

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

Trabajo de fin de Carrera Titulado:

Arranque y verificación de funcionamiento de un equipo generador de CO₂ que utiliza GLP para la producción de biomasa para su posterior uso en la industria energética a través de control automático.

Realizado por:

María Gabriela Rodríguez Caicedo

Director del proyecto:

Ing. Rodolfo Jefferson Rubio Aguiar.

Como requisitos para la obtención del título de:

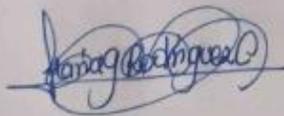
MAGISTER EN GESTION AMBIENTAL

Quito, 04 de marzo de 2018

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, MARIA GABRIELA RODRÍGUEZ CAICEDO, con cédula de identidad #0401657390, declaro bajo juramente que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



FIRMA Y CEDULA

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

**“ARRANQUE Y VERIFICACIÓN DE FUNCIONAMIENTO DE UN EQUIPO
GENERADOR DE CO₂ QUE UTILIZA GLP PARA LA PRODUCCIÓN DE
BIOMASA PARA SU POSTERIOR USO EN LA INDUSTRIA ENERGÉTICA A
TRAVÉS DE CONTROL AUTOMÁTICO”.**

Realizado por:

MARÍA GABRIELA RODRÍGUEZ CAICEDO

Como Requisito para la Obtención del Título de:

MAGISTER EN GESTION AMBIENTAL

Ha sido dirigido por el profesor

RODOLFO JEFFERSON RUBIO AGUILAR

Quien considera que constituye un trabajo original de su autor



FIRMA

PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

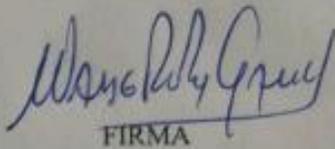
WALBERTO GALLEGOS

IVONNE CARRILLO

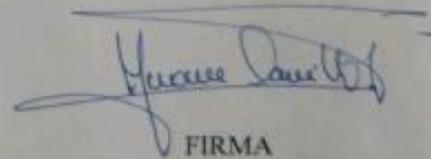
Después de revisar el trabajo presentado,

Lo han calificado como apto para su defensa oral ante

el tribunal examinador



FIRMA



FIRMA

Quito, 04 de marzo de 2018

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado para mi mami, fuente de inspiración en mi vida, y ejemplo de valores y lucha.

AGRADECIMIENTO

A mi familia principalmente mi apoyo incondicional, a mi papi Carlos por siempre creer en mí y en mi capacidad, a mi mami por sus consejos, a mi hermano Carlitos a mi primita María Belén, por su cariño, a mis amigos Freddy, Edwin, Jorgito, Vicky, a mi abuelita Romelia y a todos los que pusieron un granito de arena para que este proyecto llegue a su culminación, gracias de todo corazón.

Mi especial agradecimiento a mi tutor Rodolfo Rubio, por su apoyo en este tema de tesis, por su paciencia y compromiso con los estudiantes, a mis tutores Ivonne y Walberto por su aporte con sus valiosos conocimientos.

05/03/2018 11:00:00

Para someter a: *Rev. Int. Biocombustibles y Energías Alternativas*
To be submitted : *Rev. Int. Biocombustibles y Energías Alternativas*

“Arranque y verificación de funcionamiento de un equipo generador de CO₂ que utiliza GLP para la producción de biomasa para su posterior uso en la industria energética a través de control automático”.

Gabriela Rodríguez¹, Rodolfo Rubio^{1*}

¹ Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, Quito, Ecuador.05/03/2018 11:00:00 *AUTOR DE CORRESPONDENCIA: Ing. Jefferson Rubio, Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, Quito, Ecuador.

Teléfono: +593 98 790 5726; email: Rodolfo.rubio@uisek.edu.ec

Título corto o Running title: -----

RESUMEN

A la planta generadora de CO₂ existente, se le realizó el rediseño y la implementación de un sistema de control automático para su correcto funcionamiento y puesta en marcha.

Mediante la combustión de GLP se obtuvo el dióxido de carbono, que es la materia prima para la producción de microalgas de las que se obtendrá biomasa para la generación de biocombustible. El gas licuado de petróleo es un subproducto del procesamiento del gas natural o de la refinación del petróleo crudo. Consiste principalmente de propano y por lo tanto el LPG generalmente se conoce como propano. Sin embargo, también contiene cantidades variables de butano, propileno y butileno.

Así mismo, la reingeniería del equipo produjo un aumento en la eficiencia que permitió obtener la temperatura adecuada del gas en el intercambiador de calor, con estos datos de intercambio, se calculó la cantidad generada de dióxido de carbono que se alimentará al fotobiorreactor, el cual cuenta con control de temperatura, que permite a las algas estar con una temperatura constante. Las algas a sembrarse en el fotobiorreactor son obtenidas de la reserva biológica de Limoncocha y se han realizado estudios previos que permiten determinar su alto contenido lipídico lo que permite su uso para la industria energética.

En funcionamiento el equipo logra generar 3.96 g de CO₂ por minuto por cada 1.4 g /min de C₃H₈, con una alimentación de aire con el 20% en exceso que corresponde a 19 g/min de N₂ y 5.76 g/minuto de O₂, obteniéndose también en los gases de salida 00.96 g/min de oxígeno en exceso, 19 g/min de nitrógeno y 2.16 g/min de vapor de agua.

El aporte ambiental de este estudio es la captación del CO₂, que es un gas de efecto invernadero, causante del calentamiento global, en agua, para que se realice el cultivo de microalgas con las que se elaborará biocombustibles.

PALABRAS CLAVE

**PLANTA /COMBUSTIBLE / TEMPERATURA/ MICROALGAS/BIOMASA/
ENERGÍA/ GLP**

ABSTRACT

The CO₂ generating plant was redesigned and implemented an automatic control system for its proper functioning and start-up, and carbon dioxide was obtained by burning LPG, which is raw material for the production of microalgae from which it will be obtained. biomass and thus generate biofuel.

Likewise, through the redesign of the equipment, a greater efficiency was obtained that allowed us to obtain the adequate temperature of the gas in the heat exchanger, with this exchange data the amount of carbon dioxide generated was calculated that will be fed to the photobioreactor, which counts with a temperature control, which allows the algae to be controlled by a parameter, the algae to be sown in the photobioreactor are obtained from the Limoncocha biological reserve and previous studies have been carried out to determine their high lipid content, which allows their use for the energy industry. In operation the team manages to generate 3.96 g of CO₂ per minute for each 1.4 g / min of C₃H₈, with an air supply with 20% in excess that corresponds to 19 g / min of N₂ and 5.76 g / minute of O₂, obtaining also in the exhaust gases 00.96 g / min of excess oxygen, 19 g / min of nitrogen and 2.16 g / min of water vapor. The environmental contribution of this study is the uptake of CO₂, which is a greenhouse gas, causing global warming, in water, for the cultivation of microalgae with which biofuels will be produced.

The environmental contribution of this study is the capture of CO₂, which is a greenhouse gas, causing global warming, in water, so that the cultivation of micro-algae is carried out with which biofuel will be produced.

KEYWORDS

PLANT / FUEL / TEMPERATURE / MICROALGAS / BIOMASS / ENERGY / LPG

INTRODUCCIÓN

En la actualidad se han identificado muchos problemas de contaminación ambiental a los cuales se está tratando de buscar opciones de procesos menos contaminantes, por tanto la generación de biocombustibles es uno de los puntos en los que se han enfocado las nuevas investigaciones, pero una de las consideraciones fundamentales es el problema ético del uso de productos alimenticios para la obtención de estos, es por esto que una de las opciones más viables es el uso de productos alternativos, en este grupo se ubica la producción de biodiesel a partir de algas, las cuales generarán alto contenido de aceite, en corto tiempo y con altos beneficios.

El CO₂ es un gas de efecto invernadero generado por la quema de combustibles fósiles y de materia orgánica en fuentes fijas y móviles de residuos, entre otros sistemas de combustión que producen grandes cantidades de este gas contaminante, por tal motivo es fundamental el estudio de este proceso que logre el aprovechamiento del CO₂, para un fin energético.

Para la generación de CO₂, se parte de la tesis "Diseño y construcción de un equipo generador de CO₂ que utiliza GLP para la producción de biomasa para su posterior uso en la industria energética", (Tapia, 2017), tesis que da como resultado final un equipo construido para producción continua de CO₂, para alimentación del fotobiorreactor. (Ver Anexo 1. Diseño de equipo generador de CO₂).

Biocombustibles

Los biocombustibles son aquellas moléculas que contienen componentes derivados de organismos vivos, generalmente se obtienen de productos alimenticios, así como trigo o

semillas oleaginosas, los biocombustibles son considerados como renovables además de ser buenos sustitutos de los combustibles fósiles.

Una de las alternativas a la búsqueda de sostenibilidad, es la producción de biocombustibles de tercera generación con el uso de microalgas, generalmente el proceso de cultivo de estas especies es a nivel del laboratorio en medios de crecimientos controlados y expuestas a luz artificial, la ventaja es que su crecimiento es rápido y absorben CO₂.

Las cianobacterias y microalgas son microorganismos fotosintéticos procariotas y eucariotas, que utilizan como nutriente el dióxido de carbono (CO₂), agua y energía solar para producir biomasa, poseen un elevado contenido en aceites (hasta 60% en peso), crecen considerablemente rápido, entre 10 y 200 veces más rápido que los cultivos terrestres como la soya y la colza, y su ventaja es que pueden vivir en condiciones poco favorables (Ramos et al., 2015).

Además, son organismos foto autótrofos, que obtienen la energía de la luz solar, se desarrollan a partir de materia inorgánica y utilizan el CO₂ como nutriente. Así mismo tienen la capacidad de eliminar o biotransformar contaminantes en un medio líquido o gaseoso. De acuerdo con esto se puede producir biomasa con fines comerciales o eliminación de contaminantes que afectan al ambiente (Hernández & Labbé, 2014).

Tomando en cuenta la necesidad de reducción de la contaminación generada por el CO₂, el equipo en funcionamiento permite realizar un estudio de las cantidades generadas de este gas para alimentación al fotobiorreactor que será el medio de desarrollo de algas, con una base técnica de seguridad industrial en el equipo, ya se mejoró su hermeticidad para evitar accidentes y con una base de control automático que permita una combustión correcta del combustible y que el equipo se mantenga en funcionamiento .

De acuerdo a (Rawat et al. 2011, Wang et al. 2012 citado en Héctor M. Alvarez, Matías Blanco, María A. Fajardo, 2007,) la utilización de la biomasa podría proporcionar aproximadamente el 25% de las necesidades energéticas mundiales, siendo además una fuente de productos biotecnológicos, farmacéuticos y aditivos alimentarios, por lo tanto las microalgas se constituyen como las productoras más eficientes de biomasa en el ciclo de la naturaleza, siendo reconocidas como un excelente recurso medioambiental y biotecnológico. El Biodiesel que se produce a partir de microalgas no posee impactos en el suministro de alimentos. Las microalgas pueden cultivarse utilizando agua salina, residual, potable o autoclavada, tienen un alto potencial de crecimiento, duplican su biomasa en 24 horas. Esta biomasa por su gran carga proteica también puede utilizarse como fuente de alimento para seres humanos y animales (Pérez & Quishpi, 2014).

Calentamiento Global por CO₂

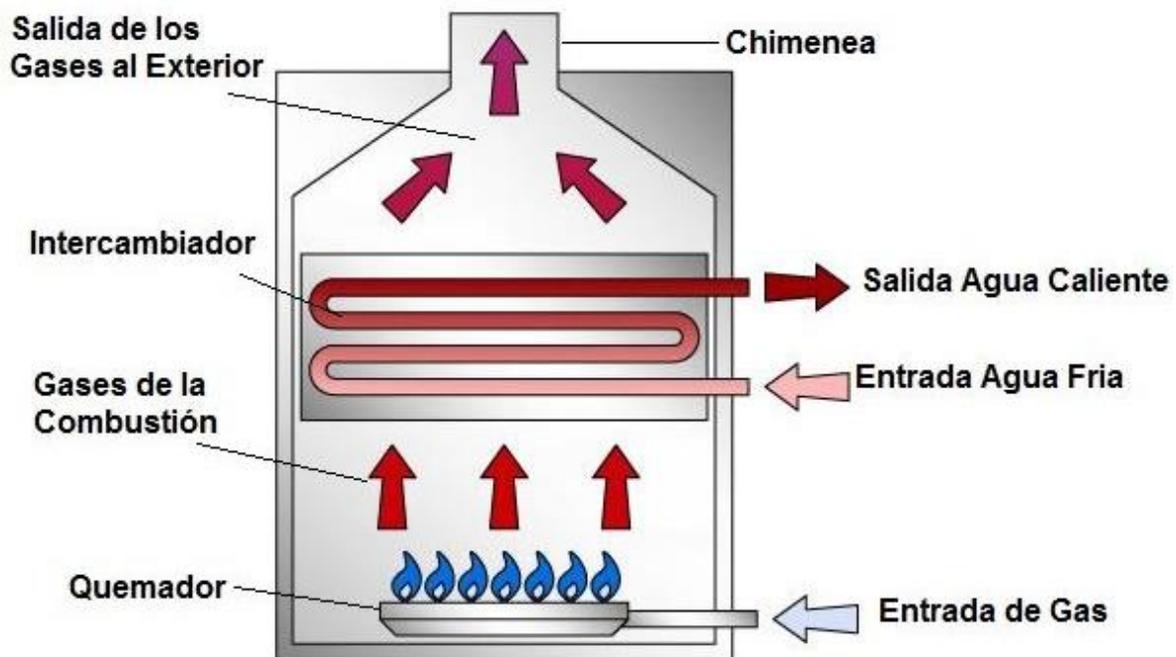
Este gas de efecto invernadero se encuentra en concentraciones relativamente bajas en la atmósfera, aproximadamente un 0,03%. A pesar de sus bajos niveles, se trata del mayor impulsor del calentamiento global. Actualmente, existen cerca de 3 trillones de toneladas de CO₂ en la atmósfera, un 27% superior al nivel anterior a la Revolución Industrial. A finales del siglo XIX, los niveles de dióxido de carbono a nivel mundial eran de 280 partes por millón (ppm); ahora las concentraciones están alrededor de 380 ppm. Algunos científicos advierten que si la cantidad de dióxido de carbono que hay en la atmósfera supera las 450 ppm, la temperatura de la Tierra podría dispararse de manera descontrolada. Las fuentes naturales del dióxido de carbono incluyen plantas en descomposición y materia animal, incendios forestales naturales y volcanes. Las principales fuentes humanas de CO₂ proceden de la quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas) y de la

deforestación. Los científicos atribuyen la mayor parte de la concentración de CO₂ a estas fuentes procedentes de la acción humana. (Oceana EU. (2018). Gases de efecto invernadero)

Quemadores a gas

Existen distintos mecanismos de combustión que dependen del tipo de combustible usado en la operación, sólido, líquido y gaseoso. Estos equipos tienen como finalidad obtener el mayor rendimiento energético y económico del combustible usado; cuando el combustible es gaseoso se forma un sistema de mezcla homogénea que facilita la combustión, en el caso del GLP se ha optado por el uso de quemadores que constan de un válvula reguladora de flujo de gas, un inyector de combustible, espacios para la entrada de aire y una cámara donde se da la mezcla aire – combustible, el combustible circula a través dicha válvula hacia el inyector, posteriormente el aire entra de manera perpendicular al eje del equipo donde se encuentra la cámara que alberga la mezcla aire combustible (Brizuela 2015).

A continuación se presenta un esquema básico.



Fuente: <http://www.areatecnologia.com/tecnologia/calderas-de-gas.html>

Combustión

La combustión es un proceso de oxidación rápida, donde reacciona el oxígeno como comburente y el carbono e hidrógeno como combustible. El poder calorífico del combustible es la cantidad de calor que se desprende cuando el combustible se quema. Existen varios tipos de combustión, incompleta, cuando no se logra quemar todo el combustible por falta de oxígeno o por una deficiente mezcla aire-combustible y combustión completa, cuando todo el carbono presente en el combustible se oxida, generando dióxido de carbono (Renedo 2014). Entre los principales equipos generadores de emisiones de gases de efecto invernadero están los siguientes:

- Calderas
- Quemadores
- Hornos
- Recuperadores e intercambiadores de calor
- Calentadores e incineradores

Al ser los quemadores uno de los equipos más usados en la industria para la generación de todo tipo de productos es de vital importancia su análisis, y se han tomado en cuenta puntos principales en lo referente a combustión.

- La combustión debe mantener una relación aire combustible en un rango que asegure una combustión completa, continua y que se pueda mantener estable, en todas las condiciones posibles de operación, en este caso puntual se usó el 20% de exceso de oxígeno.
- El caudal de combustible jamás debe ser mayor que el caudal de aire.

Relaciones aire /combustible.

Las relaciones aire/combustible conforme al balance de masa deben mantenerse a un nivel tan bajo como sea posible, lo que permitirá ahorrar combustible. Sin embargo, a no ser que se utilice exceso de aire en la cámara de combustión, habrá una combustión incompleta, que malgasta combustible, pudiendo haber riesgo de explosión por ignición retardada en el hogar y combustible no quemado. Para asegurar una combustión completa, debe suministrarse exceso de aire en cantidades que varían entre el 20% y el 30% en exceso tomando en cuenta los valores requeridos para la reacción estequiométrica la cual dependerá del combustible utilizado, la carga del equipo y su configuración. (Martínez, 2011).

Tiro inducido

El objetivo del blower (ver Anexo 2), es que la presión del hogar asegure una combustión satisfactoria así como una operación segura.

En las calderas con ventiladores de tiro forzado e inducido, se ha de mantener un tiro equilibrado de forma que la presión en el hogar se mantenga estable. (Ruiz, M (2019))

En el equipo generador de CO₂ se usó un ventilador de tiro inducido (blower) que provoca succión y los gases producto de la combustión (dióxido de carbono y vapor de agua) sean arrastrados a la salida del intercambiador y desaloja los mismos, para evitar la acumulación de estos en cámara de combustión.

Microalgas

Las microalgas son organismos autótrofos unicelulares, coloniales, filamentosos que pueden habitar en numerosos medios acuáticos y ecosistemas dentro del planeta Tierra.

Presentan pigmentos fotosintéticos que les permiten realizar fotosíntesis oxigénica y son capaces de convertir la energía proveniente de la luz en energía química siendo cuatro veces

más eficientes a la de las plantas. Uno de los roles fundamentales de estos microorganismos radica en el hecho de ser los principales productores primarios de la cadena trófica, siendo así pioneros en la formación de la materia orgánica. Tomando en cuenta la diversidad de cepas que existen, su tamaño puede oscilar en rangos de 5 a 50 μm aproximadamente y son los organismos de crecimientos más rápido en la tierra, desarrollándose así en ambientes con pH y temperatura variables (Segoviano & Islas, 2017)

Transferencia de calor

Se entiende por transferencia de calor al paso de la energía calorífica entre una zona de temperatura alta y una zona de baja temperatura. Este fenómeno de transferencia de energía es estudiado mediante estados de equilibrio en los cuales debe existir una un gradiente mínimo de temperaturas entre dos cuerpos. El calor se puede transferir en tres modos diferentes: conducción, convección y radiación(Domingo 2011).

Los gases obtenidos del equipo que son dióxido de carbono y vapor de agua, tienen una temperatura promedio de salida de quemador de 234 grados centígrados, por lo que es necesario el enfriamiento para que exista absorción del CO_2 por el agua, en el fotobiorreactor existe una temperatura de 28 grados centígrados que se mantiene estable a través de una resistencia eléctrica, éste parámetro controlado permite el crecimiento adecuado de las microalgas, por tanto la temperatura de salida del equipo de generación de CO_2 debe tener una temperatura menor o igual a los 28 grados centígrados. De los resultados obtenidos la temperatura promedio de salida de los gases después del enfriamiento es de 16,5 grados centígrados, que está bajo la temperatura del fotobiorreactor.

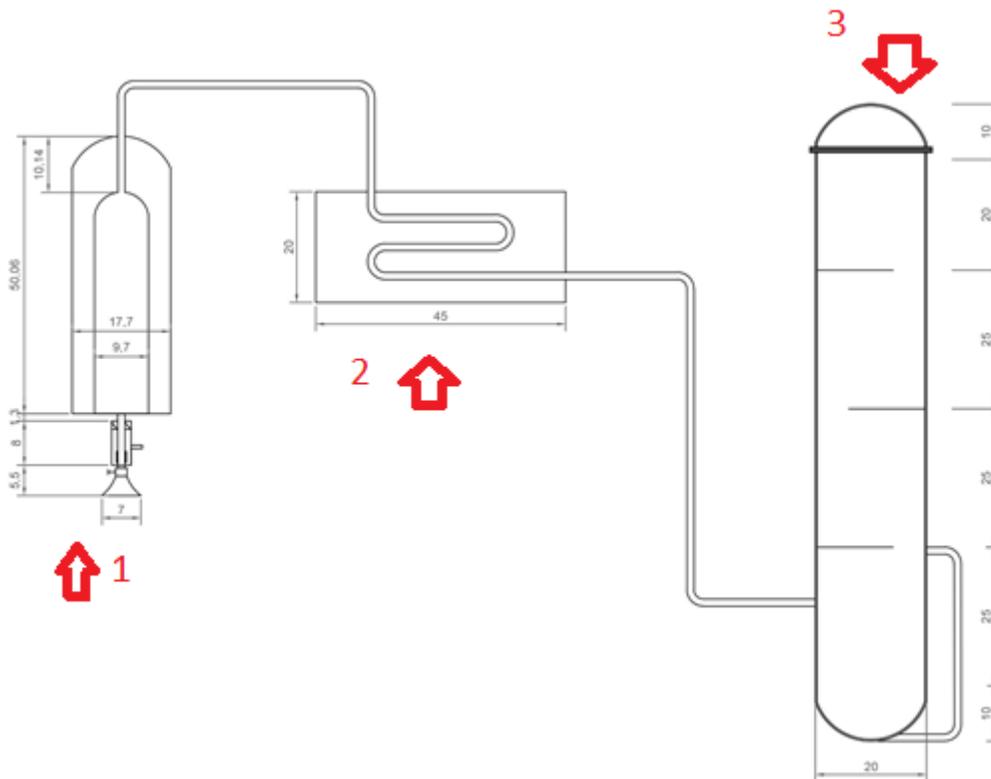
Equipo Generador de CO_2

La tesis planteada, parte de un sistema existente que comprende:

- (1) Un combustor que cuenta con una cámara de enfriamiento, en donde se realiza la quema de GLP.
- (2) Un intercambiador de calor, para enfriar los gases de combustión (CO_2).
- (3) Una torre de enfriamiento que tiene por objetivo enfriar los gases de combustión (CO_2).

La finalidad del equipo generador de CO_2 es producir éste gas para alimentar a un fotobiorreactor con el objetivo de llevar a cabo una captura del gas contaminante a través de microalgas.

El equipo diseñado se muestra en el siguiente diagrama:



Fuente: (Tapia, 2017)

Materiales y Métodos

El equipo tiene como función principal la generación de dióxido de carbono conforme indica el balance de masa. Las acciones correctivas que se implementó para el funcionamiento del equipo son las siguientes:

- Después de las pruebas iniciales, en las que se pudo observar los problemas para arrancar del equipo, observó que los gases de combustión se aglomeraban en la cámara de combustión lo que ocasionó que el equipo se apague.
- Se desarmó el equipo en su totalidad para detectar fugas existentes, por el desuso del mismo, esto permitió establecer un diagnóstico del equipo y determinar modificaciones a realizar para poder obtener el gas para alimentación del fotobiorreactor.
- Se estableció una relación aire combustible conforme el balance de masa para que la combustión pueda darse de una manera correcta, y se mantenga a lo largo del proceso de uso del equipo.
- Se realizó el cambio del serpentín del intercambiador de calor que tenía un diámetro de $\frac{1}{4}$ de pulgada por uno de 2 pulgadas.
- Se realizó el acople con una T de la entrada de GLP para poder realizar el paso de un caudal mínimo del mismo para la llama piloto la cual fue conectada a un dispositivo de chispa.

Procedimiento de toma de datos

- Una vez corregidas las fugas identificadas en el equipo se puso en funcionamiento para obtener datos de generación de CO₂.
- Una vez que se probó el equipo en funcionamiento se procedió a realizar las respectivas mediciones:

- Se midió las temperaturas de entrada y de salida de agua de enfriamiento , para este fin se abrió el sistema para lograr obtener datos de temperaturas y caudales.
- Una vez colocadas las termocuplas, que son tipo K, con rango de temperatura de 200 a 1250 grados centígrados, se determinó en el tablero las temperaturas de salida del quemador y la temperatura de salida de la torre (Ver Anexo 2. Esquema del equipo generador de CO₂).

Datos generados de los cálculos de balance

- En funcionamiento el equipo logra generar 3.96 g de CO₂ por minuto por cada 1.4 g /min de C₃H₈, con una alimentación de aire con el 20% en exceso que corresponde a 19 g/min de N₂ y 5.76 g/minuto de O₂, obteniéndose también en los gases de salida 00.96 g/min de oxígeno en exceso, 19 g/min de nitrógeno y 2.16 g/min de vapor de agua.
- La relación encontrada con la cantidad de C₃H₈ ingresada es de 0,03 moles de C₃H₈ por 5.76 moles de Oxígeno.
- La temperatura promedio obtenida de salida de los gases de combustión (CO₂) es de 16,5 grados centígrados después de la medición final del equipo en funcionamiento durante 4 horas, de forma continua.

Mejoras realizadas en el equipo para la correcta combustión

- Se desarmó este sistema se pudo observar el serpentín con un diámetro de cuarto de pulgada, lo que genera un estrangulamiento en el paso del dióxido de carbono, por lo que se procedió a realizar el cambio por una tubería de 2 pulgadas y de un paso para que mejore el intercambio de calor. (Ver Anexo 1. Diseño de Intercambiador de Calor).

- Para que los gases de combustión tengan una mejor salida y no existan tantas pérdidas de presión, se cambió la tubería existente de media pulgada, por la tubería de dos pulgadas y para obtener un arrastre de los gases de combustión se colocó un blower de 2150 RPM para lograr un tiro inducido.
- El mechero fue modificado con un acople directo al equipo y se realizó una limpieza y mantenimiento del mismo.
- Se estableció una nueva configuración en la tubería que tiene menos accesorios y un paso más directo de los mismos, para tratar de disminuir las pérdidas de presión por accesorios y aumentando el diámetro de tubería que significa pérdida menor de presión.
- Para tener los datos de temperaturas de los gases de salida del quemador, de salida del intercambiador y poder establecer si están dentro de los parámetros de control se colocó termocuplas con visores de temperatura.
- El control automático en el encendido permite tener seguridad en la operación del equipo generador de dióxido de carbono, ya que existen riesgos en el uso por combustibles, por tanto el sistema de combustión se selló completamente, las mangueras de paso de GLP son las normadas para este tipo de combustible con el color de seguridad para gases (INEN 2260).
- Se instaló una llama piloto en el equipo lo que se obtuvo por medio de una división del flujo de entrada de alimentación de GLP, y con un sistema de chispa generada por una batería.

- El funcionamiento del sistema de control ubicado en el quemador contiene un sensor de calor el mismo que en el momento que se enciende, abre la señal para la llama piloto, una vez se detecta el aumento de temperatura abre simultáneamente las electroválvulas que permiten el paso de GLP y aire comprimido.
- La puesta en marcha del equipo permite que el blower y la bomba de agua se conecten automáticamente una vez se dé la señal de encendido.
- Existió un acople al final de la columna debido a que la presión generada por el gas de combustión es muy bajo, para que posteriormente se haga las conexiones que permitan llegar el gas al fotobiorreactor sin pérdidas de presión por accesorios o estrangulaciones en el sistema de tubería. (Ver Anexo 2)

Experimento de medición de temperaturas

El método usado para la determinación de las temperaturas se lo realizó en base a lo propuesto de trabajar 8 horas diarias, por tanto se probó el equipo durante tres días diferentes en intervalos de 4 horas para establecer su correcto funcionamiento, se concluyó que el método escogido era el mejor para este proyecto ya que era una manera sencilla de obtener los datos de temperaturas, caudales de los gases de combustión resultantes y de los fluidos de enfriamiento, además se genera un balance de masa con reacción de combustión posterior para obtener los resultados finales de caudales de CO₂ generado por el equipo.

Para determinar la potencia real del equipo se realizó las siguientes mediciones:

Tabla 1. Datos temperaturas de gases de salida

Temperatura de Gases de Salida	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
14	15,5	2,34
14		
15		
16		

Temperatura de Gases de Salida	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
15		
16		

También se midió la temperatura del agua que servirá para el intercambio de calor. (Ver Anexo 2)

Tabla 2. Datos temperaturas de agua

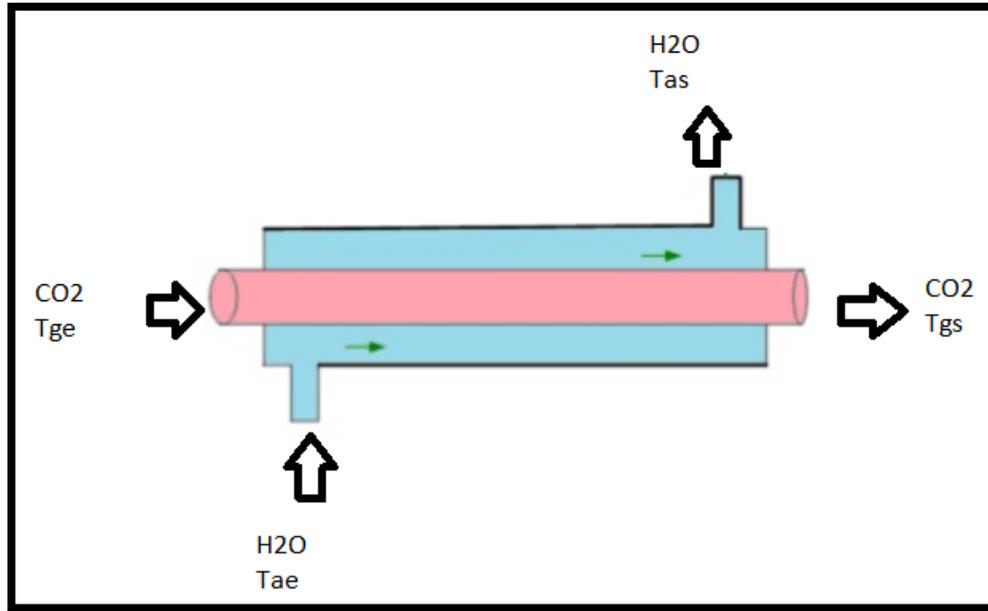
	Temperatura entrada (C)	Temperatura (C)
T1	16	17
T2	16	17,1
T3	17	18

Tabla 3. Datos de caudal

Caudal 1 (Q1) (l/min)	Caudal 2 (Q2) (l/min)	Caudal 3 (Q3) (l/min)	Caudal Promedio (l/min)
12	11	13	12

Cálculos realizados

Figura 1. Intercambiador de calor



(Ver Anexo 2)

Tge: temperatura entrada del gas producto de combustión al intercambiador de calor

Tgs: temperatura de salida del gas producto de la combustión del intercambiador de calor

Tae: temperatura de entrada de agua fría

Tas: temperatura de salida del agua

$$Cp = \frac{4,18KJ}{KgC} \text{ (Perry, 2001)}$$

Ecuación de balance de energía

$$Energía = m Cp \Delta T \quad Ec. (1)$$

Cálculo del caudal de agua de enfriamiento (Q)

$$Q1 = 12 \frac{l}{min} * \frac{1Kg}{l} = 12 Kg/min$$

Cálculo de energía (E1) para Q1

$$\text{Energía (1)} = \frac{12\text{Kg}}{\text{min}} * \frac{4,18\text{KJ}}{\text{KgC}} * (17\text{ C} - 16\text{ C})$$

$$\text{Energía (1)} = 50,16\text{ KJ/min}$$

Cálculo de energía (E2) para Q2

$$\text{Energía (2)} = \frac{11\text{Kg}}{\text{min}} * \frac{4,18\text{KJ}}{\text{KgC}} * (17,1\text{ C} - 16\text{ C})$$

$$\text{Energía (2)} = 50,57\text{ KJ/min}$$

Cálculo de energía (E3) para Q3

$$\text{Energía (3)} = \frac{13\text{Kg}}{\text{min}} * \frac{4,18\text{KJ}}{\text{KgC}} * (18\text{ C} - 17\text{ C})$$

$$\text{Energía (3)} = 54,34\text{ KJ/min}$$

Tabla 4. Energías obtenidas

Medición	Energía (KJ/min)	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
1	50,16	50,16	4,17
2	45,98		
3	54,34		

Reacción de combustión, gas licuado de petróleo



Tabla 5. Poder Calórico GLP

	Fracción Poder Calórico kJ/kg
C3	45 000

Fuente: Manual del Ingeniero Químico Perry, 2011

Cálculo de la entalpía de reacción

$$\Delta H_{reacción} = \Delta H_{productos} - \Delta H_{reactivos} \text{ Ecn.3}$$

$$\Delta H_r = (n\Delta H_{CO_2} + n\Delta H_{H_2O}) - (n\Delta H_{C_3H_8} + n\Delta H_{O_2}) \text{ Ecn. 4}$$

$$\Delta H_r = \left(3 * 393520 \frac{KJ}{Kmol} + 4 * 285830 \frac{KJ}{Kmol}\right) - (1 * 118910 + 0)$$

$$\Delta H_r = \left(3 * 393520 \frac{KJ}{Kmol} + 4 * 285830 \frac{KJ}{Kmol}\right) - \left(1 * 118910 \frac{KJ}{Kmol} + 0\right)$$

$$\Delta H_r = 2204970 \frac{KJ}{Kmol}$$

$$\Delta H_r = 50.113 \frac{KJ}{Kmol}$$

Tabla 6. Datos del intercambiador

Variable	Valor	Unidad
Radio del serpentín	2,54	cm
Longitud	60	cm
Área	997,588	cm ²
Coefficiente de convección	49,63	W/m ² °C

Cálculo del área del serpentín del intercambiador

$$A = 2\pi r h + 2\pi r^2 \text{ Ecn. 3}$$

Dónde:

r: radio

h: longitud del serpentín

Kilogramos obtenidos de GLP

Del balance de energía realizado para el agua de enfriamiento, la energía ganada por el agua, es la energía cedida por la reacción de combustión del GLP, por tanto para obtener el caudal másico de combustible podemos dividir la energía ganada por el agua, para la el poder calórico del GLP, y nos dará como resultado los gramos de GLP por minuto.

$$\frac{\text{Energía ganada por el agua } KJ/min}{\text{Energía de la reacción de combustión } \frac{KJ}{Kg}} \quad \text{Ecn. 4}$$

$$\text{Energía (promedio 85\%)} = 54,34 KJ/min$$

Tomando en cuenta que este valor corresponde a una eficiencia del 85% (Tapia ,2017)

$$\text{Energía (promedio 100\%)} = 58,84 KJ/min$$

$$\frac{58,84 KJ/min}{\left(\frac{45000 KJ}{Kg}\right)} = 0,00138 \frac{Kg}{min} = 1.4 g \text{ de combustible}/min$$

Balance de masa



Tabla 7. Balance de masa de combustión de GLP

Especie Química	Peso molecular	ENTRADA		SALIDA	
		masa g/min	mol	masa g/min	mol
C ₃ H ₈	44	1.4	0,03	.....	.....
O ₂	32	5.76	= 5(0,03*1.2) = 0,18	0,96	=(0,18*0.15) =0,03
N ₂	28	19.0	=(0,18*79/21)	19.04	=0.68

Especie Química	Peso molecular	ENTRADA		SALIDA	
		masa g/min	mol	masa g/min	mol
			=0.68		
CO ₂	44	.....	.....	3.96	0.09
H ₂ O _(v)	18	.....	.....	2.16	0.12
ENTRADA		26.1 g	SALIDA	26.1 g	

***EXCESO DEL 20% DE OXÍGENO**

El exceso del 20% es tomado de la recomendación de (Martínez, 2011), la reacción planteada como podemos ver en la ecuación es completa.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Tabla 8. Balance de masa de combustión de GLP

Medición	Energía (KJ/ min C)	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
1	50,16	50,16	5,91
2	45,98		
3	54,34		

CONCLUSIONES

- Se realizó un diagrama del equipo en dónde se indican los cambios de reingeniería realizados.
- El control automático en el equipo rediseñado permite que el operador pueda trabajar con el equipo generador de CO₂, de una manera segura, con tiempos probados hasta de 8 horas de trabajo continuo.

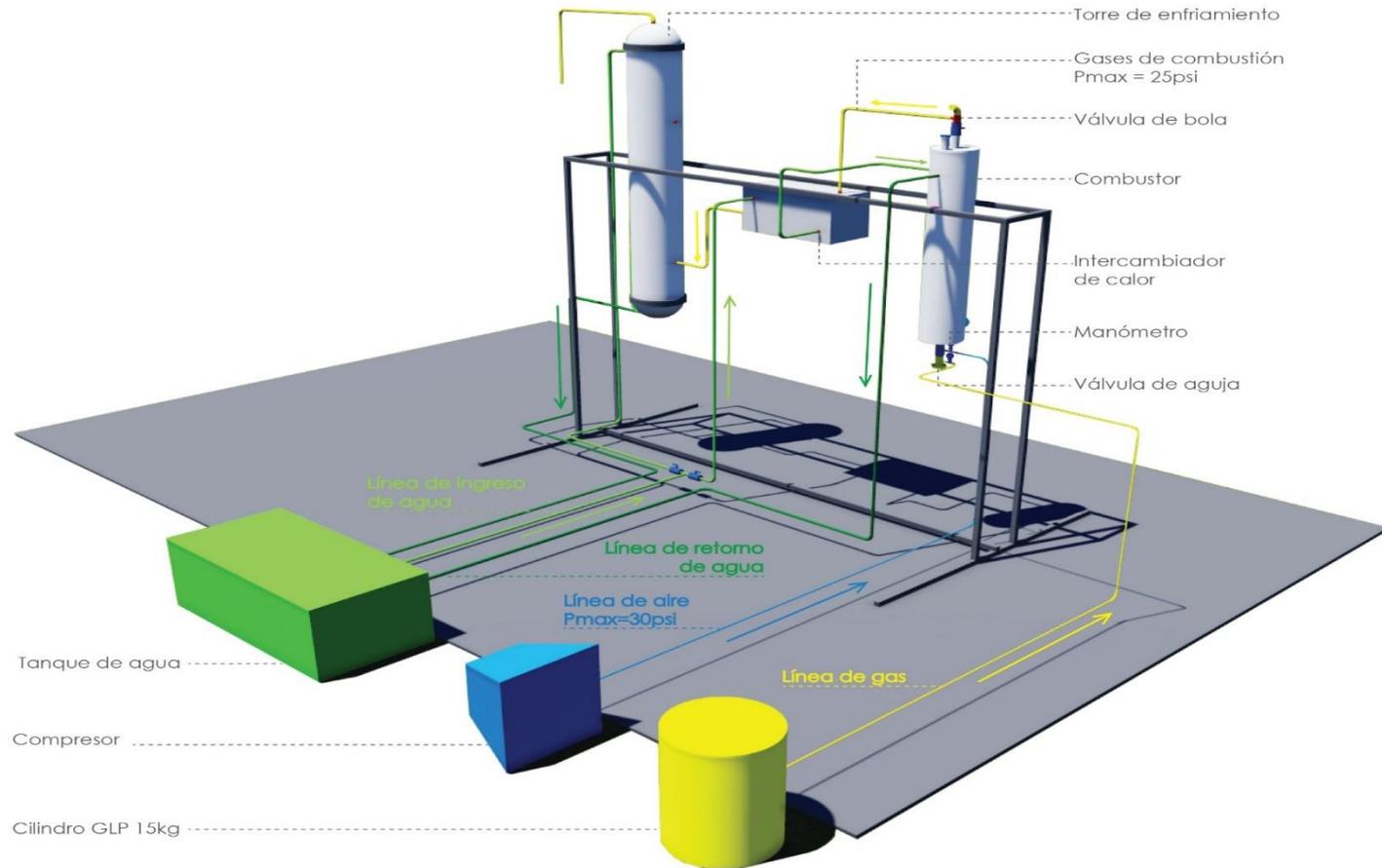
- La temperatura promedio a la que llegan los gases producto de la combustión después de las pruebas es de 16,5 grados centígrados, la temperatura a la que se encuentra el fotobiorreactor es de 26 grados centígrados, a esta temperatura mediante el diagrama indicado se obtiene un valor de 1,5 g de CO₂ por Kg de agua.
- Después de medir los parámetros de funcionamiento del equipo cuando este estuvo en marcha se determinó que por cada 1.4 g de C₃H₈ por minuto se obtiene 3.96 g de CO₂ por minuto, el fotobiorreactor tiene una capacidad de 55 litros, es decir tiene una capacidad de 82,5 gramos de CO₂, lo que corresponde que en 20,8 minutos el agua del fotobiorreactor llegaría a su saturación de CO₂.
- En funcionamiento el equipo logra generar 3.96 g de CO₂ por minuto por cada 1.4 g /min de C₃H₈, con una alimentación de aire con el 20% en exceso que corresponde a 19 g/min de N₂ y 5.76 g/minuto de O₂, obteniéndose también en los gases de salida 00.96 g/min de oxígeno en exceso, 19 g/min de nitrógeno y 2.16 g/min de vapor de agua.
- Se recomienda limpiar y verificar tanto la mirilla como el quemador, ya que durante su uso el quemador podrá acumular suciedad y provocar que la combustión no fuera eficaz, disminuyendo el rendimiento.
- Se recomienda determinar la cantidad de CO₂ que captarán las microalgas en un intervalo de tiempo, esto permitirá establecer cada que tiempo el equipo generador deberá encenderse, para alimentar de dióxido de carbono al fotobiorreactor.
- Después de los cálculos realizados con la Ecn 4, se obtiene un valor de energía media por minuto del quemador de 58,84 *KJ/min*, que equivale a una potencia de 980 W, es decir es la cantidad de trabajo que va a realizar el equipo.

BIBLIOGRAFIA:

1. *Ávila R, (2010) Ingeniería de control automático Kuo B. (2010) Sistemas de control automático*
2. *Brizuela, Eduardo. 2015. "Combustión." Cap. 15: procesos de combustión: 1–28.*
3. *Camacho, Eugenio, and Mario Grau. 2013. "Ingeniería Química." UNED.*
4. *Carrero, J I. 2008. DE TRANSFERENCIA DE CALOR : Una Guía de Estudio.*
5. *Çengel, Yunus. 2007. "Transferencia de Calor Y Masa: Un Enfoque Práctico." MC Graw Hill.*
6. *Domingo, Agustín Martin. 2011. "Apuntes de Transmisión de Calor." Universidad Politécnica de Madrid: 34–37.*
7. *Hernández, Adriana Garibay et al. "Biodiesel a Partir de Microalgas." 13(3): 38–61.*
8. *Hernández Cabrera, Elipidio. 2013. "Funcionamiento Y Mantenimiento De Generadores De Vapor Pirotubulares Marca "Powermaster." : 1–19.
<http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/34248/1/hernandezcabreraelpidio.pdf>.*
9. *Ibarra, Sede. 2013. "Diseño Térmico E Hidráulico de Un Intercambiador de Coraza Y Tubos." Escuela Superior Politécnica de Chimborazo: 10–40.
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2355/1/15T00517.pdf>.*
10. *International Energy Agency. 2009. "World Energy Outlook 2009." (ISBN 978-92-64-06130-9): 696.*
11. *IPCC. 2010. 49 Group Carbon Dioxide Capture and Storage.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20942501>.*
12. *Martínez, Lorena. 2012. "Eliminación de CO₂ Con Microalgas Autóctonas." : 226. <http://hdl.handle.net/10612/1414>.*

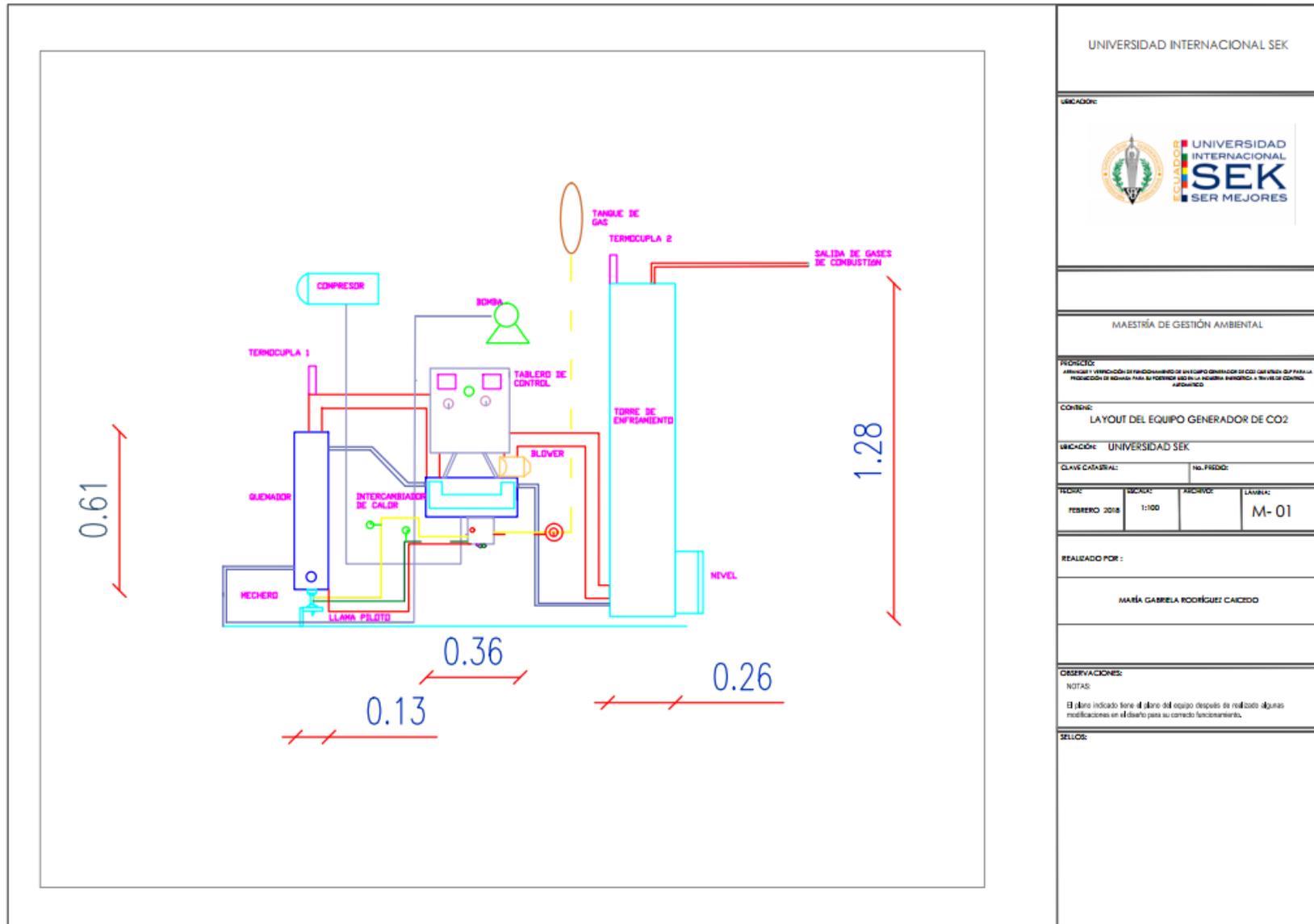
13. <http://www.fi.unsj.edu.ar/asignaturas/introing/DefinicionDeIngenieria.pdf>
14. <http://webserver.dmt.upm.es/~isidoro/bk3/c15/Combustion.Characteristicas.pdf>.
15. Katsuhiko O, (2010) *Ingeniería de control moderna*
16. Navarro R, (2004) *Ingeniería de control analógica*
17. Subirá, S. (2017). *Caracterización de Micro algas para su uso en la industria energética*
18. Tamargo, B., Herrera, L., Bello, A., Sierra, G., Cuéllar, A., & Humberto, G. (2011).

Anexo 1. Diseño de equipo generador de CO₂, de la tesis “Diseño y construcción de un equipo generador de CO₂ que utiliza GLP para la producción de biomasa para su posterior uso en la industria energética”



Fuente:(Tapia, 2017)

Anexo 2. Esquema del equipo generador de CO₂



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

UBICACIÓN:



MAESTRÍA DE GESTIÓN AMBIENTAL

TÍTULO:

ANÁLISIS Y VERIFICACIÓN DE FUNCIONAMIENTO DE EQUIPO GENERADOR DE CO₂ USANDO SUP PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGAS PARA SU POTENCIO EN LA INDUSTRIA AMBIENTAL Y SERVICIO DE CONTROL AMBIENTAL

CONTIENE:

LAYOUT DEL EQUIPO GENERADOR DE CO₂

UBICACIÓN: UNIVERSIDAD SEK

CLAVE CATALANAL:

Nº. FICHO:

FECHA:

FEBRERO 2018

ESCALA:

1:100

ARCHIVO:

LÁMINA:

M- 01

REALIZADO POR:

MARÍA GABRIELA RODRÍGUEZ CAICEDO

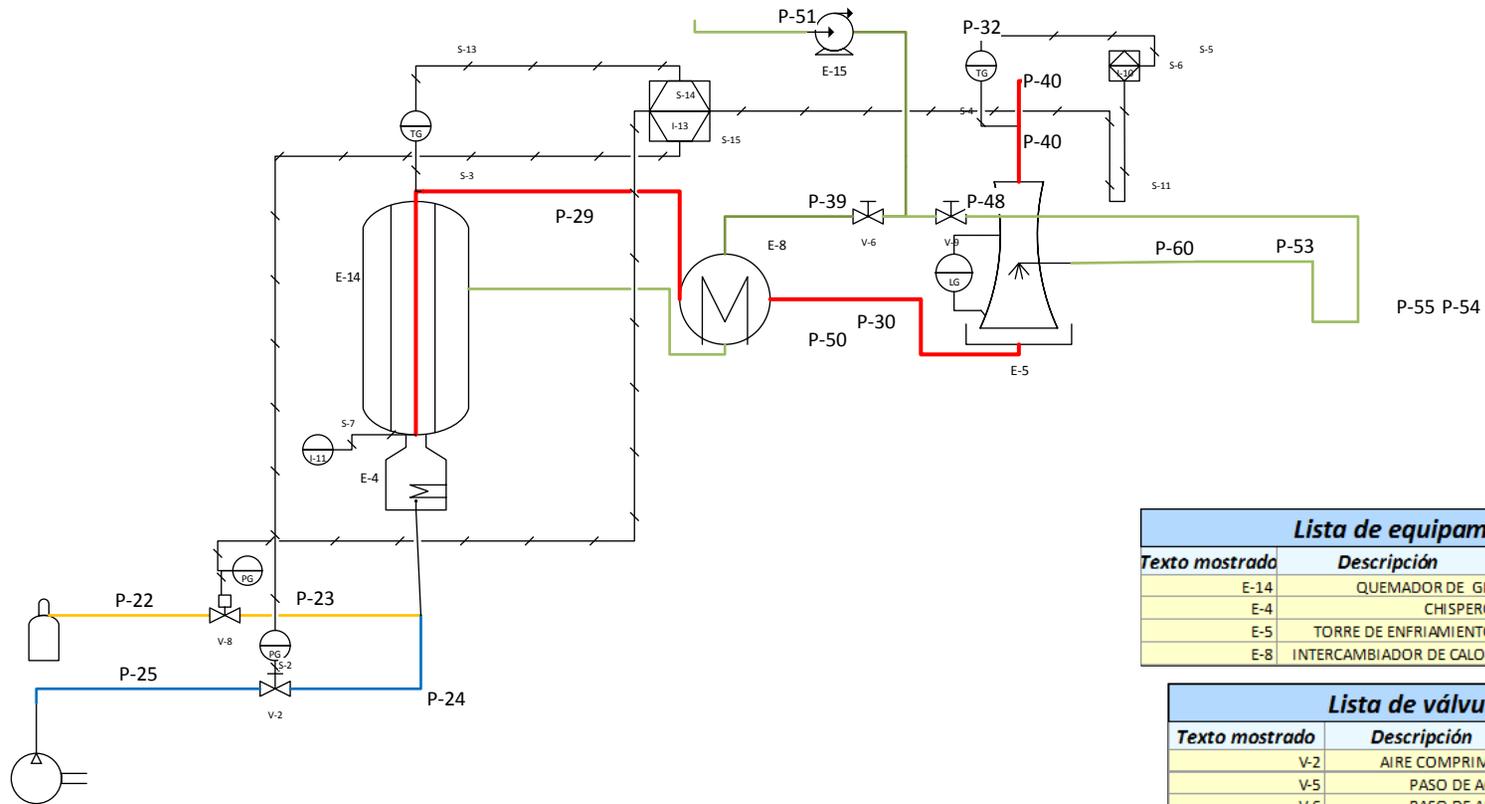
OBSERVACIONES:

NOTAS:

El plano indicado forma el plano del equipo después de realizado algunas modificaciones en el diseño para su correcto funcionamiento.

SELLOS:

Anexo 3. PID Equipo generador de CO₂



Lista de equipamiento		
Texto mostrado	Descripción	Material
E-14	QUEMADOR DE GLP	ACERO
E-4	CHISPERO	ACERO
E-5	TORRE DE ENFRIAMIENTO	ACERO
E-8	INTERCAMBIADOR DE CALOR	ACERO

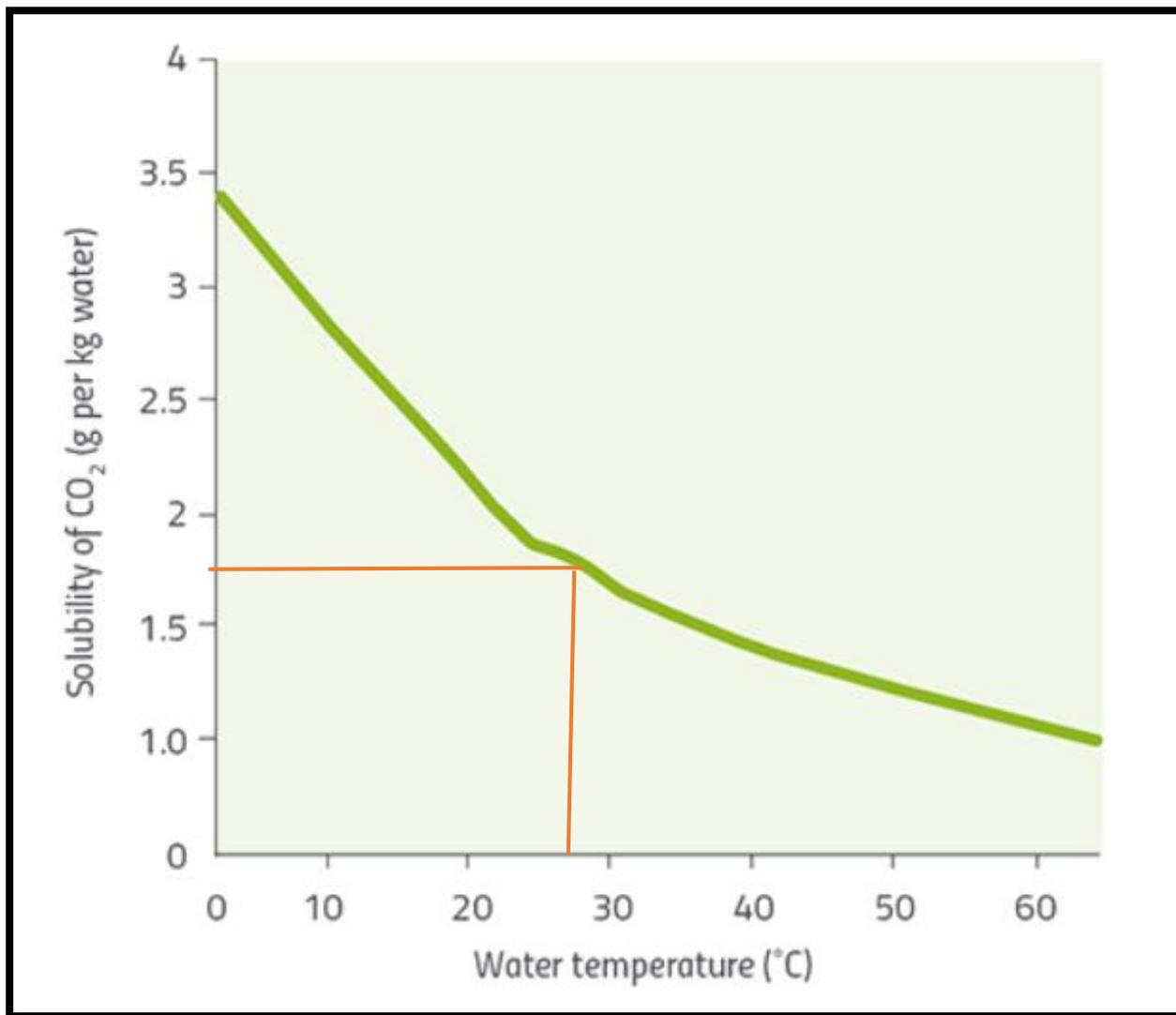
Lista de válvulas		
Texto mostrado	Descripción	Clase de válvula
V-2	AIRE COMPRIMIDO	ELECTRO VÁLVULA
V-5	PASO DE AGUA	VÁLVULA DE PASO
V-6	PASO DE AGUA	VÁLVULA DE PASO
V-7	INGRESO DE AGUA	VÁLVULA DE PASO
V-8	GLP	ELECTRO VÁLVULA

Texto mostrado	Descripción
P-22	GLP
P-23	GLP
P-24	GAS COMPRIMIDO
P-25	GAS COMPRIMIDO
P-29	CO2
P-30	CO2
P-32	AGUA
P-35	AGUA
P-36	AGUA
P-37	AGUA
P-38	AGUA
P-39	AGUA
P-40	CO2 enfriado

María Gabriela Rodríguez Caicedo
INIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

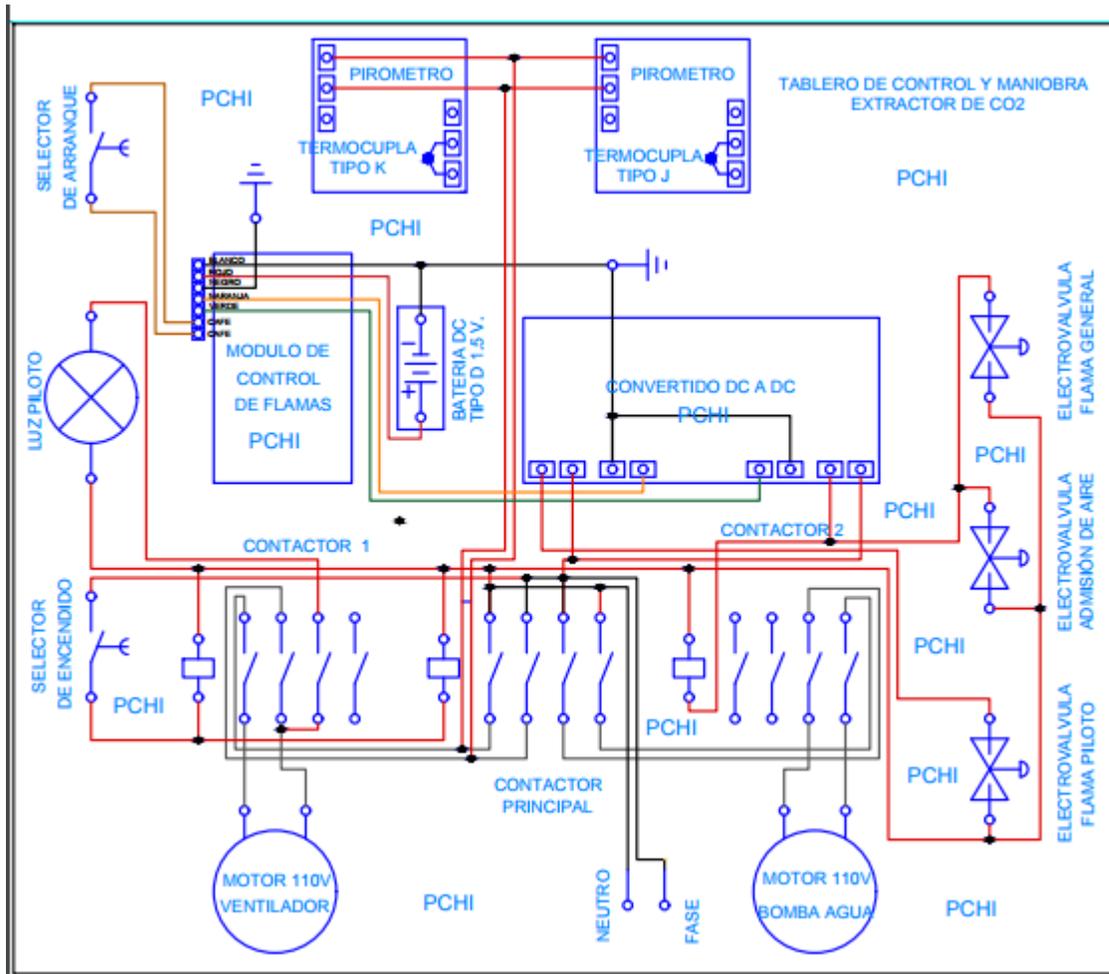


Anexo 4. Gráfica de solubilidad de CO₂ en agua



Fuente: <http://www.scienceinschool.org/es>

Anexo 5. Plano de control



Registro Fotográfico Panel de control



Caja de Control



Electro válvulas



Llama piloto



Mechero Automatizado

MANUAL DE OPERACIÓN DEL EQUIPO

- 1. Cebiar la bomba de agua ubicada junto al compresor*
- 2. Encender el compresor mediante la palanca en sentido horario.*
- 3. Conectar la bomba al tomacorriente (tomacorriente 1) ubicado junto al compresor que tiene conexión bajo tierra.*
- 4. Conectar el tablero en el tomacorriente 2, debido a que la energía que necesita el tablero no abastece de la que cuenta el tomacorriente 1*
- 5. Encender el botón 1 del tablero, este energiza el equipo.*
- 6. Encender el botón 2 que permite el encendido del blower, la bomba de agua y la llama piloto, una vez el sensor de calor detecte el aumento de temperatura, abrirá las electroválvulas de paso de aire y combustible que encenderán el equipo.*

