

UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS “CARLOS RAFAEL RODRIGUEZ”.
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA



Tesis en opción al título de Ingeniero Químico

Título: “Diseño de un calentador solar para aumentar la producción de biofertilizantes CBFERT en el CIIQ”

Autor: Joaquín Rajadel Moreira

Tutores: MSc. Roxana Cortes Martínez

Ing. Raúl Torres Novo

Cienfuegos, 2020

Pensamiento

*“Produce una inmensa tristeza pensar que la naturaleza habla
mientras el género humano no la escucha”*

Víctor Hugo

Agradecimientos

A mis tutores Roxana y Raúl, por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico, así como también haberme tenido toda la paciencia del mundo para guiarme durante todo el desarrollo de la tesis.

A mis padres, por haberme dado la vida y la posibilidad de realizar mis sueños y sobre todo por apoyarme en mis decisiones.

A abuelos, por haber estado a mi lado siempre que lo he necesitado y haber sido para mí como unos padres.

A mi hermano, por ser una parte importante en mi vida.

A mi novia y su familia, por haberme ayudado incondicionalmente en esta etapa definitoria de mi vida.

A mis profesores de la Universidad de Cienfuegos, por haberme brindado sus modestos conocimientos sin los cuales no hubiese podido llegar hasta aquí.

A mis amigos, por haber estado cerca de mí y regalarle a mi vida algo de ellos.

A todas las personas que de una forma u otra aportaron su granito de arena

en la culminación de esta tesis.

A todos, Muchas Gracias

Dedicatoria

Dedico esta tesis a mis padres y a mi abuela que siempre me ha apoyado incondicionalmente en la parte moral y económica para poder llegar a ser una profesional, por enseñarme a ser quien soy, por estar a mi lado y aconsejarme siempre. Pues ella sentó en mí las bases de responsabilidad y deseos de superación y en ella tengo el espejo en el cual me quiero reflejar pues sus virtudes infinitas y su gran corazón me llevan admirarlos cada día más.

Resumen

En este trabajo se realizó el diseño de una batería de calentadores solares para la producción de biofertilizante CBFERT perteneciente al Centro de Ingeniería e Investigaciones Química de Cienfuegos. Estos calentadores tienen como objetivo aumentar la producción de dicho fertilizante disminuyendo el consumo de combustible fósil. Para la realización de esta investigación se utilizaron métodos teóricos y prácticos estudiados en la carrera. La revisión bibliográfica de las principales tecnologías de calentamiento de agua fundamenta la realización del diseño de un calentador solar a partir de tres tipos de calentadores. Para determinar cuál de ellos es el idóneo se realiza una evaluación de los principales parámetros como son el área, volumen y temperatura final del agua, seleccionándose el de tubos al vacío modelo LPC 47-1525-30 ACF. Con esta propuesta se reducen las emisiones al ambiente alrededor de los 7 646,757 kg de CO₂ anuales y disminuye la exposición de la población a las emanaciones gaseosas. Además, se realizó una evaluación económica para ver la viabilidad del diseño, obteniéndose que el valor actual neto (VAN) es de 1 904 258,59 CUC, la tasa interna de retorno (TIR) de 67 % y el periodo de recuperación de la inversión (PRI) de 2,5 años siendo favorables estos resultados.

Palabras clave: calentador, biofertilizante, tubos al vacío, impacto ambiental

Abstract

In this work, the design of a battery of solar heaters for the production of CBFERT biofertilizer belonging to the Cienfuegos Chemical Engineering and Research Center was carried out. These heaters aim to increase the production of said fertilizer by decreasing fossil fuel consumption. To carry out this research, theoretical and practical methods studied in the course were used. The bibliographic review of the main water heating technologies supports the realization of the design of a solar heater from three types of heaters. To determine which of them is suitable, an evaluation of the main parameters such as the area, volume and final temperature of the water is carried out, selecting the vacuum tube model LPC 47-1525-30 ACF. With this proposal, emissions to the environment are reduced to around 7 646,757 kg of CO₂ per year and the exposure of the population to gaseous emissions is reduced. In addition, an economic evaluation was carried out to see the feasibility of the design, obtaining that the net present value (NPV) is 1 904 258.59 CUC, the internal rate of return (IRR) of 67% and the recovery period of the investment (PRI) of 2.5 years, these results being favorable.

Key words: heater, biofertilizer, vacuum tubes, environmental impact

Índice

Introducción.....	1
Capítulo 1. Producción de biofertilizantes y su relación con la energía renovable	5
1.1. Fertilizantes líquidos	5
1.2. Operaciones básicas en las producciones de fertilizantes	9
1.3. Ventajas y desventajas de los fertilizantes líquidos.....	9
1.4. Biofertilizante	11
1.4.1. Características de los biofertilizantes.....	11
1.4.2. Recomendaciones para el uso de los biofertilizantes	11
1.5. Producción de Biofertilizantes en Centro de Investigaciones e Ingeniería Química (CIIQ)11	
1.5.1. CBFERT.....	12
1.5.2. Beneficios probados de la aplicación del CBFERT	14
1.6. Medios de calentamiento.....	16
1.6.1. Ventajas y desventajas de las diferentes alternativas	16
1.7. Calentadores solares	18
1.7.1. Tipos de calentadores solares.....	18
1.7.2. Funcionamiento de un calentador solar.....	19
1.7.3. Instalación del calentador solar	19
1.7.4. Recomendaciones para optimizar el uso de un calentador solar	20
1.7.5. Mantenimiento del calentador solar	20
1.8. Tratamiento de agua	21
1.8.1. Características organolépticas	21
1.8.2. Coliformes totales.....	21
1.8.3. Requisitos	22
1.9. Análisis económico para procesos productivos.....	25

Capítulo 2: Metodología para el diseño de los calentadores solares	30
2.1. Capacidad de producción.....	31
2.2. Materias primas y materiales.....	31
2.3. Proceso Tecnológico.....	31
2.4. Descripción del proceso.....	33
2.5. Selección de un equipo solar.	34
2.6. Calentador solar plano con tanque-termo.....	34
2.6.1. Ventajas y desventajas de los calentadores de plato plano.....	35
2.7. Calentadores solares de tubos al vacío.....	36
2.7.1. Ventajas y desventajas de los calentadores de tubos al vacío.	39
2.7.2. Características fundamentales de estos calentadores.	41
2.8. Calentador compacto.	42
2.8.1. Ventajas y desventajas de los calentadores compactos.....	43
2.8.2. Determinación del sur geográfico.....	43
2.8.2.1. Método práctico para determinar el sur geográfico.	45
2.8.3. Número de colectores.....	47
2.8.4. Altura.....	48
2.8.5. Área del corredor.....	49
2.8.6. Área total ocupada.....	49
2.8.7. Instalación de los colectores.....	49
2.8.8. Conexión entre las filas de captadores se puede hacer en paralelo o en serie....	50
2.8.9. Cálculos de la red hidráulica.....	50
2.8.10. Comprobación de satisfacción de la demanda.....	52
2.9. Energía consumida por otro medio de calentamiento.....	53
2.10.1. Fuel oíl consumido.....	53

2.10.	Sistema auxiliar.....	53
2.11.	Metodología de la estimación de consto.....	54
2.11.1.	Costo total del equipamiento (CTE).....	54
2.11.2.	Costo total de inversión (CTI).....	54
2.11.3.	Análisis económico del diseño seleccionado	54
2.11.4.	Costo total de producción.....	54
2.11.5.	Cálculo de la ganancia.....	55
2.11.6.	Valor actual neto (VAN)	55
2.11.7.	Tasa interna de retorno (TIR).....	56
2.11.8.	Período de recuperación de la inversión (PRI).....	56
Capítulo 3: Resultados de la aplicación de la metodología.....		58
3.1.	Selección del calentador	58
	Teniendo en cuenta que los parámetros más importantes para la selección del calentador solar es el volumen y la temperatura de salida se.....	58
3.2.	Cálculo del número de colectores.....	59
3.3.	Colocación de los colectores	60
3.4.	Cálculos de la red hidráulica	61
3.5.	Energía necesaria para calentar el agua por otros medios de calentamiento.....	63
3.5.1.	Consumo de Fuel Oil.....	63
3.6.	Valoración económica y medioambiental	64
3.6.1.	Costo total del equipamiento (CTE).....	64
3.6.2.	Costo total de inversión (CTI).....	64
3.7.	Desarrollo de la evaluación económica.....	65
3.7.1.	Costo total de producción.....	65
3.7.2.	Cálculo de la ganancia.....	67

3.7.3 Cálculo del VAN, TIR y PRI	67
3.8. Análisis ambiental	68
3.8.1. Emisiones de CO ₂ producto de la combustión anualmente.....	68
Conclusiones.....	69
Recomendaciones	70
Bibliografía.....	71

Introducción

La agricultura convencional ha ocasionado graves impactos ambientales en los suelos los cuales poseen problemas de productividad y rendimiento escaso. Sin embargo, se continúa con su uso. Se invierten grandes sumas de dinero para importar insumos y maquinarias, se introducen nuevas tecnologías, pero no se resuelve el problema del hambre y la pobreza mundial (Nuñez, 2000).

En la actualidad la pérdida de las propiedades más esenciales de los suelos ha ocurrido por el consumo indiscriminado de agroquímicos, que provocan una degradación biológica, acidificación de los suelos, falta de drenaje en los mismos y retención de agua (Nuñez, 2000). Todo esto impide la metabolización de los nutrientes por parte de la planta impidiendo el equilibrio mineral entre los suelos y las plantas (Marrero, 2002).

Los fertilizantes son de gran importancia para lograr un mayor rendimiento en los cultivos y pueden ser suministrados en caldos de 2 o más de ellos, solos o incorporándolos a los fertilizantes simples o compuestos (Rodríguez- Acosta, 2001).

Dentro de los nutrientes más importantes para el desarrollo de las plantas se encuentran: Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Boro, Hierro, Manganeso y Magnesio, entre otros. La ausencia de estos provoca bajo rendimiento y madurez prematura, malformación de raíces, retraso en la floración, plantas atrofiadas y de color verde oscuro. El exceso de estos nutrientes provoca poca resistencia frente a enfermedades y plagas, madurez retardada y la alta concentración de nitratos genera toxinas al suelo problemas de absorción de los otros nutrientes (Belger EU, 1985; Nuñez, 2000).

En 1990 al ocurrir la caída del Campo Socialista en nuestro país se redujeron las importaciones de plaguicidas y fertilizantes en un 60 % y un 77 %, respectivamente. Estudios realizados demuestran que no se protegía el suelo de la erosión y la baja fertilidad, además del excesivo laboreo, sin descontar el excesivo uso de fertilizantes químicos (Marrero, 2002). (Febles, 1998) ya reportaban alrededor de 3 millones de hectáreas de baja fertilidad.

La tendencia de los últimos años en nuestro país gira sobre la explotación de las capacidades de los organismos biológicos para sustituir los sintéticos, logrando así reducir el uso de los mismos para controlar las enfermedades (Marrero, 2002)

Uno de los elementos a utilizar en la agricultura ecológica o sostenible lo constituye el uso de biofertilizantes, entre sus utilidades están la producción a bajo costo, no hay

contaminación ambiental y mantiene la conservación de los suelos desde el punto de vista de fertilidad y biodiversidad (O. Acuña, 2004; Marrero, 2002; Quintana, González, Rodríguez-Acosta, Quintan, & Cuesta, 2001).

El uso de microorganismos en la agricultura mediante biofertilizantes tiene un gran beneficio, ya que los mismos tienen la capacidad de fijar el Nitrógeno atmosférico; el cual se encuentra en un alto por ciento, pero hay que promover las formas de producirlo y fijarlo (Núñez 2000; Acuña 2004). Al utilizar los biofertilizantes los cultivos se ven favorecidos por un mayor equilibrio y una alta tasa de retorno en los suelos (Núñez 2000).

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas inglés), los biofertilizantes son consideradas herramientas biotecnológicas que contribuyen al desarrollo ecológico sustentable, al ser técnicamente factibles dentro del desarrollo científico de un país. En Cuba se ha puesto un especial empeño en la fabricación y ampliación de estos biopreparados utilizando tecnologías nacionales y los conocimientos adquiridos durante años de experiencia, encaminado todo a un mejor conocimiento del comportamiento de la micro Flora edáfica (Marrero, 2002; Sánchez -García, 2016)

En el Centro de Investigaciones e Ingeniería Química (CIIQ) la producción experimental de los fertilizantes líquidos comenzó en 1996, con el propósito de introducir en la práctica social el resultado de las investigaciones realizadas en este Centro. Estas pequeñas producciones han estado dirigidas fundamentalmente a cultivos protegidos. Se han producido alrededor de 200 000 l de diferentes formulaciones en una instalación piloto diseñada por el propio CIIQ. En la actualidad dicha planta se encuentra en remodelación para aumentar su capacidad de producción. En la misma es posible la obtención de un producto ecológico desarrollado por el CIIQ, denominado CBFERT, el cual contiene cianobacterias y elementos minerales portadores de nutrientes.

Este producto responde a la tendencia mundial de ir al empleo de fertilizantes especiales, que combinen los medios naturales con los productos químicos, de forma tal que se logre una sinergia que provoque el mayor aprovechamiento de los nutrientes necesarios en el suelo, velando además por el equilibrio ecológico (Agrimartin, 2004; Macías Rivera, 2018).

La divulgación de los resultados positivos alcanzados en las evaluaciones agronómicas realizadas con el CBFERT en distintos cultivos, ha incrementado el interés en el mismo por parte de diferentes consumidores y se plantean posibles demandas que no pueden satisfacerse

en las condiciones actuales de la planta experimental, siendo necesario incrementar la capacidad de producción de la misma.

Estudios a escala de laboratorio han demostrado que si se le añade agua caliente entre 60 y 75 °C el tiempo de retención de la mezcla en el reactor será 4,5 veces menor que si se le añade agua fría (Leyva- Silva, 2006). Para calentar el agua se pueden emplear varios equipos de calentamiento, muchos de ellos provocan el deterioro del medio ambiente por la emisión de gases contaminantes a la atmósfera y el consumo de cantidades considerables de combustibles fósiles para calentar el agua. Teniendo en cuenta lo planteado anteriormente se propone el siguiente problema científico:

Problema científico

¿Cómo disminuir el tiempo de retención de la mezcla en el reactor, para la producción de biofertilizante CBFERT disminuyendo el consumo de energía fósil?

Hipótesis

El diseño de un calentador solar permitirá disminuir el tiempo de retención en el reactor para la producción de biofertilizante CBFERT.

Objetivo General

Proponer el diseño de un calentador solar para disminuir el tiempo de retención de la mezcla en el reactor, en la producción de biofertilizante CBFERT.

Objetivos específicos

1. Fundamentar los elementos teóricos que sustentan la investigación de los procesos de producción de biofertilizante, usando tecnologías con energía renovable.
2. Diseñar un calentador solar para disminuir tiempo de retención de la mezcla en el reactor en la producción de biofertilizante CBFERT.
3. Determinar la viabilidad económica del diseño propuesto para su implementación.

La presente investigación está estructurada por resumen, introducción, tres capítulos, conclusiones y recomendaciones. La bibliografía consultada está reflejada en la investigación y permitió la fundamentación teórica de dicha investigación.

El **Capítulo 1:** aborda los aspectos teóricos del proceso de fabricación de biofertilizantes, así como las características de las materias primas utilizadas en dicho proceso y las diferentes tecnologías que se utilizan. Se analizarán los principales aspectos a tener en cuenta para diseñar los calentadores solares, teniendo en cuentas las diferentes metodologías que existen para su diseño. Por último, aborda los métodos de evaluación económica que existen para determinar la viabilidad de la propuesta de inversión.

El **Capítulo 2:** se realiza una caracterización del proceso de fabricación de biofertilizantes, así como una descripción de la mejora tecnológica que se propone. Ademas se muestra la metodología que se utiliza como referencia para el diseño de calentadores solares, para su posterior adaptación a las condiciones reales del problema, y el procedimiento que se sigue para realizar la evaluación económica de la propuesta.

En el **Capítulo 3** se desarrolla la metodología de diseño propuesta para el calentador solar teniendo en cuenta el volumen de agua necesitado y cuantos equipos hay que poner. Se realiza una estimación de costo para determinar si más económico que una cardera. Posteriormente se lleva a cabo la evaluación económica para demuestra su viabilidad y lograr que el proceso de biofertilizantes sea sostenible. Las conclusiones dan respuesta a los objetivos específicos de la investigación y validan la hipótesis planteada. Las recomendaciones permiten enfocar la continuidad de estudios y la posibilidad de generalización de la propuesta de mejora.

Capítulo 1. Producción de biofertilizantes y su relación con la energía renovable

1.1. Fertilizantes líquidos

El incremento de la población mundial demanda una mayor cantidad y calidad de alimentos. Por lo que uno de los retos más importantes a los que se enfrenta el hombre es el elevar los rendimientos en la agricultura.

El principio fundamental de la agricultura es proporcionar alimentos a la población, para ello debe procurar que los rendimientos que se obtengan sean elevados. De los factores que regulan el desarrollo y rendimiento de las plantas es quizás, la nutrición de las mismas, el más importante.

En algunas situaciones la cantidad de nutrientes y/o su disponibilidad no son suficientes para cubrir los requerimientos de los cultivos y, es por ello, que recurrimos a la utilización de los fertilizantes o abono: sustancias inorgánicas u orgánicas que cubren esta ausencia y que, a través de su aplicación, se intenta incrementar la fertilidad del suelo para mejorar el crecimiento de los cultivos y, en última instancia, la cantidad y/o calidad del producto cosechado (Kolsman, 1996; Torres- Novo, 2019).

La denominación de “fertilizantes líquidos”, se le confiere a una gama de productos que han venido desarrollándose, perfeccionándose o dirigiéndose hacia usos en cultivos específicos. El uso de los fertilizantes líquidos se ha ampliado considerablemente en los últimos años producto de las numerosas ventajas técnico-económicas que los mismos presentan y a la extensión de las técnicas de riego localizado que facilitan su aplicación.

El primer fertilizante líquido se denominó “Agua Amonio” (NH_3 en agua) teniendo esta como fundamental desventaja, el bajo por ciento de nutrientes (24 % de nitrógeno) Luego se utilizaron las soluciones nitrogenadas [soluciones de urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$] o nitrato de amonio (NH_4 , NO_3) con amoníaco (NH_3); estas aumentaban con la presión (vapores de amoniaco sobre el líquido), lográndose hasta un 50 % de nitrógeno (Sauchelli 1966).

Las soluciones nitrogenadas se clasifican a su vez en:

- Sin presión

- De baja presión (0.19 lb/pulg²).
- De media presión (20 -- 100 lb/pulg²).
- De alta presión (más de 100 lb/pulg²).

Las soluciones nitrogenadas sin presión de amoníaco son sistemas de sales nitrogenadas disueltas en agua. De ellos el sistema urea - nitrato de amonio - agua es el más concentrado (en kilogramos de nitrógeno por kilogramo de solución). El sistema está representado por un triángulo, que se muestra en la Figura 1.1 donde aparecen las líneas de curvas de los distintos componentes, la familia de curvas isoterma de solubilidad, la serie de rectas de igual contenido de nitrógeno, y las zonas de cristalización de cada componente. Del diagrama se selecciona la solución 32 - 0 - 0, que representa el máximo de nitrógeno para una Temperatura de Aparición de Cristales (TAC) de 0 °C y que tiene 20 % de agua, 45 % de nitrato de amonio y 35 % de urea.

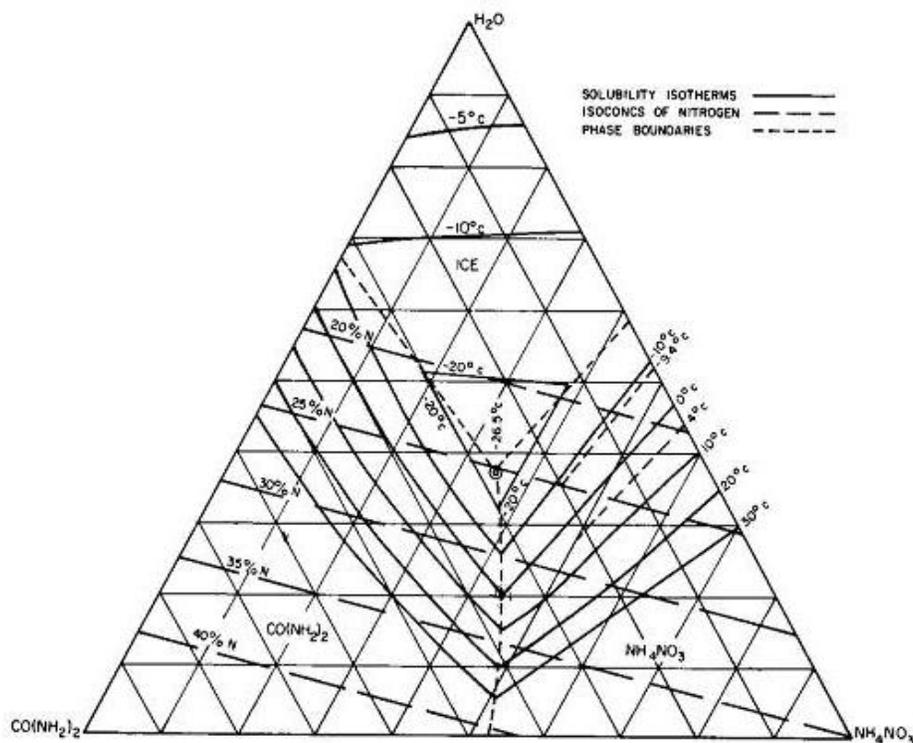


Fig. 1.1. Diagrama de solubilidad del Sistema Nitrato de Amonio-Urea-Agua. **Fuente:** (ONUDI, 1985).

Posteriormente, se desarrollaron los líquidos portadores de dos o más elementos (NP, NK, PK, NPK). Estos productos actualmente, se presentan en forma de líquidos claros

(soluciones), suspensiones y pulpas, de los cuales los líquidos claros han logrado mayor aceptación, puesto que en los otros se presentan dificultades en su estabilidad y manejo, aunque se logra mayores concentraciones de nutrientes (ONUUDI, 1985).

Estas soluciones suelen ser clasificadas según el contenido de nutrientes y se expresa el mismo por medio de números. El primero corresponde al nitrógeno, el segundo al contenido de pentóxido de fósforo (P_2O_5) y el tercero al de óxido de potasio (K_2O). Hay soluciones que contienen un solo nutriente, generalmente nitrógeno (soluciones nitrogenadas), soluciones que contienen dos nutrientes [soluciones nitrofosforadas (NP) y fosforopotásicas (PK)] y soluciones completas que contienen tres nutrientes, nitrógeno, fósforo y potasio (NPK) (ONUUDI, 1985; Trojan, 1972).

Las soluciones completas (NPK) son, generalmente, mezclas de las soluciones “Base” (NP) con el portador de nitrógeno y/o un portador de potasio. Los portadores de nitrógeno más utilizados son urea ($CO(NH_2)_2$), 32 - 0 - 0 y nitrato de amonio (NH_4NO_3); de ellos, con la urea resultan los líquidos más concentrados y con el nitrato de amonio las menos concentrados (considerando $S=N+P_2O_5+K_2O$) El portador de potasio es, generalmente, el Cloruro de potasio (KCl).

Cada sistema de materias primas, para una TAC dada (internacionalmente se ha adoptado $TAC = 0\text{ }^\circ\text{C}$), se representa por un triángulo, como el de la Figura 2, donde aparecen las líneas de contenido de nutrientes (N, P_2O_5 , K_2O), la familia de curvas de igual contenido de nutrientes ($S= N+P_2O_5+K_2O$), las zonas de cristalización, la zona ácida y los puntos para algunas relaciones N P_2O_5 K_2O (Lembrikov, 1980; ONUUDI, 1985).

Las soluciones descritas con anterioridad son las llamadas líquidos claros que de manera general son incoloros, de pH medio cercano a neutro (pH 6,7 a 7) con densidades de 1,1 a 1,3 g/ml y viscosidades de 1,5 a 2,4 cp (a 25 °C referente al agua), son no tóxicos y poco irritantes.

Los fertilizantes líquidos deben reunir los siguientes requisitos:

- Concentración máxima en correlación óptima con las sustancias nutritivas para una especie dada de fertilizantes.

- Deben tener cualidades que simplifiquen la posibilidad de su aplicación tales como: baja viscosidad y baja temperatura de aparición de cristales, lo que permite el almacenamiento y la aplicación en cualquier época del año.
- Suficiente estabilidad durante el almacenamiento.
- Poca actividad de la corrosión referente a la instalación.

Las formulaciones para aplicación foliar (a través de las hojas) pueden prepararse a partir de cualquier material fertilizante soluble, siempre que se diluya lo suficiente para que no se quemem las hojas. El grado de dilución requerido varía según los materiales, tipo de cultivo, condiciones de humedad. El criterio general para la selección de materiales lo da el índice salino, el cual debe ser bajo para que pueda tolerar concentraciones elevadas (ONUDI, 1985).

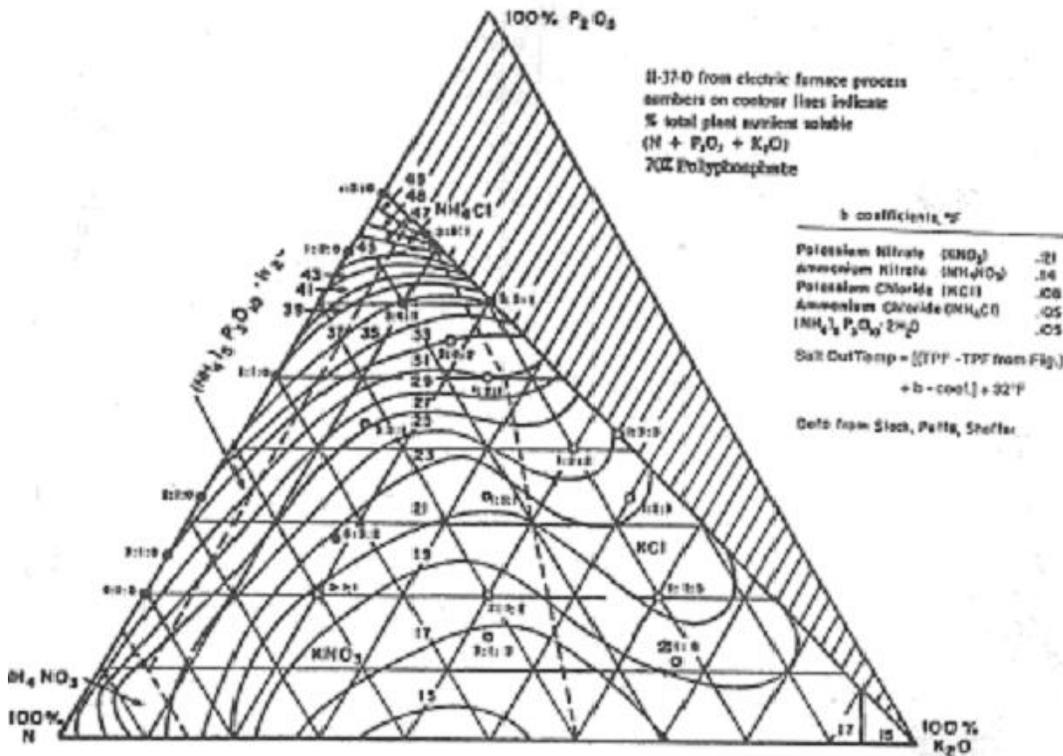


Fig. 1.2. Diagrama de solubilidad para el sistema 11-37-0, solución Nitrato de Amonio Urea, Cloruro de Potasio, Agua a TAC 0 °C. **Fuente:** (ONUDI, 1985).

1.2. Operaciones básicas en las producciones de fertilizantes

Según Moldovan I., (1969) para la producción de fertilizantes líquidos existen dos procesos fundamentales:

- En caliente: consiste fundamentalmente en la amoniatación del ácido fosfórico con elevado desprendimiento de calor, que se efectúa por lo general, en reactores tubulares. El producto obtenido se emplea como solución base para la formulación de fertilizantes líquidos completos.
- En frío: consiste en la mezcla de los portadores de nutrientes seleccionados, teniendo en cuenta el orden de adición de los mismos para lograr el producto deseado.

1.3. Ventajas y desventajas de los fertilizantes líquidos

Ventajas en la utilización de fertilizantes líquidos (Torres- Novo, 2019;(ONUFI, 1985):

1. Facilidad de manipulación por medio de bombas y tuberías, mientras que en los sólidos se complica por el uso de palas mecánicas, transportadoras, trasiego de sacos, etc. Esto representa un ahorro de mano de obra en todos los sectores.
2. Esquemas tecnológicos más sencillos, eliminándose etapas como evaporación, granulación y enfriamiento de sólidos.
3. Tiene el máximo de flexibilidad en formulación, igualados solo por el método de obtención de complejos con preneutralizador.
4. Se eliminan los factores negativos que acompañan a los fertilizantes sólidos, en polvo fundamentalmente, como son la segregación y la compactación.
5. Aplicación más simple con máquinas sencillas de bajo costo de inversión al tratarse de líquidos sin presión, puede citarse el uso de un tanque móvil en el campo que alimenta una tubería perforada.
6. La velocidad de aplicación puede aumentarse al doble o más en base al aumento de la marcha del tractor y el ancho de la faja a cubrir.
7. Posibilidad de utilizar el regadío en todas sus formas, para la dosificación de fertilizantes.
8. Se asegura un mejor cubrimiento del suelo y una distribución homogénea de los nutrientes.
9. La posibilidad de la aplicación del fertilizante al realizar alguna labor de cultivo mediante adaptaciones sencillas.

10. La posibilidad de la aplicación simultánea de plaguicidas, formulando en el mismo campo, utilizando los mismos equipos.
11. La forma en que se presenta el fósforo es totalmente soluble en agua.
12. Son menores las necesidades de energía y no se requieren ni evaporación ni secado.
13. No hay problemas de polvo, de humos y vapores en la fabricación o en el uso de los líquidos.
14. El almacenamiento, la manutención y la carga para la expedición, son menos costosas y requieren menos mano de obra que en el caso de los sólidos.
15. Las inversiones de capital en la construcción de talleres de Fertilizantes Líquidos Completos (FLC) son 20 - 30 % menores que para los Fertilizantes Sólidos (FS).
16. Los gastos en la aplicación de los FLC son 3 - 3.3 veces inferiores a los FS.
17. El transporte e introducción de los FLC es de 2 - 2.5 veces menos costoso que el de los sólidos convencionales.
18. Los FLC constituyen entre el 15 - 30 % de los fertilizantes vendidos en Estados Unidos, Inglaterra, Francia, Rusia, Hungría, España, México, Bélgica, Israel y Colombia entre otros.

Desventajas

1. Concentración del producto final menor que para los sólidos, en especial al formular relaciones altas de potasio.
2. Inversiones iniciales a considerar en almacenaje y transportación.
3. Necesidad de estudio de la distribución y producción escalonada, planteándose la producción de semiproductos de alta concentración y la planificación de la red de distribución (caso de mezclado en caliente).
4. Mayor costo de la unidad de P_2O_5 en la materia prima utilizada (si se emplea H_3PO_4) para algunos países no productores de esta.
5. Se prefiere que los materiales han de ser solubles en agua; así pues, el campo de elección es limitado. Con la inclusión de la etapa de filtración es posible el empleo de portadores parcialmente solubles.

1.4. Biofertilizante

Los biofertilizantes son insumos formulados con uno o varios microorganismos, los cuales, de una forma u otra, proveen o mejoran la disponibilidad de nutrientes cuando se aplican a los cultivos (N. O. Acuña, 2015).

1.4.1. Características de los biofertilizantes

Uno o varios microorganismos involucrados en procesos pueden ser líquidos o sólidos que tienen un tiempo de vida útil, no soportan temperaturas elevadas y son fijadores de nitrógeno que hay en la atmósfera.

1.4.2. Recomendaciones para el uso de los biofertilizantes

- 1- No deben exponerse a altas temperaturas ni a la luz directa del sol.
- 2- Si se aplican a la semilla, se debe sembrar inmediatamente o a más tardar dentro de las próximas 24 horas.
- 3- Si el producto se aplica al suelo hacerlo en las primeras horas del día o en la tarde.
- 4- Asegúrese de la buena preparación del producto antes de colocarlo en el equipo de aspersión (N. O. Acuña, 2015).

1.5. Producción de Biofertilizantes en Centro de Investigaciones e Ingeniería Química (CIQ)

En los últimos años en nuestro país se ha venido trabajando en la introducción de técnicas de riego localizado en la agricultura con la posibilidad de aplicar junto con el agua los fertilizantes solubles.

La incorporación a los fertilizantes líquidos de estimuladores del crecimiento los cuales son inocuos y ecológicos, reducen considerablemente el suministro al suelo de macronutrientes, activando los mecanismos sinérgicos de crecimiento y multiplicación celular, aumentando la resistencia de la planta a condiciones adversas, plagas y enfermedades (Rodríguez- Acosta, 2001).

En el Centro de Investigaciones e Ingeniería Química la producción experimental de los fertilizantes líquidos comenzó en 1996, con el propósito de introducir en la práctica social el resultado de las investigaciones realizadas en este Centro. Las pequeñas producciones han

estado dirigidas fundamentalmente a cultivos protegidos. Se han producido alrededor de 200 000 l de diferentes formulaciones.

Buscando el retorno a la agricultura orgánica se han incorporado fuentes naturales al fertilizante producen un efecto potenciador que beneficia la eficiencia agrícola del mismo y disminuye la contaminación ambiental. Así se llega a la obtención de un nuevo producto denominado CBFERT, que contiene en su composición cianobacterias y elementos minerales portadores de nutrientes. El mismo tiene otorgada esta marca para su comercialización y presentada una solicitud de Derecho de Autor de Invención a la Oficina Cubana de la Propiedad Industrial (OCPI) (Rodríguez- Acosta, 2001).

1.5.1. CBFERT

Es una nueva familia de productos líquidos que reducen en un porciento el suministro al suelo de Microelementos, aportando nutrientes directamente asimilables además de vitaminas y aminoácidos, los que optimizan los procesos metabólicos y catalizan los procesos de fotosíntesis, actuando como estimulantes del crecimiento. Este biofertilizante reduce costo de aplicación y aumenta significativamente las cosechas y su calidad. Puede ser aplicado conjuntamente con otros productos. No requiere condiciones especiales de almacenamiento, sólo se debe evitar su exposición prolongada al sol. Su composición en cuanto a macro (Tabla 1.1) y micronutrientes (Tabla 1.2) varía en dependencia de los requerimientos a que va dirigido(Leyva- Silva, 2006).

Tabla 1.1. Composición en cuanto a macronutrientes

Elementos (g/l)	CBFERT α	CBFERT β	CBFERT δ	CBFERT φ	CBFERT Σ
Nitrógeno	50	50	80	60	20
Fósforo	30	20	30	60	5
Potasio	90	80	70	60	90
Magnesio	3	3	-	-	-

Fuente:(Leyva- Silva, 2006).

Tabla 1.2. Composición en cuanto a micronutrientes.

Microelementos (mg/l)	CBFERT α	CBFERT β	CBFERT δ	CBFERT φ	CBFERT Σ
Hierro	23,6	23,6	23,6	23,6	23,6
Zinc	69,7	69,7	69,7	69,7	69,7
Manganeso	10,6	10,6	10,6	10,6	10,6
Cobre	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Boro	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0

Fuente:(Leyva- Silva, 2006).

Este biofertilizante posee un 30 % de aminoácidos libres (Fenil alanina, Isoleucian, Lisina, Metionina, Treonina, valina, Cisterna, Triptófano, Alanina, Arginina, Histidina, Glicina, Prolina y Tirosina) y 11 variedades de vitaminas (A, B₁, B₂, B₃, B₆, B₁₂, C, H, E, entre otras).

Tabla1.3. Composición Promedio

Micronutrientes		Aminoácidos esenciales	
Magnesio	3,02 g/L	Fenilalanina	48,2 mg/L
Calcio	41,0 mg/L	Isoleucina	76,2 mg/L
Sodio	113,50 mg/L	Lisina	59,0 mg/L
Azufre	13,55 mg/L	Leucina	10,0 mg/L
Hierro	84,20 mg/L	Metionina	26,65 mg/L
Manganeso	80,20 mg/L	Treonina	60 mg/L
Zinc	58,56 mg/L	Tritófano	17,8 mg/L
Cobre	42,02 mg/L	Valina	75 mg/L
Molibdeno	25,0 mg/L	Aminoácidos no esenciales	
Boro	42,0 mg/L	Ácido aspártico	122,0 mg/L
Vitaminas		Acido glutámico	178,0 mg/L
Caroteno (A)	2,76 mg/l	Alanina	136,0 mg/L
Tiamina (B ₁)	0,06 mg/l	Arginina	135,0 mg/L
Riboflavina (B ₂)	0,075 mg/l	Cistina	11,4 mg/L
Niacina (B ₃)	0,28 mg/l	Glicina	62,0 mg/L
Piridoxina (B ₆)	16 mcg/l	Histidina	19,0 mg/L
Cianocobalamina (B ₁₂)	6 mcg/l	Prolina	48,0 mg/L
Ácido fólico	0,2 mcg/l	Tirosina	50 mg/L
Acido pantoténico	2,0 mcg/l	Nutrientes	
Biotina (H)	0,1 mcg/l	Nitrógeno	10-80 g/L
Inositol	1,3 mg/l	Fósforo	5-60 g/L
Alfa-tocoferol (E)	0,2 mg/l	Potasio	10-80 g/L

Fuente:(Leyva- Silva, 2006).

Las primeras pruebas se realizaron a partir de la mezcla directa de los fertilizantes líquidos con una solución que contenía de 2 a 4 g/l de Cianobacterias, tomada como un subproducto de la Firma Productora de Microalgas y sus Derivados (GENIX).

En las primeras pruebas se mantuvo el criterio de incorporar 4 g/l de Cianobacteria en la solución fertilizante, detectándose que la misma se disolvía sin dificultad y la apariencia final del producto era un líquido claro de color verde oscuro que presentaba una pequeña cantidad de precipitado en el fondo que desaparece con leve agitación

Después de realizar algunos ensayos preliminares y consultados los intereses de la agricultura para diferentes cultivos, se llegó a establecer una familia de formulaciones de fertilizantes líquidos ecológicos.

El proceso consta de los siguientes pasos

- Dosificación de las Materias Primas.
- Mezcla
- Filtración
- Incorporación de Microelementos
- Envase y etiquetado.

Es de destacar que en este proceso es fundamental la adición de los portadores de nutrientes en un orden preestablecido, temperatura y tiempo de reacción adecuado y otros parámetros tecnológicos que influyen decisivamente en el comportamiento físico-químico de la solución resultante.

1.5.2. Beneficios probados de la aplicación del CBFERT

- Incremento de un 13 % de los rendimientos en papa con relación al fertirriego tradicional y de más de 20 % en comparación con la fertilización edáfica. Se obtienen tubérculos de mayor tamaño, más contenido de almidón e incremento en los coeficientes de utilización de los nutrientes entre un 2 y 10 %.
- Aumento de rendimientos en diversas hortalizas entre un 50 y 200 % en condiciones de organopónicos.
- Incremento de más de un 30 % de la biomasa en pastos.
- En cultivos protegidos en el tomate se obtiene incremento de más de 3 t/año, en comparación con el empleo de portadores simples, con incidencia positiva en el calibre del fruto y su calidad.
- Disminución del grado de vaneos en el arroz en 25% en comparación con el fertilizante convencional y de 9 % en comparación con el Citoplasma, producto ecológico de importación.

- En flores y plantas ornamentales se obtienen indicadores de calidad significativamente superiores a la variante testigo.
- Disminución del consumo de materias primas fertilizantes, lo que implica poder abarcar mayor cantidad de áreas con la misma cantidad de portadores de nutrientes.
- Disminución del contenido de nitrato en los cultivos. En el caso de la papa fue 6 veces inferior en comparación con la fertilización edáfica tradicional y más de 4 en relación al fertirriego con urea.
- Reducción del suministro al suelo de macroelementos de importación por el incremento de los coeficientes de aprovechamiento de los fertilizantes y su efectividad, lo que redundará de forma directa en la disminución de la contaminación ambiental.
- En hortalizas y frutales en condiciones de cultivo protegido no se observaron diferencias significativas al compararlos con el Bayoyan Forte en las mismas dosis y períodos de aplicación.

El objetivo de la instalación es producir un producto líquido que cumpla con las siguientes especificaciones:

Variantes de formulación:

- Nitrógeno: 2 - 11 %
- Fósforo: 1 - 8 %
- Potasio: 3 - 9 %
- Potenciado con aminoácidos y vitaminas:
- Aminoácidos: Fenil alanina, Isoleucina, Leucina, Lisina, Metionina, Treonina, Valina, Cistina, Triptófano, Alanina, Arginina, Histidina, Glicina, Prolina, Acido Aspártico, Acido Glutámico y Tirosina
- Vitaminas: A, B₁, B₂, B₃, B₆, B₁₂, C, H, E, Ácido Fólico e Inositol
- Densidad: 1,1 – 1,2 g/ml
- Solubilidad (en agua): 100% soluble en agua
- pH: 6 - 7
- Temperatura de aparición de cristales: < 10 °C

1.6. Medios de calentamiento

Como anteriormente se ha mencionado, en las producciones de fertilizantes se puede introducir un medio de calentamiento para reducir el tiempo de mezclado, de las materias primas. El calentamiento del agua puede ser por diferentes vías: el gas, la energía eléctrica, el sol y la claridad.

1.6.1. Ventajas y desventajas de las diferentes alternativas

Realizando un comparativo de ventajas y desventajas de los diferentes calentadores de agua, se ha realizado una comparación de una forma de análisis numérico a fin de poder observar el mejor mecanismo para calentar agua en cuanto al uso y a la forma de la provisión del servicio (Carvajal-Olmedo, 2011).

Tabla 1.4. Ventajas del uso de las diferentes alternativas de calentadores de agua.

Ventajas	Calentadores de paso eléctrico	Calentador de tanque eléctrico o de acumulación	Caldera	Calentadores solares
Usan poco espacio	5	3	1	2
El usuario puede usarlo por tiempos prolongados por largo tiempo sin que se vea afectada la temperatura	2	3	5	5
Admite que se abra varios grifos a la vez sin que se vea afectada la temperatura del agua	2	4	5	5
Se le puede utilizar en climas extremos fríos porque pueden servir también como calefacción	3	3	5	5
No utiliza combustible para su funcionamiento	1	1	2	5
Total de ventajas	13	14	18	22

Fuente:(Carvajal-Olmedo, 2011).

La Tabla 1.4 enfoca sobre todo al tipo de combustible y a los beneficios del uso, de los diferentes sistemas son 5 ventajas comparativas, a las cuales se les ha asignado un número en orden de importancia, siendo el 1 el menos importante y el 5 el más importante como podemos apreciar en cuanto a ventajas el medio de calentamiento a utilizar es el calentador

solar porque posee un mayor número de ventajas respecto a las otras alternativas de calentamiento de agua (Carvajal-Olmedo, 2011).

Tabla 1.5. Desventajas de uso de las diferentes alternativas de calentadores de agua

Desventajas	Calentadores de paso eléctrico	Calentador de tanque eléctrico o de acumulación	Caldera	Calentadores solares
El combustible es a base de electricidad o gas afectando el ahorro de energía y padeciendo muchas veces desabastecimientos de estas energías	5	5	2	1
En uso prolongado de tiempo tienden a quemarse	5	2	1	1
Requieren del techo, una terraza o un patio para su instalación	1	2	5	4
El combustible es a base de gas y muy peligroso si existen fugas, puede provocar la muerte	1	1	1	1
Provocan calentamiento global	5	5	5	1
Total de ventajas	17	15	14	8

Fuente:(Carvajal-Olmedo, 2011).

En la Tabla 1.5 se reflejan las desventajas de los diferentes calentadores de agua sobre todo en cuanto al tipo de combustible y al medio ambiente. Se ha tomado en cuenta 5 desventajas comparativas, a las cuales se les ha asignado un número en orden de importancia, siendo el 1 el que menos afecta y el 5 el que más afecta en cuanto a desventajas también se puede apreciar que la alternativa más adecuada para el calentamiento del agua es el calentador solar. Teniendo en cuenta el análisis de las ventajas y desventajas de las diferentes alternativas de calentamiento de agua podemos llegar a la conclusión de que el medio de calentamiento más idóneo para desarrollar el proceso es el calentador solar(Carvajal-Olmedo, 2011).

1.7. Calentadores solares

Un calentador solar de agua es un sistema fototérmico capaz de utilizar la energía térmica del sol para el calentamiento de agua sin usar ningún tipo de combustible. Se compone de: un colector solar plano, donde se captura la energía del sol y se transfiere al agua; un termo tanque, donde se almacena el agua caliente; y un sistema de tuberías por donde circula el agua. En ciudades con baja temperatura, están provistos de anticongelantes que evitan que el agua se congele dentro del colector solar plano (ver Figura 1.3.) (María- Vertiz, 2016).

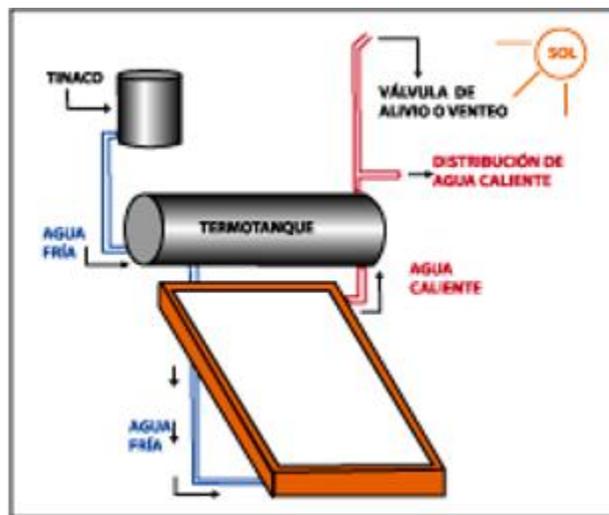


Fig.1.3. Componentes de un calentador solar. **Fuente:**(María- Vertiz, 2016).

Los colectores solares térmicos o calentadores solares están divididos en tres clases:

- De baja temperatura. Generan temperaturas menores a 65 °C. Son ideales para calentar piscinas, uso doméstico de agua y actividades industriales en las que el calor del proceso no sea mayor a 60°C (pasteurización, lavado, etc.).
- De temperatura media. Generan temperaturas de entre 100 y 300 °C.
- De alta temperatura. Generan temperaturas mayores a 500°C, la cual se puede usar para generar electricidad y transmitirla a la red eléctrica; se instalan en regiones donde la posibilidad de días nublados es remota.

1.7.1. Tipos de calentadores solares

Existen tres tipos de sistema de calentador solar de agua, que cumplen su funcionamiento calentando el agua por medio de un intercambiador de calor dentro del depósito. Utilizan paneles térmicos para recolectar el calor de los rayos del Sol. El calor del sol es utilizado para

calentar un líquido que circula a través de la tubería que conecta a los paneles del calentador de agua. Los tres tipos de recolectores solares que son utilizados para aplicaciones residenciales, industriales o comerciales son los siguientes (Carvajal-Olmedo, 2011).

1. Calentador solar plano con tanque-termo.
2. Calentador solar de tubos al vacío con tanque-termo: termosifónicos, o de tubos calóricos.
3. Calentador solar compacto.

1.7.2. Funcionamiento de un calentador solar

Los colectores solares tienen un funcionamiento en realidad muy sencillo. La luz solar se convierte en calor al tocar la placa térmica colectora, la cual puede ser metálica (hierro, cobre, aluminio, etc.) o de plástico. Esta debe ser oscura para lograr la mayor recolección de calor, por debajo de la misma se encuentran los cabezales de alimentación y circulación de agua, por donde el líquido “entra frío y sale caliente” del colector solar plano. El agua circula dentro del sistema, mediante el mecanismo de termosifón, el cual se origina por la diferencia de temperatura que se genera en el agua debido al calentamiento proporcionado por el sol. Esto significa que, el agua caliente es más ligera que la fría y, en consecuencia, tiende a subir. Esto es lo que sucede entre el colector solar plano y el termotanque, con lo cual se establece una circulación natural, sin necesidad de ningún equipo de bombeo. Para que el agua se mantenga caliente y lista para usarse en el momento requerido, esta se almacena en el termotanque, el cual está forrado con un aislante térmico para evitar la pérdida de calor (María- Vertiz, 2016).

1.7.3. Instalación del calentador solar

Se recomienda que estos se instalen en las azoteas, orientados hacia el sur (ya que nos encontramos en el hemisferio norte), de tal manera que queden expuestos a la radiación solar todo el día. Se deberá evitar sombras sobre el calentador, por lo que se sugiere que el tinaco quede del lado norte del calentador solar. Si existen muros o pretilas deberán estar tan separados como las alturas de los mismos. El colector solar debe colocarse con cierto grado de inclinación, lo que permite aprovechar eficientemente la radiación. No obstante, la inclinación a la que se debe colocar el colector depende de la localización de la ciudad donde se pretenda instalar, sin embargo, se recomienda, que esta sea aproximadamente 10° más. La posición del termotanque debe permitir que este se llene por gravedad, por consiguiente, debe

colocarse por lo menos 30 cm., sobre el nivel superior del colector. De tal suerte, que los tinacos que sean abastecidos por los calentadores solares, deberán estar como mínimo 50 cm., sobre el nivel de los calentadores solares. Es frecuente y recomendable que el calentador solar y el “boiler” se instalen en serie, es decir, uno después del otro. De esta forma, si usted tiene boiler en la casa también puede instalar el calentador solar y alternar su uso. Por ejemplo, en el caso de días muy nublados o si se requiere más agua caliente que lo normal, el “boiler” respalda al sistema solar garantizando que siempre habrá agua suficientemente caliente (María- Vertiz, 2016).

1.7.4. Recomendaciones para optimizar el uso de un calentador solar

Una vez que cuente con un calentador solar, estará ahorrando dinero y protegiendo al medio ambiente. Sin embargo, aún se deben tener algunos cuidados para hacer más eficiente el uso del calentador, lo que estará estrechamente relacionado con el ahorro responsable de toda la energía que utilicemos (María- Vertiz, 2016).

1.7.5. Mantenimiento del calentador solar

Los calentadores solares son un sistema fácil de operar y prácticamente autónomo que no necesita la intervención humana directa para su buen funcionamiento, no obstante, se requieren tener en cuenta algunos aspectos para que el equipo se encuentre en óptimas condiciones y su funcionamiento sea el esperado. Por lo tanto, recomendamos tener presente tres aspectos sumamente sencillos

- 1.- Mantener libre de polvo y obstrucciones la superficie de captación de los colectores solares planos, limpiando los cristales o acrílicos con una franela húmeda
- 2.- Revisar periódicamente las válvulas eliminadoras de aire y el sistema de conexiones para evitar obstrucciones al escapar el aire. Así mismo, revisar periódicamente toda la instalación.
- 3.- Es de suma importancia, acudir siempre con personal especializado para realizar cualquier reparación, modificación o instalación del equipo (María- Vertiz, 2016).

Las industrias actuales, existen muchos procesos en los cuales el aporte calorífico no es posible realizarlo por medio de un sistema directo. Cuando el material a calentar es inflamable o cuando se puede causar una descomposición térmica del mismo, es necesario utilizar un medio de calentamiento indirecto utilizando como agente trasmisor de calor según las temperaturas exigidas (María- Vertiz, 2016).

La sustancia a utilizar como portadora de calor deberá inicialmente satisfacer las siguientes condiciones:

- Ser barata y de fácil obtención
- Poseer buena estabilidad térmica
- No debe atacar a los materiales de construcción del sistema
- Baja volatilidad
- Buena transferencia de calor
- Bajo punto de solidificación y baja viscosidad

El agua es un agente con propiedades caloríficas más favorables, ya que permite transmitir grandes cantidades de calor hasta 100 °C sin presión y por encima de esta en forma de agua a presión o vapor de agua (María- Vertiz, 2016).

No obstante, el aumento de temperaturas impone condiciones a los materiales y a las instalaciones. Ello implica una serie de exigencias y riesgos inevitables. Por otro lado, los problemas de corrosión y mantenimiento y tratamiento de agua son conocidos (María- Vertiz, 2016).

1.8. Tratamiento de agua

El agua potable es aquella que no ofrezca peligro para la salud humana por sus características químicas, físicas, biológicas y radiológicas al ser usada como bebida, en la preparación de alimentos, aseo personal y otras actividades que impliquen el contacto directo del agua con los seres humanos (Cubana, 2010).

1.8.1. Características organolépticas

Características del agua que son apreciadas sensorialmente. Pueden ser de naturaleza física o química. Para efectos de evaluación, el sabor y el olor se ponderan por medio de los sentidos; el color y la turbiedad se determinan por medio de métodos analíticos de laboratorio, al igual que los componentes químicos que alteran las características organolépticas del agua (Cubana, 2010).

1.8.2. Coliformes totales

Bacilos Gram negativos, aerobios o anaerobios facultativos, no esmorusados, oxidasa negativos, capaces de crecer en presencia de sales biliares o agentes tenso activos que

fermentan la lactosa con producción de ácido y gas a $(35,0 \pm 0,5)$ °C de 24 horas a 48 horas y que pueden presentar actividad de la enzima β -galactosidasa. La mayoría de las bacterias del grupo coliforme son de los géneros *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* y *Enterobacter* pertenecientes a la familia *Enterobacteriaceae*. Sus resultados se expresan en Número Más Probable (NMP) cuando se determina por la técnica de tubos múltiples de fermentación, en Unidades Formadoras de Colonias (UFC) cuando se realiza por la técnica de filtración por membrana o en presencia o ausencia según la técnica de siembra directa de agua por presencia o ausencia (Cubana, 2010).

Escherichia coli

Bacteria del grupo coliforme que fermentan la lactosa y manitol con producción de ácido y gas a $(44,5 \pm 0,2)$ °C en 24 horas, produce indol a partir de triptofano, oxidasa negativa, no hidroliza la urea y presenta actividad de las enzimas β -galactosidasa y β -glucoronidasa, considerada como el indicador más específico de una reciente contaminación fecal y la presencia eventual de microorganismos patógenos. Sus resultados se expresan de igual forma que los Coliformes totales(Cubana, 2010).

1.8.3. Requisitos

Los valores de límite máximo admisible (LMA) para las características físicas y los componentes químicos que pueden afectar la calidad organoléptica del agua potable se establecen en la Tabla 1.6.(Cubana, 2010).

Tabla 1.6. Características físicas y componentes químicos que pueden afectar la calidad organoléptica del agua potable

Tipo	Característica	LMA
Físicas	Olor y sabor	Inodora y sabor agradable característico
	Turbiedad	5 UNT
	Color real	15 UC
Químicas	pH	6,5 – 8,5
	Sólidos totales disueltos	1 000 mg/l
	Dureza total (como carbonato de calcio)	400 mg/l
	Cloruros	250 mg/l
	Sustancias activas al azul de metileno	0,5 mg/l
	Compuestos fenólicos (referidos al fenol)	0,002 mg/l
	Aluminio	0,2 mg/l
	Cobre	2,0 mg/l
	Hierro	0,3 mg/l
	Sodio	200 mg/l
	Sulfatos	400 mg/l
	Zinc	5 mg/l

Fuente: (Cubana, 2010).

Los valores de LMA para los componentes inorgánicos prioritarios que influyen sobre la salud se presentan en la Tabla 1.7.

Tabla 1.7. Componentes inorgánicos que influyen sobre la salud

Componentes	LMA (mg/l)
Amoniaco	No presencia
Arsénico	0,05
Cadmio	0,005
Cianuro	0,07
Cloro libre	2,0
Cromo total	0,05
Fluoruro	1,5
Manganeso	0,4
Mercurio total	0,001
Níquel	0,02
Nitrato	45
Nitrito	0,2
Plomo	0,05
Selenio	0,01

Fuente:(Cubana, 2010).

El LMA para el fluoruro se permitirá cuando el agua lo contenga en forma natural. Cuando se requiera la adición de fluoruro en sistemas de abastecimiento público, la concentración media diaria en el agua tratada ha de ser $(0,7 \pm 0,1)$ mg/L. Los valores de LMA para los componentes orgánicos prioritarios que influyen sobre la salud se presentan en la Tabla 1.8.(Cubana, 2010).

Tabla 1.8. Componentes orgánicos que influyen sobre la salud

Contaminantes	LMA (µg/l)
Alaclor	20
Aldrin y dieldrín (suma de ambos)	0,03
Atrazina	2
Benceno	10
Benzo (a) pireno	0,7
Bromodichlorometano	60
Bromoformo	100
Dibromoclorometano	100
Cloroformo	200
2,4 - D	30
DDT y sus metabolitos (suma)	1
Dimetoato	6
Endrin	0,6
Lindano	2
Simazine	2
Tetracloruro de carbono	4
Trifluralin	20
Trihalometanos (suma de las razones de las concentraciones de Bromodichlorometano, bromoformo, dibromoclorometano y cloroformo entre sus respectivos valores de referencia)	1

Fuente:(Cubana, 2010)

Los LMA de las sustancias consideradas cancerígenas, como el Alaclor, el Benceno y el Benzo (a) pireno, refieren la concentración en el agua de bebida asociada con un límite superior de riesgo adicional de cáncer durante toda la vida de 10^{-5} . Las concentraciones asociadas con límites superiores estimados de riesgo adicional de cáncer de 10^{-4} y 10^{-6} pueden calcularse multiplicando y dividiendo, respectivamente, el valor de referencia por 10(Cubana, 2010). Como indicadores de la calidad bacteriológica del agua se utilizarán los criterios que se presentan en la Tabla 1.9.

Tabla 1.9. Requisitos microbiológicos de la calidad sanitaria del agua potable de acuerdo con las técnicas empleadas para su determinación

Parámetro	Técnica		
	Tubos múltiples de fermentación	Filtración por membrana	Ausencia/ Presencia
Escherichia coli	< 2 NMP / 100 ml	0 UFC / 100 ml	Ausencia / 100 ml
Coliformes termotolerantes	< 2 NMP / 100 ml	0 UFC / 100 ml	Ausencia / 100 ml

Fuente:(Cubana, 2010).

1.9. Análisis económico para procesos productivos

La justificación para la ejecución de la mayoría de las inversiones de capital es que sean económicamente viables. A menos que a quienes toman las decisiones se les provea de amplia y fundamentada información acerca del costo de implementación y de operación futura de un proyecto de inversión, de los indicadores de rentabilidad no se logrará la aprobación de las inversiones necesarias, ya sea dentro de la entidad o en organizaciones exteriores, tales como bancos y agencias financieras(Cortés-Martínez, 2016).

Para determinar si una inversión es viable, atractiva económicamente y debe, por tanto, ser implementada, la medida de viabilidad económica más simple es el Período Simple de Recuperación (PSI). En aquellos casos en que los ahorros anuales son constantes, el PSI en años será(Cortés-Martínez, 2016; Monteagudo, 2004):

$$PSI = [Inversión en Capital] / [Ahorros anuales netos] \quad \text{Ec. 1.1}$$

Un período de recuperación corto supone la viabilidad económica. Muchas empresas requieren que sus inversiones tengan períodos de recuperación simple de dos años o menos, independientemente de la vida esperada del proyecto. El uso del PSI está muy extendido, entre las empresas, dada su simplicidad y facilidad de cálculo(Cortés-Martínez, 2016).

Inconvenientes:

- No se toman en cuenta los ahorros acumulados después del período de recuperación
- Se ignora el cambio del valor del dinero en el tiempo
- No se consideran los cambios en costos de energía en el tiempo
- Se omite la consideración de impuestos
- Se ignora el valor residual de los activos de capital

Por lo anterior, es aconsejable emplear el método del período simple de recuperación de la inversión, únicamente como un primer filtro rápido de las posibles inversiones y emplear métodos más confiables para evaluar en detalle proyectos con buenas perspectivas.

Los métodos para la evaluación de proyectos más difundidos en la actualidad, y los más confiables, son aquellos que toman en consideración los cambios del valor del dinero en el tiempo, al analizar los beneficios y costos esperados durante el período de evaluación del proyecto. Los métodos que toman en consideración el valor del dinero en el tiempo se conocen como métodos de descuento (Cortés-Martínez, 2016).

Métodos de descuento

Existen diversas técnicas de valor descontado, aunque todas ellas se basan en el descuento a valor presente de las cantidades futuras o flujos de caja. Los flujos de caja son la diferencia neta entre beneficios y costos en cada uno de los años, refleja el dinero real en caja.

Convenio (Cortés-Martínez, 2016):

- ❖ entradas a caja (ingresos) son positivas
- ❖ salidas (gastos) son negativas

De forma general, el flujo de caja se puede calcular como:

$$FC_i == (I_i - G_i - Dep) * \left(1 - \frac{t}{100}\right) + Dep \quad \text{Ec. 1.2}$$

donde:

I: Ingresos en el año i, \$

G: Gastos en el año i, \$.

T: Tasa de impuestos sobre ganancia, %.

Dep: Depreciación del equipamiento, \$.

Valor del dinero en el tiempo

El valor del dinero en el tiempo significa que un determinado capital que se tiene en la actualidad va incrementando su valor en el futuro a determinada tasa de interés fijada. Dicho de otra forma, una cantidad de dinero en la actualidad tiene más valor que otra a recibir en el futuro, debido a que la primera ganará cierto interés o rendimiento al ser invertida (Cortés-Martínez, 2016).

Interés real (en moneda constante)

Es el interés que tiene en cuenta los efectos de la inflación. La inflación o devaluación del dinero, reflejada por un aumento de los precios en el mercado, puede incluirse en los análisis de inversiones calculando una tasa de interés real (tasa en moneda constante) mediante la relación de Fisher (Cortés-Martínez, 2016):

$$R = \left(\frac{1+r}{1+f} \right) - 1 \quad \text{Ec.1.3}$$

donde R es la tasa de interés real, r es la tasa de interés bancaria y f la tasa de inflación, fracción.

Relación Costo - Beneficio (RCB)

Se determina como la relación entre el Valor Actual Neto de los Costos VANC y el Valor Actual Neto de los Beneficios VPNB.

$$RCB = \frac{VANC}{VANB} \quad \text{Ec.1.4}$$

En la determinación del VANC hay que sumar al valor de los costos anuales descontados y el valor de la inversión inicial sin descontar.

Valor Actual Neto (VAN)

Es el valor presente neto de los flujos de caja proyectados para todos los años durante el período de evaluación del proyecto. El VAN también se puede analizar como las ganancias que puede reportar el proyecto, siendo positivo si el saldo entre beneficios y gastos es favorable, y negativo en caso contrario (Cortés-Martínez, 2016).

Tasa Interna de Retorno (TIR)

Se define como aquella tasa de descuento que reduce a cero el VAN. La TIR representa el porcentaje o tasa de interés que se gana sobre el saldo no recuperado de una inversión, de forma tal que, al finalizar el período de evaluación o vida útil, el saldo no recuperado sea igual a cero (Cortés-Martínez, 2016).

Período Real de Recuperación de la Inversión (PRI)

Es el tiempo en que se recupera la inversión inicial para una tasa de descuento D considerada. Se calcula como el momento para el cual el VPN se hace cero.

Para obtener el valor del PRI se van adicionando gradualmente a la inversión inicial los flujos de caja anuales hasta que el resultado sea cero, en ese momento se ha recuperado la inversión (Cortés-Martínez, 2016).

En la Figura 1.4. se muestra la relación que existe entre el VAN y el tiempo además de cómo se pueden ver el TIR y el PRI en el tiempo y la relación que existe entre ellos.

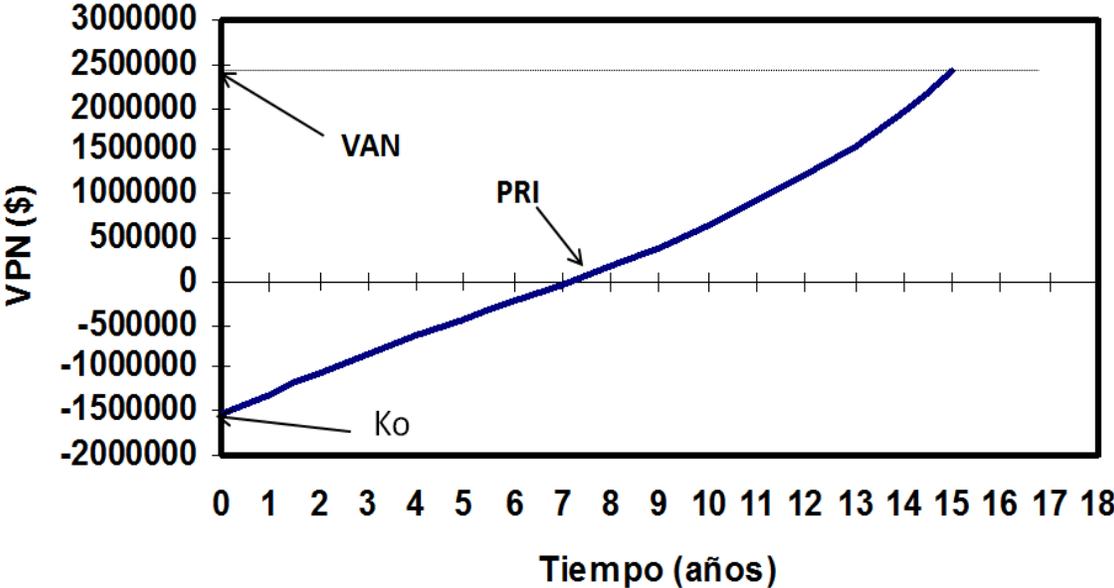


Fig. 1.4: Relación del VAN con el tiempo. **Fuente:** (Cortés-Martínez, 2016).

Las técnicas de evaluación relacionadas anteriormente tienen un rango de valores límites para que el proyecto sea económicamente viable. Si el proyecto de inversión no cumpliera con algunos de estos parámetros entonces no sería viable su implementación (Cortés-Martínez, 2016).

Técnica de Evaluación	Rango
VAN, \$	$VPN > 0$
TIR, %	$TIR > D$
PRI, años	$PRI < n$
RCB	$RCB < 1$

Conclusiones parciales del Capítulo 1

1. Estudios a escala de laboratorio han demostrado que si se le añade agua caliente entre 60 y 75 °C el tiempo de retención de la mezcla en el reactor será 4,5 veces menor que si se le añade agua fría.

2. Teniendo en cuenta el análisis de las ventajas y desventajas de las diferentes alternativas de calentamiento de agua podemos llegar a la conclusión de que el medio de calentamiento más idóneo para desarrollar el proceso es el calentador solar.
3. Los estudios y puntos de vistas analizados en la literatura permiten la toma de decisiones con respecto a la evaluación económica dirigida a la propuesta de diseño del calentador solar y la demostración su viabilidad para proceder a la inversión.

Capítulo 2: Metodología para el diseño de los calentadores solares

La elección del centro de ingeniería e investigaciones química como objeto de estudio radica en la gran demanda de este biofertilizante, las incorporaciones de este medio de calentamiento aumentan considerablemente la producción y no consume energía eléctrica lo que tare consigo que el escaso daño al medio ambiente y además es una energía renovable. Para el diseño de los calentadores solares se siguió la metodología presentada en la Figura 2.1.

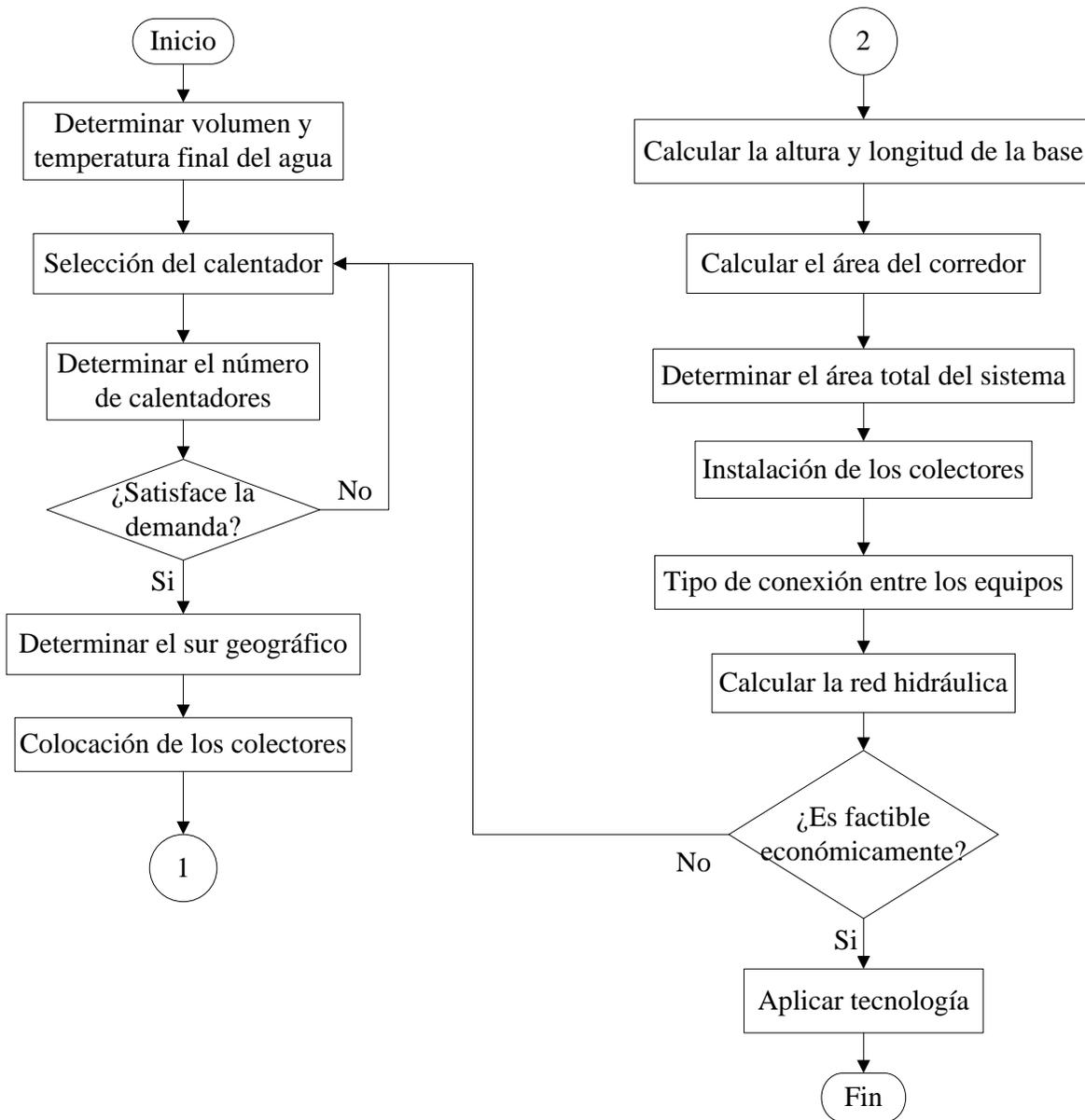


Fig. 2.1. Diagrama heurístico de la metodología de diseño de los calentadores. **Fuente.** Elaboración propia

2.1. Capacidad de producción

Para el diseño de la planta se ha considerado producir 1 120 m³ al año de Fertilizantes líquidos.

Índices productivos estimados para 1 turno de trabajo de 8 horas:

Capacidad de Producción diaria 6 m³.

Baches de Producción diaria: 4 Baches (1,5 m³ x Bache).

Partiendo de este volumen de producción máxima, la planta será capaz de operar ininterrumpidamente durante 5 días de la semana considerando 22 días hábiles al mes. Se considera un mes de parada por mantenimiento dejando 221 días útiles en el año (Torres- Novo, 2017).

2.2. Materias primas y materiales

Las materias primas a procesar consisten en sólidos granulados o en polvo, generalmente sales que aportan los nutrientes principales para la formulación de biofertilizantes líquidos; Nitrógeno, Fósforo, Potasio (NPK) y cianobacterias (Torres- Novo, 2017).

2.3. Proceso Tecnológico

La tecnología de producción a emplear es la conocida como el método de Mezclado en frío. Este método es el más sencillo y consiste en la mezcla de los portadores de nutrientes seleccionados, donde no ocurre liberación de calor durante la misma. Por tal motivo, se hace necesaria la introducción en el sistema de un medio de calentamiento, con el objetivo de aumentar la temperatura en el proceso de dilución de las sales, mejorando de esta manera la solubilidad de las mismas, permitiendo, además, disminuir el tiempo en la operación. Los equipos utilizados en el proceso son: mezcladores, filtro de prensa, bombas centrífugas, grúa de transportación y tanques para el almacenamiento del producto (Torres- Novo, 2017).

Este biofertilizante será procesado según el esquema de producción que se muestra en las Figuras 2.2 y 2.3.

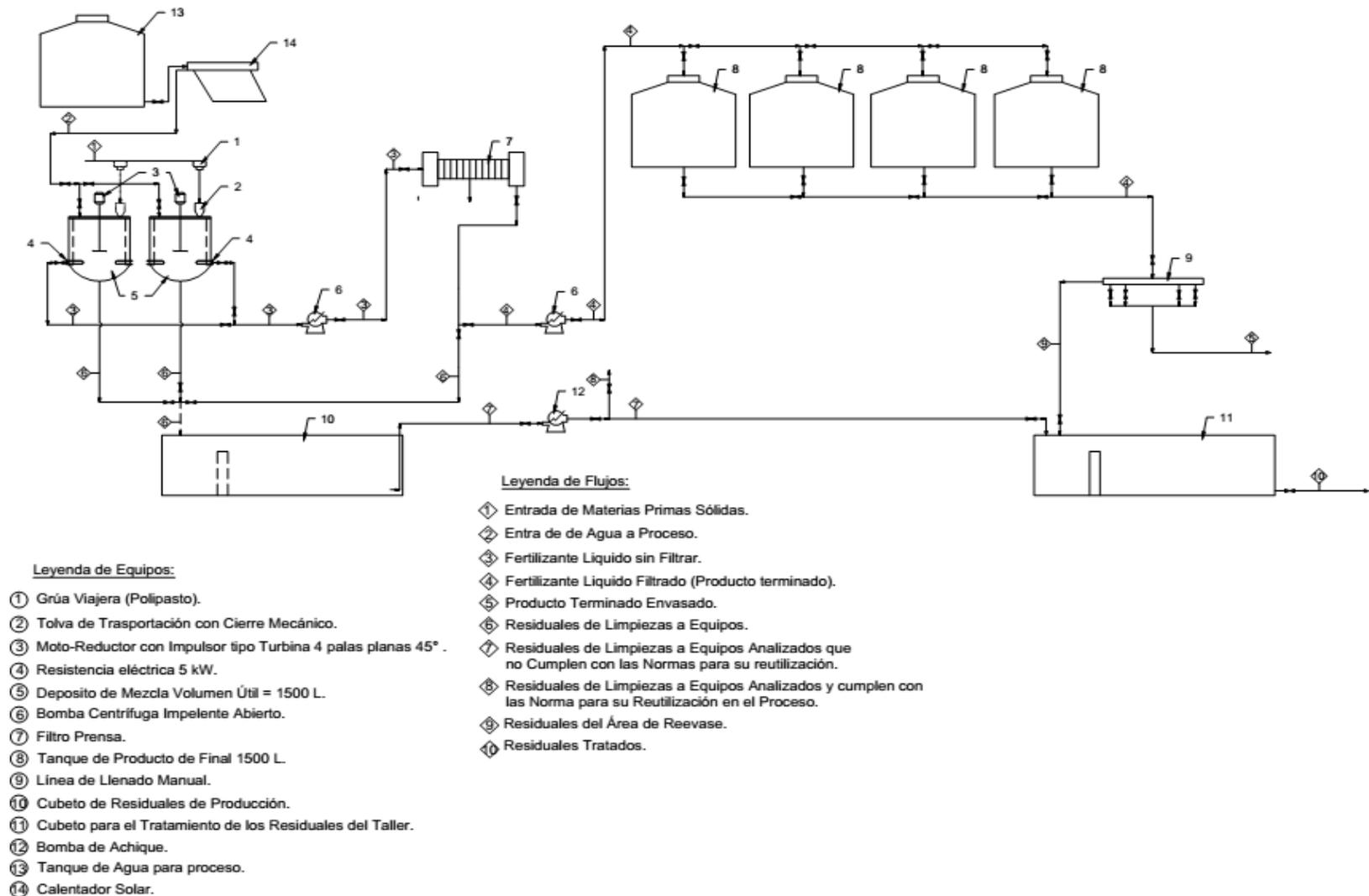


Fig. 2.2. Diagrama de flujo del proceso de producción de biofertilizantes. **Fuente:** Elaboración propia

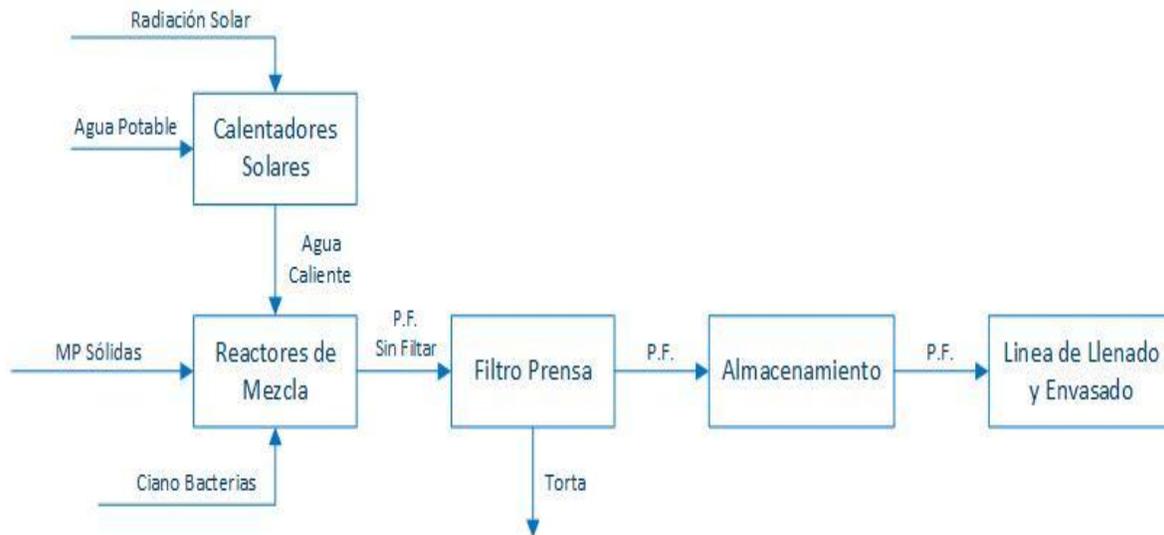


Fig. 2.3. Diagrama de bloque del proceso de producción de biofertilizantes. **Fuente:** Elaboración propia.

2.4. Descripción del proceso

Las materias primas sólidas serán recibidas en sacos de 50 kg, las cuales son pesadas en el almacén de consumo diario de producción mediante una báscula. El tipo de materia prima a utilizar y la cantidad de las mismas, estará de acuerdo a la fórmula que se desee producir. Una vez pesadas son transportadas al área de preparación mediante una grúa viajera (polipasto), la cual tiene acoplada una tolva donde previamente son depositadas cada una de ellas, de manera independiente, para ser alimentadas a los mezcladores. El agua suministrada a los mezcladores se calentará por medio de calentadores solares además se emplearán un medio alternativo para días pocos soleados, como las resistencias eléctricas. Esta agua es alimentada hasta una temperatura de 75°C, contando con un lazo de control automático de temperatura, permitiendo la desconexión de los equipos de calentamiento cuando la temperatura del líquido alcance dicho valor. Una vez que hayan sido depositadas en el mezclador cada una de las materias primas involucradas en el proceso, comienza la disolución mediante agitación mecánica, para lo cual el mezclador estará dispuesto de un agitador mecánico tipo paletas.

Transcurrido el tiempo de agitación y mezclado, el producto resultante (suspensión) es bombeado mediante una bomba centrífuga hacia el filtro de prensa, eliminando los sólidos no disueltos en la solución. Esos sólidos no disueltos (torta) se emplean en un mercado

minorista para su comercialización a pequeños agricultores, el líquido filtrado es bombeado mediante otra bomba hacia los tanques de producto terminado para luego ser enviado por gravedad hacia el área de envasado, etiquetado y embalado, quedando listo para su almacenamiento y posterior comercialización (Torres- Novo, 2017).

2.5. Selección de un equipo solar.

La selección de un equipo solar depende básicamente de los siguientes parámetros:

1. El Área
2. El Volumen
3. La Temperatura del agua al salir

Estos son los parámetros más importantes para seleccionar los equipos de calentamiento de agua pues ayudan a elegir el equipo adecuado para satisfacer la demanda de agua, el área que va llevar los calentadores y que la temperatura de salida sea la necesaria en el proceso.

2.6. Calentador solar plano con tanque-termo

El calentador solar de plato plano se compone de dos partes principales: el colector y el tanque-termo.



Fig. 2.4. Calentador solar plano con tanque-termo. **Fuente:** (Rodríguez- Trujillo, 2015).

El colector está compuesto por un plato absolvedor formado por una placa metálica, gran conductora de calor y de baja capacidad calórica, que tiene la función de absorber toda la

energía solar posible. Esta placa tiene acoplada tubos por donde circula el agua que es calentada con la radiación solar que recibe el plato. Este colector tiene, además, una envoltura aislante y una cubierta transparente.

La superficie del plato de absorción debe tener las características necesarias para que la mayor parte de la radiación que reciba sea absorbida, y muy poco reflejada, lo que se logra aplicándole diferentes tratamientos químicos y físicos, y finalmente un acabado de color negro mate. Actualmente se fabrican colectores con platos de superficie selectiva, la que absorbe un máximo de energía solar, y emite un mínimo de radiación infrarroja.

La cubierta del colector está destinada a dejar pasar la radiación solar hacia el plato de absorción, y disminuir la pérdida de calor por convección y radiación. Para facilitar el efecto aislante, la cubierta está formada por una o dos planchas de material transparente, vidrio o plástico, separadas convenientemente.

La cubierta y la envoltura aíslan del medio ambiente al plato absorbedor. El material más frecuentemente usado para la cubierta es el vidrio, ya que posee la propiedad de dejar pasar casi toda la radiación solar y, por el contrario, es opaco a la radiación infrarroja emitida por el plato de absorción. También se usa el plástico (últimamente se emplea con mayor frecuencia el policarbonato). El colector va acoplado a un tanque-termo comúnmente confeccionado con metal y aislante de poliuretano (Rodríguez- Trujillo, 2015).

2.6.1. Ventajas y desventajas de los calentadores de plato plano

- El comportamiento térmico es inferior a otros colectores solares que se comercializan. Su eficiencia oscila entre 30 y 50 %.
- El aprovechamiento de la luz difusa permite lograr temperaturas por encima de 40 °C en días nublados.
- En días de radiación normal en Cuba, adquiere temperaturas superiores a los 60 °C.
- Son sensibles a la rotura del vidrio. Deben fabricarse con vidrios térmicos resistentes a impactos. En caso de rotura del vidrio, siguen trabajando, aunque con una eficiencia inferior.
- Su montaje es sencillo, si se tiene experiencia.

- Son muy sensibles a las incrustaciones, debido a que las tuberías del plato absorbedor son finas. El mantenimiento es complejo si se requiere una limpieza por incrustaciones. La única solución es una limpieza química.
- Pueden trabajar con presiones en el tanque-termo superiores a 4atmósferas.
- Por su forma apantallada, no resisten vientos fuertes, por lo que se recomienda su desmontaje en caso de ciclones (Rodríguez- Trujillo, 2015).

2.7. Calentadores solares de tubos al vacío

Los calentadores de tubos al vacío (Figura 2.4) tienen el mismo principio de trabajo que los colectores de plato plano, es decir, la radiación es recibida por el absorbedor y llevada en forma de calor hacia un tanque acumulador. La diferencia consiste en que el absorbedor está formado por tubos en los cuales se ha hecho vacío para disminuir las pérdidas de calor, y dentro del tubo van colocados las secciones del absorbedor (Figura 2.5).



Fig. 2.5. Calentador solar de tubos al vacío. **Fuente:** (Rodríguez- Trujillo, 2015)



Fig.2.6. Detalle de un extremo de los tubos en los que se ha creado vacío. **Fuente:** (Rodríguez- Trujillo, 2015)

Algunos modelos están formados por tubos sencillos de vidrio, los cuales tienen en su interior un sector de plato plano de absorción acoplado a un tubo metálico por donde fluye el líquido. En otros modelos, el absorbedor suele ser un tubo interior con tratamiento óptico selectivo, lo que mejora todavía más la eficiencia del colector. Entre el tubo interior y el exterior, ambos concéntricos, existe vacío. Existen varios modelos de colectores de tubos al vacío (Figura 2.6), en dependencia del movimiento del fluido y el método de transferencia de calor utilizado (Rodríguez- Trujillo, 2015).



Fig. 2.7. Distintos tipos de Tubos de Calor. **Fuente:**(Rodríguez- Trujillo, 2015)

- Tubos termosifónicos y tubos calóricos.

En todos los casos, los tubos van directamente acoplados al tanque-termo, o a un cabezal por donde fluye el agua o líquido que se desea calentar. En el caso de los tubos termosifónicos, el agua del tanque-termo fluye directamente por dentro del tubo interior, y su movimiento dentro del mismo se debe al cambio de densidad del agua más caliente (la cual sube) y el menos caliente (la cual baja). En este caso, la presión del tanque-termo se transmite al tubo de vidrio.

Otra variante es el calentador de tubos al vacío con tubos calóricos, que ha significado un gran avance en la tecnología de transferencia de calor, aplicada en este caso al calentador solar. En este modelo por dentro del tubo de vidrio no fluye el agua, sino que tiene en su eje central un tubo calórico para transmitir el calor solar ganado al agua del tanque-termo o cabezal.

El tubo calórico forma un sistema cerrado de evaporación-condensación, y suele ser un tubo metálico largo y fino, herméticamente cerrado, el cual contiene un líquido en equilibrio con su vapor (gas) a determinada presión (vacío) y temperatura. Si la temperatura aumenta, aumenta la fase gaseosa; y si disminuye, aumenta la fase líquida. La presión (vacío) dentro del tubo se selecciona de tal forma que empiece la evaporación a 25 °C, lo que garantiza el funcionamiento del colector solar aún con baja radiación.

La parte superior del tubo calórico va introducida en el agua del tanque-termo o cabezal. De esta forma, cuando la parte que está expuesta a la radiación solar (dentro del tubo de vidrio al vacío) se calienta, genera vapor y éste sube. Cuando el vapor se pone en contacto con el agua del tanque-termo, la cual está más fría, se condensa, bajando en forma líquida por gravedad a la parte baja del tubo calórico. De esta forma se completa el ciclo Figura 2.7 a) y b) (Rodríguez- Trujillo, 2015; Bériz- Pérez, 2014b).



Fig. 2.8. a) Tubos termosifónicos b) Tubos calóricos. **Fuente:** (Rodríguez- Trujillo, 2015)

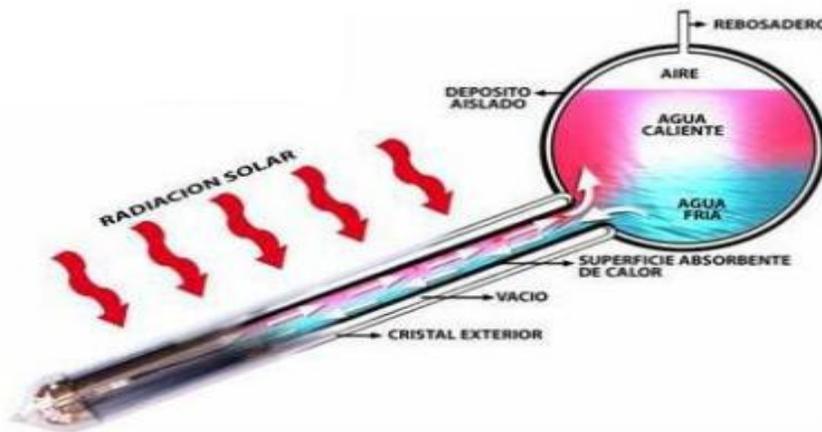


Fig. 2.9. Principio de funcionamiento del tubo de flujo directo. **Fuente:** (Rodríguez- Trujillo, 2015)

2.7.1. Ventajas y desventajas de los calentadores de tubos al vacío.

- Son productos de alta calidad, y dada la baja emisividad del tubo (0,08), su alta absorbencia (0,93) y su aislamiento por vacío, se consiguen rendimientos superiores a otros tipos de calentadores solares.
- El aprovechamiento de la luz difusa permite lograr temperaturas por encima de 40 °C en días totalmente nublados.
- En días de radiación normal en Cuba, adquiere temperaturas superiores los 75 °C.
- El comportamiento térmico es superior a otros colectores solares que se comercializan, pudiendo trabajar a temperaturas superiores a los 80 °C, con una eficiencia superior a 50%.

- La curvatura del tubo de vidrio (de 30 a 40 mm de diámetro) ofrece una mayor resistencia a los impactos que los colectores planos. Su montaje es muy sencillo si se tienen experiencias.
- El mantenimiento es muy sencillo y solamente requiere de limpieza una vez al año. No son sensibles a las incrustaciones.
- En los modelos de tubos calóricos se puede trabajar con presiones en el tanque-termo superiores a cuatro atmósferas, no así en el modelo de tubos termosifónicos, que no resiste sobrepresiones.
- En los modelos de tubos calóricos, si un tubo de vidrio se rompe, el calentador sigue funcionando; sin embargo, si un tubo de vidrio se rompe el modelo de tubos termosifónicos, la instalación se vacía y deja de funcionar.
- Por la forma aerodinámica de los tubos, resisten vientos fuertes, por lloque, si el montaje ha sido correcto, no es necesario desmontarlos durante ciclones (Figura 2.9) (Rodríguez- Trujillo, 2015; Bérriez- Pérez, 2014b).

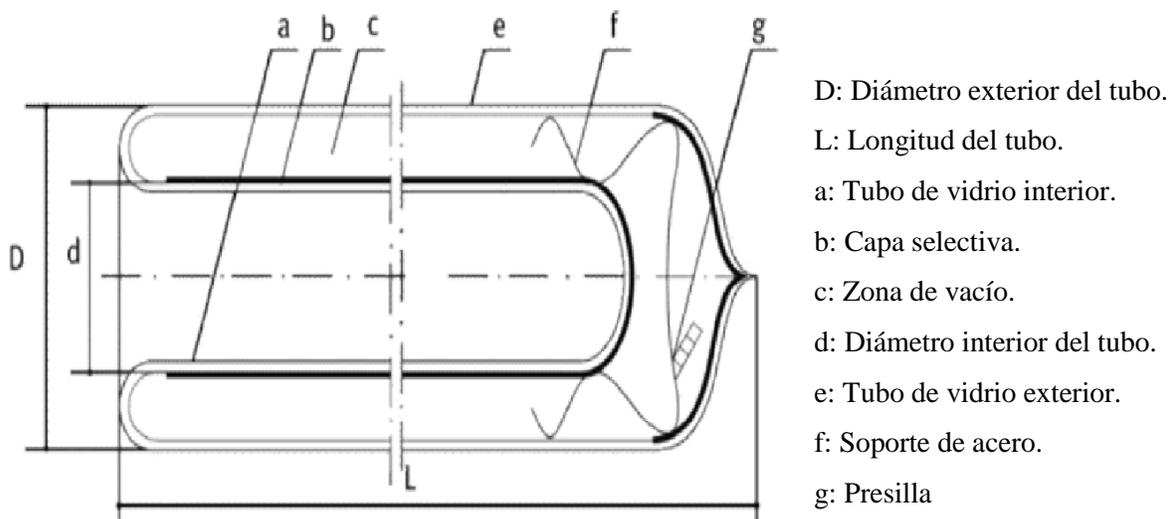


Fig. 2.10. Estructura del tubo al vacío. **Fuente:** (Rodríguez- Trujillo, 2015)



Fig. 2.11. Esquema de conexión de los tubos. **Fuente:** (Rodríguez- Trujillo, 2015)

2.7.2. Características fundamentales de estos calentadores.

¿Cómo es la resistencia a los vientos y otros eventos meteorológicos?

- Como la estructura del colector permite el paso del viento por dentro de los tubos, con un correcto anclaje en un ángulo de inclinación máximo de 30° y el tanque termo lleno de agua soportan vientos máximos de hasta 150 km/h, el tubo de vidrio soporta impactos de granizo de hasta 25 mm de diámetro.

¿Cómo se comportan estos equipos ante las incrustaciones?

- Como todo sistema de calentamiento de agua, las altas concentraciones de calcio y magnesio provocan incrustaciones, en el caso del vidrio del tubo la limpieza manual o química es mucho más sencilla, se recomienda siempre lograr un contenido de sales de calcio y magnesio inferior a 150 mg/l.

¿Cuál es el mantenimiento que necesita este tipo de sistema?

- El mantenimiento requerido es el mismo que un sistema convencional, con la ventaja que cada tubo es independiente, pudiendo ser sustituido de manera rápida, sin necesidad de parar la instalación, y pudiendo funcionar el resto de los tubos perfectamente.

Un plan de vigilancia y mantenimiento preventivo aumentan la fiabilidad y prolongan la duración del sistema, que se traduce en limpiar los tubos periódicamente, que el equipo se revise semestral o anualmente por un técnico calificado dependiendo de las dimensiones del campo de colectores y la sustitución de elementos fungibles o desgastados por el uso.

•En caso de rotura de un tubo de vacío, el reemplazo es muy sencillo y rápido. Importante: los tubos de vacío pueden llegar a alcanzar 270 °C si se instalan sin agua en su interior o se dejan descuidadamente expuestos al sol durante el montaje. Si a ésta temperatura se introduce agua fría, se romperán inmediatamente, por lo que se deberá prestar especial atención para evitar problemas (Rodríguez- Trujillo, 2015).

2.8. Calentador compacto.

Un calentador solar compacto está formado, en esencia, por un recipiente cerrado pintado de negro, con una entrada y una salida de agua. Este recipiente está convenientemente aislado por el fondo y los lados con cualquier material aislante, y por arriba (por donde le llega la radiación solar), con un vidrio u otro material transparente.

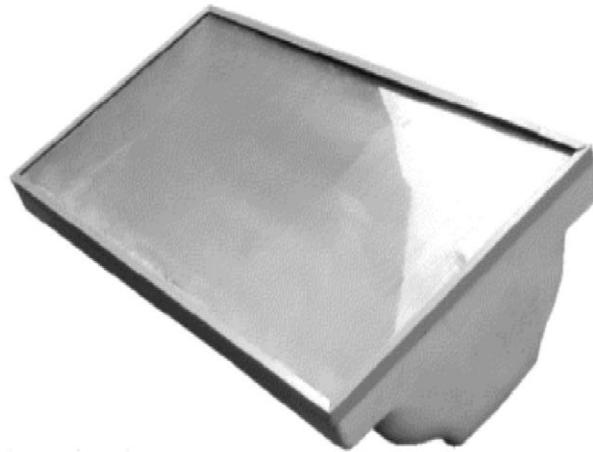


Fig.2.12. Calentador compacto. **Fuente:** (Rodríguez- Trujillo, 2015)

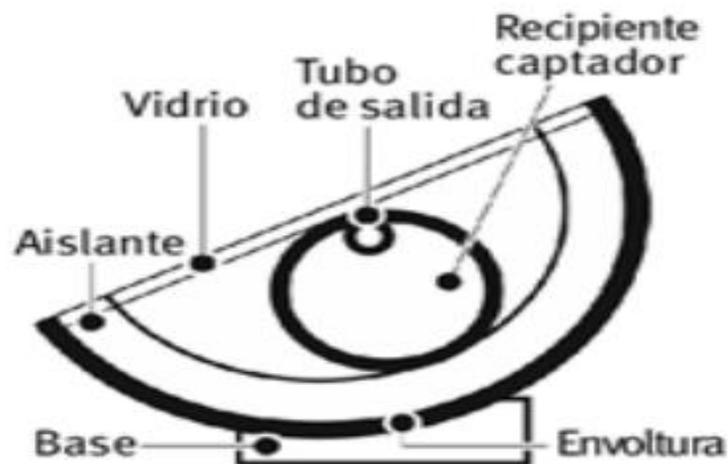


Fig. 2.13. Corte transversal del calentador compacto. **Fuente:** (Rodríguez- Trujillo, 2015).

El recipiente puede tener cualquier forma, pero preferentemente debe hacerse con un tubo de un diámetro adecuado, pues tolera más presión y es más fácil taparlo por los extremos. La envoltura o caja aislante del calentador solar puede hacerse también con materiales de la construcción, tales como ladrillos, bloques, etc. En la figura siguiente puede observarse el corte transversal de una variante de calentador solar construido con un tubo de aluminio, ladrillos y vidrio. Como a veces el sellado de la cubierta no puede ser perfecto, debe dejarse la posibilidad de que salga el agua, en caso de que entre, mediante un pequeño agujero situado en la parte inferior de la base. Un calentador compacto bien construido y aislado, puede conservar el agua caliente inclusive por la noche.

2.8.1. Ventajas y desventajas de los calentadores compactos.

Son los calentadores más sencillos que existen en el mercado. A diferencia de los otros tipos, no requieren de tanque-termo independiente, ya que el colector hace también la función de tanque termo.

- El aprovechamiento de la luz difusa permite lograr temperaturas por encima de 40 °C en días nublados.
- En días de radiación normal en Cuba, adquiere temperaturas de 60 °C.
- El comportamiento térmico es aceptable, pudiendo trabajar a temperaturas de 50 °C, con una eficiencia superior a 50%.
- Son sensibles a la rotura del vidrio. Deben fabricarse con vidrios térmicos resistentes a impactos, o con policarbonato estabilizado a la radiación ultravioleta. En caso de rotura del vidrio, siguen trabajando, aunque con una eficiencia inferior.
- Su montaje es muy sencillo.
- El mantenimiento es muy sencillo, y generalmente no lo requiere.
- Soportan presiones superiores a cuatro atmósferas.
- Por su forma, resisten vientos fuertes, por lo que no hace falta su desmontaje en caso de ciclones.
- Debido a su sencillez, es fácil su fabricación, así como su montaje y explotación.

2.8.2. Determinación del sur geográfico

Con el objeto de obtener la mayor cantidad de irradiación solar, los colectores solares se deben orientar e inclinar hacia el Sur Geográfico, también llamado Sur Verdadero (SV), y es

importante no confundirlo con el Sur magnético (SM). Se debe tener en cuenta que existe la declinación magnética y que ésta varía en cada lugar y con el tiempo, debido a que el Norte magnético de la tierra está en movimiento y no coincide con el Norte geográfico (NV).

Los puntos del horizonte por donde sale (orto) y se pone (ocaso) el Sol varían constantemente en el transcurso de un año. El 21 de marzo, fecha del equinoccio de primavera (en todas las explicaciones el observador está situado en el Hemisferio Norte), el Sol sale por el Este y se pone por el Oeste. Al pasar los días, estos puntos van variando hacia el Norte, primero rápidamente, luego lentamente, hasta el 21 de junio, fecha del solsticio de verano, en que el Sol alcanza su máxima altura.

A partir del 21 de junio, los puntos se alejan del Norte y se van acercando al Este y al Oeste, cuyas posiciones vuelven a ocupar el 22 o 23 de septiembre, equinoccio de otoño. Luego se acercan al punto Sur, hasta el 22 de diciembre, solsticio de invierno, del cual se alejan después. Transcurrido un año, vuelven a coincidir con los puntos Este u Oeste. Los rayos energéticos de la luz del Sol sobre la Tierra son de diferente intensidad según se mueva usted del Ecuador (más intensos) hacia los polos (más débiles). Esto no es debido a que los últimos estén más alejados del Sol, sino a que la luz debe viajar a través de la atmósfera de la Tierra. Esta atmósfera es del mismo grosor en todo el globo terrestre pero la luz que llega a los polos viaja a un ángulo a través de la primera antes de que llegue a la superficie de la Tierra.

La luz debe viajar a través del aire cinco veces más en los polos que en el Ecuador antes de llegar a la superficie. Esta es la razón, por la cual el calentamiento solar del agua se hace impráctico en las latitudes por arriba de los 45° a menos que el lugar esté a una altitud sobre los 4 000 m donde el aire es menos denso.

Las ondas luminosas del Sol son paralelas y golpean la Tierra en diferentes ángulos dependiendo de la época del año. Durante el invierno cuando el Sol está bajo en el cielo, la luz solar tiene que pasar a través de más atmósfera habiendo menos energía disponible para calentar un absorbente. Esta es la razón por la cual muchos absorbentes solares afrontan el Sol en su ángulo de invierno (Bérriz -Pérez, 2008; Rodríguez- Trujillo, 2015; Serra, 2007).

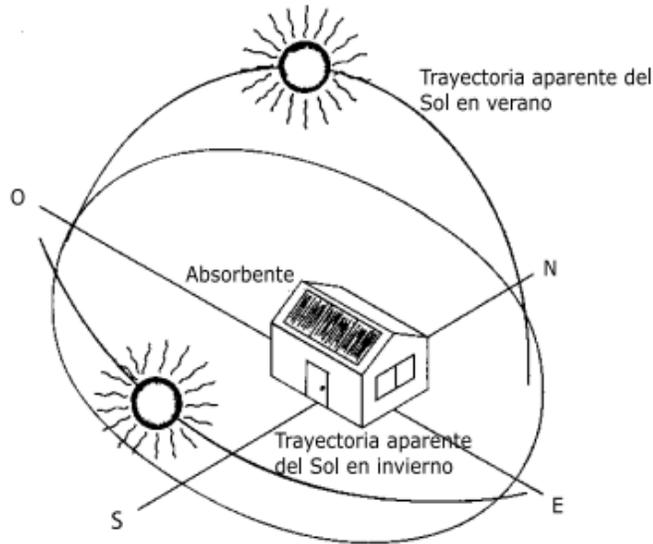


Fig. 2.14. Trayectoria del Sol en las etapas del año. **Fuente:**(Paz -Gutiérrez, 2006)

2.8.2.1.Método práctico para determinar el sur geográfico.

En su defecto, localizar el sur geográfico observando la dirección de la sombra proyectada por una varilla vertical a las 12 horas o mediodía solar, que es cuando el sol está en su cenit o punto más alto de su trayectoria diaria. Para ello, por la mañana (faltando dos o tres horas para el mediodía), se marcará el punto A de la figura en el extremo de la sombra de la varilla y se dibuja en el suelo una circunferencia alrededor de la varilla de radio OA, igual al de su sombra (Figura 2.15).

Por la tarde, cuando la sombra de la varilla alcance la misma longitud se marca el punto B. La recta que une los puntos A y B estará orientada exactamente en la dirección del paralelo terrestre y trazando una perpendicular a dicha recta, indicará la dirección Norte-Sur (CLEANERGYSOLAR-PORTAL, 2011).

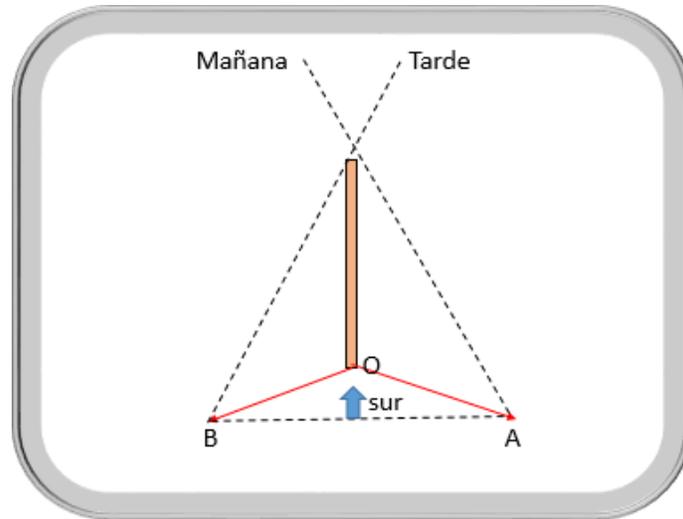


Fig. 2.15. Método práctico para determinar el sur geográfico. **Fuente:** (CLEANERGY-SOLAR-PORTAL, 2011)

La Norma Cubana NC 15 – 68 1987 sobre sistemas solares para el calentamiento del agua establece los requisitos para el montaje de los mismos y señala que los colectores se colocaran inclinados 30° con respecto al plano horizontal según Figura 2.16.

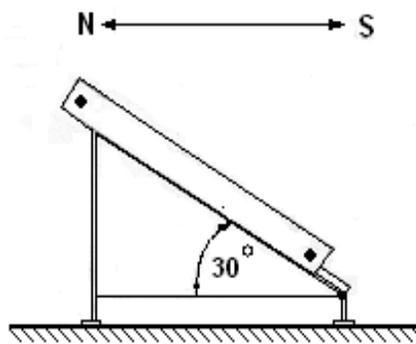


Fig. 2.16. Inclinación de los colectores solares según NC15-68 1987. **Fuente:** (Cubana, 1987)

Además, especifica que la cubierta del colector o de los colectores se orientará al sur permitiéndose una desviación de $+ 10^\circ$ con respecto a esta orientación, según se muestra en la Figura 2.17.

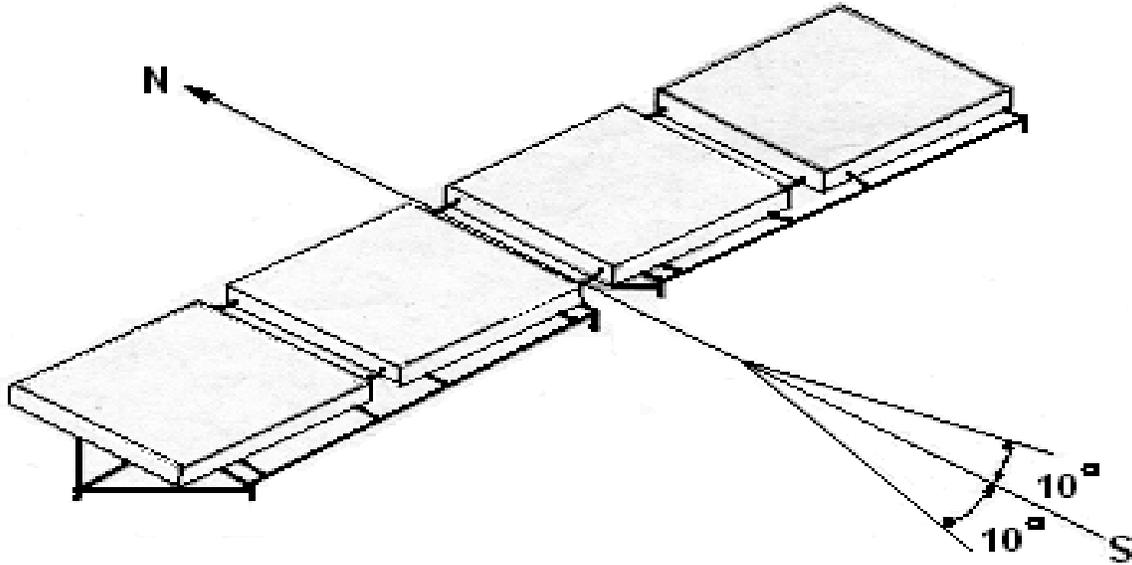


Fig. 2.17. Orientación de los colectores solares según NC 15-68 1987. **Fuente:** (Cubana, 1987)

2.8.3. Número de colectores

Para el cálculo del número de colectores debe conocerse la demanda de agua caliente en función de las horas del día.

$$N_c = \frac{Q_t}{\eta \cdot A_c \cdot \Sigma H_t} \quad \text{Ec. 2.1}$$

Donde:

η = Eficiencia del colector

A_c = Área de captación del colector, (m^2)

ΣH_t = Radiación solar incidente diaria, ($kcal/m^2$)

Deberá tomarse como resultado el entero más próximo por exceso al valor que arroje la fórmula, según (CIES, 2006)

Colocación de los colectores

Los colectores se deben situar de tal forma que a lo largo del período de utilización el equipo solar aproveche día a día el máximo posible de la radiación incidente. Por ello, preferentemente se orientarán hacia el Sur geográfico, no hacia el Sur magnético (definido mediante una brújula). Para localizarlo se observará, por ejemplo, la dirección de la sombra proyectada por una varilla vertical a las doce horas o mediodía solar. En la práctica,

desviaciones de un 15 % hacia el sureste (SE) o suroeste (SW), con respecto a la orientación Sur preferente, no afectan al rendimiento ni a la energía térmica útil aportada por el equipo solar.

Además de la orientación, el ángulo de inclinación que forman los colectores con el plano horizontal es un factor importante en la eficacia del equipo solar. Los colectores deberían inclinarse de modo que los rayos del Sol incidan perpendicularmente en su superficie al mediodía solar. El ángulo de inclinación de los colectores dependerá del uso del equipo solar.

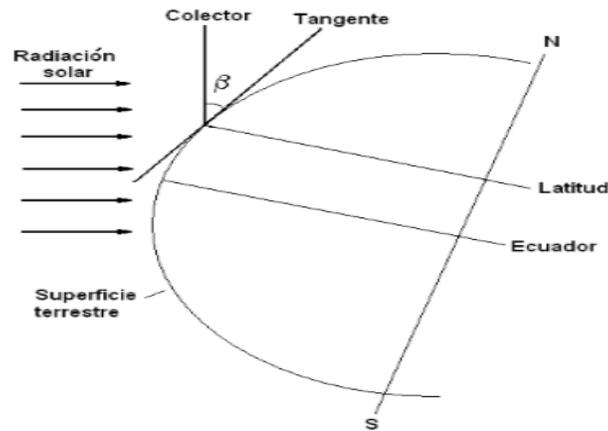


Fig. 2.18. Superficie terrestre respecto a la dirección de la radiación solar **Fuente:** (Rodríguez- Trujillo, 2015)

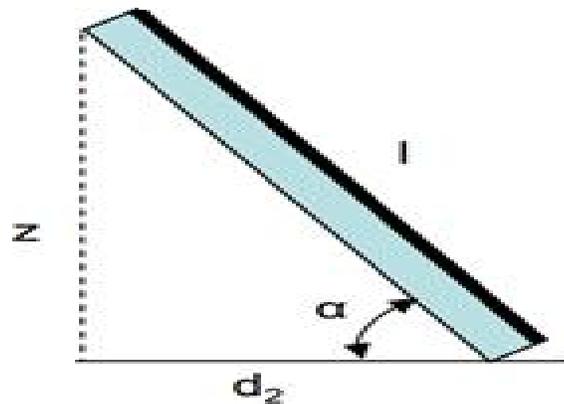


Fig. 2.19. Parámetros de colocación de los calentadores. **Fuente:** Elaboración propia

2.8.4. Altura

La altura Z se determina como:

$$Z = L * \sin \alpha \quad \text{Ec. 2.2}$$

2.8.5. Área del corredor

El área del corredor será:

$$A_{cor} = n_1 * a_c * d_2 \quad \text{Ec. 2.3}$$

Donde:

n_1 – número de colectores en una fila

a_c – ancho del colector

d_2 – la base

La base será:

$$d_2 = \frac{Z}{\tan \alpha} \quad \text{Ec. 2.4}$$

Z – altura

El ancho del colector será:

$$a_c = \sqrt{A_c} \quad \text{Ec. 2.5}$$

A_c – Área de un colector (por catálogo).

2.8.6. Área total ocupada

Finalmente se determina el área total ocupada por el sistema por la expresión:

$$A = n(A_c + 0,01A_c) + kA_{cor} \quad \text{Ec. 2.6}$$

Donde:

A_c – Área de un colector (por catálogo).

n – número de colectores

A_{cor} – Área de corredor

k – número de filas

2.8.7. Instalación de los colectores

Se recomienda que los captadores que integren la instalación sean del mismo modelo, tanto por criterios energéticos como por criterios constructivos. Los captadores se dispondrán en filas constituidas, preferentemente, por el mismo número de elementos.

2.8.8. Conexión entre las filas de captadores se puede hacer en paralelo o en serie

- En la conexión en serie el agua atraviesa todos los colectores para realizar un ciclo, adquiriendo mayor temperatura. Los inconvenientes que se presentan son que el agua debe vencer una resistencia mayor para atravesar los circuitos. Además, en cada colector la temperatura del agua iría en aumento hasta llegarla último colector donde se producirían muchas pérdidas de calor.
- La conexión en paralelo es mucho más efectiva puesto que la resistencia al paso del agua es menor. Incluso si un colector dejara de funcionar los demás no se verían afectados por lo que es la instalación que se va a emplear en el proceso.

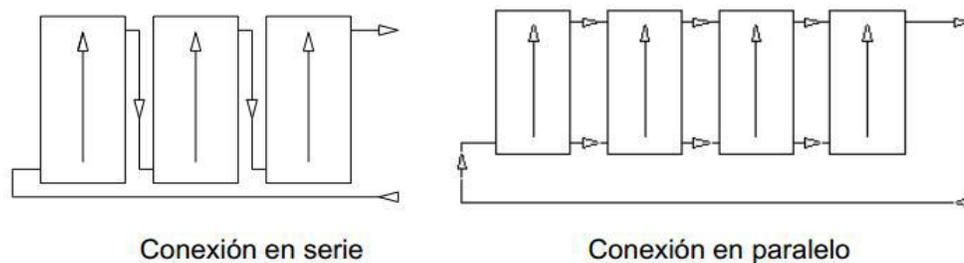


Fig. 2.20. Conexiones para el montaje de los calentadores. **Fuente:**(Rodríguez- Trujillo, 2015)

2.8.9. Cálculos de la red hidráulica

El cálculo de caudales se basa en el Principio de Bernoulli (Rosabal- Vega, 2006) que, considerando el rozamiento presente en las paredes de la tubería al desplazarse el líquido, la ecuación entre dos puntos 1 y 2 se puede expresar como:

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho * g} + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2 * g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho * g} + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2 * g} + \sum h \quad \text{Ec. 2.7}$$

Donde

z: altura geométrica (m)

P: presión manométrica (Pa)

V: velocidad media del fluido (m/s)

ρ : densidad del fluido (kg/m^3)

$g = 9,81\text{m/s}^2$: Aceleración de la gravedad

Σh : Sumatoria de las pérdidas geométricas y por rozamiento (m)

Siendo las expresiones para el cálculo de las pérdidas geométricas y por rozamiento las siguientes:

Para las pérdidas locales (Ibáñez- Estarelles, 2017):

$$h_{loc} = \sum K_i * \frac{v^2}{2g} \quad \text{Ec. 2.8}$$

Para las pérdidas por fricción:

$$h_f = f * \frac{l}{d} * \frac{v^2}{2g} \quad \text{Ec. 2.9}$$

El factor de fricción, f, es función del número de Reynolds y de la rugosidad relativa de la tubería. El número de Reynolds se calcula a partir de:

$$Re = \frac{V*d*\rho}{\mu} = \frac{V*d}{\nu} \quad \text{Ec. 2.10}$$

Donde:

V: Velocidad media del líquido en la sección transversal de la tubería (m²/s)

d: Diámetro de la tubería (m)

μ: Viscosidad dinámica (N·s/m)

ν: Viscosidad cinemática (m²/s)

ρ: Densidad (kg/m³)

Tipo de régimen

– Re < 2000, Régimen laminar

– Re > 4000, Régimen turbulento

– 2000 < Re < 4000, hay incertidumbre sobre el régimen

La rugosidad relativa $\left(\frac{\epsilon}{D}\right)$. Con Re y $\left(\frac{\epsilon}{D}\right)$ se obtiene el valor f del diagrama de Moody.

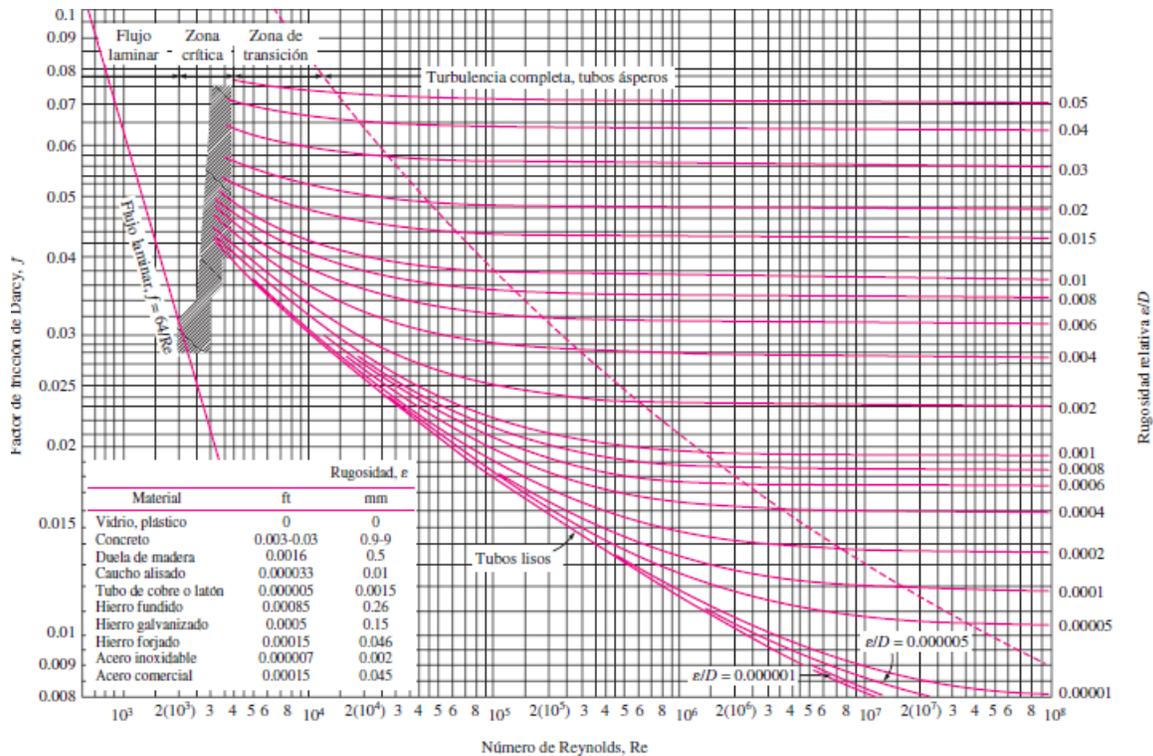


Fig. 2.21. Diagrama de Moody. **Fuente:** (CENGEL, 2007)

2.8.10. Comprobación de satisfacción de la demanda

Para que el cálculo de la instalación sea aceptable, debe saberse cuál es la demanda de agua caliente o fluido en función de la hora del día. Entonces se puede determinar un valor aproximado de la demanda de energía por Batch, por medio de la ecuación:

$$Q_1 = m_1 * C_p * (T_s - T_1) \quad \text{Ec.2.11}$$

Q_1 = demanda de energía diaria, (kcal)

m_1 = demanda de agua caliente, (kg)

T_s = temperatura de demanda del fluido (°C)

T_1 = Temperatura del fluido en el depósito frío, (°C)

C_p = Calor específico del agua, (1 kcal/kg °C)

Teniendo en cuenta las pérdidas del sistema y lo requerido para calentar la masa de reserva de agua, se estipula el valor aproximado de la energía útil que debe ganar la batería de los colectores en un día por la fórmula

$$Q_t = \# \text{ Batch} * \sum Q_l \quad \text{Ec. 2.12}$$

El valor de la radiación solar incidente HT se puede hallar por la ecuación:

$$Ht = (H - Hd)Rd + \left[Hd \frac{(1+\cos\beta)}{2} \right] + \left[H \frac{(1-\cos\beta)\rho t}{2} \right] \quad \text{Ec. 2.13}$$

ΣHt = Puede ser obtenida por métodos experimentales cuando se tiene un Pirómetro. En Cuba $\Sigma Ht \approx 4800$ kcal

2.9. Energía consumida por otro medio de calentamiento

Energía necesaria para calentar el agua por otros medios de calentamiento. Se parte del procedimiento de calcular la cantidad de calor sensible que se necesita para que cierta masa de líquido cambie la temperatura desde un valor inicial hasta el valor final deseado. Se representa por la fórmula (García, 2001):

$$Q = \frac{m}{T} * C_e * (t_f^\circ - t_i^\circ) \quad \text{Ec. 2.14}$$

- Q es la cantidad de calor entregada o recibida por un cuerpo (kcal)
- m es la masa del cuerpo (kg)
- T es el tiempo Batches (h)
- Ce es el calor específico de la sustancia (kcal/Kg°C)
- T_i° es la temperatura inicial del cuerpo (°C)
- T_f° es la temperatura final del cuerpo (°C)

2.10.1. Fuel oíl consumido

Se puede calcular la cantidad necesaria de fuel oíl para obtener la misma cantidad de calor empleada para calentar el agua diariamente según:

$$\text{Fuel oíl} = \frac{Q}{PC} \quad \text{Ec.2.15}$$

- Q es la cantidad de calor entregada o recibida por un cuerpo (kW)
- PC es el poder calórico del fuel oíl (11,1 kW/kg)

2.10. Sistema auxiliar

Como medio sistema auxiliar se emplearán en este proceso resistencias eléctricas (5kW) las cuales no permitirán que, en días de lluvia, nublados o rotura de los equipos no se detenga el proceso.

2.11. Metodología de la estimación de costo

Para realizar la estimación de costo de un proyecto hay que tener en cuenta el costo total de inversión, que incluye costo del equipamiento, costo de la ingeniería, costo de materiales, entre otros indicadores que serán calculados por la metodología propuesta por (Peters, 1991). Antes de realizar cualquier cálculo, primeramente, se deben actualizar los costos que se tienen como referencia, utilizando un índice de costo. Para la actualización de los costos se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Costo actual} = \text{Costo original} * \frac{\text{Índice de costo actual}}{\text{Índice de costo original}} \quad \text{Ec.2.16}$$

2.11.1. Costo total del equipamiento (CTE)

El costo del equipamiento (EC) es la suma de los costos de equipo de los componentes, los que incluyen el costo de los calentadores y el costo del equipo auxiliar.

$$EC = \text{costo de los calentadores} + \text{EquipamientoAuxiliar} \quad \text{Ec. 2.17}$$

2.11.2. Costo total de inversión (CTI)

Para determinar el costo total de inversión se utiliza la metodología propuesta por (Peters, 1991), por lo que los costos directos e indirectos, así como el capital fijo invertido se calcularan utilizando como base la Tabla 17 de este libro. Para determinar los por cientos que se utilizan en este procedimiento se debe tener en cuenta que el cálculo se realiza para un circuito o sistema que está incluido dentro de una unidad de proceso, no para una planta completa, por lo que muchos de los aspectos que se tienen en cuenta en esta metodología para el presente caso de estudio son adaptados a las condiciones reales.

2.11.3. Análisis económico del diseño seleccionado

Después de calculado el costo total de la inversión y seleccionado el diseño adecuado se calcula el costo de producción, la depreciación y la ganancia para poder determinar el valor actual neto, la tasa interna de retorno y el período de recuperación de la inversión.

2.11.4. Costo total de producción

Para estimar el costo total de producción se utilizan los factores de proporción y las ecuaciones que se encuentran en la Tabla 27.

$$CTP = \text{Costo de fabricación (CF)} + \text{Gastos Generales (GG)} \quad \text{Ec.2.18}$$

$$CF = \text{Costos directos (CD)} + \text{Costos Indirectos (CI)} \quad \text{Ec. 2.19}$$

$$GG = \text{Distribución y venta (DV)} + \text{Administración (A)} + \text{Investig. y Des. (ID)} \quad \text{Ec.2.20}$$

$$\text{Depreciación} = \frac{CFI-VR}{vd} \quad \text{Ec. 2.21}$$

2.11.5. Cálculo de la ganancia

El objetivo fundamental del diseño del calentador solar es disminuir el consumo de energía eléctrica y por ende de combustible fósil en la producción de biofertilizantes líquido

$$\text{Ganancia} = \text{Ingresos por biofertilizantes} - \text{CTP} \quad \text{Ec. 2.22}$$

2.11.6. Valor actual neto (VAN)

El valor del dinero en el tiempo significa que un determinado capital que se tiene en la actualidad va incrementando su valor en el futuro a determinada tasa de interés fijada, (Branan, 2000). Entonces, la evaluación del valor del dinero varía a través del tiempo según la siguiente expresión:

$$F = P * (1 + r)^i \quad \text{Ec. 2.23}$$

donde:

F- Valor futuro de una cantidad presente (P) de dinero, \$.

r - Tasa de interés fijada, fracción.

i - Año para el cual se desea determinar el valor futuro de la cantidad presente.

El proceso de actualización a valor presente se realiza por la ecuación:

$$P = \frac{F}{(1+D)^i} \quad \text{Ec. 2.24}$$

donde D es la tasa de descuento en fracción. La expresión por la que la suma futura es multiplicada se conoce como “factor de descuento”

$$\text{Factor de descuento} = \frac{1}{(1+D)^i} \quad \text{Ec. 2.25}$$

Entonces el valor actual neto (VAN) es el valor de los flujos de caja proyectados para todos los años durante el período de evaluación del proyecto, siendo positivo si el saldo entre beneficios y gastos es favorable, y negativo en caso contrario. Visto así:

$$\text{VAN} = -K_0 + \sum_{i=1}^n * \frac{F_{C_i}}{(1+D)^i} \quad \text{Ec. 2.26}$$

donde K_0 es la inversión inicial, F_{C_i} es el flujo de caja en el año i y D es la tasa de descuento real utilizada.

2.11.7. Tasa interna de retorno (TIR)

Se define como aquella tasa de descuento que reduce a cero el Valor Actual Neto. La TIR representa el porcentaje o tasa de interés que se gana sobre el saldo no recuperado de una inversión, de forma tal que, al finalizar el período de evaluación o vida útil, el saldo no recuperado sea igual a cero. Analíticamente la TIR se determina como:

$$0 = -K_0 + \sum_{i=1}^n \frac{F_{C_i}}{(1+TIR)^i} \quad \text{Ec. 2.27}$$

Como se puede observar en la ecuación 2.27, su solución requiere de un análisis iterativo. El análisis de la inversión se hace teniendo en cuenta dos factores: primero, debe ser tal su ganancia, que compense los efectos inflacionarios, y, en segundo término, debe poseer un premio o sobretasa por arriesgar el dinero en determinada inversión. Entonces, para esto se valora la tasa mínima aceptable de retorno (TMAR).

Se define TMAR como:

$$TMAR = i + f + i * f \quad \text{Ec. 2.28}$$

donde i es la inflación y f es el premio del riesgo.

Como puede observarse en la ecuación 2.26 el valor del VAN es inversamente proporcional al valor de D de modo que, si la tasa mínima aceptable de retorno es muy alta, el VAN puede volverse negativo, y en ese caso se rechazaría la inversión (Silla, 2003). Si el $TIR > TMAR$, se acepta la inversión. El criterio de aceptación de evaluación se analizará de la siguiente forma: si $VAN \geq 0$, acéptese el proyecto; si $VAN < 0$, rechácese.

2.11.8. Período de recuperación de la inversión (PRI)

El Periodo de Recuperación de la Inversión se considera como indicador que mide tanto la liquidez del proyecto como el riesgo relativo, pues permite anticipar los eventos en el corto plazo (Towler, 2009; Vaquiro C., 2010).

Es importante anotar que este indicador es un instrumento financiero que, al igual que el Valor Actual Neto y la Tasa Interna de Retorno, permite optimizar el proceso de toma de decisiones.

El PRI es un instrumento que permite medir el plazo de tiempo que se requiere para que los flujos netos de efectivo de una inversión recuperen su costo o inversión inicial. Es el tiempo en que se recupera la inversión inicial para una tasa de descuento D considerada. Se calcula como el momento para el cual el VPN se hace cero.

$$0 = -K_0 + \sum_{i=1}^{\text{PRI}} \frac{F_{C_i}}{(1+D)^i} \quad \text{Ec. 2.29}$$

Para obtener el valor del PRI, a la inversión inicial se le van adicionando gradualmente los flujos de caja anuales hasta que el resultado sea cero, en ese momento se ha recuperado la inversión. El VAN, TIR y PRI pueden ser calculados mediante técnicas computarizadas, como el EXCEL.

Conclusiones parciales del Capítulo 2

1. La caracterización de la unidad objeto de estudio permitió conocer los parámetros operacionales más influyentes (área, volumen, temperatura del agua al salir) y su rango de operación, así como las composiciones de las corrientes, lo que permitió establecer los límites del estudio.
2. Teniendo en cuenta el análisis de las ventajas y desventajas de las diferentes alternativas de calentador solar se determinó que el tipo de calentador solar más idóneo para desarrollar el proceso es el de tubos al vacío.
3. El análisis económico permite determinar la viabilidad del diseño seleccionado anteriormente y en consecuencia aportar criterios integrales para la toma de decisiones con respecto a la futura inversión para mejorar el proceso de producción de biofertilizantes líquido y reducir la emisión de CO₂ al ambiente.

Capítulo 3: Resultados de la aplicación de la metodología

En este capítulo se desarrolla la metodología de diseño calentador solar de tubos al vacío propuestos. Posteriormente se calcula el costo del equipamiento para seleccionar el diseño más económico y se realiza el análisis económico determinando el VAN, TIR y PRI para comprobar la sustentabilidad de la propuesta de mejora.

3.1. Selección del calentador

Teniendo en cuenta que los parámetros más importantes para la selección del calentador solar es el volumen y la temperatura de salida se decidió utilizar los calentadores de agua solar detuvo al vacío, modelo LPC 47-1525-30 ACF, al ver las cualidades que posee este, tanto de eficiencia, rendimiento y capacidad.

Tabla 3.1 Calentadores solares de tubos al vacío producidos en Cuba.

Datos técnicos	LPC 47-1525-30 ACF
Capacidad tanque (l)	200
Producción (l/día a 50 °C)	300
Eficiencia	75 %
Tanque interior	Ø 350 mm, material Acero inoxidable SUS, 304-2B, Espesor 0,5 mm
Tanque exterior	Ø 450 mm, material Acero prelacado, Espesor 0,4 mm
Aislamiento térmico	Espuma de poliuretano de espesor 50 mm
Tubo de vacío	Dimensiones Ø 47 x 1 500 mm
Cantidad de tubos	25
Unión tubo tanque	Anillo de silicona ø 47 mm
Diámetro de conexión	15 mm (1/2" NPT)
Presión de trabajo	Atmosférica
Área bruta/de apertura (m ²)	3,9/2,4
Peso vacío/lleno	50/260
Respaldo eléctrico	(En el tanque) 1,5 kW (Opcional)
Soldadura	Automática de Argón-Continua de contactos

Fuente:(Rodríguez- Trujillo, 2015)

Tabla 3.2 Características de los tubos de vacío

Datos técnicos tubos de vacío	LPC 47-1525-30 ACF
Material Cristal de boro-silicato	3,3/nitrito de aluminio
Dimensiones exterior	47 mm
Dimensiones interior	37 mm
Espesor	1,6 mm
Longitud	1 500 mm
Absortividad del recubrimiento selectivo	$\geq 0,92$ (AM 1,5)
Emisividad del recubrimiento selectivo	$\leq 0,065$ (80 °C \pm 5 °C)
Vacío	$< 3 \times 10^{-2}$ Pa
Exposición a la radiación solar	$\leq 3,0$ MJ/m ²
Coefficiente promedio de pérdidas de calor	$< 0,70$ W/ (m ² °C)
Recubrimiento selectivo	Nitrato de aluminio
Máxima presión	0,6 MPa
Resistente a impactos de granizo de hasta	25 mm
Con el anclaje adecuado resiste vientos máximos de hasta	150 km/h

Fuente:(Rodríguez- Trujillo, 2015)



Fig. 3.1 Calentador de agua LPC 47-1525-30 ACF. **Fuente:**(Rodríguez- Trujillo, 2015)

3.2. Cálculo del número de colectores

La demanda de energía por Batch obtenida por medio de la ecuación 2.11 y conociendo que

$T_s = 60$ °C, $T_1 = 25$ °C y $m_1 = 750$ kg es:

$$Q_1 = 750 \text{ kg} * 1 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C} * (60 \text{ } ^\circ\text{C} - 25 \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$Q_1 = 26\,250 \text{ kcal}$$

Entonces la demanda de energía necesaria en un día de trabajo para calentar según la ecuación 2.12:

$$Q_t = 4 * 26\ 200 \text{ kcal}$$

$$Q_t = 105\ 000 \text{ kcal}$$

Para el cálculo del número de colectores se obtiene por la ecuación 2.1 y se sabe que $A_c = 3,9\text{m}^2$, $Q_t = 105\ 000 \text{ kcal}$, $\sum H_t \approx 4800 \text{ kcal}$ y que la eficiencia es del 75 %.

$$N_c = 105\ 000 / 0,75 * 3,9 * 4800$$

$$N_c = 8$$

Para satisfacer la demanda de energía diaria se obtiene por cálculo 8 colectores, pero para suplir la disponibilidad de agua se trabaja con 15 con una capacidad de 200l por colector lo que representa un volumen total de 3000 l diarios para así garantizar la demanda de agua del proceso por día.

3.3. Colocación de los colectores

Según la ecuación 2.2 y teniendo en cuenta que $\alpha = 30^\circ$ y $L = 1,5 \text{ m}$ la altura es de:

$$Z = 1,5 \text{ m} * \sin 30^\circ$$

$$Z = 0,750\text{m}$$

Entonces según la ecuación 2.4 la base es de:

$$d_2 = \frac{0,750\text{m}}{\tan 30^\circ}$$

$$d_2 = 1,299 \text{ m}$$

Por tanto, según la ecuación 2.5 el ancho del colector es de:

$$a_c = \sqrt{3,9}$$

$$a_c = 1,97 \text{ m}$$

y según la ecuación 2.3 el área del corredor será:

$$A_{cor} = 5 * 1,97 \text{ m} * 1,299 \text{ m}$$

$$A_{cor} = 12,10 \text{ m}^2$$

Finalmente se determina el área total ocupada por el sistema según la ecuación 2.6:

$$A = 15(3,9 \text{ m}^2 + 0,01 * 3,9 \text{ m}^2) + 3 * 12,10 \text{ m}^2$$

$$A = 97,58 \text{ m}^2$$

Los calentadores se montarán en el techo de la fábrica de forma lineal, uno al lado del otro en tres hileras de 5 equipos.

La base del tanque se construirá para soportar el peso que ofrece al tener una capacidad máxima de 3000 l y se ubicará sobre el mismo techo lo más cerca posible de los calentadores, para favorecer a la estabilidad de la instalación.

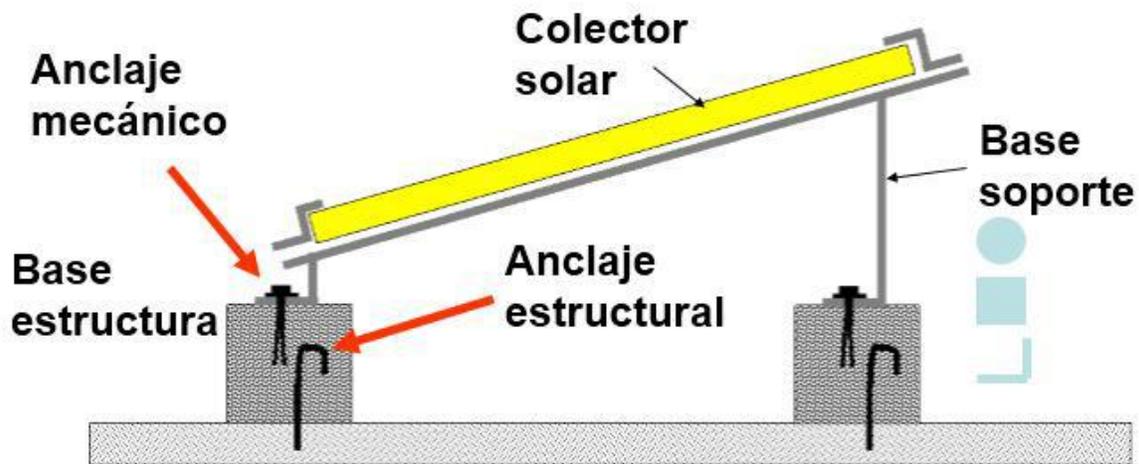


Fig. 3.2. Ejemplo al terminar el montaje. **Fuente:** (María Vertiz, 2015)

3.4. Cálculos de la red hidráulica

Diámetro de las tuberías

Se empleará en el proceso tuberías de acero galvanizado con un diámetro nominal de 25 mm.

Caudal

Para evitar la abrasión de las tuberías debida a la corriente líquida, hay que considerar secciones suficientes de las conducciones y procurar velocidades no superiores a 2 m/s en el caso de tuberías rugosas y a 3,5 m/s en tuberías lisas.

$$Q = v * A \quad \text{Ec. 3.1}$$

Donde:

- Q es el caudal (m³/s)
- A es el área de la sección transversal de la tubería (m²), la cual se determina de la siguiente manera

$$A = \frac{\pi * d^2}{4} \quad \text{Ec. 3.2}$$

$$A = \frac{3,14 * (0,025)^2}{4}$$

$$A = 0,00049 \text{ m}^2$$

- v es la velocidad media de circulación del fluido (m/s), determinándose de la siguiente ecuación MANNING- STRICKLER, que se asume que el régimen es turbulento.

$$v = K * \left(\frac{D}{2}\right)^{\frac{2}{3}} * J^{0,5} \quad \text{Ec. 3.3}$$

$$v = \frac{1}{0,011} * 0,01250^{\frac{2}{3}} * 0,2^{0,5}$$

$$v = 2,13 \text{ m/s}$$

v = velocidad del agua (m/s)

K = coeficiente de rugosidad, depende del material de la tubería y del estado de esta. Existen varias expresiones para este coeficiente obtenidas de forma experimental por varios investigadores como: Manning; Bazin; Kutter; Strickler, entre otros.

J = gradiente de energía (m/m)

$$J = \frac{z_1 - z_2}{l} \quad \text{Ec. 3.4}$$

– Z_1 y Z_2 son las alturas

– l es la longitud

$$K = \frac{1}{n} \quad \text{Ec. 3.5}$$

n es el coeficiente de Manning que para el caso de las tuberías de acero galvanizado es de 0,011

El número de Reynolds se calcula a partir de la ecuación 2.10 y sabiendo que la $v = 2,13$ m/s, la viscosidad cinemática del agua 25 °C es $\nu = 0,000000941 \text{ m}^2/\text{s}$ y el diámetro $d = 0,025$ m:

$$\begin{aligned} \text{Re} &= \frac{V * d}{\nu} \\ \text{Re} &= \frac{2,13 * 0,025}{0,000000941} \\ \text{Re} &= 55\,232,8509 \end{aligned}$$

Teniendo en cuenta que el Reynolds es mayor que 4 000 el régimen es turbulento lo que nos permite afirmar que la consideración hecha anteriormente es correcta y la velocidad se puede calcular por la ecuación de MANNING- STRICKLER.

Entonces

$$Q = 2,13 * 60 * 0,00049$$

$$Q = 0,0627 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q = 3,76 \text{ m}^3/\text{h}$$

Con este flujo calculado los reactores se llenarán en 24 minutos.

Para las pérdidas geométricas por resistencias locales se emplean los coeficientes que se señalan en la Tabla 3.2.

Tabla 3.3 Coeficientes para resistencias locales

Accesorios	Cantidad	Coefficiente k_i
Conexiones (T)	30	1,5
Codo (90°)	39	0,35
Válvula	36	1,8

Fuente: (Streeter-Víctor, 1982)

Para las pérdidas locales se emplea según la expresión 2.8.

$$h_{loc} = 30 * 1,5 + 39 * 0,35 + 36 * 1,8 \frac{(2.13)^2}{2 * 9,81}$$

$$h_{loc} = 73,5 \text{ m}$$

3.5. Energía necesaria para calentar el agua por otros medios de calentamiento

Otro medio de calentamiento son las resistencias eléctricas. A partir de la demanda energética por Batch determinada anteriormente se obtiene que se necesitan 30,52 kW. Por consiguiente, en un día se consumirán 122,08 kW y por tanto al año 26 857,6 kW

3.5.1. Consumo de Fuel Oil

El fuel oil tiene un poder calórico inferior a 11,1 kWh/kg (García, 2001), que es la cantidad total, de calor desprendido en la combustión completa de una unidad de volumen de combustible, sin contar la parte correspondiente al calor latente del vapor de agua generada en la combustión, ya que no se produce cambio de fase, y se expulsa como vapor. Se puede calcular la cantidad necesaria de Fuel Oil para obtener la misma cantidad de calor empleada para calentar el agua diariamente según la ecuación 2.15 obteniéndose:

$$\text{Fuel oil} = \frac{30,52 \text{ kW}}{11,1 \text{ kW/kg}}$$

$$\text{Fuel oil} = 2,75 \text{ kg}$$

Esta cantidad de Fuel oil representa un consumo por batch de 2,75 kg, siendo por día 11 kg y al año 2 431 kg.

Los datos obtenidos desprenden un ahorro de 2,75 kg diarios lo que sería 2 431 kg anuales representando un ahorro considerable en la economía de la empresa y por ende del país. Importante también tener en cuenta cuánto CO₂ se deja de emitir a la atmósfera anualmente.

3.6. Valoración económica y medioambiental

Un calentador solar de agua de tubos al vacío puede durar funcionando entre 15 y 20 años, brindando beneficios los cuales los podemos clasificar en dos: económicos y ambientales.

3.6.1. Costo total del equipamiento (CTE)

Para determinar el costo del equipamiento para lo que se definieron los equipos mostrados en la tabla 3.4. Los datos de los costos del equipamiento para el año 2020 se obtuvieron del proveedor (ALASTOR, Siebec, Grundfos).

Tabla 3.4. Costo del equipamiento

Equipo	U	Costo Unitario	Costo Total
Reactor 1,5 m ³	2	6 100	12 200
Polipasto	1	5 050	1 550
Calentador Solar	15	300	4 500
Bomba centrífuga	4	5 664	22 656
Filtro Prensa	1	1 550	1 550

Fuente: Elaboración propia

3.6.2. Costo total de inversión (CTI)

Con el costo total del equipamiento calculado anteriormente se calcula el costo total de inversión. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5 Costo total de inversión del proceso de desulfuración (CUC)

Elementos	Costos	
Costo Directo		
Costo total actual de equipamiento	100 %	42 456,00
Costo de instalación del equipamiento	15 %	6 368,40
Instrumentación y Controles (instalados)	10 %	4 245,60
Tuberías (instaladas)	10 %	4 245,60
Electricidad (instalada)	1 %	424,56
Construcciones (incluyendo servicios)	5 %	2 122,80
Costo total directo de la planta	141 %	59 862,96
Costo Indirecto		
Ingeniería y supervisión	10 %	4245,60
Arranque	1 %	424,56
Prueba de rendimiento	1 %	424,56
Contingencia	3 %	1 273,68
Costo total indirecto de la planta	15 %	6 368,40
Capital fijo invertido (CFI)	156 %	66 231,36
Capital laboral (10% CFI)	10 %	6 623,14
Capital total actual invertido	171,6 %	72 854,50

Fuente: Elaboración propia

3.7. Desarrollo de la evaluación económica

3.7.1. Costo total de producción

Para el cálculo del costo total de producción se utilizaron las ecuaciones 2.18-2.21. Primeramente, se determinó la depreciación para 20 años de vida útil y 0 de valor residual:

$$\text{Depreciación} = \frac{66\,231,36 - 0}{20} = 3\,311,57 \frac{\text{CUC}}{\text{año}}$$

El costo de fabricación se calculará utilizando la tabla 3.6

$$C_f = \text{Costos directos (CD)} + \text{Cargos Fijos (CF)} + \text{Costos Indirectos (CI)}$$

$$C_f = 0,27 \text{ CTP} + 374\,436,65 \text{ CUC}$$

Para el cálculo de los gastos generales se tuvieron en cuenta los gastos administrativos y distribución y venta de los aspectos pues en el caso de estudio no tienen incidencia los aspectos restantes:

$$GG = \text{Distribución y venta (DV)} + \text{Admón. (A)} + \text{Investig. y Des. (ID)}$$

$$GG = 0,12 \text{ CTP}$$

Tabla 3.6. Tabla de estimación de los costos de la materia prima (CUC)

Materia prima	Cantidades posadas (g)	Producción anual (t)	Precio (CUC/t)	Total (CUC/t)
DAP	56,6	150,10	450	67 546,44
Nitrato de Potasio	66,6	176,62	1 605	283 480,236
Urea	15,04	39,88	407,3	16 245,6004
Agua	360	954,72	1,33	1 269,7776
Cianobacteria	2	5,304		0
Precio total				368 542,054

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.7. Tabla de estimación de los costos de fabricación (CUC)

Costos Directos		
Componentes	%	Costo (CUC)
Materia prima		368 542,054
Mano de obra (10 % CTP)	0,1	0,1
Supervisión (1 % CTP)	0,01	0,01
Requerimientos (1 % CTP)	0,01	0,01
Mantenimiento y reparación (2 % CFI)	0,02	1 324,63
Laboratorio (10 % CTP)	0,1	0,10
Suministro (0,5 % CFI)	0,005	331,16
CD = 0,22 CTP + 370197,84		
Cargos Fijos		
Componentes	%	Costo (CUC)
Depreciación (5 % CFI)	0,05	3 311,57
Impuestos (1 % CFI)	0,01	662,31
Seguros (0,4 % CFI)	0,004	264,93
CF = 4238,81		
Costos Indirectos		
Otros costos (5 % CTP)	0,05	0,05
CI = 0,05 CTP		

Fuente: Elaboración propia

Con los valores de los costos de fabricación y los gastos generales se determinó el costo total de producción:

$$CTP = \text{Costo de fabricación (Cf)} + \text{Gastos Generales (GG)}$$

$$CTP = 0,39 CTP + 374\,436,65 \text{ CUC}$$

$$CTP = 613\,830,57 \text{ CUC}$$

3.7.2. Cálculo de la ganancia

Con los resultados del costo total de producción y los ingresos por ventas del CBFERT se determinó la ganancia mediante la ecuación 2.22:

Ingresos por la venta de CBFERT

Costo unitario del CBFERT = 600 CUC/t

$$\text{Ingreso por CBFERT} = 6 \frac{\text{t}}{\text{día}} \cdot 221 \frac{\text{día}}{\text{año}} \cdot 600 \frac{\text{CUC}}{\text{t}} = 795\,600 \text{ CUC/año}$$

$$\text{Ganancia} = \text{Ingresos por CBFERT} - \text{CTP}$$

$$\text{Ganancia} = 795\,600 - 613\,830,57 = 181\,769,43 \text{ CUC}$$

3.7.3 Cálculo del VAN, TIR y PRI

Inicialmente se identificaron las variables económicas que se tienen en cuenta para este análisis: ingresos por ventas; costos de producción, gastos generales y costo total de inversión. Con dichas variables y los flujos de caja de la propuesta tecnológica se obtuvieron los indicadores económicos de VAN, TIR y PRI que se muestran en la tabla 3.9 calculados por las ecuaciones 2.26 y 2.27 cuyo procesamiento se hizo a través del *software Microsoft Excel* y para el que se obtuvo el comportamiento del VAN en el tiempo (ver figura 3.3).

Tabla 3.8 Resultados de VAN, TIR y PRI

VAN	TIR	PRI
1 904 258,59 CUC	67 %	2,5 años

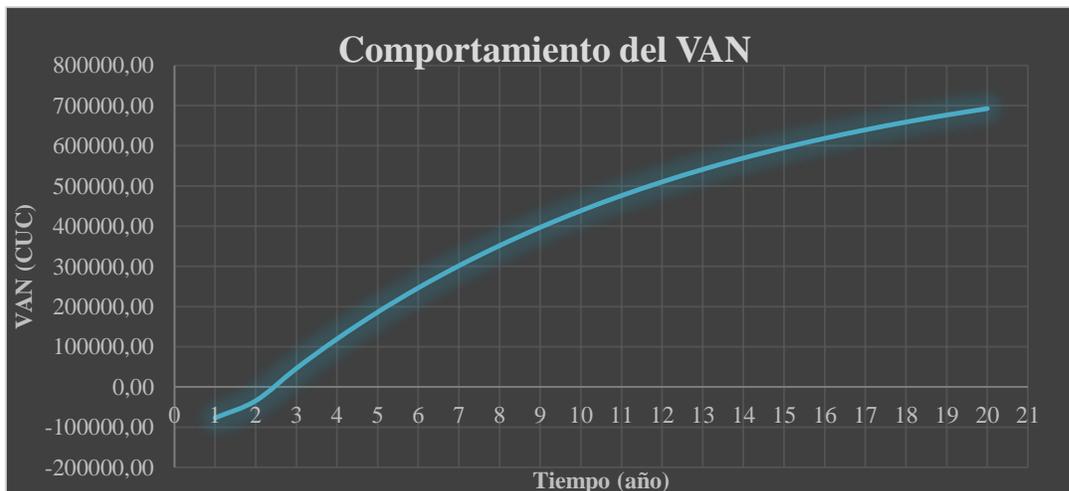


Figura 3.3: Comportamiento del VAN vs Tiempo **Fuente:** Elaboración propia

3.8. Análisis ambiental

El uso de los calentadores solares permite mejorar en forma importante nuestro entorno ambiental. Los problemas de la contaminación en las zonas urbanas son provocados por los combustibles utilizados en el transporte la industria y los hogares, lo cual contribuye en conjunto al deterioro de la calidad del aire y la emisión de gases de efecto invernadero. Cada vez más utilizada energía del sol ha demostrado ser una alternativa viable para los procesos industriales y para colaborar con la protección y cuidado del medio ambiente, logrando minimizar la contaminación ambiental.

Las ventajas de construir este tipo de eco-técnica son múltiples:

- Se usa la energía del sol que es limpia, infinita y gratis.
- Los materiales usados son baratos y casi todos se pueden obtener del reciclado urbano.
- Es una tecnología a favor del medio ambiente.
- No produce ruido ni contaminación.

3.8.1. Emisiones de CO₂ producto de la combustión anualmente.

Al analizar las variables con las que contamos nos percatamos que la densidad del fuel oíl es de 0,9998 kg/L y cuenta con un factor de emisión de 3,16 kgCO₂/kg de fuel oíl (N. O. Acuña, 2015), por lo que tendríamos un descuento de emisión de alrededor de los 7646,757 kg de CO₂ anuales al ambiente.

Conclusiones parciales del Capítulo 3

- 1.El calentador solar de tubos al vacío seleccionado por su volumen y la temperatura de salida que se decidió utilizar fue, modelo LPC 47-1525-30 ACF.
2. El diseño de una batería de 15 calentadores solares para calentar el agua permitió dejar de consumir alrededor 122,08 kW en un día y por tanto al año 26 857,6 kW.
3. La evaluación económica arrojó un VAN de 1 904 258,59 CUC, con un 67 % de TIR para obtener como PRI 2,5 años, lo que demuestra la viabilidad económica de la propuesta de mejora tecnológica para el proceso de producción de CBFERT.

Conclusiones

1. A partir del análisis bibliográfico relacionado al proceso de producción de CBFERT condujo a la selección de la propuesta de mejora encaminada a la disminución el consumo de energía fósil y de la emisión de CO₂ a la atmosfera.
2. El diseño de una batería de 15 calentadores solares para calentar el agua eliminó la emisión de alrededor de los 7646,757 kg de CO₂ anuales al ambiente, por consiguiente, permitió ahorrar 26 857,6 kg anuales.
3. La propuesta de mejora tecnológica para el proceso de producción de CBFERT resultó factible desde el punto de vista técnico, económico y ambiental pues presenta buenos índices de rentabilidad, que avala la viabilidad de ejecución para la inversión.

Recomendaciones

1. Realizar estudios de composición química a la torta obtenida del proceso de filtración la cual gracias a su contenido en nutrientes aprovechables por el suelo pueden ser utilizados como fertilizantes sólidos en cultivos menores.
2. Utilizar más instrumentación autonómica para disminuir el grado de error y facilitar un trabajo más favorable para las condiciones humanas.
3. Realizar los cálculos para proponer un sistema de paneles solares que sea capaz de asumir el consumo completo de la planta y así tendríamos 0 consumo energético.

Bibliografía

1. Acuña, N. O. (2015). *El uso de biofertilizantes en la agricultura.*, Laboratorio de Bioquímica de Procesos Orgánicos.
2. Acuña, O. (2004). *El uso de biofertilizantes en la agricultura.*
3. Agramarte, G. (2004). *Temas Técnicos. Enmiendas y Fertilizantes orgánicos. Fertirrigación y productos utilizables:* España. Recuperado de <http://www.agrimartin.com/Técnico.htm>.
4. Belger EU, F. A., Irschick. (1985). *La importancia de los nutrientes secundarios y elementos en la agricultura.*
5. Bértiz-Pérez, L. (2014). *Calentador solar de tubos al vacío,* <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia39/HTML/articulo02.htm>.
6. Bértiz-Pérez, L. (2014). *Ventajas y desventajas de los calentadores solares,* <http://www.cubasolar.cu/Biblioteca/Energia/Energia55/HTML/Articulo05.htm>. Cuba.
7. Bértiz -Pérez, L. Á.-G., M. (2008). *Manual para el cálculo y diseño de calentadores solares.* La Habana: Editorial Cubasolar.
8. Branam, C. R. (2000). *Soluciones prácticas para el Ingeniero Químico* (Primera edición en español ed.). (I. E. S.A, Ed.). México: McGraw-Hill.
9. Carvajal-Olmedo, B. P. (2011). *Plan de comercio exterior y negocios internacionales de la importación de calentadores solares* (Tesis presentada como requisito previo a la obtención del grado de Ingeniero comercio exterior y negocios internacionales), Escuela Politécnica del Ejército “Héroes del Cenepa”, Ecuador.
10. CENGEL, A. Y. (2007). *Transferencia de calor y de masa* (tercera edición) México, D. F.: MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA
11. CIES. (2006). “Centro de Investigaciones de la Energía Solar “*Presentación en el Taller Internacional Cubasolar.*
12. CLEANERGY-SOLAR-PORTAL. (2011). *La energía limpia, renovable y eficiente.* Recuperado el 15 de noviembre de 2014 <http://www.cleanergysolar.com/wp-content/uploads/2011/07/Localizacióndel-sur-geográfico-y-magnético>

13. Cortés-Martínez, R. (2016). *Propuesta de mejora tecnológica en la recuperación de azufre de la Refinería de petróleo de Cienfuegos*. (Tesis en opción al título de Ingeniero Químico), Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez", Cienfuegos.
14. Cubana, N. (1987). NC 15 – 68 *Sistemas solares para el calentamiento del agua empleando la circulación termosifónica*. cuba.
15. Cubana, N. (2010). NC 827: 2010 *Agua potable, requisitos sanitarios*. (pp. 4-8). Cuba.
16. Febles, J. M. (1998). *Apuntes para la necesidad de un cambio en el manejo y conservación de los suelos en Cuba*. III Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica.
17. García, S. J. R. (2001). *Combustión y combustibles de Ingeniero Industrial*.
18. Ibáñez- Estarelles, D. (2017). *Diseño de una planta de producción de fertilizantes NPK líquidos con una producción de 300 Tm/día situada en el polígono industrial "El Tossalet" de Bélgica*. (Tesis en opción al título de Ingeniero Químico), Universidad Politécnica de Valencia
19. Kolsman, E. V., D., Managua. (1996). *Manual de agricultura ecológica*. Nicaragua.
20. Lembrikov. (1980). *Informe de fertilizantes líquidos*: ONUDI.
21. Leyva- Silva, M. I. (2006). *Análisis de alternativas para la selección del medio de calentamiento a emplear para la producción del Biofertilizante CBFERT* (Trabajo de diploma para optar por el título de Ingeniero Químico), Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echevarría", Ciudad de la Habana
22. Macías Rivera, Y. A. C. d. N., ACN. (2018). *Potencian producción de fertilizantes a favor del desarrollo agrícola.*, Agencia Cubana de Noticias.
23. María- Vertiz, J. (2016). *Calentadores solares; Energía renovable en tu hogar*. In Narvarte (Ed.). *Campaña de Energía y Cambio Climático*: México.
24. María Vertiz, J. (2015). *Calentadores solares, energía renovable en tu hogar.*: México D.F.
25. Marrero, P. (2002). *La agricultura cubana: Camino a la sostenibilidad*. Paper presented at the AGRONAT 2002. Recuperado de <http://www.ucf.edu/urbes/ed/conferencia>.

26. Moldovan I., P., N. and Chivu, G. (1969). *The technology of mineral fertilizers*. Inglaterra: Editorial The British Sulphur Corporation.
27. Monteagudo, J. P. (2004). *Eficiencia energética en la competitividad de las empresas CEEMA*. Universidad Carlos Rafael Rodríguez. Cienfuegos:
28. Núñez, M. A. (2000). *Manual de técnicas agro-ecológicas. México Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente: Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe*. ISBN 968791310X
29. ONUDI. (1985). Manual de fertilizantes, serie #13, *Desarrollo y Transferencia de Tecnología*. New York: Naciones Unidas.
30. Paz -Gutiérrez, J. C. (2006). *Colectores solares planos Construcción* (Vol. 2). Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México.
31. Peters, M., & Timmerhaus, K. (1991). *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*. (cuarta edición ed.). New York: McGraw-Hill International Editions.
32. Quintana, A., González, M., Rodríguez- Acosta, C., Quintan, E., & Cuesta, E. (2001). *Efecto en hortalizas de concentraciones diferentes de algas empleadas para enriquecer fertilizantes*. Paper presented at the IV Congreso Internacional de Química. XIII Conferencia del caribe de Química e Ingeniería Química.
33. Rodríguez- Acosta, C. (2001). *Vías para incrementar la solubilidad de los micronutrientes en la agricultura*. Paper presented at the IV Congreso Internacional de Química. XIII Conferencia del Caribe de Química e Ingeniería Química.
34. Rodríguez- Trujillo, Y. (2015). *Sistema de calentadores solares como alternativa de producción de agua caliente en la cocina de la Empresa de Productos Lácteos y Confiterías de Pinar del Río*. (Tesis presentada en opción al Título de Master en Eficiencia Energética.), Universidad Hermanos Saíz Montes de Oca, Pinar del Río.
35. Rosabal- Vega, M. J. G.-P., L. (2006). *Hidrodinámica y separaciones mecánicas*. La Habana: Editorial Félix Varela
36. Sánchez -García, Y. (2016). *Caracterización química del guano de aves marinas de la Isla San Jerónimo, Baja California, México y su viabilidad como fertilizante agrícola*. (Requisitos necesarios para obtener el grado de Maestro en Ciencias), Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California, México.

37. Sauchelli, V. (1966). *Química y tecnología de los fertilizantes*. México Editorial Continental.
38. Serra, M. (2007). *Calculo línea Norte-Sur a partir de observaciones solares*. Tenerife.: Instituto de astro física de Canarias.
39. Silla, H. (2003). *Chemical process engineering desing and economics*. New Jersey: Marcel Dekker, Inc.
40. Streeter-Víctor, L. (1982). *Mecánica de los Fluidos*. Cuba: Editorial Ciencia y Técnica.
41. Torres- Novo, R. (2017). *Taller de fertilizantes líquidos Cienfuegos*
42. Torres- Novo, R. (2019). *Determinar de características y atributos de los fertilizantes líquidos CaN, CBFERT*. Cienfuegos: CIIQ.
43. Towler, G., & Sinnott. R. (2009)). *Chemical Engineering Design. Principles and Practice and Economics of Plant and Process Design*. San Diego: Chemical engineering design.
44. Trojan, J. (1972). *Informe de fertilizantes líquidos*. ONUDI, CIIQ.
45. Vaquiro C., J. D. (2010). *Período de recuperación de la inversión (PRI)*. Recuperado de <http://pymesfuturo.com/pri.htm>.