

**DEVELOPMENT OF THE DETAILED ENGINEERING OF A SYSTEM OF
ANAEROBIC BIODIGESTION IN SEPARATE PHASES (ACIDOGENESIS AND
METHANOGENESIS)**

**DESARROLLO DE LA INGENIERIA DE DETALLE DE UN SISTEMA DE
BIODIGESTION EN FASES SEPARADAS (ACIDOGENESIS Y
METHANOGENESIS)**

**PhD. Jacipt Alexander Ramón V., Ing. Erika Yesenia Carrillo Sánchez
PhD. Luis Fernando Romero**

Universidad de Pamplona, Facultad de Ingenierías y Arquitectura
Grupo de Investigaciones Ambientales Agua, Aire y Suelo (GIAAS)
Ciudadela Universitaria. Pamplona, Norte de Santander, Colombia.
Tel.: 57-7-5685303 Ext. 140
E-mail: jacipt@unipamplona.edu.co

Abstract: This work focuses on automation, monitoring and control system biodigestión in separate phases. It developed the basic and detail engineering applied to the control variables of the process and its system of local communication within the pilot plant, resulting in the basic engineering phase of the criteria for preliminary designs, EPS diagram of the process, estimating costs, diagram pipes and instruments of the plant and preliminary lists of instruments. In the detailed engineering is interpreted and translated level calculations, drawings, specifications and lists of materials and equipment, construction specifications, generating Narratives Process, Control and Security, Calculation Instrument Design of structures and processes that supports the Diagrams Loop Control.

Resumen: Este trabajo está enfocado hacia la automatización, supervisión y control de un sistema de biodigestión en fases separadas. Se desarrolló la ingeniería básica y de detalles aplicados a las variables de control del proceso y su sistema de comunicación local dentro de la planta piloto, logrando en la fase de ingeniería básica los criterios de diseños preliminares, diagrama EPS del proceso, estimación de costos, diagrama de tubería e Instrumentos de la planta y listados preliminares de instrumentos. En la ingeniería de detalle se interpreta y traduce a nivel de cálculos, planos, especificaciones y listas de materiales y equipos, especificaciones de construcción, generando narrativas de proceso, control y seguridad, cálculo de instrumentos, diseño de las estructuras que soportaran los procesos y diagramas de lazo de control.

Keywords: Acidogenesis, biodigestor, methanogenesis, narrative control, narrative security, P & ID diagrams, separate phases.

1. INTRODUCCION

La sociedad moderna en su constante y acelerado desarrollo tecnológico necesita de fuentes de

energía y de estas más del 90 % son provenientes de los llamados combustibles fósiles, que tienen su origen en la descomposición de materias vegetales y su energía está contenida en enlaces químicos

producidos por la energía solar fijada por las plantas hace millones de años mediante la fotosíntesis (Zaric 1981). Pero el uso de combustibles fósiles para producir energía, sobre todo energía eléctrica, trae como consecuencia el vertimiento de sustancias tóxicas al aire, a los cuerpos de agua y a los suelos, dañando la naturaleza a corto, mediano o largo plazo.

Actualmente el uso de procesos bioquímicos que permitan una utilización adecuada de los residuos de materia orgánica se ha realizado de una forma muy artesanal, desaprovechando gran parte de los productos que se obtienen a partir de estos procesos, como es el caso de la digestión anaerobia, la cual mediante el uso de biodigestores, se obtiene además un efluente líquido cuyo valor económico como fertilizante es equivalente al del biogás (Kellner, 1990). Estudios realizados en Cuba han demostrado que el uso del efluente líquido representa económicamente más beneficio que el propio biogás (Carballal, 1998). El tratamiento anaerobio de residuales orgánicos (específicamente de excretas de animales) - imita a los procesos que ocurren en la naturaleza donde no existen los desechos o desperdicios sino materia prima para crear otro tipo de material útil para la vida.

Con el desarrollo de esta investigación se pretende que la Universidad de Pamplona sea impulsadora de proyectos mediante el uso de tecnologías multidisciplinarias que permitan la transformación de materias orgánicas contaminantes en materias fuentes de energía.

2. BIODIGESTION ANAEROBIA

El sistema de biodigestión es un proceso de fermentación natural, conocido por el hombre desde tiempo atrás, pero poco utilizado, especialmente en América Latina. Ocurre en ausencia de oxígeno (sin aire) al interior de un biodigestor, aparato que facilita el crecimiento y la proliferación de un grupo de bacterias anaerobias metanogénicas, que descomponen y tratan los residuos dejando como resultado final, un gas combustible conocido como Biogás o gas Metano (CH_4) y Dióxido de Carbono (CO_2), además de un efluente líquido alcalino rico en nutrientes y materia orgánica estabilizada. Actualmente este tipo de generación de gas está surgiendo como alternativa para la solución del consumo energético. En todo el mundo se desarrolla como tema de investigación para la eficiencia de la producción.

La digestión anaerobia es una tecnología utilizada en el tratamiento de efluentes líquidos industriales y domésticos. De igual forma esta tecnología se ha implementado en el tratamiento de la fracción orgánica proveniente de los residuos sólidos urbanos y de las excretas de animales. Este es un proceso biológico natural en el que una comunidad entrelazada de bacterias cooperan para formar una fermentación estable, autorregulada, que convierte la materia orgánica residual en una mezcla de gases compuesta por metano y dióxido de carbono y un biosólido. La digestión anaerobia ha sido descrita como un proceso de múltiples etapas o subprocesos donde se llevan a cabo un grupo de reacciones en serie y en paralelo (Pavlostathis, S.G y Giraldo-Gómez, E. 1991)

2.1 Factores que influyen en el proceso de Digestión Anaerobia

En la fermentación bacteriana intervienen poblaciones microbianas diversas, para el desarrollo de éste proyecto se tendrán en cuenta básicamente tres fases: una fase de premezcla en la que se prepara la biomasa para el proceso de digestión anaerobia (primer tanque), una fase de hidrólisis y acidogénesis (segundo tanque) y por último se llevará a cabo la etapa de metanogénesis (tercer tanque). A continuación se expondrá los procesos que se llevan a cabo en el segundo y tercer tanque.

- **Hidrólisis:** En esta etapa los microorganismos producen enzimas que hidrolizan los compuestos orgánicos complejos contenidos en el lodo de alimentación en compuestos simples solubles mediante una cinética de primer orden gobernado por la constante de hidrólisis. (Landeros P, E, et al, 2006)
- **Acidogénesis:** se caracteriza por la acción de microorganismos que transforman los compuestos simples solubles generados en la etapa de hidrólisis y aquellos contenidos en el lodo de alimentación, que por ser rápidamente biodegradable se consideran como compuestos simples solubles, en ácidos grasos volátiles y dióxido de carbono; la velocidad con que ocurre esta reacción es proporcional a la velocidad de crecimiento que presentan los microorganismos acidogénicos la cual es dependiente de la concentración de compuestos simples solubles. (Landeros P, E, et al, 2006)

- **Metanogénesis:** las bacterias convierten los ácidos grasos volátiles presente en la alimentación y los producidos en la etapa anterior en metano y dióxido de carbono; la velocidad con que se lleva a cabo esta reacción es proporcional a la velocidad de crecimiento que presentan los microorganismos metanogénicos la cual es dependiente de la concentración de ácidos grasos volátiles. (Landeros P, E, et al, 2006)

2.1.1 pH

El rango de pH óptimo es de 6.6 a 7.6. Los ácidos grasos volátiles (AGV) y el acetato tienden a disminuir el pH del sustrato. Si las bacterias metanogénicas no alcanzan a convertir rápidamente los AGV a medida que lo producen las bacterias acetogénicas, estos se acumulan y disminuyen el pH en el biodigestor. Sin embargo, el equilibrio CO₂-bicarbonato opone resistencia al cambio de pH. (Arteaga, et al.) Para la ejecución del proyecto se trabajará con un rango de pH de 4.0 a 5.1 para la etapa de acidogénesis y con un rango de pH de 7.0 a 8.1 para la etapa de metanogénesis ya que una disminución del pH puede traer como resultado la inhibición del crecimiento de las bacterias metanogénicas, ello hace que disminuya la producción de metano y aumente el contenido de dióxido de carbono y se produzcan olores desagradables por el aumento del contenido de sulfuro de hidrógeno (Lay *et al.*, 1998).

2.1.2 Temperatura

Las altas temperaturas causan una declinación del metabolismo, debido a la degradación de las enzimas; y esto es crítico para la vida de las células. Los microorganismos tienen un nivel óptimo de crecimiento y metabolismo dentro de un rango de temperatura bien definido.

Existen tres rangos de temperatura para la digestión de residuales, el primero es el mesofílico (de 20 a 45 °C), el segundo es el termofílico (por encima de 45 °C). El óptimo puede ser de 35 °C a 55 °C. (Arteaga, et al.). Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente para el desarrollo del proyecto se decidió trabajar con un rango de temperatura entre 30°C y 35°C, en un rango de temperatura mesofílico.

2.1.3 Agitación

El diseño del agitador puede que resulte inadecuado para el proceso, una pérdida de la

agitación puede ocasionar una mezcla pobre en reactivos y una mala transferencia de calor. En la selección del sistema, frecuencia e intensidad de la agitación se deberán realizar las siguientes consideraciones: el proceso fermentativo involucra un equilibrio simbiótico entre varios tipos de bacterias.

2.1.4 Presión

Se ha observado en muchas fermentaciones anaeróbicas donde el producto final es un gas, que una sobrepresión aumenta la concentración del producto en el medio, y que tal aumento inhibe, o aún llega a envenenar los microorganismos.

3. INGENIERIA DE DETALLE

La ingeniería de detalle interpreta y traduce a nivel de detalle y en un lenguaje más específico las características que son materia de ingeniería civil, electricidad, instrumentación y controles, ingeniería mecánica, química, etc., que conforman el proyecto. Para ello se elaboran cálculos, planos, cómputos métricos, especificaciones y listas de materiales y equipos, especificaciones de construcción, manuales de operación y/o mantenimiento, estimaciones detalladas de costo y memoria descriptiva (Gastelbondo, 2005).

Las principales actividades y documentos que deben ser generados durante esta fase de la ingeniería son:

- ✓ Narrativas de Proceso.
- ✓ Narrativas de Control.
- ✓ Narrativas de Seguridad.
- ✓ Calculo de Instrumentos.
- ✓ Diseño de la Estructura que soportará el proceso.
- ✓ Diagramas de Lazo de Control.
- ✓ Hojas De Especificaciones.
- ✓ Normativa Utilizada.

3.1 Narrativas de proceso

El sistema diseñado proporcionará un control y supervisión del proceso de la planta piloto en fases separadas de biodigestión anaerobia. El proceso cuenta con 4 tanques, un primer tanque: es el tanque séptico que contiene la Biomasa animal

(Estiércol de Caballos, cerdos, Bovinos) combinado con agua, esta mezcla es conducida hacia el Tanque 1, que es el tanque de premezcla, por medio de una tubería que posee una válvula de control, en el tanque N° 1 (recipiente cerrado 50L), se llevará a cabo el arranque e inoculación del sistema, en este tanque se hará control de nivel y presión mediante sensores de nivel y presión respectivamente, los sensores de nivel son los que controlan la válvula que lleva el flujo hacia el tanque 1, en esta etapa la materia orgánica es descompuesta por la acción de bacterias hidrolíticas anaerobias que hidrolizan las moléculas solubles en agua como grasas, proteínas y carbohidratos para convertirlos en monómeros y compuestos simples solubles, esta pre-mezcla será realizada por un tiempo de retención óptimo de TRH=21 días y con un sistema de agitación de acuerdo a las condiciones de la mezcla y a las necesidades del sistemas en ese momento.

Una vez que se realiza la pre-mezcla, ésta es transportada mediante una tubería que posee una válvula de control, hacia el tanque N°2 (recipiente cerrado 50L), que es el tanque de la etapa acidogénica, en este tanque se llevará a cabo el control de nivel, temperatura, presión y pH mediante el uso de sensores adecuados para cada una de estas variables de control, al igual que en el tanque anterior, se llevará a cabo un proceso de agitación de la mezcla mediante el uso de motor agitador, esta etapa se llevará a cabo por un TRH aproximadamente de 21 días en los cuales las variables principales a monitorear y controlar son el pH y la temperatura, en esta etapa los ácidos grasos volátiles y compuestos aromáticos se degradan produciendo ácido acético, dióxido de carbono e hidrógeno que son los sustratos de las bacterias metanogénicas, una vez realizado el proceso en esta etapa, la mezcla es conducida por medio de una tubería y una válvula de control hacia el Tanque N°3 (recipiente cerrado 50L), que es tanque de la etapa metanogénica, en este etapa, se llevará a cabo un control de variables como son nivel, temperatura, pH y presión, pero llevará un control principal a la presión y el pH, ya que en esta etapa se produce el metano a partir del dióxido de carbono (CO_2) e hidrógeno a partir de la actividad de las bacteria metanogénicas. Una vez ocurre este proceso, el sistema tiene dos salidas: una que posee una válvula de salida de gases (CH_4 , CO_2) y la segunda salida posee una motobomba para la evacuación de los residuos sólidos y líquidos (bioabono) del proceso de la digestión anaerobia.

Para el control de la temperatura, se llevará a cabo dentro de un rango bien definido: de 30 a 35°C, estableciendo una temperatura óptima de 35°C para las etapas de acidogénesis y metanogénesis que se conservará mediante una resistencia de calefacción con el fin de mantener la temperatura requerida; la etapa de pre-mezcla se llevará a cabo a una temperatura ambiente. El monitoreo y control de pH se llevará a cabo mediante un electrodo el cual indica el grado de acidez de la mezcla en las etapas de acidogénesis y metanogénesis, para la etapa de acidogénesis se manejará un rango de pH de 4.0 a 5.1, con un pH óptimo de 4.2 y para la etapa de metanogénesis se manejará un rango de pH de 7.0 a 8.1, con un pH óptimo de 7.2. En los tanques 1 y 2 se llevará a cabo un monitoreo y control de presión a manera de seguridad, para evitar explosiones debido a la generación de gases en esto tanques, aunque idealmente no se deberían producir gases en estas etapas. El control de la presión se llevará a cabo de manera crítica en el tanque 3 debido a la generación de gases en la etapa metanogénica, este control se llevará a cabo a través de un sensor de presión y será controlado a través del microcontrolador PIC18F452 que es el que controla todo el sistema, mediante una interfaz con un PC con el fin de llevar a cabo un control óptimo del sistema. El control y supervisión del sistema se llevará a cabo mediante la implementación de un sistema SCADA, haciendo uso de herramientas como Intouch 9.5.

El sistema automático deberá proporcionar control regulatorio nivel, presión en el tanque T-001 y de nivel, presión, pH y temperatura en los tanques T-002 y T-003 en lazos individuales y ofrecer un nivel supervisorio sobre los diferentes lazos de control como se muestra en la figura 1. Cada recipiente estará 100% organizado con instrumentación de control y seguridad.

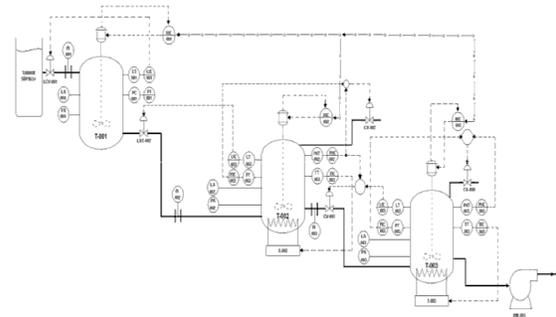


Fig. 1. Diagrama P&ID del sistema de control de la planta piloto en fases separadas de biodigestión anaerobia.

3.2 Narrativas de Control

En esta narrativa se explica cómo se realiza el control del proceso, esto incluye la tecnología, sensores, elementos finales de control, especificaciones de los equipos, transmisores, relaciones, diagramas en bloques, advertencias de alarmas, notas, etc. A continuación se muestra la normativa de control de nivel, presión, temperatura y pH (variables principales del sistema) relacionadas con el tanque 1. De manera similar se hace para los demás tanques teniendo en cuenta todos los instrumentos involucrados en el proceso.

- *Narrativa De Control de Nivel en el tanque 1 (T-001).*

Objetivo:

Describir el proceso del sistema de control de Nivel del tanque 1.

Lista de instrumentos involucrados en el sistema de control.

- ✓ LT-001
- ✓ LA-001
- ✓ LIC-001
- ✓ FI-001
- ✓ LCV-001

Modo de Operación del sistema de control:

- LT-001

P&ID: GIAAS EYCS C-2008 PROPOSITO:

Medición del nivel del líquido en el tanque T-1 y transmisión de los datos al controlador.

- LIC-001

P&ID: GIAAS EYCS C-2008 PROPOSITO:
Controlar e indicar el nivel del líquido en el tanque T-001.

- LA-001

P&ID: GIAAS EYCS C-2008 PROPOSITO:
Detectar y avisar cuando el nivel del líquido del tanque sobre pase el Set Point establecido.

- FI-001

P&ID: GIAAS EYCS C-2008 PROPOSITO:
Indica el flujo que entra al tanque T-001.

- LCV-001

P&ID: GIAAS EYCS C-2008 PROPOSITO:
Controla el caudal de entrada de líquido al tanque T-001.

- *Narrativa De Control de Presión en el tanque 1 (T-001).*

Objetivo

Describir el proceso del sistema de control de Presión del tanque 1.

- ✓ PT-001
- ✓ PC-001
- ✓ PA-001

Modo de Operación del sistema de control:

- PT-001

P&ID: GIAAS EYCS C-2008 PROPOSITO:
Medición de la presión en el tanque T-001 y transmisión de los datos al controlador.

- PC-001

P&ID: GIAAS EYCS C-2008 PROPOSITO:
Controlar la presión en el tanque T-001.

- PA-001

P&ID: GIAAS EYCS C-2008 PROPOSITO:
Avisar y alertar cuando la presión en el tanque T-001 sobrepase un valor predeterminado.

3.3 Narrativas de seguridad

Para el desarrollo de las narrativas de seguridad, se planteó el sistema de manera similar al sistema de control como se muestra en la figura 2. El objetivo es brindarle seguridad al proceso cuando el sistema de control falle, este debe incluir el método o técnica que se utilizará, así mismo, sensores, transmisores, esquemas, etc.

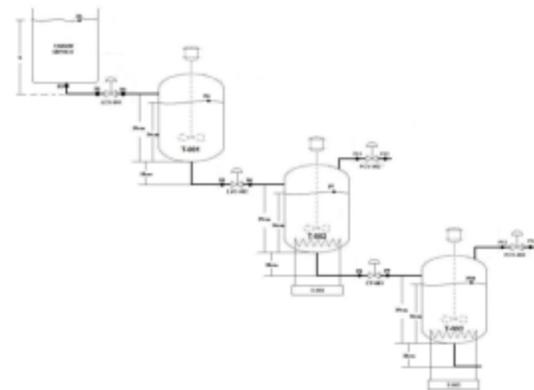


Fig. 2. Cálculo de las presiones del sistema de biodigestión en fases separada.

3.4 Cálculo y selección de los instrumentos

Para el cálculo y selección de las válvulas de control y las válvulas de control de presión se hará uso del teorema de Bernoulli y Torricelli con el fin de hallar las presiones del proceso, partiendo de algunos conceptos básicos de presión. En esta parte solo se tratará el cálculo de las válvulas de control de nivel y flujo del líquido. Teniendo en cuenta los datos del proceso se obtiene:

- P_1 : Presión atmosférica, $P_1=101333$ Pa;
 r : Densidad del líquido (Densidad de la mezcla biomasa -agua) = 961.107866 kg/m³
 g : Aceleración de la gravedad = 9.806650 m/s²
 h : Altura máxima del líquido en el tanque T-1 con respecto a la válvula LCV-001, (0.51 m).

Como el tanque séptico está abierto, la presión P_1 va a ser igual a la presión atmosférica. Para el cálculo de la válvula LVC-001, mediante el teorema del Bernoulli calculamos la presión P_2 , entonces:

$$P_2 = rgh + P_1$$

$$P_2 = 106139.8767 \text{ Pa}$$

Aplicando el teorema de Torricelli y teniendo en cuenta el teorema de Bernoulli mencionados anteriormente, se calcula la velocidad del líquido hacia la válvula LCV-001.

$$V_2 = 3.16271766 \text{ m/s}$$

Para hallar el caudal, se utilizo la fórmula:

$$Q = S \times V$$

Donde Q es el caudal, S la sección transversal de la tubería que está dada por la fórmula:

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

Donde d es el diámetro de la tubería y V es la velocidad. La tubería a utilizar en el proyecto es de diámetro igual a 1 pulgada, es decir, 2.54 cm.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores para el proceso de tiene un caudal:

$$Q = 1.602572693 \text{ L s}$$

Para la válvula se asumirá un coeficiente de fricción $K_L=0.2$, entonces se tiene que las pérdidas en la válvula son:

$$h_L = K_L \frac{v^2}{2g}$$

La caída de presión en la válvula está dada por:

$$\Delta P = rgh$$

Entonces se tiene que:

$$\Delta P = r K_L \frac{v^2}{2}$$

Hallando ΔP , se tiene: $\Delta P = 961.3761362 \text{ Pa}$

Como: $\Delta P = P_2 - P_3$,

$$\text{Entonces } P_3 = 105178.5006 \text{ Pa}$$

La presión P_4 se halla utilizando el teorema de Bernoulli: $P_4 = 105179.9992 \text{ Pa}$. De manera similar se hallan las presiones para los demás tanques, utilizando los teoremas de Bernoulli y Torricelli, obteniendo los siguientes resultados:

Cálculo de las presiones en los tanques 1 y 2.

$$P_5 = 109986.8799 \text{ Pa}$$

$$P_6 = 109025.5038 \text{ Pa}$$

$$P_7 = 109027.0024 \text{ Pa}$$

Cálculo de las presiones relacionadas con los tanques 2 y 3 para la válvula VC-003.

$$P_8 = 113833.8831 \text{ Pa}$$

$$P_9 = 112872.5069 \text{ Pa}$$

$$P_{10} = 112874.0055 \text{ Pa}$$

Una vez se tiene las presiones necesarias se procede al cálculo y selección de las válvulas necesarias para el proceso.

3.4.1 Cálculo de la válvula LVC-001

Cálculo del coeficiente de la válvula

Para determinar el tipo de fluido, ya sea crítico o subcrítico se procede a utilizar las siguientes fórmulas:

Para un factor subcrítico se tiene:

$$\Delta P < C_f^2 (\Delta P_3)$$

Para un factor crítico se tiene:

$$\Delta P \leq C_f^2 (\Delta P_3)$$

En donde ΔP : Es la diferencia entre la Presión aguas arriba y la presión aguas abajo. Cf: Factor Crítico de Flujo

$$\Delta P = P_2 - P_3 = 0.00961 \text{ Bar.}$$

El ΔP_s , se calcula de la manera como se muestra en la siguiente ecuación:

$$AP_3 = P_2 - \left(0.96 - 0.28 \sqrt{\frac{P_v}{P_c}} \right) \cdot P_v$$

Donde: P_v : Presión de Vapor del Líquido.
 P_c : Presión Crítica del Líquido.

El factor crítico de flujo (C_f), se obtiene al seleccionar la válvula, dicha selección se realiza mediante el monograma. Para el caso en estudio se selecciono la válvula CAMFLEX II 35002 Serie FTO, la cual para un C_v de 50% se tiene que el factor crítico de flujo esta dado para un: $C_f=0.87$

De acuerdo a los datos y ecuaciones anteriores se tiene: $\Delta P_s = 10.0760613$. El producto $C_f^2 (\Delta P_s)$ es igual a 0.783750182, de donde se puede concluir que $0.00961 < 0.783750182$, por lo tanto se puede decir que el flujo es sub-crítico.

Para calcular el caudal o el coeficiente de la válvula lo hacemos mediante la fórmula:

$$C_v = 1.16 \cdot q \sqrt{\frac{G_f}{\Delta P}}$$

Donde q : Caudal que circula a través de las válvulas (0.001602572) m^3/s ; G_f : Gravedad específica del líquido (1.023); ΔP : Es la diferencia entre la presión aguas arriba y la presión aguas abajo.

Por lo tanto C_v es igual a 0.194055116, de acuerdo a lo anterior, se seleccionan las válvulas con características:

$$C_v = 0.194055116$$

Diámetro del orificio: 0.81534 cm.
Viaje del actuador: 8.89 cm.

- Cálculo de la placa de orificio

Haciendo uso del C_v obtenido para la válvula, debido a que la presión a lo largo de toda la tubería es aproximadamente la misma entonces:

$$K_v = 0.86 C_v$$

$$K_v = 0.163873997$$

De igual manera se tiene que:

$$k_v = P \left(\frac{d^2}{2} \right) \sqrt{\frac{2}{1 - \frac{d^4}{D^4}}}$$

Despejando d , se obtiene la ecuación mediante la cual se puede calcular el diámetro de la placa orificio. En donde, d : diámetro de la placa orificio; D : diámetro de la tubería; K_v : coeficiente geométrico de la válvula.

Reemplazando las diferentes variables en la ecuación anterior se obtiene, que el diámetro de la placa orificio es:

$$d = \sqrt[4]{\frac{8 \cdot (0.163873^2) \cdot (0.0254^2)}{(0.0254^4) \cdot P^2 + (0.1698373997^2)}}$$

$$d = 0.025399878 \text{ m}$$

De manera similar se hace el cálculo de las demás válvulas involucradas en el proceso.

3.5 Diagramas de lazo

Los diagramas de lazo son documentos que permiten realizar pruebas de instrumentación durante el arranque y mantenimiento de una planta, estos deben contener toda la información necesaria para interpretar cada uno de los lazos que componen el sistema. (Bedoya, 2006)

3.6 Normativa utilizada

Para el desarrollo de la ingeniería de detalle de este proyecto se usó la normativa internacional ANSI/ISA, que es un conjunto de normas usadas en la instrumentación de todo proceso. Entre las normas utilizadas se tienen:

- ANSI/ISA-5.1-1984 (R1992), Sobre Instrumentación y símbolos de identificación.
- ANSI/ISA-51.1-1979 (R1993), Sobre Terminología del proceso de Instrumentación.
- ISA-5.3-1983, Sobre Símbolos gráficos de control distribuido /Instrumentación pantalla compartida, la lógica y los sistemas informáticos.
- ANSI/ISA-5.4-1991, Sobre Diagramas de lazo de instrumentos.
- ISA-5.5-1985, Sobre Símbolos gráficos para el proceso de muestra.

7. CONCLUSIONES

Mediante el desarrollo de la ingeniería de detalle se dan a conocer las características notables del sistema que se está diseñando dando las bases necesarias para la implementación de este, tales como elaboración de planos, materiales, equipos, instrumentación en general, etc.

El desarrollo de la ingeniería de detalle para el sistema de biodigestión en fases separadas se llevó a cabo mediante un estudio teórico de las variables presentes en el proceso, la realización de las narrativas de proceso, Narrativas de control y seguridad del proceso de biodigestión, los cálculos de los elementos primarios, elementos finales de control, consumo y pérdidas de energía y Diagramas de lazos de control de acuerdo a una normativa internacional.

Para el desarrollo de la ingeniería de detalle se debe tener en cuenta la utilización de una normativa determinada y que se ajuste al desarrollo del proyecto, así como criterios de seguridad, viabilidad, etc., que soporten los criterios utilizados en el diseño.

El desarrollo de la ingeniería de detalle en el proceso de biodigestión en fases separadas juega un papel fundamental ya que mediante ésta, se da a conocer el funcionamiento del sistema, las variables que influyen en éste, los tipos de sensores y actuadores utilizados con respecto al comportamiento de éstas variables dando como resultado un proceso automatizado confiable y útil a corto y largo plazo.

REFERENCIAS

- Arteaga C. Y.; Carballo A. L.; Márquez M, F.; Urbáez M, C. *Biomasa: Alternativa sustentable para la producción de Biogás*. Universidad de Pinar del Río “Hermanos Saíz Montes de Oca”. Facultad de Forestal y Agronomía. Departamento de Química. Cuba,
- Arenas, L., Castillo A, J., Castillo M, E., Cristancho, D., Hernández, M., Luna, H., Martínez, A., Sandoval, C., Vergara, M. *Digestión Anaerobia: Una alternativa para el tratamiento de residuos sólidos urbanos*. Universidad Industrial de Santander. Centro de estudios e investigaciones ambientales. Colombia, 2007.
- Bedoya, J. C. *Diseño de la automatización de una planta generadora de Biogás*. Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Electrónico. Universidad de Pamplona. Pamplona-Colombia, 2006.
- Gastelbondo B., Walter. *Ingeniería para la construcción de procesos de capacidad simple para el desarrollo de métodos de detección y diagnóstico de fallas*. Universidad de Pamplona. Instituto de Investigación y Desarrollo de Tecnologías Aplicadas (IIDTA). Grupo de Automatización y Control. Pamplona, Colombia, 2005.
- Landeros P, E., Martí M, J., Saavedra L, M., Ruíz F, G., Chamy, R., Pulgar, L. *Modelación operacional de digestores en planta de tratamiento de aguas servidas*. Grupo Aguas y Escuela de Ingeniería Bioquímica de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile, 2006.
- Lay J., Li, Y., Noyke, T. “The Influence of pH and Ammonia Concentration on the Methane Production in High-Solids Digestion Processes”. *Water Environment Research*, Vol 50, N°5, Julio/Agosto (1998).