



Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Electrotecnia y Computación

Trabajo Investigativo para optar al título de Master en
Ciencias en Energías Renovables

Tema

Adaptación de una cocina industrial de Gas Licuado de Petróleo (GLP) para funcionar con biogás aprovechando el combustible producido por un biodigestor semicontinuo de tipo Tubular con las adaptaciones requeridas de la cocina para su funcionamiento y la realización de pruebas de eficiencia energética en el comedor de UNI –RUPAP.

Autor:

Ing. María Teresa Castillo Rayo

Tutor:

MSc. Ramiro Arcia Lacayo

Noviembre del 2023

Managua, Nicaragua

Dedicatoria y Agradecimientos

Agradezco a la Universidad Nacional de Ingeniería y en especial a la Facultad de Electrotecnia y Computación, por brindarme la oportunidad de lograr un triunfo más en mi carrera profesional de Ingeniero Mecánico, al permitirme estudiar la Maestría en Energías Renovables. A la vicerrectoría de Investigación, Desarrollo e Innovación Tecnológica, por permitirme desarrollar este proyecto en beneficio del comedor del Recinto Pedro Arauz Palacios UNI-RUPAP.

Resumen

En este trabajo de investigación, se presenta la adaptación de una cocina industrial de gas licuado de petróleo (GLP) a funcionar con biogás. Para la obtención del biogás se instaló un biodigestor semicontinuo de 12 m³, cargado con excretas de ganado vacuno. Se realizó la evaluación técnica de la cocina, el diagnóstico, el diseño para su adaptación y las modificaciones de piezas requeridas para su funcionabilidad. Además, se comparó la eficiencia del gas licuado de petróleo y el biogás, haciendo uso del método estadístico de análisis de variancia bifactorial con interacción.

Se logró determinar que el gas licuado de petróleo es más eficiente que el biogás, sin embargo, el biogás es mucho más amigable con el medio ambiente, ya que evita el uso indiscriminado de leña, disminuye los costos de gas licuado de petróleo y consumo de este. Además, de salvaguardar la salud respiratoria de los trabajadores.

Palabras claves: Biogás; gas licuado de petróleo; cocina industrial; biodigestor, Significancia estadística, ANOVA.

Abstract

In this research work, the adaptation of an Petroleum liquid gas (PLG) stove is presented of oil to run on biogas. To get the biogas, a bio digester was installed 12m³ semi-continuous, loaded with cattle excreta. Was make the technical evaluation of the kitchen, design for adaptation and modifications of the required parts for its functionality. In addition, the efficiency of petroleum liquid gas and biogas was compared using of the bi factorial ANOVA method with interaction.

It was possible to determined that petroleum liquid gas was more efficient than biogas, however, biogas is much friendlier for the environment, since reduces the indiscriminate use of firewood, it reduces the costs of Petroleum liquid gas and its consumption. Also, it is contributing to maintain the respiratory health of workers.

Keyword: Biogas; Petroleum liquid gas; industrial kitchen; biodigester. Statistical significance; industrial kitchen; biodigester; ANOVA.

Abreviaturas:

RUPAP: Recinto Universitario Pedro Aráuz Palacios

GLP: Gas licuado de petróleo

GTZ: Cooperación Técnica Alemana

SNV: Sistema Nacional de Voluntariado Holandés

TR: Tiempo de retención

TMF: Tiempo final

TPF: Tipos de combustibles.

H₂S: Ácido sulfhídrico

Índice de Contenido

Dedicatoria y agradecimiento

Resumen

1. Introducción.....	1
2. Justificación	3
3. Objetivos	4
4. Marco teórico	5
4.1. Biogás.	5
4.2. Biodigestor	7
4.3. La cocina Industrial.....	11
5. Metodología.	14
5.2. Pruebas de funcionamiento	15
6. Análisis y discusión de Resultados.....	24
7. Conclusiones	30
8. Referencias	31

1. Introducción

Las cocinas industriales son utilizadas para la cocción de alimentos a grandes escalas, en todo el mundo. Siendo las más comunes las de uso comercial, las cuales tienden a consumir grandes cantidades de gas licuado de petróleo afectando el medio ambiente circundante, debido a las emisiones de gases de efecto invernadero. Por lo tanto, es necesario el uso de fuentes alternas de energía amigables al medioambiente, tales como el biogás.

El biogás es el producto principal de la digestión anaerobia, proceso biológico degradativo en el cual, parte de los materiales orgánicos de un sustrato son convertidos en una mezcla de Dióxido de carbono (CO_2), Hidrógeno (H), Metano (CH_4), Sulfuro de Hidrógeno (H_2S) y trazas de otros elementos. En este interviene un conjunto de bacterias y arqueas (microorganismos unicelulares) metanógenas, estas últimas muy sensibles al oxígeno. De ahí que este proceso sea estrictamente anaerobio.

En comparación con las digestiones aerobias, la fermentación anaerobia permite convertir gran cantidad de residuos, efluentes de las industrias papelera, alimentaria, fermentativa y química, en energía, al transformar casi totalmente la carga contaminante en metano (Ferrer, Yoandy; Pérez, 2010).

Desde hace muchos siglos, la producción de biogás se realiza en países como China y la India (Werner, 1983). Esta producción de biogás se da por la fermentación anaeróbica, es un proceso en ausencia de oxígeno dentro de recipientes denominados digestores, también se da la fermentación natural, la cual consiste en un proceso biológico natural donde se descompone la materia orgánica. En ambas, se encuentran involucrados gases como metano, dióxido de carbono, hidrógeno.

La fermentación anaeróbica transcurre con menor desprendimiento calorífico, circunstancia que determina un mayor contenido energético y un incremento en la retención de nitrógeno original de los residuos digeridos (Singh, 1974). Este proceso se realiza en varias etapas por diferentes tipos de especies bacterianas, productoras o no de metano, que contribuyen de algún modo a la formación de este gas.

En los años 90, en la Universidad Nacional de Ingeniería, Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios (RUPAP), inició un proyecto con dos biodigestores, uno de campana flotante y otro de campana fija, con ayuda de la cooperación sueca, SWISSCONTACT, sin embargo, el proyecto fue descontinuado y los biodigestores quedaron en desuso.

En el año 2010, se habilitó el laboratorio de biomasa donado por la Universidad Carlos III de Madrid España, en el que se construyeron y colocaron dos biodigestores de tipo Bacht, tres biodigestores a temperatura ambiente, y dos biodigestores en camisa de agua. (Luis Rodríguez, 2010). En abril 2017 se instaló un Biodigestor Tubular, para la producción de biogás para abastecer en parte una cocina del comedor del RUPAP.

Empresas como TECNOSOL, distribuían cocinas que trabajan con biogás, las cuales se incluían dentro del paquete de venta del biodigestor; ese mercado de biodigestores está dado por la empresa Biobolsa de México, quien con el Servicio de voluntariado holandés (SNV), implementaron el desarrollo del programa de biogás en Nicaragua en conjunto con el fondo multilateral de inversiones, miembros del grupo BIP. El proyecto se ejecutó entre 2012 y 2017 (SNV, n.d.).

2. Justificación

La experiencia de producción de biogás ha sido positiva en la Universidad Nacional de Ingeniería especialmente en el recinto Universitario Pedro Arauz Palacios UNIRUPAP, pero el hecho de habilitar y adaptar una cocina de GLP para que trabaje con biogás, fue el reto más importante, debido a que el problema radicó en lograr que funcionará adecuadamente con sus respectivos cambios y adaptaciones. De esta manera se aprovecha correctamente la producción de dicho gas y se promueve el uso de fuentes alternas de energía para contribuir con el medio ambiente.

Además de brindar el conocimiento técnico requerido para lograr habilitar una cocina industrial y adaptarla de GLP a Biogás, se logró obtener una clara finalidad de consumo y aprovechamiento de la energía limpia, pues los resultados fueron positivos en la adaptación de la cocina y se trata de consumir el total del biogás generado, lo cual es un sustancial ahorro en otro tipo de fuentes energéticas, como el GLP y la leña, disminuyendo la contaminación al medio circundante y evitando enfermedades cardiopulmonares producidas por el uso de madera.

Otro punto importante es el ahorro económico que incurre el hecho de utilizar biogás y disminuir los gastos de GLP ya que la cocina del comedor se sustenta con un tanque de 200 libras de GLP mensuales. Se obtiene un ahorro de 3.75 horas de uso de biogás al día.

3. Objetivos

Objetivo General

Adaptar una cocina industrial de Gas Licuado de Petróleo (GLP) para su funcionamiento con biogás, aprovechando el combustible producido por un biodigestor semicontinuo de tipo Tubular con las adaptaciones requeridas de la cocina para su funcionamiento y la realización de pruebas de eficiencia energética en el comedor de UNI- RUPAP.

Objetivos específicos

1. Identificar los cambios necesarios como son de la cocina que fueron descartados para su cambio y poder ser reemplazados para el funcionamiento con biogás, tales como Válvula de cierre y apertura del gas, quemadores u hornillas de la cocina, acoples de las válvulas que conectan el quemador para el sistema de distribución del gas, realizando la evaluación técnica de la cocina, diagnóstico, diseño nuevo para su adaptación y las modificaciones de piezas requeridas para su funcionabilidad.
2. Realizar pruebas estándar a la cocina de Gas Licuado de Petróleo (GLP) adaptada a funcionar con biogás.
3. Analizar los datos obtenidos con respecto a la Temperatura Final (TF) a partir del uso del Biogás y del GLP, utilizando un método bifactorial con interacción.
4. Determinar la eficiencia del gas licuado de petróleo con respecto al biogás.

4. Marco teórico

El término biomasa se refiere a toda la materia orgánica que proviene de árboles, plantas y desechos de animales que pueden ser convertidos en energía; o las provenientes de la agricultura (residuos de maíz, café, arroz), del aserradero (podas, ramas, aserrín, cortezas) y de los residuos urbanos (aguas negras, basura orgánica y otros). Esta es la fuente de energía renovable más antigua conocida por el ser humano, pues ha sido usada desde que nuestros ancestros descubrieron el secreto del fuego.

Para la producción del gas Metano (CH_4) es necesario la instalación de un biodigestor el cual es alimentado con excretas de ganado vacuno, porcino, bobino, etc., o residuos sólidos. Una vez cargado el digestor, se espera el Tiempo de Retención (TR), que es el tiempo que requieren las bacterias metanogénicas en degradar los desechos, alimentándose del oxígeno presente en la mezcla para la producción de biogás.

4.1. Biogás.

Es una mezcla de gases conteniendo metano (50 a 70%), anhídrido carbónico (30 a 45%), hidrógeno (1 a 3%), oxígeno (0,5 a 1%), gases diversos (1 a 5%) y vestigios de anhídrido sulfuroso. (Antonio & Aguilera, 2017)

Es un gas que consiste principalmente en el gas metano (55%-65%) producido por la digestión anaeróbica (en la ausencia del oxígeno molecular) de materia orgánica. Este gas se conoce por varios nombres, dependiendo de dónde se forma, dado que la digestión anaeróbica es muy frecuente en los humedales y se le conoce con el nombre gas de pantano o gas de swampo. Sin embargo, no importa donde se forme, todo biogás se produce con las mismas reacciones químicas para tener casi la misma composición gaseosa. (Rocon et al., 2012)

Existen tres rangos de temperatura para los sistemas de biogás anaeróbicos: psicrófilos (por debajo de 25 °C), mesófilos (entre 25 y 45 °C), y termófilos (entre 45 y 65 °C). Estos rangos de temperatura facilitan el crecimiento de microbios específicos. (Lagrange, 1979). Por debajo de los 15°C la producción de biogás se reduce significativamente y el monóxido de carbono (CO) se convierte en el producto 2 dominante de la digestión anaeróbica; por lo tanto, los sistemas de digestión anaeróbica no son recomendados para lugares con una temperatura por debajo de este límite, sin la adición de calor y control de temperatura (Barrena et al., 2014)

El biogás es una mezcla de diferentes gases producidos por la descomposición anaeróbica de materia orgánica, como el estiércol y las basuras orgánicas. La composición química del biogás (tabla 1) indica que el componente más abundante es el metano (CH₄); este es el primer hidrocarburo de la serie de los alcanos y un gas de efecto invernadero. La mezcla de CH₄ con el aire es combustible y arde con llama azul. (Blaco, 2011) Producción de biogás y bioabonos a partir de efluentes de biodigestores.

Tabla 1. Composición química del biogás. (Blaco, 2011). (Producción de biogás y bioabonos a partir de efluentes de biodigestores. (Blanco et al., 2011)
Fuente (Blaco, 2011)

Componentes	Formula	Porcentaje
Metano	CH ₄	40 – 70%
Dióxido de Carbono	CO ₂	30 – 60%
Hidrógeno	H ₂	0.1
Nitrógeno	N ₂	0.5
Monóxido de Carbono	CO	0.1
Oxígeno	O ₂	0.1
Sulfuro de Hidrógeno	H ₂ S	0.1

4.2. Biodigestor

Los biodigestores son sistemas naturales o instalados, que aprovechan residuos orgánicos, procedentes de actividades agropecuarias, principalmente estiércol, para producir biogás (combustible) y biol (fertilizante natural) mediante el proceso de digestión anaerobia. El biogás puede ser empleado como combustible en las cocinas, calefacción o iluminación. En grandes instalaciones se puede utilizar el biogás para alimentar un motor que genere electricidad.

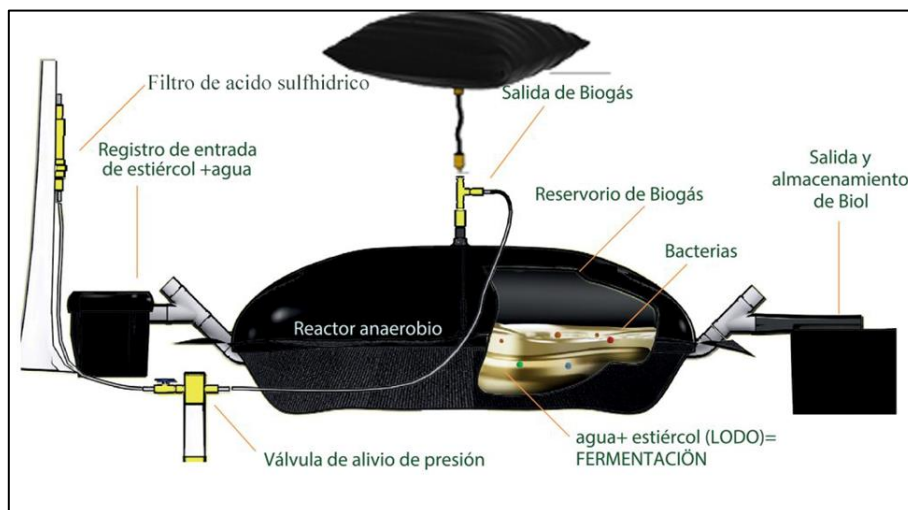
El fertilizante, llamado biol, inicialmente se ha considerado un producto secundario, pero actualmente se está tratando con la misma importancia o mayor, que el biogás porque provee a las familias de un fertilizante natural que mejora fuertemente el rendimiento de las cosechas. Existen diversos tipos de biodigestores, pero en este documento se presenta el biodigestor tubular semicontinuo. (Savran et al., 2012)

El biodigestor utilizado en este proyecto, es de flujo semicontinuo, tipo tubular de 12 m³ donado por la empresa TECNOSOL, fue instalado cerca de las instalaciones del comedor del Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios (RUPAP), perteneciente a la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), situada en el municipio de Managua, Nicaragua a 12°08'11.7"N - 86°13'25.0"W

El sistema estaba compuesto por válvulas de apertura y cierre, mangueras de paso de gas, válvulas de paso de gas, filtro para limpiar el ácido sulfhídrico (H₂S), biobolsa, lona de protección para la biobolsa, parches de reparación y dos quemadores de repuesto (Ilustración 1). Este tipo de sistema es de fácil manejo y de bajo costo. Según especificaciones del donante TECNOSOL S. A., este biodigestor tiene la capacidad de producir 3.60 m³ de biogás al día, trabajando con un quemador 7.5 horas diarias y 3.75 horas con dos quemadores. La biobolsa está elaborada de polietileno.

Ilustración 1: Diseño del biodigestor para producción de biogás en el RUPAP

Fuente. Empresa TECNOSOL S. A. (Donante)



Este biodigestor posee un ducto de entrada a través del cual se suministra la materia orgánica, en este caso se utilizó excretas de ganado vacuno y agua. La porción por introducir en la biobolsa es de 1:3, es decir una porción de excretas por tres partes de agua, orientado por la empresa TECNOSOL.

El principio de funcionamiento es muy sencillo, los sustratos son alimentados por la tubería de entrada y ocupan la parte inferior de la bolsa mientras que el tope sirve como contenedor del biogás generado durante la operación. La presión de trabajo es usualmente alcanzada colocando pesos sobre la bolsa. Una vez digerido el sustrato alimentado, el digestato abandona la bolsa por la tubería de salida (Barrera-Cardoso1 et al., 2020)

El tiempo de Retención (TR) es el tiempo en que las bacterias dentro del digestor son degradadas en condiciones anaeróbicas, es decir en ausencia de oxígeno (Miguel Barrena, Jóhmer Julca, Monika Hellenthal, 2017). El TR en esta investigación fue de 15 a 35 días, esta variación depende de la temperatura atmosférica que se presente en el momento de la carga.

El material ya digerido (biogás) por acción bacteriana abandona el biodigestor mediante el ducto de salida hacia la cocina industrial.

El biodigestor tubular plástico consiste en una especie de bolsa elongada de polietileno, con una relación longitud-ancho de aproximadamente 5:1, aunque por razones de construcción eficiente las dimensiones pueden diferir (Frederiks, 2011); dicha bolsa se coloca en una fosa, previamente construida.

Este biodigestor tiene un costo menor, pero posee una vida útil inferior (menos de un 25% de la vida del biodigestor de cúpula fija). La laguna anaeróbica cubierta con polietileno de alta densidad es una tecnología desarrollada por el Centro de Tecnología de Biogás de Hanoi (CTBH 2011) (Savran et al., 2012)

El biodigestor Chino o de cúpula fija, se caracteriza por poseer una cúpula fija para la recolección del biogás, son tanques redondos y achatados con el techo y el piso en forma de domo. A medida que aumenta la producción de gas, aumenta la presión en el domo o cúpula fija, forzando al líquido digerido a salir, llegando a alcanzar presiones internas de hasta más de 10 mm de columna de agua.

Se requieren materiales de alta calidad y recursos humanos costosos para construir este tipo de biodigestor, pero tienen la ventaja de tener una larga vida útil de hasta 25 años con un adecuado mantenimiento.

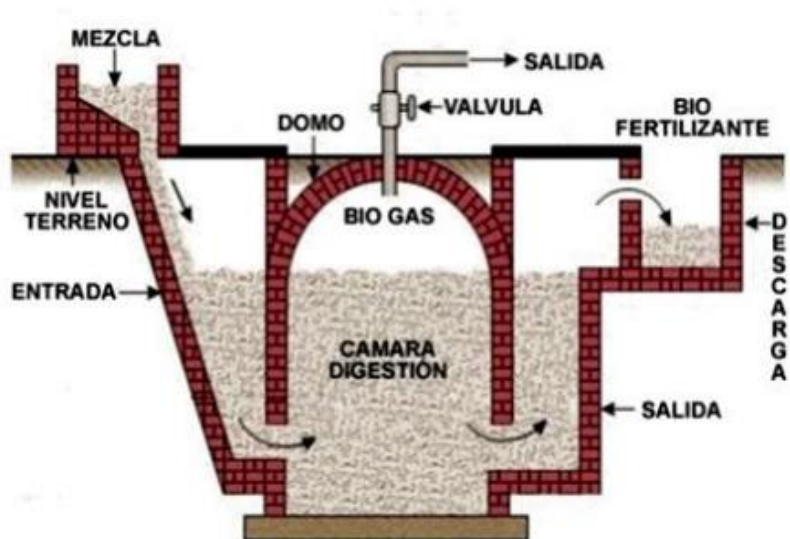


Ilustración 2: Diseño del biodigestor para producción de biogás de cúpula fija

*Fuente: Manual del Biodigestor. Dirección de Sustentabilidad, Medio Ambiente y Cambio Climático
Buenos Aires. Provincia*

Debido a la ausencia de oxígeno en el interior de la cámara hermética, las bacterias anaerobias contenidas en el propio estiércol comienzan a digerirlo. Primeramente, se produce una fase de hidrólisis, fase donde se descomponen las cadenas largas de materia orgánica en otras más cortas, obteniéndose productos intermedios, la fase de fermentación, genera ácidos orgánicos, posteriormente la fase de acetogénesis, es la fase en la que se produce la conversión de las moléculas solubles en compuestos más simples, dando como resultado ácido acético e hidrógeno y finalmente la de metanogénesis, por la cual se produce metano. El producto gaseoso llamado biogás, realmente tiene otros gases en su composición como son dióxido de carbono (20-40%), nitrógeno molecular (2-3%) y ácido sulfhídrico (0,5-2%), siendo el metano el más abundante con un 60-80%.

Tabla 2. Gasto de biogás en una cocina con un biodigestor de 12m³

Fuente: Empresa TECNOSOL S.A

Cálculo del gasto de biogás de un biodigestor de 12 m ³		
Un Biodigestor de:	12,00	m ³
Produce en m ³ de biogás	3,60	m ³
Cocinando con un quemador	7,50	Horas
Cocinando con dos quemadores	3,75	Horas

4.3. La cocina Industrial.

Estado de la cocina Industrial

La cocina industrial, es una cocina de mesa de dos quemadores, que se encontraba en la chatarra del comedor del Recito Universitario Pedro Arauz Palacio (RUPAP), descartada, debido al mal estado en que se encontraba en la bodega del comedor, por el desuso y deshabilitada desde hace 10 años. Esta cocina industrial funcionaba con GLP.

Se procedió a una evaluación técnica para ver su estado, encontrándose que los componentes como válvulas de apertura y cierre, conectores de suministro del gas y quemadores, se encontraban dañados y debían ser reemplazados.

4.4. Diagnóstico de la cocina Industrial

Mientras el digestor está en su Tiempo de Retención (TR), se evaluó el estado de la cocina de Gas Licuado de Petróleo realizándose el diagnóstico. Se identificaron los cambios necesarios y se realizó el nuevo diseño del sistema de distribución de gases, modificaciones de piezas requeridas, cambio de componentes en mal estado, se determinó cuales se cambiaron, cuales se reutilizaron, los que se tuvieron que comprar para la habilitación y que funcione con biogás. Los cambios realizados fueron de las válvulas de cierre y apertura del gas, un quemadores u hornillas de la cocina y los acoples de las válvulas que conectan el quemador.

Los elementos a utilizar para la instalación y acoples de un quemador u hornilla son:

2 niples rosca exterior a cada extremo de 1'' diámetro de 3/8''

1 válvula de cierre y apertura industrial 1/4''

1 conector hilo interno de 1''

1 niple de 2''

1 adaptador campana de 3/8'' a 1''

1 niple de 2'' de largo, con diámetro de 1''

1 quemador u hornilla

Instalación de conectores y acoples del segundo quemador

Los elementos que se utilizaron fueron:

Elementos a utilizar:

1 quemador u hornilla.

1 tubo de 3'' de largo y 1/2'' de diámetro hilo externo

1 mufa con conector hilo interno para conexión de válvulas de cierre y apertura de cocinas industriales.

2 válvulas de cierre y apertura

2 salidas de conexión a mufas (tomadas de las válvulas de cierre y apertura originales de la cocina).

2 niples de 1'' de diámetro 3/8''

La cocina se encontraba 100% inhabilitada. Todos los componentes obstruidos de grasa fueron limpiados y pulidos. Se realizaron los diseños de niples y acoples. Estos fueron maquinados en los talleres de máquinas herramientas y de soldadura del RUPAP. Se cerraron los orificios de paso de gas innecesarios. Los niples y acoples se adaptaron al tubo de distribución del gas. El primer quemador u hornilla se dejó en la cocina original y el segundo fue reemplazado por otro que traía de repuesto el biodigestor.

4.5. Habilitación de la cocina

Se observaron y verificaron los elementos de la cocina que fueron descartados para su cambio y poder ser reemplazados para el funcionamiento con biogás tales como:

- a) Válvula de cierre y apertura del gas.
- b) Quemadores u hornillas de la cocina.
- c) Acoples de las válvulas que conectan el quemador.

Una vez rehabilitada la cocina, se realizaron pruebas tanto con GLP como con biogás, para garantizar que funcionara en buenas condiciones. Se realiza el análisis de Temperatura Final (TF) y Tiempo Final (TMF).

Se comparó la eficiencia del gas licuado de petróleo y el biogás haciendo uso del método estadístico de análisis de variancia bifactorial con interacción. Para determinar si la cocina funcionaria eficientemente al pasar de un tipo de combustible a otro, o con ambos combustibles, tanto Gas Licuado de Petróleo (GLP), como Biogás.

Según el experimento, se empleó el Diseño factorial de dos factores, partiendo que este diseño es completamente aleatorizado con respecto a todas las combinaciones de tratamiento. En el que se utilizan dos Factores con Interacción (Montgomery, 2004) y se utiliza el programa ANOVA (García, n.d.) aplicando el Análisis de variancia multifactorial.

Esta es una prueba estadística para analizar si más de dos grupos difieren significativamente entre sí en cuanto a sus medias y varianzas (Hernández Sampieri et al., 2010). Se toman como factores los Días y TPC (Tipos de Combustibles), para establecer si existe una diferencia significativa con relación del Tiempo Final, y la Temperatura en que se logra la ebullición del agua, tanto en la cocina que se ha adaptado usando el GLP (Gas Licuado de Petróleo) como con el biogás.

5. Metodología.

La metodología experimental llevada a cabo en este estudio desde la instalación del biodigestor para la obtención del biogás, las modificaciones realizadas para la rehabilitación de la cocina industrial, así como las herramientas estadísticas utilizados en las pruebas de funcionamiento que ayudó a determinar la eficiencia del biogás frente al GLP, fueron realizadas en el Recinto Pedro Arauz Palacio (RUPAP),

Se realizan análisis de Temperatura Final (TF) y Tiempo Final (TMF) para determinar si la cocina funcionará eficientemente, al pasar de un tipo de combustible a otro, por la determinación de la significancia estadística con ambos combustibles, tanto Gas Licuado de Petróleo (GLP), como Biogás.

5.1. Modificaciones realizadas para la rehabilitación de la cocina industrial

La cocina industrial pertenece al comedor del RUPAP-UNI, se encontraba en desuso y deshabilitada desde hace 10 años en la bodega del comedor. Esta cocina industrial funcionaba con GLP (Ilustración 3).

Ilustración 3. Estado inicial de la cocina industrial de gas licuado de petróleo GLP

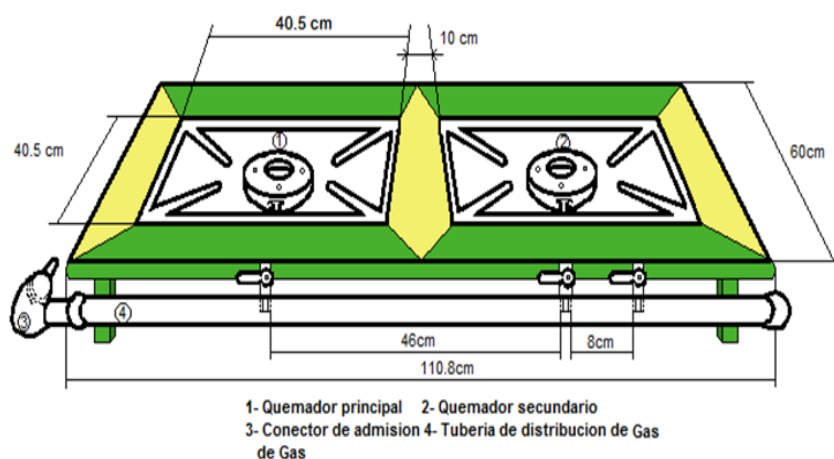
Fuente: Propia. Foto del estado de la cocina



El diseño final de la cocina industrial habilitada se muestra en la ilustración 4:

Ilustración 4: Diseño final de la cocina industrial utilizada en este estudio.

Fuente: Propia.



5.2. Pruebas de funcionamiento

Una vez sustituidas todos los componentes en la cocina industrial, se realizaron las pruebas de funcionamiento. Estas consisten en encender la cocina utilizando como combustible gas licuado de petróleo o biogás.

Ilustración 5: Quemador principal y quemador secundario encendidos con biogás

Fuente: Propia.



Ilustración 6: Cocina encendida usando gas licuado de petróleo

Fuente: Propia.



La recolección de datos se desarrolló en el municipio de Managua, Nicaragua, en las coordenadas 12°08'11.5"N 86°13'25.3"W, dentro de las instalaciones del comedor en un ambiente controlado y sin contacto con elementos exteriores (lluvias y vientos). Los datos fueron recolectados entre las 8:30 am a 10:50 am (UTC-6).

Para la obtención de datos se utilizaron instrumentos como: cronometro, pistola de temperatura laser, recipiente graduado para medir los litros de agua, dos ollas de Aluminio y un tanque de 25 libras de gas licuado de petróleo. El experimento consistió en colocar 5 litros de agua dentro de la olla, seguidamente, calentarla hasta la temperatura inicial de 33 °C, dando inicio al cronometraje hasta alcanzar la temperatura de ebullición (100 °C) para garantizar que sea una medición homogénea, se tomó la temperatura de ebullición como aquella en la que explota la primera burbuja del hervor.

Se realizaron cuatro réplicas de este experimento para cada combustible: GLP y biogás. Para el procesamiento de los datos, se utilizó el diseño factorial de dos factores con interacción, partiendo que este diseño es completamente aleatorizado con respecto a todas las combinaciones de tratamiento. Se realizaron cuatro réplicas de este experimento para los tipos de combustible: gas licuado de petróleo y biogás. Para el procesamiento de los datos se utilizó el método de análisis de variancia, ANOVA, bifactorial con interacción con el software Statgraphics v. 15.2.14.

Durante tres días se recolectaron datos con respecto al tiempo en la que se logró llegar al punto de ebullición de cinco litros de agua, tomando en cuenta condiciones específicas en el punto en que se aplicó el experimento. Para cada punto de ebullición existe un tiempo en el que se logró alcanzar. Como Factor A (días), tomando tres niveles de factor correspondientes a los 3 días en que se tomó las muestras, para el Factor B (Tipos de Combustible) teniendo dos niveles de factor que son GLP y Biogás. Para cada día se tomó 4 muestras, correspondientes a las dos variables resultados que son tiempo y temperatura de ebullición.

Durante tres días se recolectaron datos con respecto al tiempo final y la temperatura final en la que se logró bullir cinco litros de agua, tomando en cuenta condiciones específicas en el punto en que se aplicó el experimento.

Para cada Temperatura Final de ebullición existe un tiempo final de ebullición. Respectivamente como Factor A (Días) tomando tres niveles de factor correspondientes a los 3 días en que se tomó las muestras, para el Factor B (Tipos de Combustible) se tienen dos niveles de factor que serían GLP y Biogás para cada día se tomaron 4 muestras, correspondientes a las dos variables resultados que son Tiempo final y temperatura final de Ebullición.

5.3. Planteamiento de tres hipótesis:

1. El efecto del biogás y el de GLP son iguales a cero "0".
2. El efecto de los distintos días es igual a cero "0".
3. Las interacciones del GLP y el Biogás, con respecto a la Temperatura y el Tiempo final de Ebullición, sea al menos una diferente de cero.

Si se tiene $n=4$ muestras, β que es el riesgo tiene un valor 0.06 se trabaja con una probabilidad del 94%, por lo tanto, se concluye que cuatro réplicas bastan realizar el ensayo, ya que esperaba una probabilidad del 95%, pero este porcentaje es aceptable, para probar si existe efecto significativo con respecto al factor del tipo de combustibles y su temperatura final para bullir el agua.

Tabla 3. Tabla de factores del experimento con valores en Temperatura Final TF.

Fuente: Programa ANOVA

Factor A	Factor B				
	TPC (Tipos de Combustibles)				
Días	Biogás		GLP		Y _i
	TF °C		TF °C		
1	68.50	244.70	89.60	294.60	539.30
	60.60		69.00		
	59.00		67.00		
	56.60		69.00		
2	64.90	243.00	68.50	271.20	514.20
	59.40		68.80		
	58.10		66.00		
	60.60		67.90		
3	64.00	241.30	68.00	264.20	505.50
	58.70		66.50		
	59.90		66.00		
	58.70		63.70		
Y _i	729.00		830.00		1,559.00

El Factor A = Los días teniendo tres niveles de factor (día 1, día 2, día 3).

El Factor B=Tipos de combustibles (TPC) con solo 2 niveles de factor que se llaman Biogás, Gas Licuado de Petróleo (GLP)

La variable de respuesta es la Temperatura Final en que el agua tarda en bullir teniendo en cuenta que esta hierve cuando sale la primera burbuja.

5.4. Hipótesis del Experimento

Ho: “El efecto del Biogás y el efecto del GLP son iguales a “0””

$\tau_1 = \tau_2 = 0$ Ecuación #1

τ_1 : efecto del biogás

τ_2 : efecto del GLP

Ha: “El resultado de los diferentes días es iguales a “0””

$\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$. Ecuacion#2

β_1 : efecto Día 1

β_2 : efecto Día 2

β_3 : efecto Día 3

Como tercera hipótesis se obtiene que la interacción del gas GLP y el Biogás con respecto a la Temperatura Final TF sea al menos una sea diferente de "0"

H1= al menos uno es diferente de 0

$(\tau\beta) \neq 0$. Ecuación #3.

Por tanto, se define en el experimento la ecuación Modelo

$Y = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$. Ecuación #4.

Tabla 4. Análisis de Varianza

Fuente: Montgomery, 2004

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadro medio	F_0
Tratamientos A	SS_A	$a - 1$	$MS_A = \frac{SS_A}{a - 1}$	$F_0 = \frac{MS_A}{MS_E}$
Tratamientos B	SS_B	$b - 1$	$MS_B = \frac{SS_B}{b - 1}$	$F_0 = \frac{MS_B}{MS_E}$
Interacción	SS_{AB}	$(a - 1)(b - 1)$	$MS_{AB} = \frac{SS_{AB}}{(a - 1)(b - 1)}$	$F_0 = \frac{MS_{AB}}{MS_E}$
Error	SS_E	$ab(n - 1)$	$MS_E = \frac{SS_E}{ab(n - 1)}$	
Total	SS_r	$abn - 1$		

SST= 1,034.05

SS(TPC)= 77.0058

SS temperatura final= 425.041

SS interacción = 51.16

Análisis de datos para Temperatura Final programa Statgraphics

Tabla 5. Análisis de datos para Temperatura final. Programa Statgraphics

Fuente: Corrida del programa Statgraphics

Análisis de Varianza para TF – Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón -F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: DIAS	77,0058	2	38,5029	1,44	0,2627
B: TPC	425,042	1	425,042	15,91	0,0009
INTERACCIONE					
AB	51,1658	2	25,5829	0,96	0,4025
RESIDUOS	480,845	18	26,7136		
TOTAL (CORREGIDO)	1034,06	23			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Según la tabla ANOVA se determinó que existe un efecto significativo sobre la Temperatura Final de ebullición que corresponde al Factor de los Tipos de Combustibles (TPC) dado que el valor P es menor a 0.05.

Por tanto, se concluye que el Biogás muestra un efecto significativo con respecto a la Temperatura Final (TF) puesto que para alcanzar la ebullición se necesita menor temperatura que la que se requiere para el GLP.

Gráfico de Fisher para Temperatura Final programa Statgraphics

Ilustración 8 Gráfica de Fisher para Temperatura Final.

Fuente: Programa Statgraphics

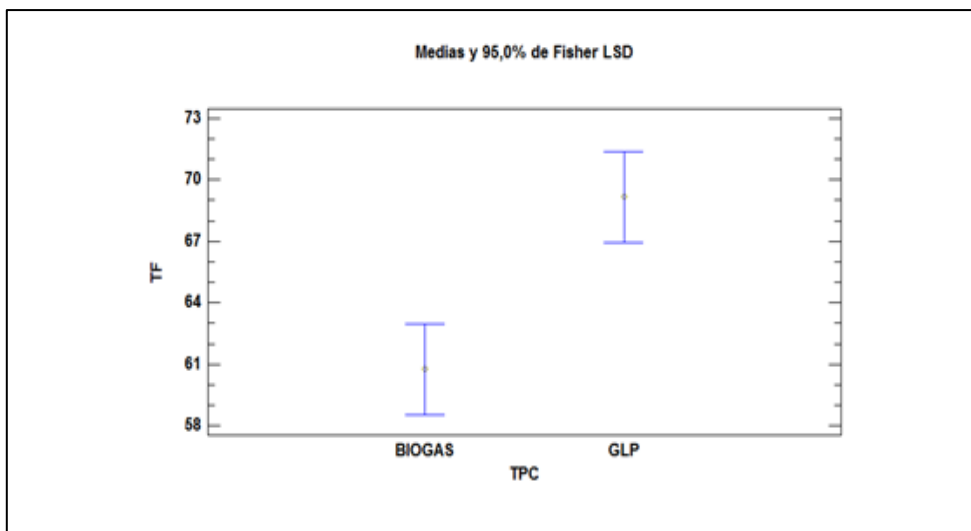


Tabla 6. Tabla de factores del experimento con valores en el Tiempo Final TM.

Fuente: Propia

Factor A	Factor B				Y _i
	TPC (Tipos de Combustibles)				
	Biogás		GLP		
Días	TMF		TMF		
1	935.00	4,522.40	1,200.00	4,505.40	9,027.80
	907.20		986.40		
	1,096.20		1,129.00		
	1,584.00		1,190.00		
2	855.00	4,353.60	875.40	3,695.40	8,049.00
	934.80		918.00		
	1,148.40		950.00		
	1,415.40		952.00		
3	868.80	4,536.00	873.00	3,634.20	8,170.20
	967.80		986.40		
	1,217.40		874.20		
	1,482.00		900.60		
Y _i	13,412.00		11,835.00		25,247.00

El Factor A = Los días teniendo tres niveles de factor (día 1, día 2, día 3)

El Factor B= Tipos de combustibles (TPC) con solo 2 niveles de factores denominados Biogás, Gas Licuado de Petróleo (GLP)

Esta variable de respuesta es el **Tiempo Final TMF** en que el agua tarda en bullir, teniendo en cuenta que se dio cuando la primera burbuja del hervor apareció.

(Manual del biodigestor. Direccion de Sustentabilidad, Medio Ambiente y Cambio Climatico)

5.5. Hipótesis del Experimento.

Ho: "El efecto del Biogás y el efecto del GLP son iguales a "0""

$\tau_1 = \tau_2 = 0$; Ecuación #1.

τ_1 : efecto del biogás

τ_2 : efecto del GLP

Ho: "El efecto de los diferentes días es iguales a "0""

$\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$ Ecuación #2.

β_1 : efecto Día 1

β_2 : efecto Día 2

β_3 : efecto Día 3

Como tercera hipótesis se obtiene que la interacción del gas GLP y el Biogás con respecto a la Temperatura Final TF sea al menos una sea diferente de "0"

H1= al menos uno es diferente de 0

$\tau\beta \neq 0$. Ecuación #3

Por tanto, se define en el experimento la ecuación Modelo

$\gamma = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk}$. Ecuación #4.

Tabla 7. Análisis de Varianza

Fuente: Montgomery, 2004

Análisis de datos para Tiempo Final programa Statgraphics

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadro medio	F_0
Tratamientos A	SS_A	$a - 1$	$MS_A = \frac{SS_A}{a - 1}$	$F_0 = \frac{MS_A}{MS_E}$
Tratamientos B	SS_B	$b - 1$	$MS_B = \frac{SS_B}{b - 1}$	$F_0 = \frac{MS_B}{MS_E}$
Interacción	SS_{AB}	$(a - 1)(b - 1)$	$MS_{AB} = \frac{SS_{AB}}{(a - 1)(b - 1)}$	$F_0 = \frac{MS_{AB}}{MS_E}$
Error	SS_E	$ab(n - 1)$	$MS_E = \frac{SS_E}{ab(n - 1)}$	
Total	SS_r	$abn - 1$		

SST= 1,034.05

SS(TPC)= 77.0058

SS temperatura final= 425.041

SS interacción = 51.16

Al analizar el tiempo final de ebullición (TMF) de los Gases, se obtuvieron los siguientes resultados, ver tabla 8

Tabla 8. Análisis de varianza para TMF - Suma de Cuadrados Tipo II

Fuente: Montgomery, 2004

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón F	Valor-P
Efectos principales					
A-Días	71175,7	2	35587,8	0,85	0,4427
B-TPC	103522	1	103622	2,48	0,1325
Interacciones					
AB	52222,9	2	26111,4	0,63	0,5461
Residuos	751026	18	41723,7		
Total (Corregido)	978047	23			

Según los datos de la tabla 8, no existió un efecto significativo (no influyó) sobre el tiempo final de ebullición (TMF), en los días, tipos de combustible (TPC) o la interacción, la hipótesis fue

nula en los 3 casos. Por consiguientes se concluye que el Biogás no muestra un efecto significativo con respecto al tiempo final (TMF) para alcanzar el punto de ebullición.

6. Análisis y discusión de Resultados

6.1. Hipótesis planteadas:

Hipótesis nula: Las interacciones del GLP y el Biogás, con respecto a la Temperatura y el Tiempo de Ebullición son iguales.

Hipótesis alternativa: Las interacciones del GLP y el Biogás, con respecto a la Temperatura y el Tiempo de Ebullición son diferentes.

Para el factor tipo de combustible (TPC) se rechaza la hipótesis nula, para el factor días y la interrelación de los factores la hipótesis nula no se rechaza. Por tanto, los datos muestran que existe un efecto significativo para alcanzar la temperatura de ebullición con respecto al factor tipos de combustibles (TPC). Es importante destacar que, al momento de alcanzar el punto de ebullición del agua, la temperatura promedio alcanzada por la llama del biogás (61°C) fue menor que la del gas licuado del petróleo (69 °C). Con el Biogás el punto de la ebullición del agua se alcanzó en mayor tiempo en comparación con el Gas Licuado de Petróleo (Ilustración 9).

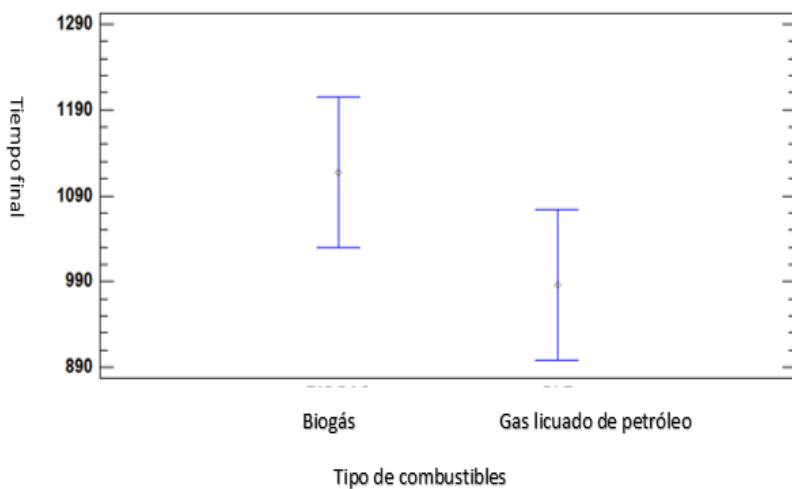
Tabla 9: El análisis de varianza para el punto de ebullición de acuerdo al tipo de combustible.

Fuente: Propia

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón F	Valor-P	Significación
Efectos principales						
A-Días	77.0058	2	38.5029	1.14	0.2627	NS
B-TPC	425.0420	1	425.0420	15.91	0.0009	Sig.
Interacciones						
AB	51.1658	2	25.5829	0.96	0.4025	NS
Residuos	480.845	18	26.7136			
Total (Corregido)	1,034.0060	23				

Ilustración 9. Intervalos de confianza del tiempo de ebullición del agua con los combustibles biogás y GLP.

Fuente: Corrida del programa Statgrapyc

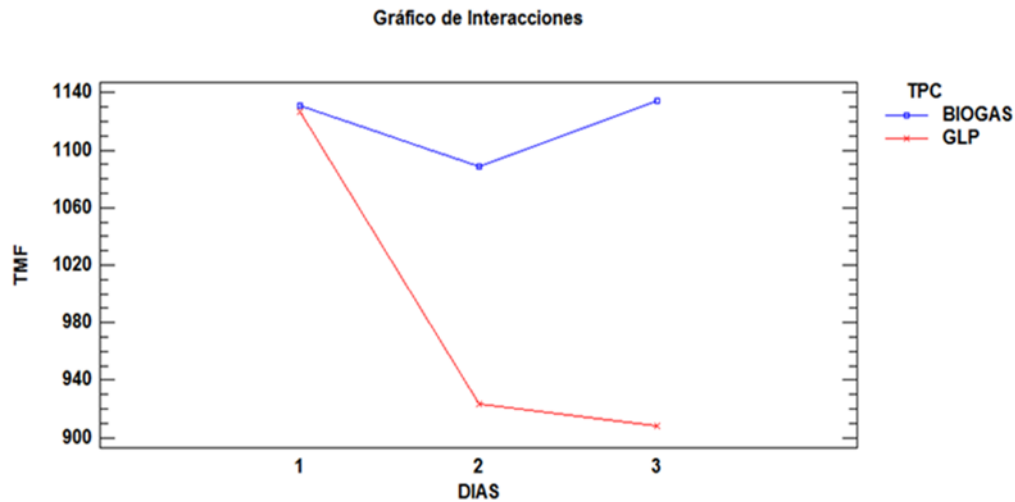


Según la gráfica de interacción (ilustración 10), en el día uno se observó que el tiempo final de ebullición (TMF) se prolongó para ambos combustibles, en el día dos, con el gas licuado de petróleo se alcanzó la ebullición del agua a menor tiempo que con el biogás, en el día 3 como muestra la figura, el gas licuado de petróleo demandó menos tiempo para alcanzar el hervor de agua que el biogás.

Grafica de Interacciones

Ilustración 10. Gráfico de interacción de biogás y GLP.

Fuente: Corrida del programa Statgraphics



6.2. Hallazgos de las muestras

- Durante las pruebas de funcionamiento con GLP, se pudo observar manchas de hollín en la superficie de contacto de las ollas con la llama y en el caso de las pruebas realizadas con biogás no se presentaron manchas en las ollas.
- También se observa que la llama era azulada con puntas naranjas. (Viquez Arias Joaquín, Caydiid Mukhtaar, 2018) encontraron en una investigación que, en el consumo de biogás, el tamaño y color de la flama, no son indicadores para conocer la eficiencia y funcionabilidad de una cocina.
- La temperatura del lugar de instalación del biodigestor influyó en la producción del biogás, la cual fue de 34°C. A mayor temperatura, la degradación de las bacterias metanogénicas responsables de producir gas metano es más rápida y a menor temperatura, la producción es más tardía.
- Existen tres rangos de temperatura para los sistemas de biogás anaeróbicos: psicrófilos (por debajo de 25 °C), mesófilos (entre 25 y 45 °C), y termófilos (entre 45 y 65 °C). Estos rangos de temperatura facilitan el crecimiento de microbios específicos. (Lagrange, 1979)

6.3. Análisis de Resultados

- El método implementado en esta investigación, es el Método factorial de 2 factores con interacción, según el experimento empleado, el diseño factorial de dos factores, partiendo que este diseño es completamente aleatorizado con respecto a todas las combinaciones de tratamiento.
- Durante tres días se recolecto datos con respecto al tiempo final y la temperatura final en la que se logró bullir cinco litros de agua, tomando en cuenta condiciones específicas en el punto en que se aplicó en el experimento.
- Para cada Temperatura Final de ebullición existe un tiempo final de ebullición.
- Respectivamente como Factor A (Días) temando tres niveles de factor correspondientes a los 3 días en que se tomó las muestras, para el Factor B (Tipos de Combustible) teniendo dos niveles de factor que serían GLP y Biogás.
- Para cada día se tomó 4 muestras, correspondientes a las dos variables resultados que son Tiempo final y temperatura final de Ebullición.

6.4. Tres hipótesis planteadas:

1. El efecto del biogás y el de GLP son iguales a cero "0".
2. El efecto de los distintos días es igual a cero "0".
3. Las interacciones del GLP y el Biogás, con respecto a la Temperatura y el Tiempo final de Ebullición, sea al menos una diferente de cero.

A través de muestreo aleatorio se obtuvieron los siguientes resultados en la tabla ANOVA, esto respecto al Tiempo Final (TF) de ebullición de los Gases

Tabla 10: ANOVA, esto respecto al Tiempo Final (TF) de ebullición de los Gases.

Fuente: Programa ANOVA

Análisis de Varianza para TF – Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón F	Valor-P
Efectos principales					
A-Días	77,0058	2	38,5029	1,14	0,2627
B-TPC	425,042	1	425,042	15,91	0,0009
Interacciones					
AB	51,1658	2	25,5829	0,96	0,4025
Residuos	751026	18	41723,7		
Total (Corregido)	978047	23			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Al comparar el coeficiente F con la F crítica proporcionada por los puntos porcentuales para un $\alpha=0.10$ se tendría

Tabla 11: Comparación del coeficiente F con la F crítica proporcionada por los puntos porcentuales.

Fuente: Propia

Factor	Grados de Libertad	F	F crítica
Días	2	1.44	2.62
Tipo de Combustible	1	15.91	3.01
Interrelación	2	0.96	2.62
Error	18		

Para el factor Tipo de Combustible se rechaza la hipótesis nula debido a que la F crítica es menor que el coeficiente F, para el factor Días y la Interrelación de los Factores la hipótesis nula no se rechaza. Por tanto, la tabla ANOVA demuestra que existe un efecto significativo sobre la Temperatura Final de ebullición que corresponde al Factor de los Tipos de Combustibles (TPC). Esto implica que el Biogás tiene un efecto significativo con respecto a la temperatura Final (TF) debido a que se alcanza el punto de la ebullición a mayor temperatura que la que se requiere para el GLP

Tabla 12: Análisis de varianza para TMF de ebullición

Fuente: (Montgomery) 2004

Análisis de Varianza para TMT – Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón F	Valor-P
Efectos principales					
A-Días	71175,7	2	3558,8	0,85	0,4427
B-TPC	1036622	1	103622	2,48	0,1325
Interacciones					
AB	52222,9	2	2611,4	0,63	0,5461
Residuos	751026	18	41723,7		
Total (Corregido)		23			

Todas la razones-F se basan en cuadrado medio del error residual

Al comparar el coeficiente F con la F crítica proporcionada por los puntos porcentuales para un $\alpha=0.10$ se tendría

Tabla 13: Comparación del coeficiente F con F crítica.

Fuente: Propia

Factor	Grados de Libertad	F	F crítica
Días	2	0.85	2.62
Tipo de Combustible	1	2.48	3.01
Interrelación	2	0.63	2.62
Error	18		

Según la tabla ANOVA, se determina que no existe un efecto significativo sobre el Tiempo Final TMF de ebullición que corresponde al Factor de los Tipos de Combustibles (TPC) puesto que ningún factor o interrelación de factores presenta un F mayor al F crítico. Esto demuestra que la hipótesis nula no se rechaza.

7. Conclusiones

1. Se logro Identificar los cambios necesarios para el sistema de distribución del gas al hacer la evaluación técnica de la cocina, el diagnóstico, su adaptación y las modificaciones de piezas requeridas para su funcionabilidad., a través de un nuevo diseño planteado
2. Se realizaron las pruebas estándar a la cocina de Gas Licuado de Petróleo (GLP) adaptada a funcionar con biogás.
3. Se analizaron los datos obtenidos de Temperatura Final (TF) a partir del uso del Biogás y del GLP, usando un método bifactorial con interacción.
4. También se determinó la eficiencia del gas licuado de petróleo con respecto al biogás. A través de todo lo anterior se pudo Adaptar una cocina industrial de Gas Licuado de petróleo (GLP) para que trabaje con biogás, aprovechando el combustible producido por un biodigestor semicontinuo de tipo Tubular con las adaptaciones requeridas de la cocina para su funcionamiento y la realización de pruebas de eficiencia energética en el comedor de UNI- RUPAP.

Los resultados obtenidos de la evaluación técnica de la cocina de gas licuado de petróleo para funcionar con biogás, indican que el diseño facilitó la adaptación a biogás, con la implementación de los cambios en el sistema de distribución del gas, quemadores de GLP a Biogás, válvulas de alimentación, cierre de combustible y el cambio de accesorios necesarios. Es importante resaltar que, con el biogás, el agua alcanzó su punto de ebullición en un mayor tiempo, en comparación con el gas licuado de petróleo (más eficiente).

8. Referencias

- Antonio, E., & Aguilera, R. (2017). *Generación de biogás mediante el proceso de digestión anaerobia, a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos*. 6(24), 60–77.
- Barrena, M., Hellenthal, M., & Ordinola, C. (2014). *Rendimiento del biogas como combustible para cocina e iluminación producido en biodigestor tubular en la Providencia, Luya – Amazonas Performance of biogas as fuel for kitchen and lighting produced in tubular biodigester in Providencia, Luya - Amazonas*. 3(1), 117–124. <https://doi.org/10.25127/indes.201501.0>
- Barrera-Cardoso, E., Odales-Bernal, L., Carabeo-Pérez, A., & Alba-Reyes, Y. (2020). Recopilación de aspectos teóricos sobre las tecnologías de producción de biogás a escala rural. *Tecnología Química*, 40(2), 303–321.
- Barrera-Cardoso¹, D. C. E. L., <https://orcid.org/0000-0003-0207-4188>, *, Odales-Bernal¹, Ms. L., <https://orcid.org/0000-0001-7907-2805>, Carabeo-Pérez¹, L. A., <https://orcid.org/0000-0003-0129-5544>, Alba-Reyes¹, Ms. Y., <https://orcid.org/0000-0002-9816-3101>, Hermida-García¹, Ms. F. O., & <https://orcid.org/0000-0002-7645-5947>. (2020). Recopilación de aspectos teóricos sobre las tecnologías de producción de biogás a escala rural. *Tecnología Química*, 2224–6185, 40(2), 2020.
- García, F. G. (n.d.). *Análisis de la Varianza (ANOVA) con R Title*.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C. y B., & M, L. P. (2010). (2010). Metodología de la investigación. *REVISTA DOCENCIA UNIVERSITARIA Diciembre de 2010, Vol 11.,.*
- Lagrange, B. (1979). *Biomethane. Principes, Techniques, Utilisation. Vol. 2*. Edisual / Energies alternatives.
- Luis Rodríguez, F. J. (2010). *Puesta en marcha de un Laboratorio para la producción de biogás en Nicaragua* [Carlos 3 de Madrid]. <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/9951#preview>

- Montgomery, D. (2004). Diseño y análisis de experimentos. In *Limusa Wiley*.
- Savran, V., Piñón, M. R. D., & Palacios, J. S. A. (2012). Producción de biogás y bioabonos a partir de efluentes de biodigestores Production of biogas and biofertilizers from biodigester effluents. *Pastos y Forrajes*, 35(2), 219–226.
- Singh, R. B. (1974). Bio-gas Plant: Generating Methane from organic Wastes. *Gober Gas Plant Research Station, Ajitmal*.
- SNV. (n.d.). *National Biogas Programme - Nicaragua*. <https://snv.org/project/national-biogas-programme-nicaragua>
- Viquez Arias Joaquín, Caydiid Mukhtaar, O. A. (2018). *Evaluación de la eficiencia térmica en estufas fabricadas y modificadas a biogás. 2*.