PLC y en cuando al SCADA sólo es necesario modificar algunas líneas del programa.

En el Diseño de la Automatización de la planta generadora de Biogás, se tienen en cuenta estrategias de control y seguridad las cuales pueden ser monitoreadas en el SCADA para analizar la tendencia que presenta el proceso en un determinado momento.

## RECOMENDACIONES

De elevado cuidado es, para el Especialista o Ingeniero de Instrumentación y Control tener en cuenta, el hacer todas las comprobaciones necesarias, cuando se lleve a cabo la programación de los equipos de Control y Seguridad dentro de los Trabajos de Automatización realizadas en conjunto con las Actividades de Mantenimiento General. Estas comprobaciones deben estar basadas en los manuales suministrados con antelación a la hora de compra de los equipos. Se recomienda al configurador y programador de las Pantallas para los operadores, tanto de Control como de Seguridad, el permitir una arquitectura abierta respecto a la interfaces, con el fin de que, más pantallas hagan

parte del Sistema en caso de que la Automatización se extienda a los demás equipos relacionados con la Planta.

## REFERENCIAS

- [1]. Creus, Antonio. *Instrumentación Industrial*. Barcelona. Alfa y Omega, 6ta Ed., 1998.
- [2]. Ogata, K. *Ingeniería de Control Moderna*. Madrid. Prentice Hall, 4ta Edición, 2003.
- [3]. Bernal, Jairo. "El Biogás" Boletín Didáctico N° 32. Instituto Colombiano Agrícola (ICA). Santa Fe de Bogotá. 1992.
- [4]. García, M. B. "El Biogás" Tecnologías apropiadas al campo. Revista del Instituto de Investigaciones Tecnológicas, ITT. Número 157. Bogotá, 1985.
- [5]. Normas ANSI / ISA Para Instrumentación Símbolos e Identificaciones SP5-1 ANSI /ISA Actualización al 13 de Julio de 1992.
- [6]. Dorantes, Dante. *Automatización y Control (Prácticas de Lab.)*. Mc Graw-Hill. 2004.
- [7]. García, Emilio. *Automatización de Procesos Industriales*. Grupo Editor Alfaomega. 2001.
- [8]. Balcells, Josep. *Autómatas Programables*. Marcombo. 1997.
- [9]. Siemens. *Manual de WinCC*. Siemens productos y sistemas. 2003.
- [10]. Siemens. *Introducción y Ejercicios Prácticos a Step 7*. Siemens productos y sistemas, 2003.
- [11]. Romero, Daniel. *Fundamentos de Instrumentación y Control*. 1997.
- [12]. M 2 LTDA Y NUS training Corporation, *Instrumentación Industrial*. Colombia. 1990.
- [13]. Voehl. *Guía de Instrumentación de Pequeñas y Medianas Empresas*. Madrid. McGraw-Hill, 2001.
- [14]. Osorio, H. J; Vidal, V. C. *Producción de Biogás a partir de Desechos Orgánicos*. Revista de Ingeniería Mecánica. Universidad Pontificia Bolivariana. Revista Número 4. Medellín. 1992.
- [15]. Finck, Hurts. *El Biogás y sus Aplicaciones*. Programa Especial de Energía de la Costa Atlántica (PESENCA).
- [16]. Martina, P.; Yank L. *Ensayos en un Biodigestor con aserrín de diferentes maderas*. Grupo de Investigación de Energías Renovables (GIDER). 2005.
- [17]. Idarraga, A. E. y Gutiérrez, M. W. *Montaje de una Planta Piloto para la Producción Continua de Gas Combustible a Partir de Diferentes Residuos Orgánicos*. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 1975.