

# Modelado, Simulación y Desarrollo de un Prototipo de Biorreactor para la Generación de Biogás.

A. Linares-Enríquez<sup>1</sup>, R. López García<sup>1</sup>.

**Resumen**— El presente proyecto describe la implementación en cada una de las etapas del diseño de los elementos de un biorreactor. Se establece el modelo matemático para la determinación de las variables y parámetros más importantes, así como se describe el diseño mecánico del sistema, sus componentes y parámetros de funcionamiento como pH, humedad y temperatura. El control de un biorreactor tipo batch para la generación de biogás, establece construir un sistema de monitoreo de temperatura de lazo cerrado para un proceso de fermentación anaeróbica de desechos orgánicos. La propuesta para obtener el biogás es con tres contenedores, uno para la concentración de biomasa, el segundo para la producción del biogás mediante el proceso de fermentación, la transferencia de calor por conducción para el proceso de descomposición y obtener el combustible, el tercer contenedor se acumulará el biogás obtenido para su uso. El principal uso del biogás es como combustible de autoabastecimiento para equipos que utilizan gas L.P. La producción de biogás a partir de residuos biodegradables es considerada sustentable ya que es un subproducto de un proceso de tratamiento. El aprovechamiento energético del biogás a partir de residuos: ganaderos, lodos residuales, de efluentes industriales y residuos sólidos urbanos o frutas.

**Palabras claves**— Biogás, Biorreactor, Combustible, Diseño, Producción.

**Abstract**— The present project describes the implementation in each of the stages of the design of the elements of a bioreactor. The mathematical model is established for the determination of the most important variables and parameters, as well as the mechanical design of the system, its components and operating parameters such as pH, humidity and temperature. The control of a batch bioreactor for the generation of biogas, establishes the construction of a closed loop temperature monitoring system for an anaerobic fermentation process of organic waste. The proposal to obtain the biogas is with three containers, one for the biomass concentration, the second for the production of the biogas through the fermentation process, the heat transfer by conduction for the decomposition process and obtain the fuel, the third container the biogas obtained for its use will accumulate. The main use of biogas is as a self-supply fuel for equipment that uses L.P. gas. The production of biogas from biodegradable waste is considered sustainable since it is a byproduct of a treatment process. The energy use of biogas from waste: livestock, waste sludge, industrial effluents and urban solid waste or fruit.

**Keywords**— Biogas, Bioreactor, Fuel, Design, Production.

## I. INTRODUCCIÓN

Se desarrolla un proyecto de biorreactor tipo batch para la producción de biogás como una alternativa de aprovechamiento de desechos orgánicos y una opción de la reducción de consumo de gas L.P., para poder generar un ahorro económico en los inmuebles, ya que para la obtención de este biogás se necesitan los desechos de comida, frutas, entre otros, generando así un gas más económico con materia prima que se considera como basura y, para la sustentación de las familias, así mismo el residuo que se genere de este proceso puede ser empleado como abono para la producción de algunas plantas frutales.

Esto se lleva a cabo mediante el modelado y simulación del sistema de producción de biogás y el sistema auxiliar para el proceso térmico de aceleración de producción, implementando el desarrollo del biorreactor, la propuesta para la producción es a través de un sistema de contenedores, obteniéndose dos productos, uno, el gas y el otro un abono, determinando las características del equipo desarrollado.

Se analiza el comportamiento mecánico y térmico a través del análisis del elemento finito del biorreactor y sistema de calentamiento, además de los componentes para el sistema de agitación del producto del biorreactor y el sistema de bombeo para el sistema de calentamiento y recirculación.

El proyecto pretende dar solución a uno de los problemas que es la contaminación ambiental ya que el mismo biogás puede ser empleado como combustible por lo que se establece un sistema de control de temperatura, presión y de pH para así de una manera tener el sistema de generación del biogás controlado. Para la parte del control de temperatura se contara con un sistema de transferencia de calor por convección mediante un serpentín para transferir calor al biorreactor.

Al diseñar un biorreactor se debe de tener en cuenta las características del proceso a realizar, asegurar las condiciones necesarias para el crecimiento de los microorganismos y la obtención del producto final deseado. Se enfatiza en las necesidades para el control de los

<sup>1</sup> Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco, Departamento de Ingeniería Mecánica, Carretera Tenango-La Marquesa km 22, Santiago Tilapa, C.P. 52650, Santiago Tianguistenco, Estado de México, México.

\* [alejandra.linares@test.edu.mx](mailto:alejandra.linares@test.edu.mx).

parámetros tales como homogeneidad, temperatura, pH y concentración inicial de glucosa.

En México el 53% de la basura que se genera es orgánica y 47% inorgánica, esta última se clasifica en reciclable y no reciclable. En 2010, se generaron diariamente en el país 109 mil 750 toneladas de residuos sólidos. El Estado de México es uno de los estados que más generan basura de la cual más del 50% es basura orgánica la cual solo es depositada en los basureros y no se genera un aprovechamiento de ella. En la actualidad el costo y consumo de gas LP se va incrementando y la generación de basura aumenta cada día más y más, este proyecto busca aprovechar los residuos y poder sustituir el consumo de gas LP y disminuir la contaminación por los desechos

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

El manejo de los residuos sólidos en inmuebles está a cargo de diferentes instancias según su lugar de generación y su tipo. La obtención de residuos en el proyecto será a través de los municipios, empresas, en los mercados, ganaderías y en instituciones, como los generados en cafeterías, aprovechando los residuos de frutas, entre otros, en estos lugares se colocarán contenedores que servirán para ser trasladados y utilizados para la obtención del biogás [1].

Por lo cual se pretende implementar un recipiente para la recolección de desechos orgánicos en las áreas que genere, separándolos por tipo de desechos para su aprovechamiento que se propone en la Figura 1, se muestra un depósito de desechos [2].

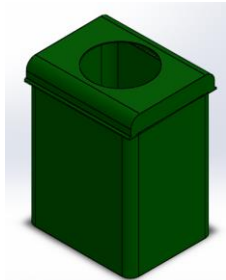


Figura 1. Depósito de desechos. Elaboración propia.

**Normas aplicadas.**

Los recipientes sujetos a presión representan riesgos muy altos para la industria y sus trabajadores, por tanto, son sujetos de lineamientos normativos estrictos y precisos, basados en la NOM-020-STPS-2011 y normas internacionales aplicables. La NOM-020-STPS-2011 establece las especificaciones mínimas de diseño y fabricación de los recipientes sujetos a presión para contener Gas L.P., en el caso del proyecto es biogás.

Asimismo, la norma incluye los métodos de prueba que deben cumplir los recipientes no transportables en materia

de presión, así como el procedimiento de evaluación de la conformidad correspondiente.

Esta Norma Oficial Mexicana se complementa con las siguientes normas vigentes o las que las sustituyan.

- **NOM-018/3-SCFI-1993**
- **NOM-012/2-SEDG-2003**
- **NOM-012/3-SEDG-2003**

**Modelado matemático del biorreactor con ecuación característica.**

Para el modelo matemático se analiza el balance de masa correspondiente a un biorreactor continuo de mezclado perfecto, para lo cual partimos de lo siguiente:

1. Al realizar el mezclado, el fluido entra al primer tanque, donde se establece la composición entre la fruta y el disolvente para hacer el fluido menos viscoso para su introducción al biorreactor.
2. Estando la mezcla en el biorreactor, a través de un sistema de agitación, las propiedades del fluido se aceleran, como la concentración del microorganismo, que son homogéneas en todo el volumen.
3. Como el flujo volumétrico de alimentación es igual al flujo volumétrico del fluido que sale del tanque, el volumen es constante. [3]

En la Ecuación (1) se muestra el modelo matemático para obtener la ecuación característica.

$$\left\{\frac{dm}{dt}\right\} = \{x_1 F\} - \{x_0 F\} + \left\{\left(\frac{dm}{dt}\right)_G\right\} - \left\{\left(\frac{dm}{dt}\right)_D\right\} \tag{1}$$

- $\frac{dm}{dt}$  = Variación de la masa dentro del sistema.
- $x_1 F$  = Flujo de masa que entra al sistema.
- $x_0 F$  = Flujo de masa que sale del sistema.
- $\left(\frac{dm}{dt}\right)_G$  = Concentración dentro del sistema de concentración.
- $\left(\frac{dm}{dt}\right)_D$  = Disolución dentro del sistema de concentración.

La concentración dentro del tanque se aproxima a la concentración de alimentación. Si  $D$  es ligeramente mayor que  $\mu_G$ , entonces la concentración del tanque será mucho mayor que la inicial, esto puede ser conveniente pero la respuesta dinámica del sistema será más lenta. Aplicamos la transformada de Laplace, partiendo de condiciones iniciales nulas.

- $D$  = Velocidad de disolución.
- $\mu_G$  = Velocidad específica de crecimiento.

$$x_1(s) = \frac{D}{s + (D - \mu_G)} x_0(s) \tag{2}$$

De la cual se obtiene:

$$x_1 = \frac{D}{D - \mu_G} x_0 \tag{3}$$

En la Figura 2 se muestra un diagrama de bloque donde se muestra el modelado del biorreactor en Simulink.

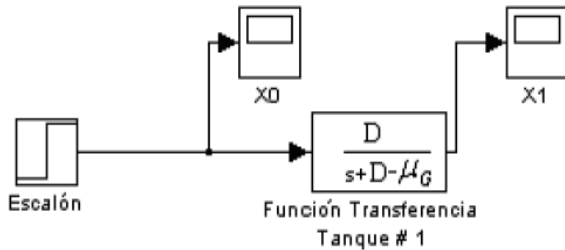


Figura 2. Modelado del biorreactor en Simulink. Elaboración propia.

**Presión de diseño.**

La presión de diseño en este tipo de recipientes debe ser de 1,2 MPa.

En función del radio interior.

$a_1$ ) Esfuerzo circunferencial.

$$t = \frac{PRi}{SE-0.6P}; P = \frac{SEt}{Ri+0.6t} \tag{4}$$

$a_2$ ) Esfuerzo longitudinal.

$$t = \frac{PRi}{2SE+0.4P}; P = \frac{SEt}{Ri-0.4t} \tag{5}$$

En donde:

- t=Espacio mínimo de pared.
- P=Presión de diseño del recipiente.
- Ri=Radio interior del cuerpo del recipiente.
- S=Esfuerzo máximo permisible del material (Factor de seguridad de 3.5).
- E=Eficiencia de junta solidada.

**Sistema de Agitación.**

Tiene la función de generar la potencia necesaria para producir una mezcla perfecta para el sistema de cultivo y producir un régimen de agitación adecuado que maximice la difusión de gases en el líquido y minimice la producción de esfuerzos cortantes y la presión hidrodinámica local y global, para optimizar los fenómenos de transferencia de momentum, calor y masa.

El agitador se compone de un sistema de motor monofásico de 0.25 hp, 1800 rpm, 115/230 Volts, 5.6/2.8 amp, que moverá un sistema de poleas con una relación de giro de 4.06, para mover el agitador de cuatro palas a 444 rpm, este sistema establecerá el mezclado dentro del biorreactor. Los componentes tangenciales inducen la formación de vórtices y remolinos, los que se evitan utilizando placas deflectoras, que se proponen en el diseño de las aspas como se muestra en la Figura 3, estableciendo un aspa de 4 palas.

Al considerar estos parámetros se estableció el diseño del biorreactor como se muestra en la Figura 3. [4]

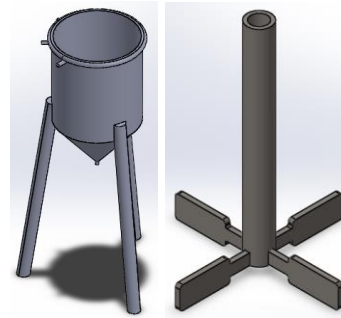


Figura 3. Diseño del biorreactor y agitador. Elaboración propia.

Al tener el diseño del biorreactor se ensambla con el primer depósito que el de premezclado y se conecta al biorreactor donde se genera el biogás, además con la ayuda del agitador se hace homogénea la mezcla como se muestra en la Figura 4 [2].



Figura 4. Premezclado y biorreactor. Elaboración propia

**Numero de Reynolds.**

Para lograr la agitación deseada se calcula la potencia del motor, la cual consiste en determinar el número de Reynolds ( $NR_e$ ), el número de potencia para los impulsores ( $N_p$ ) y por último la potencia del motor en hp se calcula la Ecuación (3).

$$NR_e = \frac{(d^2 N \rho)}{\mu} \tag{3}$$

- N Re=Numero de Reynolds (adimensional).
- d=Diámetro del impulsor =27.6cm =0.276.
- N=Velocidad del motor =1800rpm =30rps.
- $\rho$ =Densidad de mezcla del reactor =1060 Kg/m<sup>3</sup>
- $\mu$ =Velocidad de mezcla del reactor =0.113/Kg/m

$$NR_e = \left[ \frac{(0.276m)^2 (30rps) (\frac{1060Kg}{m^3})}{(\frac{0.113Kg}{m})} \right] = 21437.139$$

**Número de Froude.**

El número de Froude es importante en situaciones donde existe la formación de vórtice en la superficie del líquido y puede ser despreciado generalmente cuando el número de Reynolds es menor a 300 y se analiza con la Ec. (4).

$$Fr = \frac{DN^2}{g} \tag{4}$$

$$Fr = \frac{(0.005m)(6684508rps)^2}{9.81 m/s^2} = 22774 \times 10^6$$

Dónde:

$g$ =Aceleración de gravedad  $(9.81 \frac{m}{s^2})$ .

$D$ =Diámetro del agitador.

**Eficiencia Hidráulica del impulsor.**

La combinación de los números de potencia, de bombeo y la relación geométrica adimensional  $(D/T)$  da como resultado la eficiencia hidráulica del impulsor, que indica la capacidad de convertir la energía consumida por el impulsor en bombeo del material líquido analizada en la Ec. 5.

$$E_p = \frac{N_Q^3}{N_P} \left(\frac{D}{T}\right)^3 \tag{5}$$

$$E_p = \frac{(698131.6601)^3}{(199.275 \times 10^{-9})} \left(\frac{0.005m^3}{0.30m^3}\right)^3 = 7905.0647 \times 10^6$$

El pH en un digestor anaeróbico inicialmente decrecerá con la producción de ácidos volátiles. Sin embargo, como las bacterias productoras de metano consumen los ácidos volátiles y la alcalinidad es producida, el pH del digestor incrementa y después se estabiliza. En un tiempo de retención hidráulica mayor a 5 días, las bacterias productoras de metano comienzan rápidamente a consumir los ácidos volátiles, al mismo tiempo existen diversas formas para mantener la temperatura deseada en el interior del biorreactor, de acuerdo con la ley de la termodinámica existen tres formas de transferir o recibir calor de un cuerpo a otro, el proyecto considera la conducción como se muestra en la Ec. (6):

$$Q_{cond} = KA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = KA \frac{\Delta T}{\Delta x} \tag{6}$$

**Transferencia de calor en sistemas cerrados.**

La interacción entre el sistema y su entorno que ha tenido lugar en el último caso se denomina interacción calor o transferencia de calor  $Q$ . El calor y el trabajo son los únicos mecanismos mediante los cuales se puede transferir energía a través de la frontera de un sistema cerrado.

En un biorreactor operado apropiadamente se tiene un pH de entre 6.8 y 7.2, esto ocurre a medida que los ácidos volátiles son convertidos a metano y dióxido de carbono. El pH de un sistema anaeróbico es significativamente afectado por el contenido de dióxido de carbono del biogás.

La diferencia entre el cambio de energía y el trabajo neto es una definición operacional de la interacción calor que ha tenido lugar. Una cantidad diferencial de calor puede definirse en función del flujo de calor  $\dot{Q}$  como se muestra en la Ec. (7). [5]

$$\delta Q = \dot{Q} dt \tag{7}$$

Como resultado, para un proceso entre los cambios de energía y el trabajo neto se establece la Ec. (8):

$$Q_{12} = \int_1^2 \dot{Q} dt = \int_1^2 \delta Q \tag{8}$$

**Conservación de la energía para sistemas cerrados.**

En un sistema cerrado reordenando la ecuación de modo que la variación de energía quede en el lado izquierdo, se obtiene la Ec. (9):

$$\Delta E_{mc} = E_2 - E_1 = Q + W \tag{9}$$

Esta ecuación establece la ley de la conservación de la energía para un sistema cerrado. Se conoce también como balance energético general para un sistema cerrado.

La capacidad de un material para absorber energía sin fracturarse se conoce como su tenacidad  $UT$ , también conocido como módulo de tenacidad  $y$ , es proporcional al área por debajo de la curva esfuerzo-deformación hasta su punto de fractura. La tenacidad se puede definir como se establece en la Ec. (10): [6]

$$UT = \int_0^{S_{ut}} \sigma d\epsilon = \left(\frac{S_y + S_{ut}}{2}\right) \epsilon \varphi \tag{10}$$

**Elementos auxiliares.**

El sistema hidráulico que se propone en el diseño, consiste en la fabricación de una estructura metálica que soporte todo el proyecto, tanto el sistema auxiliar como el de generación de biogás, los materiales que se utilizaron son:

- 4 barras de ángulo de 6 m.
- 4 barras de PTR de 6 m.

La cual forma el esqueleto del proyecto, soporta los elementos necesarios para realizar la recirculación del sistema hidráulico, compuesto por un calentador solar, tubería, tanque de recirculación y sistema de bombeo, así como el sistema de generación de biogás, que contiene el sistema de agitación y biorreactor para la obtención del biogás, como se muestra en la Figura 5 [2].

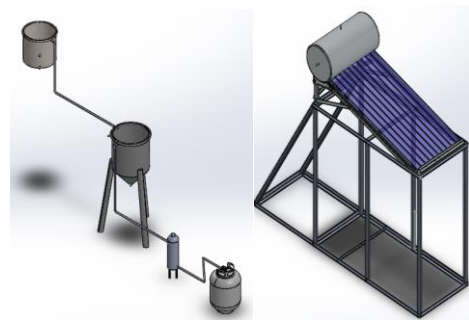


Figura 5. Estructura, calentador y biorreactor. Elaboración propia.

Para la transferencia de calor y obtener biogás, se realizó el diseño de un calentador solar para implementarlo y que proporcione agua caliente para que acelere la reacción del proceso para la obtención de biogás, de acuerdo al diseño el calentador solar, está instalado en la parte superior de la estructura, este calentador a través de un sistema de tuberías que estarán instalados en las paredes del biorreactor, se coloca un serpentín de cobre para que circule el agua

caliente alrededor del biorreactor, todo el sistema se muestra en la Figura 6 [2].

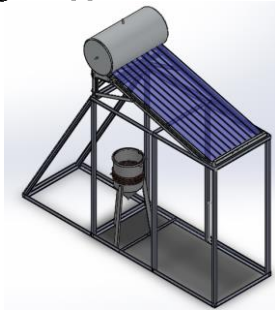


Figura 6. Ensamble del sistema. Elaboración propia.

Se define la bomba de desplazamiento positivo del sistema de recirculación, estableciendo un sistema de 120 watts, altura máxima de 9 metros, caudal de 35 litros/min, 127 volts, 0.6 MPa. De acuerdo al diseño para recircular el agua caliente devuelta a el calentador con la finalidad de diseñar un sistema de recirculación cerrado, como se muestra en la Figura 7.

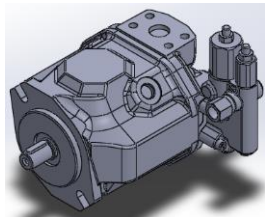


Figura 7. Diseño de bomba. Elaboración propia.

**Filtro de carbón activado para biogás.**

Los filtros de carbón activo se utilizan como etapa final del proceso de tratamiento de biogás, o bien, pueden ser utilizados para la remoción de contaminantes en una sola etapa cuando éstos se presentan en una baja concentración. El flujo a tratar entra por la parte inferior del filtro y se hace pasar a través de una capa de carbón activo que adsorbe los contaminantes; el tiempo de saturación del medio filtrante es determinado por el flujo de gas, concentración de contaminantes, y la capacidad del medio filtrante para adsorber el contaminante. En la Figura 8 [2], se muestra la propuesta del diseño del filtro de carbón activado y el diseño propuesto al realiza el ensamble del proceso que se va a realizar para la obtención de biogás [7].

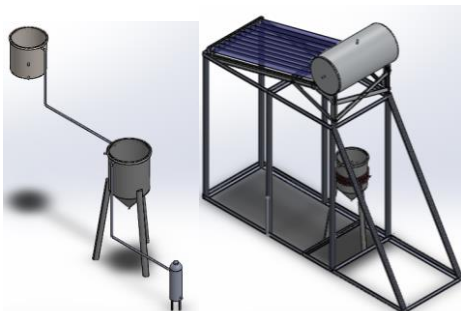


Figura 8. Ensamble del proceso con el filtro. Elaboración propia.

Un tercer contenedor es el tanque de almacenamiento para la obtención del biogás, para el uso del combustible como se muestran los diseños en la Figura 9 [2]. Finalmente se muestra la simulación del proceso en su totalidad.

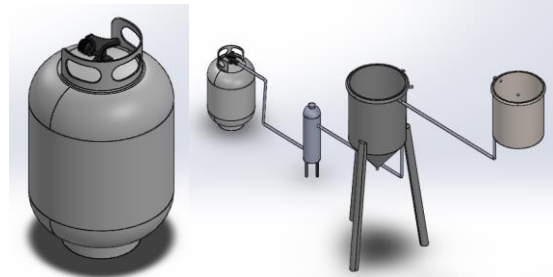


Figura 9. Ensamble del proceso de obtención de biogás. Elaboración propia.

III. RESULTADOS.

**Monitoreo de parámetros.**

Al definir el modelado y la simulación del birreactor y todos sus componentes, se determina un sistema de monitoreo de parámetros, se analiza la fermentación continua con  $G_{\mu}=4.5$  y  $D=5$ , el diagrama de bloques del sistema de monitoreo se muestra en la Figura 10, en Simulink de Matlab para conocer la respuesta del proceso [8].

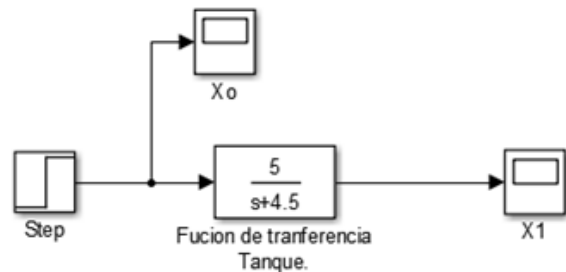


Figura 10. Diagrama de bloques en Simulink de Matlab. Elaboración propia.

La Figura 11 muestra la concentración de la mezcla en la salida del tanque en función del tiempo luego de la simulación, en ésta se observa que después de transcurrido un tiempo se estabiliza el sistema.

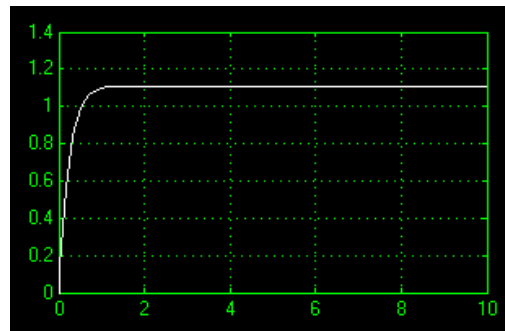


Figura 11. Respuesta de diagrama de bloque en Simulink. Elaboración propia.

Donde la respuesta tipo escalón simula la concentración del fluido en el tanque y su estabilización, en la función de transferencia se sustituyen los valores de  $D$  y  $\mu_G$ , con las pantallas observamos  $X_0$  y  $X_1$ , que son la entrada y la salida del sistema.

**Simulación de Esfuerzos y Deformaciones.**

Se realizó el mallado del biorreactor para comenzar el análisis de esfuerzos y deformaciones, al realizar el sistema se aplica una presión de  $4.342\text{Mpa}$ , una fuerza de  $5.790\text{N}$  y un momento de  $1.737\text{Nm}$  como se muestra en la Figura 12 [9-10].

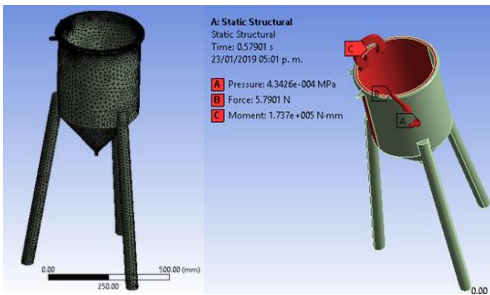


Figura 12. Biorreactor y aplicación de presión, fuerza y momento, mallado. Elaboración propia.

Al realizar las simulaciones se obtuvo una deformación de  $4.58 \times 10^8$  donde no presenta problemas el equipo, además de un esfuerzo de  $2.08\text{MPa}$ , que está en condiciones de funcionamiento, como se observa en la Figura 13 [9-10].

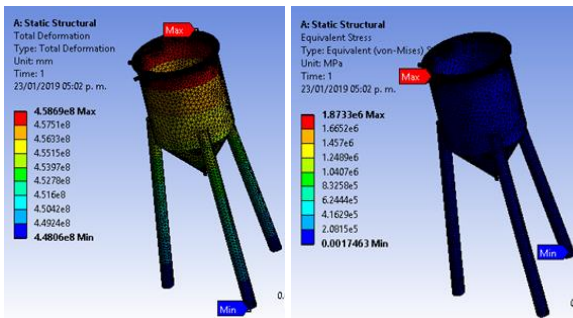


Figura 13. Esfuerzos y deformaciones del sistema. Elaboración propia.

En la Figura 13, en el lado izquierdo se muestra que en la parte superior del biorreactor existe la mayor deformación, además se muestra que la deformación plástica equivalente no presenta problemas de diseño al analizar los componentes de las deformaciones en el punto máximo, en la parte derecha los esfuerzos que se presentan en el sistema, donde prácticamente no se tienen problemas de esfuerzo, el valor límite de este esfuerzo equivalente es en el punto mínimo del biorreactor.

**Desarrollo del prototipo.**

Con el modelado, la simulación, el análisis y el diseño obtenido, el siguiente paso es la construcción de cada componente del sistema de generación de biogás,

primeramente, el tanque de premezclado y el biorreactor, como se muestra en la Figura 14.



Figura 14. Biorreactor y depósito de premezclado.

Con estos elementos, se continuo con la construcción de la estructura, para colocar el sistema auxiliar de generación y el sistema de producción de biogás, como se muestra en la Figura 15, además del calentador solar que se implementa para tener un sistema termosolar.



Figura 15. Estructura, sistema auxiliar de generación, sistema de producción de biogás y sistema termosolar.

**IV. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES**

En el desarrollo de este proyecto se llevaron a cabo la simulación y modelado del sistema de generación de biogás, utilizando los desechos generados en el Tecnológico de Estudios Superior de Tianguistenco, y poder aprovechar lo que sería la basura orgánica, beneficiando la carrera de gastronomía ya que se pretende reducir el consumo de gas LP.

Con la ayuda de algunas herramientas como lo son los programas computacionales y fundamentos matemáticos se logró llegar a la elaboración y construcción del prototipo, el análisis permite establecer el diseño y construcción del biorreactor, obteniéndose los resultados en el prototipo, las simulaciones representan la operación, el funcionamiento y el monitoreo del sistema.

Se recomienda realizar las pruebas de funcionamiento con diferentes mezclas de materia orgánica para analizar el funcionamiento de todo el sistema, tanto del sistema auxiliar como del sistema de generación de biogás.

## V. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco el apoyo para el desarrollo del prototipo de biorreactor para la generación de biogás.

## VI. REFERENCIAS

- [1] Guillermo R, L (2017) Manejo de desechos en universidades. Estudio de caso, file:///C:/Users/cliente/Downloads/Dialnet-ManejoDeDesechoEnUniversidadesEstudioDeCaso-4835778%20(1).pdf
- [2] Msc. Joseph Stanli Logan Paladines, (2010), Capitulo 1 Introducción a Solidworks.
- [3] Aros, N., Cifuentes, M., & Mardones, J. (2011). Modelación, simulación y control de proceso de fermentación. [https://laboratoriomicroaplicada.files.wordpress.com/2008/11/alimentos\\_fermentados.pdf](https://laboratoriomicroaplicada.files.wordpress.com/2008/11/alimentos_fermentados.pdf).
- [4] Hernández, A. F., Montiel, M. F., Reyes, J. R., & Zaragoza, C. A. (2013). Diseño y modelado de un biorreactor tipo batch y continuo para aplicaciones de control automático. Congreso Nacional de Control Automático.
- [5] Álvarez, G. A. (2013). Control de Temperatura y pH Aplicado en Biodigestor Modulares de Estructura Flexible con Reciclado de Lodos a Pequeña Escala. Querétaro: Universidad Autónoma de Querétaro.
- [6] Yanus Cengel Afshin j. Ghajar, Transferencia de calor y masa: fundamentos y aplicaciones cuarta edición mecanismos de transferencia de calor, conducción pág.17- 22.
- [7] Weiland, P. (2010). Biogas production: current state and perspectives. Appl Microbiol Biotechnol.
- [8] Fernando Reyes Cortes, (2012), *Matlab, Aplicado a la Robótica y Mecatrónica*, Editorial Alfa Omega.
- [9]. Ansys, Inc. *Manual ANSYS 18.2*, 2017.
- [10]. Ansys, Inc. *ANSYS FLUENT USER'S GUIDE*, Release 13.0, November 2010.

## VII. BIOGRAFÍA



**Alejandro Linares Enríquez.** Nacido en la Ciudad de México, el 10 de Julio de 1973, Ingeniero Mecánico egresado de la Facultad de Ingeniería de la UAEMEX en 1999, Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica en el Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec en 2015.

Trabajo de 1997 a 2003 en la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía. CONAE. en la empresa Soluciones y Aplicaciones en Energía en Ingeniería SA de CV de 2004 a 2015, como Jefe de Proyectos y Capacitación, Docente de Asignatura en el Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco de 2003 a 2015, a partir de 2015 es profesor-investigador de tiempo completo del Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco, cuenta con investigaciones, publicaciones en revistas y capítulos de libro en las líneas de investigación de "Automatización y Control" y "Análisis, Diseño, Modelado y Simulación de Sistemas". ORCID - 0000-0002-2250-0730.



**López García Rogelio.** Nacido en Toluca de Lerdo el 17 de septiembre de 1993, Estado de México, Técnico en mantenimiento de equipo de cómputo, Plantel Conalep Lerma, Ciudad de Lerma, Estado de México, 2009-2012.

Egresado para la obtención de grado de la carrera de Ingeniería Mecánica en el Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco, Santiago Tianguistenco, Estado de México México en 2018.