

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMATICAS  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS QUIMICAS Y AMBIENTALES

PROYECTO DE GRADUACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

“MAGÍSTER EN CIENCIAS AMBIENTALES”

TEMA

VALORACIÓN DE LA APLICACIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES COMO SISTEMAS  
COMPLEMENTARIOS AL PROCESO DE SECADO DE GRANOS DE CACAO. CANTÓN  
CALUMA

AUTOR(ES)

RIGOBERTO GERARDO ANGULO MONTESDEOCA

Guayaquil - Ecuador

AÑO

2017

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS QUÍMICAS Y AMBIENTALES

PROYECTO DE GRADUACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

“MAGÍSTER EN CIENCIAS AMBIENTALES”

TEMA

VALORACIÓN DE LA APLICACIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES COMO SISTEMAS  
COMPLEMENTARIOS AL PROCESO DE SECADO DE GRANOS DE CACAO. CANTÓN  
CALUMA

AUTOR

RIGOBERTO GERARDO ANGULO MONTESDEOCA

Guayaquil - Ecuador

AÑO

2017

## **DEDICATORIA**

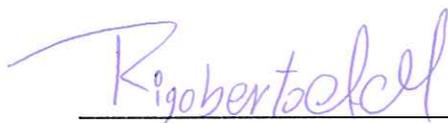
A toda mi familia que siempre me apoya en todos mis proyectos.

## **AGRADECIMIENTO**

Al personal del Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable que me apoyaron durante todo el desarrollo de este proyecto y a las personas que me colaboraron con sus conocimientos y me abrieron las puertas de su hogar.

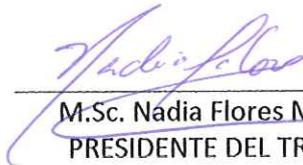
## DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad por los hechos y doctrinas expuestas en este proyecto de Graduación, me corresponde exclusivamente; el patrimonio intelectual del mismo, corresponde exclusivamente a la Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

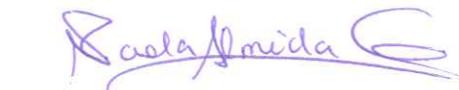


Ing. Rigoberto Angulo Montesdeoca

## TRIBUNAL DE GRADUACION

  
M.Sc. Nadia Flores Manrique  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

  
Dra. Emérita Delgado Plaza  
DIRECTOR DEL PROYECTO

  
Ph.D. Paola Almeida Guerra  
VOCAL DEL TRIBUNAL

## Tabla de Contenido

Capitulo 1. SECADO Y APLICACIÓN DEL PROCESO INDUSTRIAL.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 ALCANCE.....	2
1.3 PROBLEMÁTICA.....	3
1.4 SECADO .....	5
1.4.1 VARIABLES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE SECADO.....	5
1.4.2 SECADO DEL CACAO.....	6
1.5 TECNOLOGIAS UTILIZADAS PARA EL PROCESO DE SECADO.....	8
1.5.1 TECNOLOGIAS UTILIZADAS EN ECUADOR.....	14
1.6 AREA DE ESTUDIO .....	15
Capitulo 2. METODOLOGÍA .....	17
2.1 TECNOLOGIA UTILIZADA EN EL AREA DE ESTUDIO.....	17
2.2 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN .....	19
2.2.1 ENERGIA EÓLICA.....	19
2.2.2 ENERGIA SOLAR .....	23
2.2.3 BIOMASA.....	27
2.2.4 ENERGÍA HIDRAULICA.....	29
2.3 EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS RENOVABLES Y NO RENOVABLES.....	31
2.3.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	40

Capitulo 3. DISEÑO DEL SISTEMA.....	50
3.1 INSTALACIONES.....	50
3.2 CALCULO DE ENERGÍA.....	51
3.2.1 ENERGÍA TEÓRICA REQUERIDA PARA EL SECADO DEL GRANO DE CACAO 51	
3.2.2 ENERGÍA REAL UTILIZADA PARA EL SECADO DEL GRANO DE CACAO. ....	56
3.3 CALCULO DE PERDIDAS DE ENERGIA .....	59
3.3.1 PERDIDA DE CALOR POR LAS PAREDES DEL SECADOR .....	60
3.3.2 PERDIDAS DE CALOR generados en el quemador .....	63
3.3.3 AHORRO DE ENERGÍA AL IMPLEMENTAR AISLAMIENTO EN LAS PAREDES DE SECADOR .....	65
3.3.4 AHORRO DE ENERGÍA AL IMPLEMENTAR AISLAMIENTO EN LA LLAMA...	69
3.3.5 ANALISIS de perdidas.....	73
3.4 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	76
Capitulo 4. COSTOS DEL PROYECTO .....	86
4.1 ESTIMACIÓN DEL AHORRO ANUAL .....	86
4.2 COSTO DEL PROYECTO .....	88
4.3 VALOR ACTUAL NETO (VAN) .....	89
4.4 TASA INTERNA DE RETORNO (TIR) .....	93
4.5 EMISION DE GASES DE EFECTO INVERNADERO .....	94
Capitulo 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	95

5.1	CONCLUSIONES .....	95
5.2	RECOMENDACIONES .....	96

## Contenido de Figuras

Figura 1-1 Planta de cacao y su fruto .....	6
Figura 1-2, Grano de cacao cuando es retirado de la mazorca .....	7
Figura 1-3 Primer secado del grano de cacao en los tendales de los agricultores.....	7
Figura 1-4, Equipo de secado del grano de cacao utilizado en Caluma .....	8
Figura 1-5, Secador de grano de cacao por convección .....	9
Figura 1-6, Esquema de operación de un proceso de liofilización (secadores indirectos) .....	10
Figura 1-7, Secador solar. ....	11
Figura 1-9, Secador solar hibrido que utiliza biomasa.....	12
Figura 1-10, Secador solar hibrido que utiliza una unidad auxiliar de calentamiento ...	12
Figura 1-11, Esquema de operación de secador convectivo hibrido.....	13
Figura 1-12, Configuración de secadores ultrasónicos con convección, CV dirección del aire caliente, Sp muestra a ser secada, Td generador de ultrasonido, Vc presión de vacio, SP presión estática.....	14
Figura 1-13, Secador directo convección con mezclador .....	15
Figura 1-13, Fachada externa del área donde se desarrolla el proyecto. ....	16
Figura 2-1, Esquema del uso de secador de grano de cacao rectangular .....	17
Figura 2-2, Secador a ser considerado como parte del proyecto.....	18
Figura 2-3, Celda solar .....	25
Figura 2-4, Esquema del funcionamiento de una célula fotovoltaica .....	25

Figura 2-5, Componentes de un sistema fotovoltaico.....	26
Figura 2-6, Ejemplo del proceso de creación de la biomasa .....	28
Figura 2-7, Proceso de combustión de la biomasa .....	29
Figura 2-8, Componentes de un proyecto hidroeléctrico .....	30
Figura 2-9, Energías renovables que son consideradas dentro del proceso de evaluación .....	31
Figura 3-1, Secador de 150 quintales .....	51
Figura 3-2, Placa del motor que impulsa el sistema que mueve los granos de cacao. ..	57
Figura 3-3, Motor que impulsa el sistema que mueve el grano de cacao.....	58
Figura 3-4, Placa y ubicación del motor del ventilador centrífugo.....	58
Figura 3-5, Pérdida de calor por las paredes del secador.....	60
Figura 3-6, Perdida de calor durante el ingreso de aire caliente al ventilador centrífugo .....	60
Figura 3-7, Esquema que visualiza el sentido y dirección en que se transporta la energía por la pared del secador .....	61
Figura 3-8, Visualización del área donde se seca el grano de cacao, la inferior se calienta y la superior recibe el flujo de aire caliente para secado del grano de cacao.....	62
Figura 3-9, Esquema del quemador y la admisión de aire caliente.....	63
Figura 3-10, Distancia que existe entre el quemador y el ventilador centrífugo. ....	64
Figura 3-11, Esquema del flujo de calor a través de la pared del secador con presencia de ladrillo refractario. ....	66

Figura 3-12, Representación del flujo de energía a través de las paredes del secador con aislamiento identificadas como resistencias. ....	67
Figura 3-13, Instalación de aislamiento entre el quemador y el ambiente para evitar pérdida de energía a través de calor. ....	70
Figura 3-14, Esquema del comportamiento del flujo de energía desde el quemador y la pared de aislamiento diseñada.....	70
Figura 3-15, Pérdidas de calor al ingreso de aire caliente al sistema.....	75
Figura 3-16, Pérdida de calor por las paredes del secador .....	75
Figura 3-17, Banco de resistencia eléctrica .....	77
Figura 3-18, Radiación mensual para cada ángulo de inclinación del panel .....	80

## Contenido de Tablas

Tabla 2-1, Datos meteorológicos resumidos a un mes existentes en la estación M129 21	
Tabla 2-2, Consideraciones realizadas respecto a la implementación de energía renovable. ....	32
Tabla 2-3, Aspectos y Categorías a ser utilizadas para el análisis de la mejor alternativa .....	33
Tabla 2-4, Descripción de los aspectos .....	33
Tabla 2-5, Descripción de los factores de calificación .....	35
Tabla 2-6, Peso en porcentaje por Factor de calificación.....	36
Tabla 2-7, Peso real de la categoría por Aspecto .....	37
Tabla 2-8, Criterio de Calificación a ser utilizado.....	38
Tabla 2-9, Ejemplo de cálculo del Porcentaje de peso por cada alternativa.....	39
Tabla 2-10, Ejemplo de la obtención del subtotal por alternativa .....	40
Tabla 2-11, Resultados cualitativos obtenidos .....	43
Tabla 2-12, Resultados cualitativos obtenidos .....	48
Tabla 3-1, Datos técnicos relacionados al calculo de energía para secado de grano de cacao .....	55
Tabla 3-2, Datos técnicos respectivos para el calculo de energía proporcionado por el quemador.....	56
Tabla 3-3, Energía requerida por los equipos auxiliares del secador de grano de cacao .....	57

Tabla 3-4, Consumo de energía de los diferentes equipos que conforman el secador de grano de cacao.....	59
Tabla 3-5, Perdidas de calor existente en el equipo.....	73
Tabla 3-6, Estimación de perdida si el sistema tuviera aislamiento.....	74
Tabla 3-7, Descripción de la resistencia eléctrica.....	77
Tabla 3-8, Irradiación solar existente en Caluma .....	78
Tabla 3-9, Radiación mensual para cada ángulo de inclinación del panel. ....	79
Tabla 3-10, Cantidad de equipos del sistema fotovoltaico .....	85
Tabla 4-1, Datos para cálculo de ahorro de energía.....	87
Tabla 4-2, Costos requeridos para la implementación del proyecto .....	89
Tabla 4-3, Calculo del VAN para un costo de \$0,34 por Kg de GLP .....	91
Tabla 4-4 Calculo del VAN para un costo de \$0,81 por Kg de GLP .....	92
Tabla 4-5, Calculo del VAN que corresponde a al pago de tarifa de luz de \$0,436 kWh	93
Tabla 4-6, Cuadro resumen del cálculo del VAN y TIR para los diferentes escenarios propuestos .....	93

## Contenido de Abreviaturas o Siglas

$\dot{m}$  = Flujo de masa de aire seco (kg aire seco/hora)

$^{\circ}\text{C}$  = grados centígrados

A= área

$A_{\text{panel}}$  = Área del Panel

C100 = Capacidad de la batería bajo 100 horas de descarga continuada.

$C_{\text{abt producto}}$  = Capacidad de procesamiento absoluta

$C_{\text{ap procesamiento}}$  = Capacidad de procesamiento del secador de grano de Cacao

$C_p$  = Coeficiente de potencia de una turbina eólica o aero generador.

$C_{\text{pi GLP}}$  = Poder calorífico inferior del GLP (KJ/kg)

d = diámetro del rotor del aerogenerador

D = días de autonomía del sistema fotovoltaico.

$E_b$  = Factor de seguridad que corresponde a las pérdidas del sistema como es el cableado.

$E_c$  = Energía cinética

$E_d$  = Consumo diario de energía para el cálculo de paneles fotovoltaicos

$E_d$  = Energía diaria consumida

$E_i$  = rendimiento del inversor.

$G_t$  = Radiación incidente

$h_0$  = entalpia del aire a una temperatura ambiente.

$H_0$  = Humedad del grano de cacao al finalizar el proceso de secado

$h_1$  = entalpia del aire a una temperatura especifica (kJ/kg)

$H_i$  = Humedad inicial del grano de cacao

$H_{o \text{ prod solido}}$  = Humedad final del producto seco

HR = humedad relativa

Ld = Capacidad de acumulaci3n

m = caudal m3sico

m = masa de aire

M = Profundidad de descarga m3xima de una bater3a.

$m_{\text{agua inicial}}$  = masa de agua inicial en el grano de cacao.

$m_{\text{agua residual}}$  = masa de agua residual en el grano de cacao.

$m_{\text{evaporaci3n}}$  = velocidad de evaporaci3n (Kg/seg)

$m_{\text{GLP}}$  = corresponde a los kilogramos de combustible GLP que consume el equipo por hora (Kg/hora).

$m_{\text{producto h3medo}}$  = masa de producto h3medo en el grano de cacao.

$m_{\text{producto solido}}$  = masa del producto s3lido.

NE = noreste

$N_p$  = N3mero de paneles

NW= noroeste

P = Potencia

$P_c$  = Potencia de captación del panel fotovoltaico

$P_{panel}$  = Relación entre Consumo diario de energía y Radiación incidente

$P_t$  = Potencia total instalación fotovoltaica

$Q$  = Consumo de energía en (W)

$Q_{quemador}$  = energía proporcionada por el quemador

$q$  = quintales

$R_c$  = Rendimiento del panel fotovoltaico

$S$  = Área total de paneles fotovoltaicos

$T$  = Tensión de trabajo de la instalación Fotovoltaica

$T_{secado}$  = Tiempo requerido para el secado del grano de cacao.

$T_0$  = Temperatura ambiental

$T_1$  = Temperatura del aire caliente para el secado del grano de cacao.

$T_2$  = Temperatura del flujo de aire saliente con una humedad de 75%

$T_{secado}$  = Tiempo de secado.

$V$  = tensión de trabajo de la batería

$v$  = velocidad

$W_0$  = humedad absoluta inicial del proceso que se está analizando.

$w_2$  = humedad absoluta obtenida en la tabla psicométricas para un estado final que corresponde al aire seco (kg agua / kg aire seco).

$\rho$  = densidad

## **INTRODUCCIÓN**

El desarrollo de los procesos industriales ha crecido en el Ecuador al igual que en el resto del mundo, utilizando las tecnologías disponibles en las zonas, las mismas que se basan en el consumo de energía renovables y no renovables; En este sentido, en el Ecuador continua la generación de las energía a través de fuentes no convencionales de energía o combustión de combustibles tradicionales, por ende existe una generación de gases contaminantes que se emite a la atmosfera.

En la actualidad la generación de los gases contaminantes, ha aumentado linealmente al trascurso de los años a nivel mundial, por lo que existe la iniciativa de varios países en comprometerse a minimizar sus emisiones conllevando a fomentar la generación de energías renovables, requiriendo la implementación de nuevas políticas e incentivos para lograr este objetivo, todo esto se enmarcan en el protocolo de Kioto suscrito en el año 1992 fomentado por el Convenio Marco de las Naciones Unidas Sobre El Cambio Climático, y que hasta el año 2015 en la reunión celebrada en el COP21 los países firmantes se comprometieron en reducir las emisiones de los gases de efectos invernaderos.

Por lo expuesto, en el Ecuador desde al año 2008 se cuenta con una nueva Constitución que reconoce los derechos de todos a un buen vivir que busca que la población viva en un ambiente sano y el respecto a los derechos de la naturaleza, por lo cual se creó el Plan Nacional del Buen Vivir el que se enfoca entre varios objetivos la transformación de la matriz productiva buscando impulsar el uso de energías renovables.

Dentro de la matriz productiva existente en el Ecuador se contempla al agricultor quien siembra y procesa uno de los productos agrícolas con mayor aceptación internacional, siendo el grano de cacao, acorde a los datos estadística disponibles en la página web de la Asociación Nacional de Exportadores e Industriales de Cacao en el Ecuador se evidencia que desde el año 2012 existe un crecimiento en las exportaciones de grano de cacao llegando al año 2015 exportar alrededor de 235.000 toneladas métricas de este producto.

El grano de Cacao que es aceptado internacionalmente requiere ser secado para evitar su degradación y fácil trasportación. Para el secado del grano de Cacao es necesario utilizar equipos de secado (secadores) que requieren combustibles fósiles para el calentamiento del aire, lo que incrementa el costo de producción del grano de cacao seco. Por otra parte, desde el punto de vista ambiental se genera gases contaminantes al ambiente producto a la combustión del combustible a utilizar.

El cantón Caluma perteneciente a la provincia de Bolívar cuenta con alrededor de 13.120 habitantes (Censo de población y vivienda, 2016), siendo la producción de grano de cacao la mayor actividad productiva de la zona. El cacao es comercializado en la cabecera cantonal hacia donde se movilizan los agricultores y el sitio donde se encuentran ubicados las empresas que prestan servicio de secado de grano de cacao.

Se plantea para el desarrollo del proyecto la valoración de la aplicación de las energías renovables como sistema complementario al proceso de secado de granos de cacao para el Cantón Caluma, con la finalidad de mejorar los costos de producción, además se cumple con uno de los objetivos propuesto en el Plan Nacional de Buen Vivir 2013-2017 planteados en la Constitución del Ecuador.

## **OBJETIVOS GENERALES**

El objetivo general del proyecto es evaluar los equipos de secado de granos de cacao de la zona del Cantón Caluma, para determinar los parámetros de operación que utilizan y definir el grado de adaptación tecnológica empleando fuentes renovables de energía que se encuentren disponibles en el área de estudio.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Para cumplir con el objetivo general planteado se requiere del desarrollo de varias actividades cuyo objetivo específico son los siguientes:

- ✓ Identificar y evaluar las condiciones de operación requeridas por los equipos de secado de grano de cacao en el cantón Caluma.
- ✓ Identificar la disponibilidad de recursos renovables en el Cantón Caluma.
- ✓ Determinar la mejor alternativa para la aplicación de energías renovables como sistema complementario al proceso de secado de granos de cacao.
- ✓ Realizar el análisis financiero a la alternativa de implementación de energía renovable que permita determinar la viabilidad económica del proyecto.

## CAPITULO 1. SECADO Y APLICACIÓN DEL PROCESO INDUSTRIAL

### 1.1 INTRODUCCIÓN

El secado es uno de los procesos más utilizados desde la antigüedad hasta nuestros días, que consisten en la eliminación del agua de un producto sólido con la finalidad de ampliar el tiempo de conservación del alimento evitando de esta manera la proliferación de microorganismos del producto. En lo referente en el consumo del recurso y energía en sectores de medianas y grandes industrias dedicadas al secado del grano, es variado y difieren de la tecnología e incluso del mecanismo de secado, tal como se indica en la literatura especializada (Maupoey, 2001);

#### **a) Secadores directos o convectivos**

Estos secadores tienen la característica que utilizan aire caliente manteniendo un continuo contacto con el grano húmedo, haciendo que la extracción de la humedad del grano se realiza por transferencia de calor de convección. El aire caliente que ingresa a la cámara se puede generar de varias maneras; desde el calentamiento del vapor de agua producto de un proceso de combustión, utilizando gases inertes o calentando el aire a través de energía solar.

Por otra parte, el consumo de energía requerida para estos equipos es mayor mientras más agua se desea extraer del grano, sin embargo pueden ser utilizados continuamente o intermitentemente a partir de la capacidad de producción del producto a secar.

#### **b) Secadores por conducción o indirectos**

Estos secadores se caracterizan por utilizar placas (por lo general metálicas) que se calientan y por medio de la transferencia por conducción transmiten el calor al grano para evaporar la humedad. Al igual que los secadores por convección, se pueden

utilizar como fuente de calor; vapor de agua, agua caliente, aceites térmicos, gases de combustión, resistencia eléctrica, entre otros.

La operación de este tipo de secador puede ser continuos o intermitentes, al utilizar secadores por conducción se permite recuperar subproducto que son liberados durante el proceso de secado.

### **c) Secadores por radiación**

Los secadores por radiación utilizan energía radiante (luz infrarroja) o por medio de refractarios calentados por gas. En este caso el costo de secado del producto, utilizando este mecanismo es más costoso que el resto de tecnología antes indicada.

### **d) Secadores dieléctricos**

Los procesos de secado dieléctricos producen calor en el interior del grano a través del uso de un campo eléctrico de alta frecuencia, este proceso permite un secado del producto de forma paralela en toda el área de contacto, por lo que son idóneos para secar solidos grandes. El costo de operación de los secadores dieléctricos es elevado por lo que su uso es muy limitado.

## **1.2 ALCANCE**

El alcance geográfico del proyecto se encuentra limitado por la circunscripción geográfica del cantón Caluma hacia donde es trasladado el grano de cacao para su proceso de secado desde los diferentes sitios de la provincia.

El alcance técnico del presente proyecto abarca la identificación y valoración de los recursos renovables disponibles en el Cantón Caluma mediante el uso de información secundaria disponible y visitas técnicas de campo. Así también el desarrollo de una

matriz para la selección de la energía renovable que fueren identificadas y que pueda ser implementada en el proceso de secado de grano de cacao.

En consecuencia, se procederá a la adaptación de la energía renovable en el proceso de secado de cacao para posteriormente determinar el costo de inversión que sea requerido para su implementación y determinar la viabilidad del proyecto.

### **1.3 PROBLEMÁTICA**

El uso de secadores de grano de cacao es muy requerido en el país, acorde a las estadísticas de exportación emitidas por la Asociación Nacional de Exportadores de Cacao – Ecuador (ANECACAO), en el año 2015 las exportaciones alcanzaron un valor de 260 mil toneladas métricas (Moncayo R., 2015), por consiguiente el proceso que se requiere desarrollar para alcanzar los estándares requeridos para la exportación del grano involucra el uso de equipos de secado que de alguna manera requieren grandes consumo de energía.

Por otra parte, a partir de lo publicado por Cárdenas y Vásquez (2013) se presenta la evaluación del Análisis del Ciclo de Vida del procesamiento de la etapa de secado, identificando que el mayor impacto ambiental se produce en el secado del grano (Cárdenas Arévalo & Vásquez López, 2013). Cabe indicar que el Análisis de Ciclo de Vida es utilizado para la investigación de procesos de producción o servicio que determina qué actividad del proceso genera mayor impacto ambiental negativo.

Se conoce que en Ecuador, se utilizan secadores de grano de cacao mediante sistemas que operan con Diésel o GLP como combustible principal, por lo que el presente proyecto busca la aplicación de energías renovables como sistema complementario al proceso de secado de granos de cacao con la finalidad de disminuir el consumo de combustible fósil.

Dadas las condiciones que anteceden, dentro de la planificación a través del Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017, Objetivo 11 establece “Asegurar la soberanía y eficiencia de los sectores estratégicos para la transformación industrial y tecnológica”, reconoce como sector estratégico el uso de recursos naturales no renovables como es el caso del hidrocarburo, se expone que actualmente el Ecuador importa energía como el Diésel y GLP, así también se evidencia que en el periodo 1990 – 2012 existe una disminución del uso de energía renovables y cada vez se utiliza mayor cantidad de energía no renovable en el país, el consumo energía de fuentes no renovables representan el 78% del consumo energético del país (SENPLADES, 2013).

Por consiguiente, el desarrollo de este proyecto se alinea con la Política 11.1 “Reestructurar la matriz energética bajo criterio de transformación de la matriz productiva, inclusión, calidad, soberanía energética y sustentabilidad, con incremento de la participación de energía renovable del Plan Nacional Buen Vivir en el cual se propone fortalecer la investigación científica en los ámbitos energéticos para industrias básicas y de generación y uso sustentable de energía renovable, para la industria, los hogares, el transporte y la producción (SENPLADES, 2013).

Por otra parte, en la actualidad los costos relacionados al proceso de secado del grano de cacao son directamente proporcional a la humedad del grano; por lo que se requiere disminuir la humedad a valores aceptados internacionalmente para su exportación esto significa llegar a una humedad menor al 7% (INEN 176, 1995), es así, que los ingresos económicos que perciben los agricultores se ven reducidos por el uso de secadores. De tal sentido, se conoce por estudios que el consumo de energía requerida durante el proceso de secado de granos de cacao de forma artificial representa alrededor de un 50% de todo el proceso productivo (Hector A. & Yomali O., 2010) (Ziafroughi & Abolfazli Esfahani, 2016).

En la actualidad existen estudios relacionados con la optimización de tecnologías para el secado de productos alimenticios, teniendo como resultado la implementación de energías renovables como solar, biomasa o en su defecto sistemas híbridos en los cuales se combinan dos sistemas para producir el secado, los estudios realizados llegan a demostrar que existe una remoción de la humedad de productos alimenticios hasta un 91,6% (Tadahmun A. & Hussain H., 2015).

De lo antes planteado, el proyecto se desarrollará en el Cantón Caluma de la Provincia de Bolívar donde su principal actividad productiva es la agricultura. Este cantón cuenta con alrededor de 13.120 habitantes (INEC, 2010), la producción de cacao del cantón es comercializada en la cabecera cantonal hacia donde se movilizan los agricultores y es el sitio donde se encuentran ubicados las empresas que prestan servicio de secado de grano de cacao.

## **1.4 SECADO**

### **1.4.1 VARIABLES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE SECADO**

En un proceso de secado de alimentos se debe de considerar variables simultáneas como son: el calor útil que se necesita para deshidratar el producto, el contenido de humedad del alimento y el tiempo de exposición. Es decir, un alimento debe estar expuesto a un flujo de aire caliente por un tiempo determinado para lograr extraer la humedad del mismo.

Ante esta situación las variables que deben ser consideradas para la selección de un proceso de secado de grano de cacao son: humedad inicial, humedad final del producto, temperatura del aire caliente, tiempo de secado, ratio de secado (curva de deshidratación del cacao), fuente de energía a ser utilizada para calentar el aire y lograr la temperatura adecuada para el secado del producto.

## 1.4.2 SECADO DEL CACAO

El procedimiento artesanal que se sigue al momento inicia con la recolección de las mazorcas de cacao (Figura 1-1), que contiene el grano de cacao en su interior protegidos por el mucilago (Figura 1-2), una capa de alto contenido de humedad, comúnmente conocida como baba de cacao.

Luego de separar el grano del mucilago, se procede a exponerlos al sol (tendales) para reducir la humedad del grano (Figura 1-3). Este procedimiento no garantiza obtener una humedad constante, sin embargo, en promedio se logra retirar hasta el 50% de la humedad del grano.

En este proyecto se propone evaluar el uso de secador convectivo-híbrido para reducir la humedad del grano de cacao, debido a que permite aprovechar el flujo de aire caliente en el proceso; este método de secado es ampliamente utilizado en Caluma, provincia de Bolívar.



*Figura 1-1 Planta de cacao y su fruto*

Fuente: <http://casas.mitula.ec>



*Figura 1-2, Grano de cacao cuando es retirado de la mazorca*

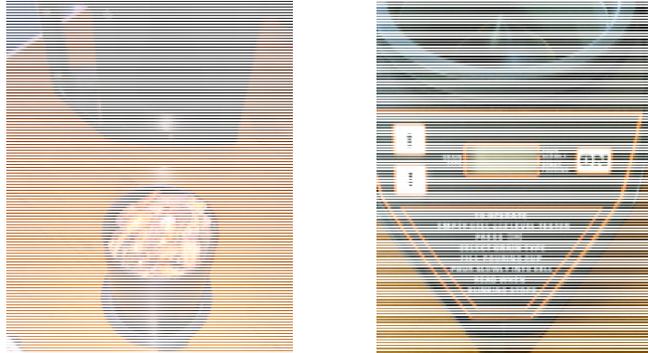
Fuente: <http://www.simbiotik.com/diez-consejos-para-producir-cacao/>



*Figura 1-3 Primer secado del grano de cacao en los tendales de los agricultores*

Fuente: <http://www.fundesyram.info/biblioteca.php?id=3234>

Es de remarcar que al tratarse de un método artesanal-empírico usualmente la recolección del grano se hace en base al criterio (“ojo”) del agricultor, una vez que el agricultor considera que el grano está “suficientemente” seco se lo ensaca y se lo lleva a las empresas que comercializan con cacao húmedo donde se procede a la determinación de la humedad del grano y se procede a su secado de ser necesario.



*Figura 1-4, Equipo de secado del grano de cacao utilizado en Caluma*

En el presente estudio se ha considerado que el valor de humedad del cacao luego del secado artesanal al sol es de 60%.

## **1.5 TECNOLOGIAS UTILIZADAS PARA EL PROCESO DE SECADO**

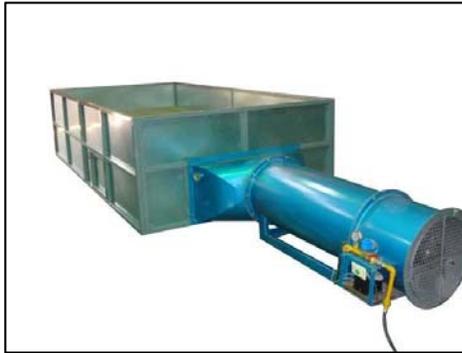
### **a) Secadores directos o convectivos**

Los secadores directos o convectivos (figura 1.5) son ampliamente utilizados en la industria alimenticia, el proceso de secado de grano de cacao se genera a través del calentamiento del aire mediante una fuente de combustión pudiendo ser la combustión de GLP o Diésel, el aire caliente entra en contacto con los granos de cacao húmedos y se inicia un proceso de transferencia de calor conocido como convección.

De acuerdo a lo expuesto, los secadores directos pueden llegar a tener muchas variaciones entre las que se encuentran los secadores de horno o estufa, tipo bandeja o armario, tipo túnel, etc. (Maupoey, 2001).

Los secadores directos de cacao utilizan quemadores de GLP para calentar el aire, y mediante el uso de un ventilador forzado trasladan el fluido a través del ducto que conecta a la cámara inferior, posteriormente el fluido de aire caliente ingresa a la cámara superior donde se encuentra la semilla de cacao. Se hace necesario indicar la

base de la cámara superior se encuentra hecha de placas con agujeros permitiendo que el aire caliente sea más turbulento a la hora de pasar por el cacao.



*Figura 1-5, Secador de grano de cacao por convección*  
Fuente: [www.sircaecuador.com](http://www.sircaecuador.com)

#### **b) Secadores por conducción o indirectos**

Los secadores por conducción se caracterizan por utilizar placas metálicas que se calientan y a través del mecanismo de transferencia de calor por conducción transmiten el calor generado al grano permitiendo extraer la humedad del producto.

En relación al secado indirecto, entre los mecanismo más utilizado es el método de sublimación (Liofilizado) (Figura 1-6). El proceso consiste en exponer el cacao a temperaturas de 0°C de congelación inmediata, posteriormente los granos pasan a un calentamiento constante para extraer la humedad del producto.

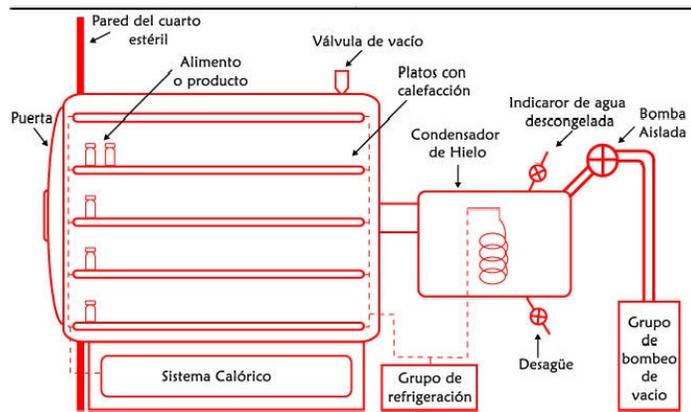
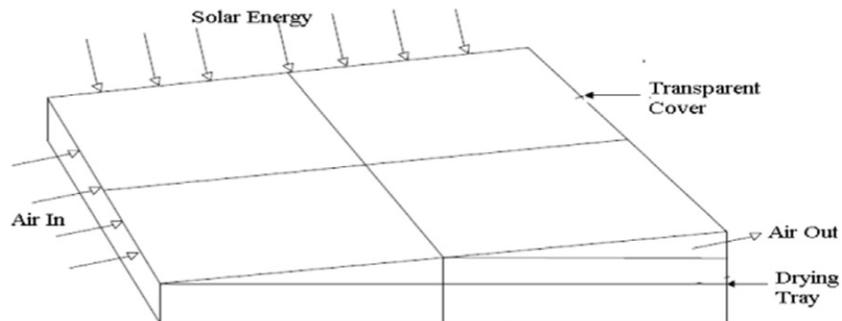


Figura 1-6, Esquema de operación de un proceso de liofilización (secadores indirectos)  
Fuente: <http://procesosbio.wikispaces.com/Liofilizaci%C3%B3n>

### c) Secadores solares

En la constante búsqueda de optimizar el uso de la energía se ha impulsado el uso de las tecnologías renovables o limpias, encontrándose entre ellas el aprovechamiento de la energía Solar para el secado directo o indirecto del producto.

Tomando en consideración que existen diferentes fuentes de energías renovables y que su disponibilidad varía dependiendo del lugar donde se la pretenda utilizar, es necesario determinar el recurso disponible y el nivel de procesamiento necesario previo a su utilización. En este sentido, se busca utilizar tecnologías que combinan el uso de energía renovable y no renovable.



*Figura 1-7, Secador solar.*

Fuente: (Mahesh, Sunil Kumar, & Pankaj, 2014)

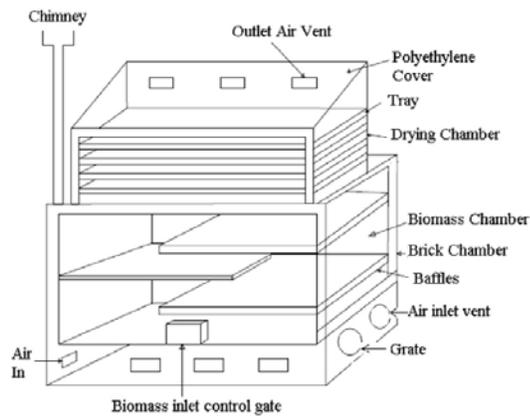
Los procesos de secado que utilizan únicamente energía solar son de fácil construcción y económicos. El secador solar (figura 1-7) consta de una cámara principal cubierta por una placa transparente (vidrio, plástico). Dicha cámara deberá tener un ángulo de inclinación (obtenido a través del análisis de la latitud del sitio) para lograr captar la mayor irradiación solar permitiendo calentar el aire que pasa internamente en la cámara. Este aire puede pasar de forma laminar o turbulenta (adaptación de un ventilador)

Entre los problemas que acarrearán esta tecnología se da en la limitación de la cantidad de producto a secar, por lo que requieren gran área de espacios para su instalación y funcionamiento. Otra problemática evidente, se genera al no poder controlar la temperatura del aire caliente dentro de la cámara, por motivo que la radiación varía con el tiempo. (Arun S., 2015).

#### **d) Secadores híbridos solares**

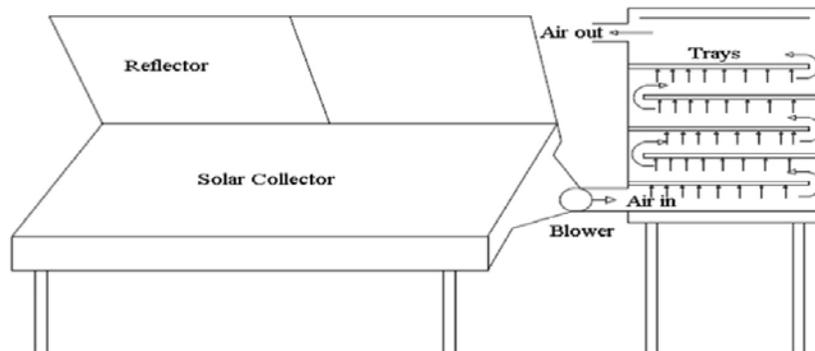
Los secadores híbridos se utilizan para el aprovechamiento de varias fuentes de energías permitiendo de esta manera un ahorro de energía eléctrica durante el proceso de secado. A manera de ejemplo, entre las tecnologías desarrolladas por Bena y Fuller

(2002) presentan el diseño de un secador híbrido que utiliza la energía solar adaptado a un sistema de combustión de biomasa. Dicho sistema logra secar alrededor de 22 kg de producto húmedo al día (Figura 1-8)



*Figura 1-8, Secador solar híbrido que utiliza biomasa*  
Fuente: (Bena B., 2002)

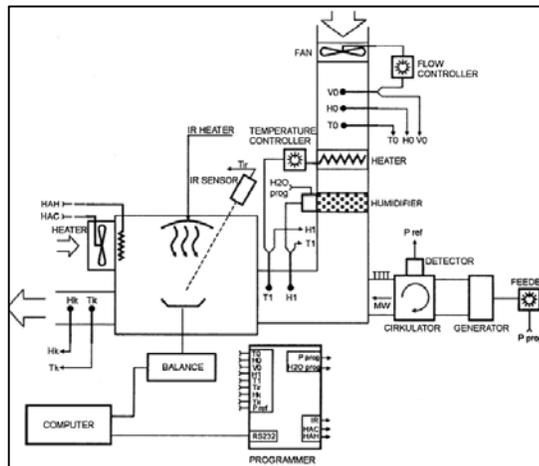
Otro modelo de secadores híbridos, se da en la adaptación para el uso de la energía solar y unidades auxiliares de calentamiento (Hossain , Amer, & Gottschalk, 2008). (Figura 1-9)



*Figura 1-9, Secador solar híbrido que utiliza una unidad auxiliar de calentamiento*  
Fuente: (Hossain , Amer, & Gottschalk, 2008)

**e) Secadores híbridos convectivos**

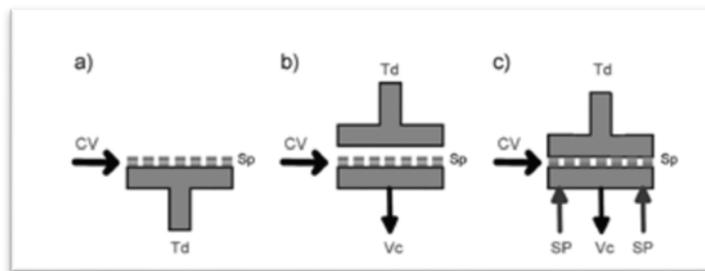
Los secadores híbridos convectivos, utilizan luz infrarroja y radiación por microondas para generar el calor necesario para la deshidratación del producto húmedo. A pesar de no requerir fuentes de energías renovables, la ventaja del sistema es que permite disminuir aproximadamente un 76% el tiempo de secado del producto (J.M., J., & S.J. , 2015). (Figura 1-10)



*Figura 1-10, Esquema de operación de secador convectivo híbrido*  
Fuente: (J.M., J., & S.J. , 2015)

**f) Secadores híbridos por ultrasonido**

El concepto y la idea del uso del ultrasonido no es nuevo (Muralidhara, Ensminger, & Putnam, 1985). Los últimos resultados de la implementación de esta tecnología son documentados por Kundra y Mujumdar (2009) donde lograron aplicar ultrasonido para incrementar drásticamente la temperatura del producto a secar, no obstante el principal inconveniente identificado es la baja eficiencia energética y el elevado nivel de ruido producido. (Figura 1-11)



*Figura 1-11, Configuración de secadores ultrasónicos con convección, CV dirección del aire caliente, Sp muestra a ser secada, Td generador de ultrasonido, Vc presión de vacío, SP presión estática.*

Fuente: (Musielak, Mierzwa, & Kroehnke, 2016)

### 1.5.1 TECNOLOGÍAS UTILIZADAS EN ECUADOR

Entre las tecnologías de equipos de secado usualmente aplicada son de tipo convectivo seleccionadas por la capacidad de producto a deshidratar. Dichos secadores utilizan para su funcionamiento combustibles fósiles como es el caso del Diésel y GLP; en caso de secadores más antiguos se utilizan bunker.

Por otra parte, para mejorar el proceso de secado de grano de cacao se adaptan mezcladores rotatorios, que hacen mover el cacao para recircular el aire caliente homogéneamente por todo el producto.



*Figura 1-12, Secador directo convección con mezclador*

## 1.6 AREA DE ESTUDIO

El proyecto se desarrolla en la ciudad de Caluma, perteneciente al Cantón Caluma de la provincia de Bolívar, encontrándose a una latitud -1,63 y Longitud -79,25, a 1075 metros sobre el nivel del mar, con una temperatura promedio de 27,2 °C, siendo la temperatura más baja registrada de 18,2 °C.

En relación a los efluentes del lugar, el río Caluma atraviesa la ciudad que lleva su nombre, quedando alejado del área exacta de desarrollo del proyecto. Por otro lado, existe un pequeño ramal del río que fluye cerca del sitio geográfico del área de estudio. Cabe indicar que la ciudad se encuentra rodeado por montañas.

El área de desarrollo del proyecto se ubica dentro de la zona poblada (Norte de la ciudad), al sur colinda con viviendas de uso mixto comercial, al este colinda con un cuerpo de agua y al oeste con la Av. Elías Fierro que es catalogado como corredor comercial.

En relación a los equipos de secado, aquellos se encuentran instalados en un área protegida, ocupando distancias de 13,50 x 17,46 metros. Utilizando para el proceso productivo, aproximadamente 235,71m<sup>2</sup> de área, en la Figura 1-13 se puede observar el ingreso al área donde se encuentra el equipo de secado de grano de cacao.



*Figura 1-13, Fachada externa del área donde se desarrolla el proyecto.*

## CAPITULO 2. METODOLOGÍA

### 2.1 TECNOLOGIA UTILIZADA EN EL AREA DE ESTUDIO

El proceso secado del grano de cacao que se emplean en el sector de Caluma; se realiza en secadores alimentados con GLP y contruidos con planchas perforadas en la base permitiendo el flujo de aire caliente hacia la superficie donde se coloca el grano, se recomienda ver Figura 1-5 y la Figura 2-1.

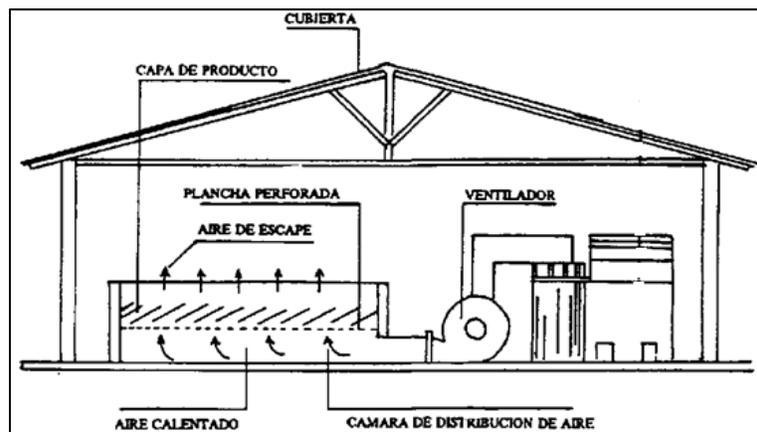


Figura 2-1, Esquema del uso de secador de grano de cacao rectangular  
Fuente, <http://www.fao.org/docrep/X5028S/X5028S02.htm>

En la práctica, este tipo de secadores presentan un elevado consumo de combustible, y adicionalmente es necesario mover el grano de forma manual, con el fin de evitar que se caliente de forma no homogénea. A partir de la problemática expuesta, los habitantes de Caluma que se dedican a esta actividad, se encuentran desarrollando un nuevo modelo de secador para el grano de cacao, que permita un secado homogéneo y un movimiento continuo del grano. En la Figura 2-2, Secador a ser considerado como parte del proyecto. se presenta el equipo elaborado en la comunidad.



*Figura 2-2, Secador a ser considerado como parte del proyecto.*

Dicho equipo consta de un quemador que utiliza GLP como combustible para calentar el aire, empleando un ventilador centrífugo para el ingreso del aire caliente en la cámara de secado, se utiliza un sistema mecánico que permite el movimiento constante del grano de cacao con el fin de mejorar la transferencia de calor y lograr un secado uniforme y homogéneo del grano.

#### ***Condiciones del cacao previo al ingreso del secador.***

El grano de cacao que se almacena y luego que se ingresa al equipo presenta una humedad media entre el 50% y 60%

#### ***Operación del secador***

- Temperatura de operación de 85°C
- Tiempo de Operación Aproximado es de 8 horas
- Consumo de combustible del quemador es de 5,6Kg/hora, lo que equivale alrededor de 45kg de GLP.

#### ***Condiciones del cacao seco.***

Según establece la normativa nacional las condiciones óptimas para la venta del grano de cacao se considera cuando el grano presenta una humedad menor o igual del 7% (INEN 176, 1995).

Dentro de este contexto, se determinó por medio del análisis experimental de la diferencia de peso, empleando un termo balanza. A partir, de las pruebas realizadas se determinó que el grano de cacao final sale del equipo de secado con una humedad que oscila entre un 5% y 7%.

## **2.2 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN**

En atención a la problemática expuesta, el presente proyecto plantea el uso de fuentes de energía renovables para el proceso de secado del grano de cacao, para lo cual se considera en primer lugar la identificación del potencial energético renovable en el área de estudio y su posterior valoración para la implementación y adaptación dentro del proceso de secado.

Es importante acotar, las energías renovables son aquellas que se logran aprovechar de la naturaleza se producen de forma continua y desde un punto de vista humano estas son consideradas inagotables (Merino, 2013).

### **2.2.1 ENERGIA EÓLICA.**

La energía eólica ha sido utilizada desde la antigüedad con fines de bombeo de agua, molienda de granos, entre otras aplicaciones.. A finales del siglo XIX y principios del siglo XX es cuando se logra la construcción e implementación del uso de turbinas de generación eléctrica impulsadas a través del viento.

Así mismo, el viento como es de conocimiento general es formado por la variación de presión producido por la irradiación de sol que recibe la tierra y produce el calentamiento de las masas de aire sobre la superficie de la tierra y por diferencia de temperatura el aire más caliente asciende y el aire circundante más frío ocupa el lugar generando así el movimiento conocido como viento.

### **2.2.1.1 POTENCIAL EOLICO DEL CANTÓN CALUMA**

El cantón de Caluma se encuentra en las estribaciones de la cordillera de los Andes y, por situación geográfica los vientos tienen su origen térmico. Este fenómeno se genera porque parte de laderas reciben más rayos del sol que otras por su ubicación produciendo una variación de flujo de aire ascendente durante el día direccionándose del valle hacia la montaña y durante la noche los vientos descienden desde la montaña hacia el valle.

Para la estimación del potencial de recurso en un área específica en el caso de la energía eólica es necesario tener en consideración las siguientes factores:

- Ubicación geográfica
- Características climáticas locales
- Topografía de la zona
- Irregularidades del terreno
- Presión atmosférica
- Humedad relativa
- Densidad del aire

Debe señalarse, que los factores antes descritos son considerados como principales en el momento de evidenciar una fluctuación en el comportamiento del viento, para lo cual es fundamental tener un registro temporal del comportamiento de viento por medio de estaciones meteorológicas.

En el caso del Ecuador, el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), es el encargado de llevar el registro de las principales variables meteorológicas por medio de una red monitoreo nacional. Dentro de esta red se encuentra la estación M129, la misma se encuentra ubicada en el cantón Caluma. Los registros obtenidos de la estación, serán considerados como referenciales para la evaluación de los parámetros de magnitud y dirección del viento local. El valor promedio mensual de magnitud y dirección predominante del viento, se muestra en la Tabla 2-1:

Mes	V(m/s)	Dir Pred
ENE	4,1	NE
FEB	4,1	NW
MAR	4,3	NE
ABR	4,4	NE
MAY	3,8	NE
JUN	4,1	NE
JUL	3,8	NE
AGO	4,0	NE
SEP	3,9	NE
OCT	4,0	NE
NOV	4,2	NE
DIC	4,2	NE

Tabla 2-1, Datos meteorológicos resumidos a un mes existentes en la estación M129

Fuente: <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/>

Acorde a la información expuesta, la velocidad del viento promedio registrado es de 4,1 m/s lo que permite evidenciar que en Caluma se puede categorizar el viento como brisa leve con una dirección predominante del viento desde el NE.

### 2.2.1.2 POTENCIAL EÓLICO DISPONIBLE

El Potencial eólico disponible hace referencia a la máxima energía cinética disponible en un área específica la cual es directamente proporcional a la velocidad del viento (Villarrubia López, 2012), es así que para determinar la energía eólica disponible se considera la siguiente ecuación:

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad \text{Ecuación 2-1}$$

- P = Potencia
- $\rho$  = densidad
- A = área
- v = velocidad del viento

Como se puede evidenciar la potencia de generación eólica disponible en un área establecida donde el flujo de aire atraviesa perpendicular es directamente proporcional a la densidad del aire y a la velocidad del aire al cubo. Como los rotores de las turbinas eólicas es un área fija se puede obtener la expresión de potencia por área de la siguiente formula:

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2} \rho v^3 \quad \text{Ecuación 2-2}$$

La velocidad del viento y la densidad del aire deben ser calculada a la altura del centro del rotor de la turbina (buje).

### 2.2.1.3 POTENCIAL EÓLICA APROVECHABLE.

El análisis precedente, no considera las pérdidas de energía asociadas a la aerodinámica y flujo de aire que pasa por las palas. En tal sentido, el físico Alemán Albert Betz en el año 1919, después de varias pruebas determina la limitación de convertir la energía cinética del viento en energía aprovechable a través de un rotor para lo cual incluye un coeficiente de potencia en la ecuación antes descrita:

$$P = \frac{1}{2} C_p (\rho A v^3) \quad \text{Ecuación 2-3}$$

$C_p$  = Coeficiente de potencia de una turbina eólica o aerogenerador.

Dentro de la experimentación realizada se llegó a determinar que no es posible aprovechar más del 59% de la potencia disponible en el viento, llegando a reducir la fórmula de la siguiente manera:

$$P_d = \frac{16}{27} \rho A v^3 \quad \text{Ecuación 2-4}$$

## 2.2.2 ENERGIA SOLAR

La energía solar es utilizada por los biomas que existen sobre la superficie, es por esto que se vuelve una de las energías renovables más utilizadas de forma natural, no obstante el avance de las tecnologías han permitido su empleo en aplicaciones térmicas y generación de electricidad.

### 2.2.2.1 POTENCIAL SOLAR DEL CANTÓN CALUMA

Para lograr, estimar el potencial solar en la zona donde se desarrollará el proyecto, es necesario considerar los siguientes factores:

- Hora del día.
- Época del año
- Ubicación geográfica del sitio (latitud o longitud)
- Orientación de la superficie que recibe los rayos del sol
- Presencia de nubes, niebla, smog, viento, etc.

A continuación se describen algunos conceptos relacionados a la radiación solar:

- **Radiación solar:** Energía procedente del sol en forma de ondas electromagnéticas.
- **Irradiancia G:** Considerada como una densidad de potencia que incide en una superficie, es decir, es un valor instantáneo para una superficie de 1 m<sup>2</sup>, se mide en W/m<sup>2</sup>.
- **Irradiación I:** Es una densidad de energía que se obtiene a través de la integración de la irradiancia sobre un periodo de tiempo específico, típicamente una hora o un día, Es decir , es el valor durante un tiempo de radiación para una superficie de , mide en J/m<sup>2</sup> o Wh/m<sup>2</sup>.

- **Radiación solar Directa (Gb):** Es la radiación que proviene del sol a través del camino óptico, es decir, es la radiación recibida por el sol sin que se desvíe en su paso por la atmosfera.
- **Radiación solar Difusa (Gd):** Es la radiación proviene de sol después de haber sido dispersada por la atmosfera sin ser direccional , es decir, sufre cambios en su dirección principalmente debido a la reflexión y difusión en la atmosfera.
- **Radiación solar total (GT ):** Es la suma de la radiación directa y difusa, que se mide sobre una superficie horizontal.
- **Albedo (pg):** Es la radiación directa y difusa que se recibe por reflexión en el suelo u otras superficies próximas.

En el Ecuador la energía solar anual incidente es aproximadamente de 3,78 a 4,11 kWh/m<sup>2</sup> día, este valor es tomado del Proyecto OPET para América Latina y Caribe realizado por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) en el 2005. Por la ubicación del Ecuador en la línea ecuatorial o paralelo 0° se estima un aproximado de 11 horas de luz del solar.

Acorde a la información genera por la NASA en su portal EOSWEB, e estima que el Cantón de Caluma presenta valor de potencia de radiación solar promedio de 4,21KW h/m<sup>2</sup>

Acorde al objetivo del proyecto se requiere de definir el uso de la energía solar y con qué tecnología será aprovechada, pare el caso existen la Tecnología de conversión térmica que comúnmente es utilizada para calentar fluidos, y la tecnología fotovoltaica la que permite la conversión de la energía solar directamente en energía eléctrica.

#### 2.2.2.2 ENERGÍA FOTOVOLTAICA

La energía fotovoltaica es el resultado de la captura de la energía solar y la transformación a energía eléctrica a través de materiales semiconductores como el

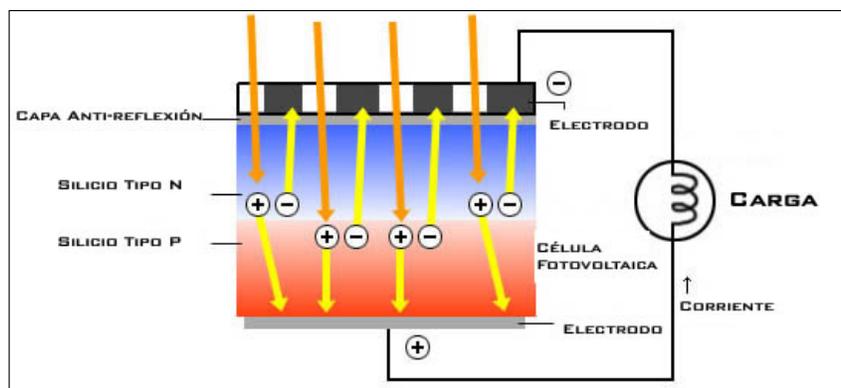
silicio, los dispositivos que se han creado para lograr transformar la energía solar en eléctrica son conocidos como celda solar.



*Figura 2-3, Celda solar*

Fuente: (Barriga, y otros, 2014)

El principio físico que permite la conversión de energía radiante a eléctrica es el fenómeno fotoeléctrico. Los materiales más empleados a nivel industrial son el silicio, Boro y Fosforo, que actúan como elementos conductores en el circuito por el cual se trasfiere energía eléctrica por movimiento de los electrones.



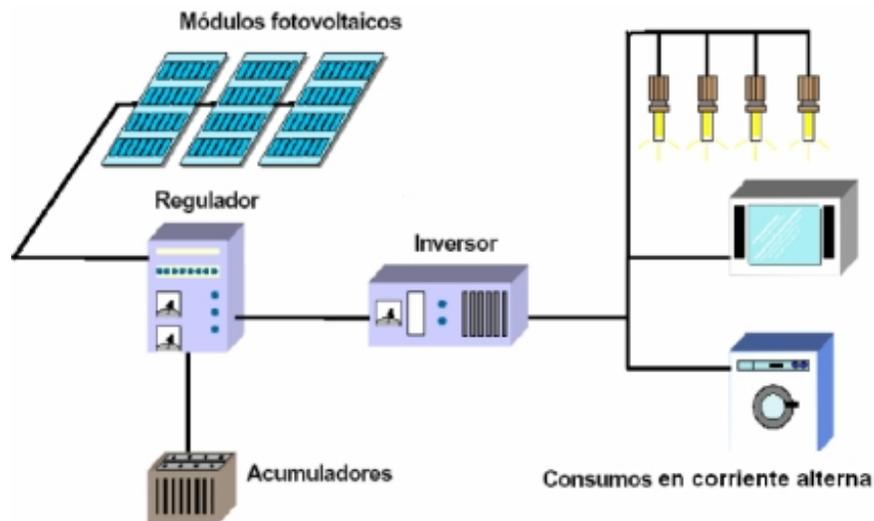
*Figura 2-4, Esquema del funcionamiento de una célula fotovoltaica*

Fuente: (Barriga, y otros, 2014)

Los sistemas fotovoltaicos se componen de los siguientes elementos:

1. Generador fotovoltaico.

2. Batería de acumulación.
3. Regulador de carga.
4. Inversor.
5. Las cargas de consumo.
6. Accesorios



*Figura 2-5, Componentes de un sistema fotovoltaico*

Fuente: (Barriga, y otros, 2014)

- La batería

Esta parte del sistema permite la acumulación de energía, hay que comprender que el sistema fotovoltaico al no tener radiación de sol no genera energía eléctrica para lo cual se utilizará un sistema de acumulación. El banco de batería facilitaría la energía al sistema cuando no exista producción de energía por parte del campo captación fotovoltaica. La selección del tipo de batería dependerá del diseño del sistema que a su vez depende del consumo diario de energía que se requiere.

- Regulador de carga

El regulador de carga es la parte del sistema que protege el circuito de las diferentes variaciones provenientes del banco de baterías, de los paneles fotovoltaicos y de la demanda del sistema de energía eléctrica, este dispositivo se instala entre el generador fotovoltaico, las baterías y el consumidor de energía eléctrica.

- Inversor

Las celdas fotovoltaicas genera corriente continua, sin embargo los equipos eléctricos funcionan a partir de corriente alterna, siendo necesario emplear un dispositivo que permita su conversión. EL dimensionamiento del inversor dependerá de la carga del sistema.

### 2.2.2.3 APLICACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

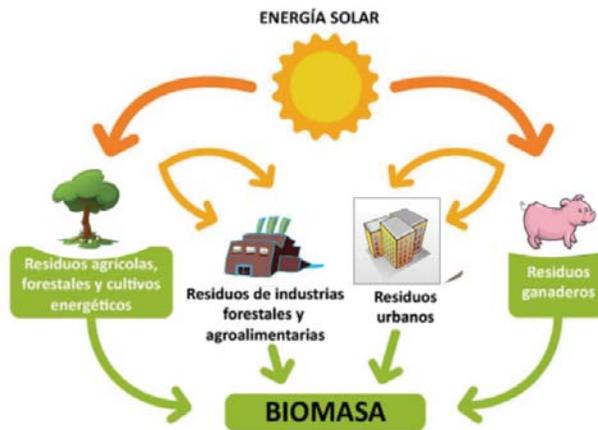
Los sistemas fotovoltaicos han sido divididos en dos grupos que permite su concepción dentro de un proyecto de abastecimiento de energía los cuales son:

- **Sistemas aislados a la red**, este tipo de instalaciones son conformadas en lugares difíciles de acceder y son consideradas para abastecer energía eléctrica únicamente a dispositivos fijos como estaciones de bombeo de agua, viviendas, sistemas de alumbrado entre otros.
- **Sistemas conectados a la red**, como se puede entender estos sistemas fotovoltaicos están ubicadas en viviendas, edificios dentro de las ciudades por lo que están conectados a la red de abastecimiento de energía eléctrica.

Para nuestro caso específico se procederá a realizar la evaluación de la implementación de un sistema fotovoltaico del grupo 2.

### 2.2.3 BIOMASA

La Biomasa es considerada todas las fuentes de energía provenientes de la vegetación, no obstante esta es el resultado de la transformación con el paso del tiempo y la captura de carbono de la energía solar; como conocimiento general la energía del sol genera biomasa después de varios proceso complejos.



*Figura 2-6, Ejemplo del proceso de creación de la biomasa*

Fuente: <http://www.tctelevisión.com/elnoticiero/expertos-proponen-en-roma-innovar-en-la-transformacion-de-biomasa-en-energia>

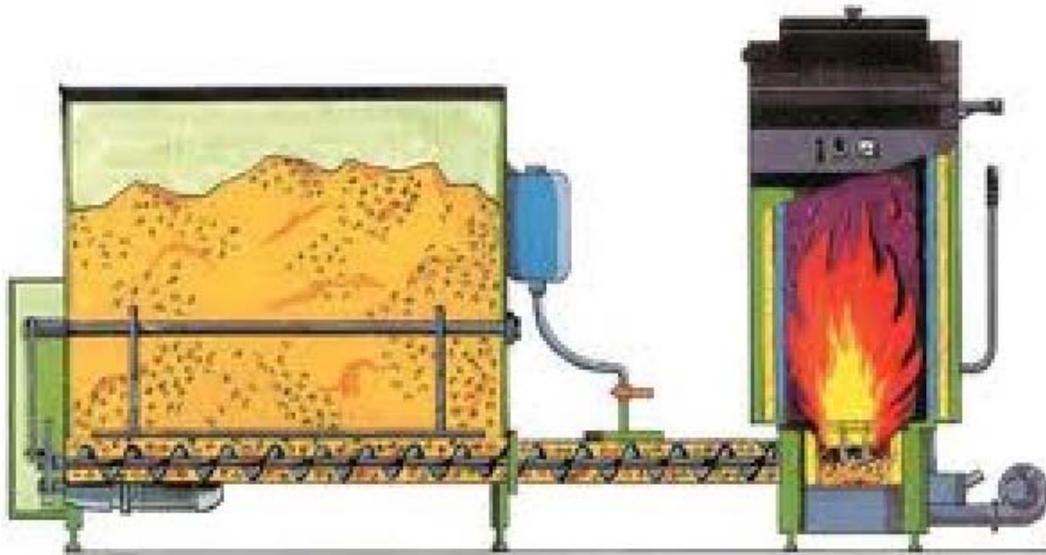
Las principales fuentes de biomasa son: la leña, carbón, cascarilla de arroz, cultivos energéticos, desechos orgánicos, residuos forestales y agrícolas.

### 2.2.3.1 FORMA DE APROVECHAMIENTO DEL BIOMASA

Los procesos de aprovechamiento de la biomasa para la obtención de energía son: Procesos Físicos, Procesos de Combustión Directa, Proceso Termo Químico, Proceso Bioquímicos,

- **Los procesos termo químicos**, hacen referencia a la transformación de la biomasa en productos sólidos, líquidos o gaseosos con un mayor valor calorífico así como de densidad y por lo general son utilizados como combustibles para la generación de calor y electricidad.
- **Procesos de conversión directa**, este es el caso cuando la biomasa es directamente combustionada para la generación de calor que a su vez sirve en procesos industriales o en su defecto la generación de electricidad o vapor de agua.

- **Proceso de conversión bioquímica**, mediante el uso de microorganismos se procede a la generación de combustibles gaseosos o líquidos, un ejemplo del aprovechamiento es el biogás que se produce en los rellenos sanitarios municipales, otra aplicación es la extracción de aceites de las semillas para la generación de biodiesel.



*Figura 2-7, Proceso de combustión de la biomasa*

Fuente: <http://www.veranoinstalaciones.com/biomasa.html>

### 2.2.3.2 PRINCIPALES ELEMENTOS REQUERIDOS

Para el aprovechamiento de la biomasa como parte del proyecto a desarrollarse se evaluará el empleo de la biomasa por medio de la combustión o conversión directa, y lograr así obtener la generación de calor para el secado del grano de cacao.

### 2.2.4 ENERGÍA HIDRAULICA

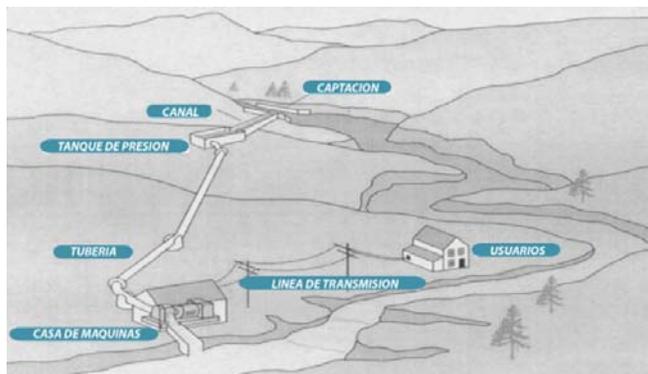
La energía hidráulica se refiere a la energía cinética que puede ser aprovechada de un cuerpo de agua producto de su movimiento que se genera cuando existe un desnivel

considerable, por lo expuesto la energía hidráulica es directamente proporcional al caudal y a la diferencia de niveles o de altura

$$Potencia = \rho * G * g * \Delta z \text{ Ecuación 2-5}$$

De la ecuación expuesta se debe de tener en consideración que  $\rho$  representa la densidad del agua,  $G$  es el caudal del agua,  $g$  la gravedad,  $\Delta z$  la diferencia de niveles que existe en el área de desarrollo del proyecto.

Los componentes generales que forman parte de un proyecto hidroeléctrico son área de captación, canal, tanque de presión, tubería, casa de máquinas y líneas de distribución de energía eléctrica, estos componentes han sido desarrollados para un sector cercano al área del proyecto determinando su viabilidad para la generación de 32 GWh, por lo consiguiente el costo de implementación es superior a los nueve millones (Rivas Jimenez, Olmedo Junco, & Parrales Solis, 2008).



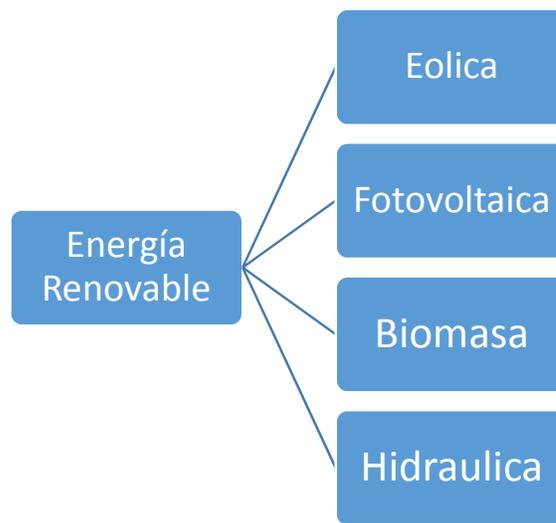
*Figura 2-8, Componentes de un proyecto hidroeléctrico*

Fuente: Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable CDTS - ESPOL

Ahora bien, dentro del análisis de los estudios realizados en el Cantón de Caluma se evidencia que existe la posibilidad de realizar un proyecto hidroeléctrico pero en sitios mucho más alejados del área de interés, y para que estos sean económicamente viables requiere que mayor inversión de la que puede ser realizada por personal que presta el servicio de secado de grano de Cacao.

### 2.3 EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS RENOVABLES Y NO RENOVABLES

Sobre la base de las ideas expuestas, la implementación de un sistema de generación de energía a partir de fuentes renovables, requiere llevar a cabo un proceso de selección basado en datos cualitativos y cuantitativos, en función de la disponibilidad del recurso en el área de estudio



*Figura 2-9, Energías renovables que son consideradas dentro del proceso de evaluación*  
Elaborador por: El Autor

Acorde a los conceptos descritos en la sección 2.2, se procede a valor la disponibilidad energética de los recursos renovables mostrados en la Tabla 2-2.

Energía renovable	Presencia en el área de estudio
Eólica	Se considera la evaluación del potencial debido a que existe la información de la serie temporal en los registros de la estación meteorológica del INAMHI.
Fotovoltaica	Se considera la evaluación del potencial debido a que existe la información de la radiación solar (insolación) por medio del en el Atlas Solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica e información de la NASA

Biomasa	La agricultura en el cantón de Caluma es la actividad económica predominante, no se evidencia la presencia de cultivos que generen cantidades considerable de biomasa para aplicaciones de bioenergía, por ende se descarta su evaluación.
Hidráulica	La presencia de un cuerpo de agua dentro del área de estudio permite considerar la evaluación del potencial de este recurso.

*Tabla 2-2, Consideraciones realizadas respecto a la implementación de energía renovable.*

Los criterios a ser utilizados para el análisis cuantitativo son determinados acorde a la revisión de la información disponible para cada recurso.

La calificación que se otorga a los diferentes criterios utilizados para valorar la posibilidad del uso de energías renovables es validada mediante la visita de técnica al área de desarrollo del proyecto. En función de estos criterios se realiza el análisis considerando aspectos anteriormente declarados como técnicos y ambientales.

La metodología utilizada se basa en una matriz de doble ponderación, esto se traduce en asignar un peso por aspecto y también un peso por categoría. En la Tabla 2-3, se muestra los aspectos con las categorías (factor). Cada categoría es acompañada con una breve descripción que ayuda a definir el criterio de evaluación.

ASPECTO	Peso Aspecto	FACTOR
Técnicos	40%	Tecnología disponible
		Sencilla operación o manejo
		Requiere menor costos de mantenimiento
		Espacio geográfico disponible
		Alcanza la potencia requerida
Ambiental	60%	Menor riesgos naturales
		Menor generación emisiones al aire
		Menor modificación del paisaje del área

		Menor generación de desechos comunes o peligrosos
		Menor remoción del suelo y vegetación existente.

*Tabla 2-3, Aspectos y Categorías a ser utilizadas para el análisis de la mejor alternativa  
Elaborado por: Autoría propia*

A continuación, se describen el criterio de evaluación que se utilizará para realizar en las categorías según su aspecto al cual corresponda.

ASPECTO	Peso Aspecto	Descripción
Técnicos	40%	Los aspectos técnicos a ser evaluados para el proyecto son considerados con un peso del 40% sobre el 100% que se debe considerar como algoritmo matemático; la parte técnica de proyecto hace referencia a la disponibilidad de la tecnología que existe así como la complejidad de operación por parte del personal que sería el beneficiario por su adquisición e instalación. La importancia o peso asignado a los aspectos técnicos es del 40% debido a que se considera como un criterio importante para ser evaluado sin embargo este no debe de sobreponerse o ser de mayor peso que el aspecto ambiental ya que se busca disminuir el impacto que recibe el ambiente por el secado del grano de cacao.
Ambiental	60%	El considerar aspectos ambientales dentro de un proceso de selección de tecnologías es importante para este proyecto ya que se busca disminuir el impacto ambiental negativo que este genera. Se le asigna un peso del 60% en vista que al tener únicamente dos aspectos de calificación (técnico y ambiental) debe ser el aspecto ambiental el criterio de mayor importancia.

*Tabla 2-4, Descripción de los aspectos*

ASPECTO	FACTOR	Breve descripción del factor de calificación
Técnicos	Tecnología disponible	La calificación se basara si existen personas o empresas públicas o privadas, de la zona y estén en la capacidad de proporcionar la tecnología requerida.
	Sencilla operación o manejo	La calificación se asignara considerando si la alternativa tecnológica es sencilla operación o manejo como es el encendido, verificación de normal operación, apagado, entre otras
	Requiere menor costos de mantenimiento	La calificación se asignara considerando el costo de mantenimiento
	Espacio geográfico disponible	La calificación se asignara considerando el espacio necesario que presente la alternativa para su implementación.
	Alcanza la potencia requerida	La calificación se asignara considerando la capacidad de generación energética a partir de los recursos de la zona
Ambiental	Menor riesgos naturales	La calificación se asignara considerando en cada alternativa el grado de afectación a partir de riesgos naturales (deslizamiento, inundación, movimiento telúrico) para su implementación.
	Menor generación emisiones al aire	La calificación se asignara considerando la generación de emisiones de gases contaminantes

	Menor modificación del paisaje del área	La calificación se asignara considerando el impacto que genere cada alternativa en el paisaje.
	Menor generación de desechos comunes o peligrosos	La calificación se asignara considerando la generación desechos comunes o peligrosos durante su operación.
	Menor remoción del suelo y vegetación existente.	La calificación se asignara considerando el porcentaje de remoción de suelo o vegetación existente para su instalación u operación.

*Tabla 2-5, Descripción de los factores de calificación*

Dentro de cada Aspecto de calificación se considera que las categorías van a tener diferentes “pesos de importancia” que son asignados bajo el “criterio de importancia” frente a los demás criterios de ponderación asignados, así también hay que indicar que los factores de calificación deben sumar un 100% para cada aspecto, por lo consiguiente se llegó a determinar los valores que se exponen en la siguiente tabla.

ASPECTO	Peso Aspecto	FACTOR	Peso Categoría	
Técnicos	40%	Tecnología disponible	25%	Sumatoria es 100%
		Sencilla operación o manejo	20%	
		Requiere menor costos de mantenimiento	20%	
		Espacio geográfico disponible	15%	
		Alcanza la potencia requerida	20%	
Ambiental	60%	Menor riesgos naturales	20%	Sumatoria es 100%
		Menor generación emisiones al aire	25%	
		Menor modificación del paisaje del área	10%	
		Menor generación de desechos comunes o peligrosos	25%	
		Menor remoción del suelo y vegetación existente.	20%	
Total	100%			

Tabla 2-6, Peso en porcentaje por Factor de calificación

Los valores de ponderación para cada factor se obtendrán del análisis de alternativas será obtenida mediante la multiplicación del peso por aspectos y del peso por categoría, tal como se muestra en la Tabla 2-7.

ASPECTO	Peso Aspecto	FACTOR	Peso Categoría	Peso Real (Aspecto por Categoría)
Técnicos	40%	Tecnología disponible	25%	10,00%
		Sencilla operación o manejo	20%	8,00%
		Requiere menor costos de mantenimiento	20%	8,00%
		Espacio geográfico disponible	15%	6,00%
		Alcanza la potencia requerida	20%	8,00%
Ambiental	60%	Menor riesgos naturales	20%	12,00%
		Menor generación emisiones al aire	25%	15,00%
		Menor modificación del paisaje del área	10%	6,00%
		Menor generación de desechos comunes o peligrosos	25%	15,00%
		Menor remoción del suelo y vegetación existente.	20%	12,00%

*Tabla 2-7, Peso real de la categoría por Aspecto*

Acorde a la metodología de evaluación de los recursos y sus tecnologías aplicables se determina que la calificación asignada tendrá un rango de valores entre 1 y 5, teniendo en cuenta el siguiente criterio, descrito en la Tabla 2-8.

Calificación	Criterio
1	Muy poco
2	Poco
3	Mediano
4	Mucho
5	Óptimo

*Tabla 2-8, Criterio de Calificación a ser utilizado*  
Elaborado por: propia

El porcentaje por categoría de cada alternativa planteada será el resultado de la multiplicación entre el peso real de la categoría con el valor asignado (escala del 1 al 5) a las distintas alternativas y dividido para el valor máximo posible asignado a cada categoría (5).

ASPECTO	Peso Aspecto	FACTOR	Peso Categoría	Peso Real (Aspecto por Categoría)	Alternativa	Alternativa en %
					Fotovoltaica	Fotovoltaica
Técnicos	40%	Tecnología disponible	25%	10,00%	2	4,00%
		Sencilla operación o manejo	20%	8,00%	3	4,80%
		Requiere menor costos de mantenimiento	20%	8,00%	5	8,00%
		Espacio geográfico disponible	15%	6,00%	5	6,00%

		Alcanza la potencia requerida	20%	8,00%	4	6,40%
--	--	-------------------------------	-----	-------	---	-------

*Tabla 2-9, Ejemplo de cálculo del Porcentaje de peso por cada alternativa*  
Elaborado por: propia

Para obtener el valor de la alternativa por el criterio de calificación se requiere multiplicar valor de calificación asignado a la alternativa evaluada entre un rango de 1 a 5 por el Peso real (aspecto por categoría) y este resultado dividirlo para cinco al ser la calificación más alta que puede asignarse.

ASPECTO	Peso Aspecto	FACTOR	Peso Categoría	Peso Real (Aspecto por Categoría)	Alternativa	Alternativa en %
					Fotovoltaica	Fotovoltaica
Técnicos	40%	Tecnología disponible	25%	10,00%	2	4,00%
		Sencilla operación o manejo	20%	8,00%	3	4,80%
		Requiere menor costos de mantenimiento	20%	8,00%	5	8,00%
		Espacio geográfico disponible	15%	6,00%	5	6,00%
		Alcanza la potencia requerida	20%	8,00%	4	6,40%
Ambiental	60%	Menor riesgos naturales	20%	12,00%	4	9,60%
		Menor generación emisiones al aire	25%	15,00%	5	15,00%

		Menor modificación del paisaje del área	10%	6,00%	5	6,00%
		Menor generación de desechos comunes o peligrosos	25%	15,00%	2	6,00%
		Menor remoción del suelo y vegetación existente.	20%	12,00%	5	12,00%
Total por Aspecto						78,00%

*Tabla 2-10, Ejemplo de la obtención del subtotal por alternativa*

Finalmente el valor ponderado final por alternativa será la suma de los porcentajes totales con los que han sido calificados. La alternativa que haya obtenido el mayor valor en el Total será la alternativa a seleccionar para continuar con el desarrollo de los proyecto de adaptación de energía renovables como sistema complementario al proceso de secado del grano de cacao.

### 2.3.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación se exponen las tablas de resultados obtenidos

**Valoración de la aplicación de las energías renovables como sistemas complementarios al proceso de secado de granos de cacao. Cantón Caluma**

**Maestría en Ciencias Ambientales**

ASPECTO	Peso Aspecto	FACTOR	Peso Categoría	Peso Real (Aspecto por Categoría)	Alternativas				Alternativas en Porcentaje, %			
					Eólica	Fotovoltaica	Biomasa	Hidráulica	Eólica	Fotovoltaica	Biomasa	Hidráulica
Técnicos	40%	Tecnología disponible	25%	10,00%	1	2	3	1	2,00%	4,00%	6,00%	2,00%
		Sencilla operación o manejo	20%	8,00%	2	3	5	2	3,20%	4,80%	8,00%	3,20%
		Requiere menor costos de mantenimiento	20%	8,00%	3	5	5	3	4,80%	8,00%	8,00%	4,80%
		Espacio geográfico disponible	15%	6,00%	5	5	5	3	6,00%	6,00%	6,00%	3,60%

**Valoración de la aplicación de las energías renovables como sistemas complementarios al proceso de secado de granos de cacao. Cantón Caluma**

**Maestría en Ciencias Ambientales**

		Alcanza la potencia requerida	20%	8,00%	2	4	2	2	3,20%	6,40%	3,20%	3,20%
Ambien- tal	60%	Menor riesgos naturales	20%	12,00%	3	4	4	2	7,20%	9,60%	9,60%	4,80%
		Menor generación emisiones al aire	25%	15,00%	5	5	1	5	15,00%	15,00%	3,00%	15,00%
		Menor modificación del paisaje del área	10%	6,00%	4	5	2	4	4,80%	6,00%	2,40%	4,80%
		Menor generación de desechos	25%	15,00%	4	2	3	5	12,00%	6,00%	9,00%	15,00%

		comunes o peligrosos										
		Menor remoción del suelo y vegetación existente.	20%	12,00%	5	5	5	3	12,00 %	12,00 %	12,00%	7,20%
Total de Aspectos									70%	78%	67%	64%

*Tabla 2-11, Resultados cualitativos obtenidos*

**EVALUACION DE LA ALTERNATIVA DE ENERGIA RENOVABLE EN EL SECTOR DE CALUMA**

ASPECTO	FACTOR	Alternativas			
		Eólica	Fotovoltaica	Biomasa	Hidráulica
Técnicos	Tecnología disponible	1 No se evidencia que existan empresas y/o personas que realicen servicios profesionales, ni proveedores de	2 No se evidencia que existan empresas y/o personas que presten servicios profesionales, proveedores de paneles fotovoltaicos;	3 Como parte de las entrevistas realizadas en la visita técnica se determinó solo existen personas naturales que realizan el servicio de	1 No se evidencio empresas que realicen la prestación de servicios profesionales dentro del área del proyecto.

		suministros o equipos en el área del proyecto.	sin embargo, se evidencio la venta de otros equipos que forman parte del sistema como son las baterías, en el área del proyecto.	construcción e instalación de quemadores.	
Sencilla operación o manejo	2 (poco)	La tecnología eólica emplea una serie de transformadores para elevar el voltaje e instrumentación para controlar la variación de generación de eléctrica, siendo necesario personal altamente calificado	3 (mediano) En la práctica, el campo de captación fotovoltaico puede generar en forma autónoma. Sin embargo se requiere un conocimiento técnico para manejo del sistema de almacenamiento.	5 (optimo) Se considera el proceso de combustión de la biomasa para transferir calor al aire y poder realizar el secado del grano de cacao, esto representa el solo el cambio de la fuente de energía existente.	2 (poco) La operación de una central hídrica es compleja, siendo necesario personal altamente calificado.
Requiere menor costos de mantenimiento	3	Se considera que la logística y personal calificado para el mantenimiento del aerogenerador, puede ser elevada	5 Los costos de mantenimiento para una central fotovoltaica, pueden considerarse bajos, ya que solo es necesario	5 Para el mantenimiento de los sistemas de combustión de biomasa, en la práctica, solo se considerar la limpieza del quemador.	3 Existen costos elevados asociados al mantenimiento preventivo de elemento mecánicos y eléctricos

			limpieza del campo del campo de captación y cambio del agua de la batería, para el caso Plomo ácido 5.	
	Espacio geográfico disponible	5 De la vista técnica realizada al área de desarrollo del proyecto se evidencio que existe área disponible para desarrollo tecnológico, por lo que se considera un cumplimiento óptimo asignando un valor de 5.		3 El cuerpo de agua que se encuentra más cercano no presenta las condicionantes necesarias para su aprovechamiento por diferentes motivos entre estos está el espacio disponible, por tal motivo se considera una calificación de cumplimiento media asignando un valor de 3.

	Alcanza la potencia requerida	2 Acorde a los registros obtenidos de la velocidad del viento tanto por el INAMHI y por la NASA se estima un promedio de 2 a 3 m/s. La velocidad de arranque de un aerogenerador es de al menos del 5 m/s	4 Los registros de radiación solar presentados por la NASA para el área del proyecto es de alrededor de 4 Kw hora/m <sup>2</sup> día, lo que acorde a la metodología de cálculo de los sistemas fotovoltaico es muy conveniente para su aprovechamiento.	2 Se evidencio que no existe la suficiente biomasa residual en el área del proyecto	2 No existen registros históricos del caudal del cuerpo hídrico
Ambiental	Menor riesgos naturales	3 La ubicación de un equipo eólico para su aprovechamiento sería dentro de las instalaciones de la empresa lo que genera un riesgo de caída de equipos sobre los.	4 La instalación de estos equipos estarían expuesto a los mismos riesgos naturales que están expuestas las personas que habitan el sector		2 El cuerpo de agua cercana al área de desarrollo del proyecto presenta en tiempos de inviernos grandes crecimientos y arrastre de animales como de vegetación por lo consiguiente se califica como poco cumplimiento.

	Menor generación emisiones al aire	5 Las tecnológica eólica y solar no generan emisiones al aire.		1 El proceso de combustión de la biomasa genera emisiones de material particulado y gases	5 No genera emisiones al aire.
	Menor modificación del paisaje del área	4 La instalación de una torre eólica produce un cambio visual en el paisaje	5 Las instalaciones de paneles fotovoltaicos ocupan el espacio existente en los techos de la vivienda por lo que no existe un cambio visual en el paisaje.	2 La emisión de materia particulado o vapor de agua, genera una percepción en la comunidad de contaminación por lo que se ha considerado una calificación poco cumplimiento.	2 El requerimiento de instalación de un proyecto hidráulico para el área del proyecto, genera un cambio en el paisaje por lo que considera que ha considerado una calificación de poco cumplimiento.
	Menor generación de desechos comunes o peligrosos	4 El mantenimiento de la turbina eólica produce desechos que pueden llegar a ser considerados peligrosos.	2 Las instalaciones fotovoltaicas llegan a generar desechos peligrosos cuando se utiliza baterías para el almacenamiento de energía,	3 El proceso de acumulación de biomasa puede llegar a generar efluentes que pueden llegar a ser categorizados como peligrosos	5 Este tipo de energía no genera desechos peligrosos

	Menor remoción del suelo y vegetación existente.	5 Este proceso no requiere remoción de vegetación ya que puede ser implementado dentro del área del proyecto	3 Generalmente este tipo de tecnología requiere de infraestructura adicional y genera remoción de vegetación existente.
--	--	---	--

*Tabla 2-12, Resultados cualitativos obtenidos*

***Valoración de la aplicación de las energías renovables como sistemas complementarios al proceso de secado de granos de cacao. Cantón Caluma***

***Maestría en Ciencias Ambientales***

## CAPITULO 3. DISEÑO DEL SISTEMA

### 3.1 INSTALACIONES.

Durante la visita técnica realizada en las instalaciones donde el cacao húmedo se procesa para su posterior secado, se constató tres secadores que utilizan aire caliente para el proceso de secado (secado por método de convección). Para producir el aporte de energía para el funcionamiento de los secadores se utiliza Gas licuado de Petróleo (GLP) (funcionamiento del quemador) y energía eléctrica proveniente de la red de distribución de la localidad (funcionamiento del extractor, eje rotatorio, entre otros equipos menores).

El secador de mayor volumen tiene una capacidad para secar de 150 quintales de cacao equivalente a 6,82 Toneladas. Seguido, de otros dos secadores con capacidad de 60 y 80 quintales. El proceso de secado tarda un tiempo estimado de 8 horas a temperaturas de 85°C. Se estima que los secadores utilizan para su funcionamiento 2000 kg por semana de GLP industrial (siendo abastecido por tanqueros). Seguidamente, durante la visita se observó pérdidas de transferencia de calor por las paredes de los secadores y en el flujo de llama del quemador durante el proceso de calentamiento del aire.

En consecuencia de lo antes planteado, para este proyecto se realizará el rediseño del secador de mayor capacidad con el objetivo de disminuir las pérdidas de consumo energético, a la vez, se implementaran nuevas alternativas utilizando fuentes energéticas renovables; con la finalidad de reducir la dependencia energética y al mismo tiempo se contribuye a la disminución de emisiones precursoras del cambio climático que al considerarse como energías limpias no generan emisiones de gases de efecto invernadero durante su utilización.



*Figura 3-1, Secador de 150 quintales*

## 3.2 CALCULO DE ENERGÍA.

### 3.2.1 ENERGÍA TEÓRICA REQUERIDA PARA EL SECADO DEL GRANO DE CACAO

Para iniciar con el análisis del rediseño del secador, se procede a determinar el consumo total de energía requerido para secar 150 quintales de cacao durante 8 horas de operación del secador. Para ello, se emplea la

$$\dot{m}(h_1 - h_0)$$

Ecuación 3-1.

$$Q =$$

$$Q = \dot{m}(h_1 - h_0)$$

Ecuación 3-1

Donde; Q, representa el consumo de energía en (W) .  $\dot{m}$ , es el flujo de masa de aire seco (kg aire seco/hora) .  $h_1$ , entalpia del fluido caliente para una temperatura de secado del grano de cacao a 85°C (kJ/kg) .  $h_0$ , entalpia del aire ambiental a una temperatura de 27,2°C.

Los valores de entalpia son obtenidos de la carta psicométrica, presentados en el anexo A. Por otra parte para determinar la masa de aire seco se emplea la ecuación 3.2 donde se relaciona  $m_{\text{evaporación}}$  corresponde a la velocidad de evaporación (Kg/seg);  $w_2$  , humedad absoluta de aire seco obtenida en la tabla psicométricas para un estado final

(kg agua / kg aire seco).  $W_0$ , humedad absoluta inicial del proceso. ( $\dot{m} = \frac{m_{evaporación}}{(w_2 - w_0)}$ )

Ecuación 3-2)

$$\dot{m} = \frac{m_{evaporación}}{(w_2 - w_0)} \quad \text{Ecuación 3-2}$$

La velocidad de evaporación se determina a través de la  $m_{evaporación} = m_{agua\ inicial} - m_{agua\ residual}$  Ecuación 3-3.

$$m_{evaporación} = m_{agua\ inicial} - m_{agua\ residual} \quad \text{Ecuación 3-3}$$

Para determinar la masa del agua inicial evaporada se determina a través de la  $m_{agua\ inicial} = m_{prod\ humedo} * H_i$  Ecuación 3-4.

$$m_{agua\ inicial} = m_{prod\ humedo} * H_i \quad \text{Ecuación 3-4}$$

Donde;  $H_i$  corresponde a la humedad del grano de cacao al inicio del proceso de secado siendo del 60% (humedad promedio determinada en las muestras entregada por los vendedores del grano de cacao).

La masa del producto seco se determina aplicando la  $m_{prod\ humedo} = C_{ap\ procesamiento} * \left(0,00277778 \frac{kg/seg}{Kg/h}\right)$  Ecuación 3-5, para ello es requerido conocer

la capacidad de procesamiento del equipo.  $C_{ap\ procesamiento} = C_{abt\ producto} * \left(\frac{1000}{T_{secado}}\right)$

Ecuación 3-6.

$$m_{prod\ humedo} = C_{ap\ procesamiento} * \left(0,00277778 \frac{kg/seg}{Kg/h}\right) \quad \text{Ecuación 3-5}$$

$$C_{ap\ procesamiento} = C_{abt\ producto} * \left(\frac{1000}{T_{secado}}\right) \quad \text{Ecuación 3-6}$$

Donde;  $C_{abt\ producto}$  corresponde a los 150 quintales que son secados en el sistema,  $T_{secado}$  es el tiempo de secado que requiere el grano de cacao (8 horas).

Posteriormente calculada la masa de agua inicial del grano de cacao se procede determinar la masa de agua que habría de evaporar.

$$m_{agua\ residual} = m_{prod\ solido} \frac{H_0}{H_0\ prod\ solido} \quad \text{Ecuación 3-7}$$

Siendo;  $H_0\ prod\ solido = (1 - H_0)$  , Donde:  $H_0$  es la humedad del grano de cacao al finalizar el proceso de secado. Acorde a la norma INEN establece que el grano de cacao seco debe estar a lo sumo a un 7% de humedad. La masa del producto sólido se determina a través de la relación de la humedad relativa inicial del grano de cacao ( $H_i$ ) siendo del 60% acorde a las condiciones antes indicadas.

$$m_{prod\ solido} = H_i\ prod\ solido * m_{prod\ humedo} \quad \text{Ecuación 3-8}$$

$$H_i\ prod\ solido = 1 - H_i \quad \text{Ecuación 3-9}$$

Finalmente, las variables calculadas se detallan en Tabla 3-1.

Nombre	Simbología	Valor	Unidad
Cantidad de cacao a secar	$C_{ant\ producto}$	150	q
		6,82	Ton
Humedad relativa ambiental	$HR_{ambiente}$	62	%
Humedad relativa del secado	$HR_{secado}$	3,887	%

Humedad relativa del flujo de salida.	$HR_{final}$	75	%
Presión atmosférica	P	101,3	kPa
Densidad del flujo de salida del secador	$\rho$	0,9638	Kg/m <sup>3</sup>
Temperatura ambiental	$T_0$	27,2	°C
Temperatura del aire caliente para el secado del grano de cacao.	$T_1$	85	°C
Temperatura del flujo de aire saliente con una humedad de 75%	$T_2$	38,39	°C
Tiempo de secado.	$T_{secado}$	8	Horas
Humedad inicial del grano de cacao	$H_i$	60	%
Humedad final del grano de cacao al terminar el proceso de secado	$H_0$	7	%
Humedad del producto sólido que ingresa al secador ( realizado un pre tratamiento de secado al sol)	$H_{i \text{ prod solido}}$	45	%
Humedad final del producto seco	$H_{o \text{ prod solido}}$	6	%

Entalpia inicial del flujo del aire a 85°C	$h_0$	63,39	KJ/kg
Entalpia del flujo de aire de salida a 38,39°C	$h_2$	123	KJ/kg
Flujo de masa de producto húmedo que será secado en el equipo	$m_{\text{prod húmedo}}$	0,2368	Kg/seg
Flujo de masa de producto solido que será secado en el equipo	$m_{\text{prod solido}}$	0,09472	Kg/seg
Flujo de masa de agua que contiene el producto con humedad de 60%	$m_{\text{agua inicial}}$	0,1421	Kg/seg
Flujo de masa de producto solido que será secado en el equipo	$m_{\text{agua residual}}$	0,00713	Kg/seg
Humedad absoluta ambiental.	$W_0$	0,01412	kg agua / kg aire
Humedad absoluta del aire caliente.	$W_2$	0,03283	kg agua / kg aire
Energía total	$Q$	430,2	kW h

*Tabla 3-1, Datos técnicos relacionados al calculo de energía para secado de grano de cacao*

De la tabla 3.1 se determina que la energía total requerida para secar el grano de cacao de un 60% de humedad a un 7% se requiere de un total de 430,2 KW.

### 3.2.2 ENERGÍA REAL UTILIZADA PARA EL SECADO DEL GRANO DE CACAO.

En esta sección se determina la energía que consume todo el sistema durante el proceso de secado, por lo consiguiente se procederá a realizar el cálculo de energía que realmente está consumiendo el sistema considerando únicamente la fuente de energía del quemador, que utiliza como combustible Gas Licuado de Petróleo (GLP).

$$Q_{quemador} = \frac{C_{pi\ GLP} * m_{GLP}}{3600} \quad \text{Ecuación 3-10}$$

Donde,  $C_{pi\ GLP}$  corresponde al poder calorífico inferior del GLP (KJ/kg) y  $m_{GLP}$  corresponde a los kilogramos de combustible que consume el equipo por hora (Kg/hora)

A continuación se presentan en la Tabla 3-2, los resultados obtenidos;

Nombre	Simbología	Valor	Unidad
<b>Poder calorífico inferior del GLP</b>	$C_{pi\ GLP}$	45.795	KJ/kg
<b>Kilogramos de combustible que consume el equipo</b>	$m_{GLP}$	45	Kg
<b>Energía proporcionada por el quemador</b>	$Q_{quemador}$	572,43	kW

*Tabla 3-2, Datos técnicos respectivos para el calculo de energía proporcionado por el quemador*

Se puede determinar que el quemador proporciona 572,43 KW de energía para secar el grano de cacao. Recordemos que el sistema cuenta con equipos adicionales que utilizan energía eléctrica, por consiguiente, estos también se deben incluir en el análisis.

Para determinar la energía que consumen los accesorios e implementos que utilizan electricidad durante el proceso de producción, se procedió a revisar el consumo eléctrico descrito en las placas de especificación de cada equipo.

A continuación se muestra el consumo de energía que requiere el ventilador centrífugo que se encarga de ingresar el aire caliente al secador y el motor que impulsa el sistema que mueve el grano para mejorar el contacto con el aire caliente.

Equipo	Potencia (KW)	Número de horas que opera en el día	Consumo de energía kWh
	P	H	
Ventilador centrífugo	5,5	8	44
Motor que mueve el grano	2,2	8	17,6
Energía total requerida por los equipos adicionales (kWh)			61,6

*Tabla 3-3, Energía requerida por los equipos auxiliares del secador de grano de cacao*



*Figura 3-2, Placa del motor que impulsa el sistema que mueve los granos de cacao.*



Figura 3-3, Motor que impulsa el sistema que mueve el grano de cacao



Figura 3-4, Placa y ubicación del motor del ventilador centrífugo

Finalmente, se determina que la energía consumida por el secador es de 634,03 kWh.

Ver Tabla 3-4

Equipo	Consumo de Energía kW h
Motor de ventilador	44
Motor que mueve el grano	17,6
Quemador	572,43
Consumo de energía total	634,03

*Tabla 3-4, Consumo de energía de los diferentes equipos que conforman el secador de grano de cacao*

### 3.3 CALCULO DE PERDIDAS DE ENERGIA

Durante la visita técnica realizada a las instalaciones se realizaron mediciones de temperatura tanto externas e internas de las paredes del secador, registrándose que a partir de los 10 min las paredes externas alcanzaban temperaturas alrededor de los 55 a 60 grados centígrados, por lo tanto, se puede indicar que existe pérdida de calor excesiva del equipo de secado (Figura 3-5). Además, la llama del quemador al estar distante al ventilador centrífugo, es evidente una pérdida de calor por la flama, registrándose temperaturas del aire en el entorno de 250 a 400 °C. (Figura 3-6)



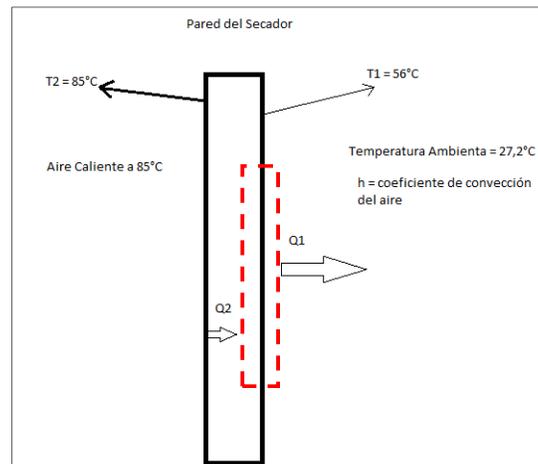
*Figura 3-5, Pérdida de calor por las paredes del secador*



*Figura 3-6, Pérdida de calor durante el ingreso de aire caliente al ventilador centrífugo*

### 3.3.1 PERDIDA DE CALOR POR LAS PAREDES DEL SECADOR

Para determinar la energía que se pierde a través de las paredes del secador se implementa las ecuaciones correspondientes a la transferencia realizadas por (Frank P., 1999).



*Figura 3-7, Esquema que visualiza el sentido y dirección en que se transporta la energía por la pared del secador*

Para el cálculo se considera que la temperatura promedio de la pared superficial en el exterior del secador es de alrededor del 56°C, la temperatura dentro del secador será de 85°C; la energía que ingresa al sistema se determina como  $Q_2$ , y la energía que se pierde a través de la pared del secador será determinado como calor  $Q_1$ . Se constató que las paredes del secador no cuentan con algún aislamiento motivo por el cual la temperatura superficial de la pared en el exterior se eleva hasta 60°C.

Para determinar la energía que se libera por la pared del secador se debe tener en consideración los siguientes supuestos:

- La transferencia de calor es unidireccional en las paredes del secador y ocurre por conducción.
- La temperatura interna de la pared del secador es homogénea alrededor de los 85°C.
- La temperatura del aire ambiente será de 27,2°C, valor que es tomado de los datos meteorológicos proporcionados por la NASA para un promedio anual de 22 años.

A partir de la primera ley de la termodinámica la sumatoria de energía es igual a cero por lo consiguiente la energía entrada será igual a la energía de salida.

$$E_{entra} - E_{sale} = 0 \quad \text{Ecuación 3-11}$$

$$E_{entra} = E_{sale} \quad \text{Ecuación 3-12}$$

Siendo;

$$Q_2 = Q_1$$

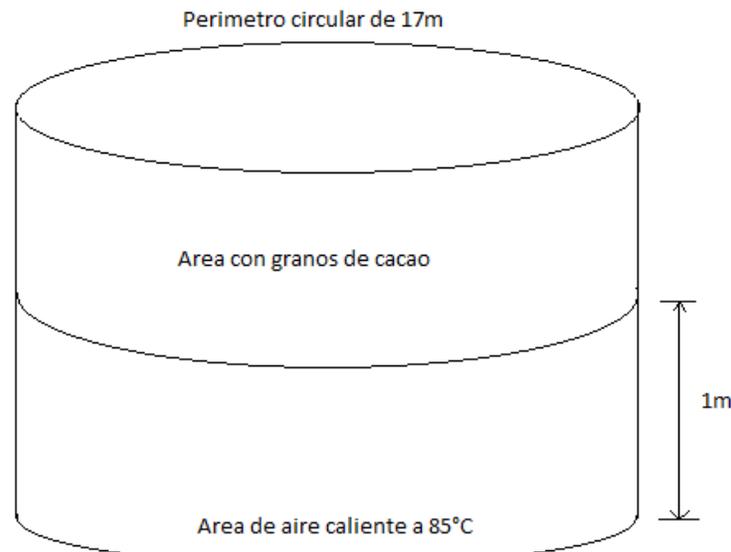
$$Q_1 = h * (T_1 - T_{amb}) \quad \text{Ecuación 3-13}$$

Por lo tanto, la intensidad de energía que se pierde a través de la pared del secador será de;

$$Q_1 = 20 \frac{W}{m^2} * ((56 + 273) - (27,2 + 273)) \quad \text{Ecuación 3-14}$$

$$Q_1 = 576 W/m^2 \quad \text{Ecuación 3-15}$$

Para obtener la energía o potencia en W, que se libera por las paredes del secador debemos de conocer el área que se encuentra expuesto a 85°C.



*Figura 3-8, Visualización del área donde se seca el grano de cacao, la inferior se calienta y la superior recibe el flujo de aire caliente para secado del grano de cacao.*

Siendo A = la altura del cilindro expuesta a 85°C por el perímetro del tanque,  $A = 1m * 17m = 17m^2$ .

$$E_{\text{sale por las paredes del cilindro}} = 576W/m^2 * 17 m^2 = 9792 W$$

Finalmente se determina que las pérdidas de energía en la paredes serán de 9.79 kW por hora de operación del secador.

### 3.3.2 PERDIDAS DE CALOR GENERADOS EN EL QUEMADOR

Tal como se explicó en la sección anterior, existe perdida de calor por radiación y convección de la flama generada por el quemador.

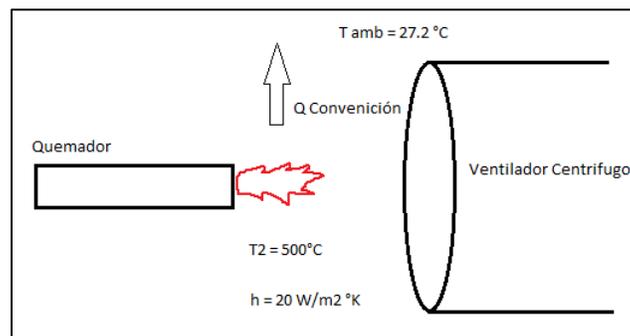


Figura 3-9, Esquema del quemador y la admisión de aire caliente

Para realizar el cálculo de pérdida de energía se analiza la transferencia de calor través de la convección de la flama hacia el aire ambiente y lo que emite por la radiación,

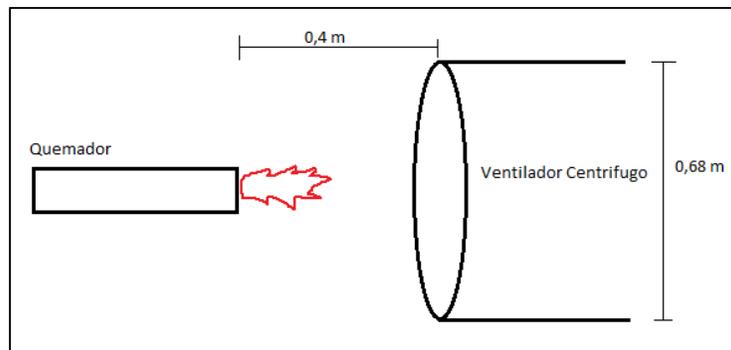
$$(Q_{convección} = h * (T_2 - T_{amb}) + \epsilon\sigma\Delta T^4) \quad \text{Ecuación 3-16}$$

$$Q_{convección} = h * (T_2 - T_{amb}) + \epsilon\sigma\Delta T^4 \quad \text{Ecuación 3-16}$$

Es así, que se determina que la intensidad por perdida de calor será de ;

$$Q_1 = 9.456 W/m^2$$

Para definir el área, se considera el diámetro de ingreso del ventilador centrífugo de 0,68m y una distancia de separación de 0.40 m como se puede observar en la Figura 3-10.



*Figura 3-10, Distancia que existe entre el quemador y el ventilador centrífugo.*

El área de influencia se determina a través de la distancia de flama y diámetro del cilindro.

$$A = 0.4 * 0.68 * \pi$$

$$A = 0,85\text{m}^2$$

Por lo tanto la pérdida de calor generado durante el funcionamiento del quemador será de ;

$$E_{\text{pérdida por la llama}} = 9.476\text{W/m}^2 * 0,85 \text{ m}^2 = 8.037,6 \text{ W}$$

A través del análisis se pudo determinar que las pérdidas de energía durante el proceso de secado de grano de cacao fueron de: 9792 W en las paredes del secador y 8037,6 W correspondientes a las pérdidas del flujo de flama que calienta el aire que ingresa al sistema. Se hace evidente entonces, que se deberá implementar alternativas de mejora para el ahorro de energía en el proceso de secado.

### 3.3.3 AHORRO DE ENERGÍA AL IMPLEMENTAR AISLAMIENTO EN LAS PAREDES DE SECADOR

Entre las alternativas planteadas para el ahorro de energía en el proceso de secado se ha determinado proceder a aislar térmicamente las paredes del secador con ladrillos refractarios los cuales son común mente utilizados para el revestimiento de hornos o calderas.

Los ladrillos refractario están compuesto de sílice y alúmina que al ser de material tipo cerámico evita las pérdidas de calor, teniendo un coeficiente de conducción de  $1,3\text{W/m}^{\circ}\text{K}$  y dimensiones de  $20 \times 6,5 \times 10$  cm.

Para el cálculo de la cantidad de refractario a utilizar , se considera que el recubrimiento de las paredes será de un espesor de 6,5 cm , evitando así que la superficie interna del secador se exponga a  $85^{\circ}\text{C}$ , con esta nueva capa se procede nuevamente a calcular la perdida de energía que se libera durante el proceso de secado.

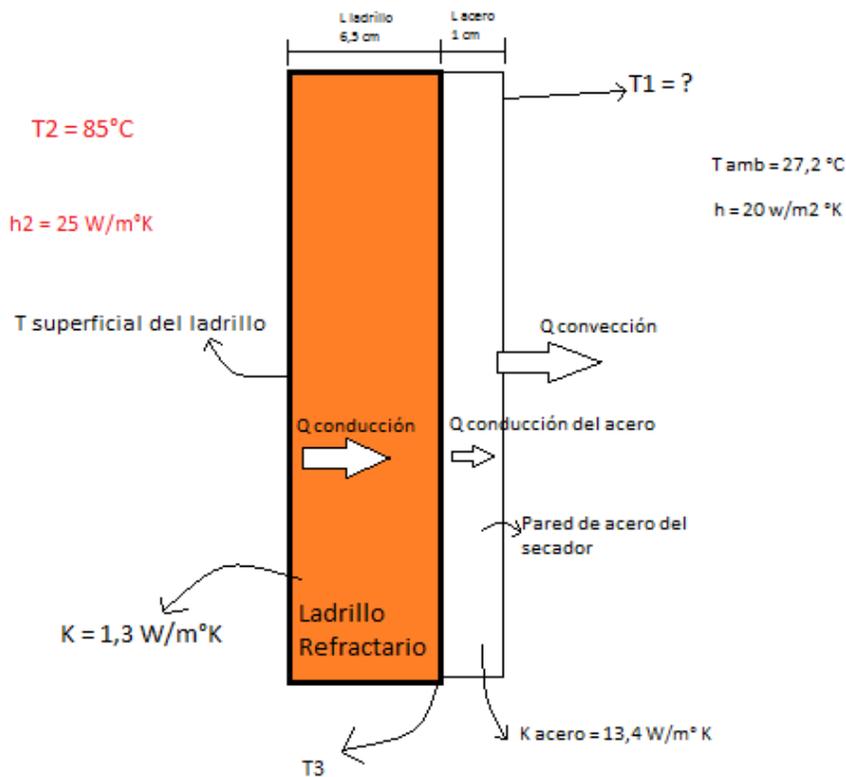
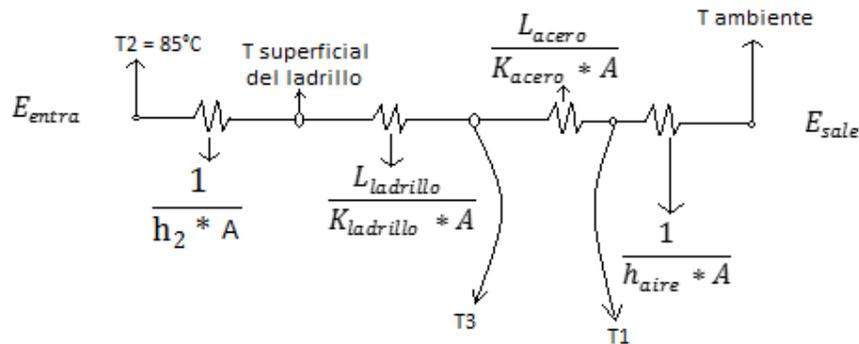


Figura 3-11, Esquema del flujo de calor a través de la pared del secador con presencia de ladrillo refractario.

Como se puede observar en la Figura 3-11, no se conoce las temperatura que tendrá la superficie del secador una vez que se instala el aislamiento con ladrillo refractario ( $T_1$ ), tampoco se conoce las temperaturas a las que llegara en la superficie entre el ladrillo y la pared del secador ( $T_3$ ), para ello, se utiliza los siguientes criterios de análisis para determinar la energía que se perderá en las paredes;



*Figura 3-12, Representación del flujo de energía a través de las paredes del secador con aislamiento identificadas como resistencias.*

Para continuar con el análisis es necesario determinar los siguientes supuestos:

- La temperatura del aire caliente se mantiene constante
- La transferencia de calor a través de las paredes del ladrillo y de la pared del secador es unidireccional
- La resistencia térmica que se produce entre el ladrillo refractario y la pared del secador es insignificante por lo que no forma parte de este análisis.
- Las propiedades de los ladrillos refractarios y de la pared del secador son homogéneas.

Para el análisis se determina que las pérdidas de energía por convección (fluido caliente, aire ambiente) y conducción (ladrillo refractario, pared del secador) partiendo que la temperatura ambiente es de  $27,2^\circ\text{C}$  y el fluido de aire caliente que ingresa a la cámara de secado tendrá una temperatura de  $85^\circ\text{C}$ . A continuación se presentan los cálculos desarrollados para determinar el ahorro de energía que tendrá el secador al colocar ladrillos refractarios en la cámara de secado.

$$E_{entra} - E_{sale} = 0$$

$$E_{entra} = E_{sale}$$

$$E_{entra} = \frac{(T_2 - T_1)}{\sum R}$$

$$E_{sale} = h_{aire ambiente} * A * (T_1 - T_{amb})$$

$$\sum R = \left( \frac{1}{1/(h2 * A)} \right)^{-1} + \frac{L_{ladrillo}}{K_{ladrillo} * A} + \frac{L_{acero}}{K_{acero} * A}$$

$$\sum R = \frac{1}{A} \left( \left( \frac{1}{h2} \right) + \frac{L_{ladrillo}}{K_{ladrillo}} + \frac{L_{acero}}{K_{acero}} \right)$$

Reemplazando las ecuaciones obtenidas en el balance de energía tenemos lo siguiente

$$\frac{(T_2 - T_1)}{\sum R} = h_{aire ambiente} * A * (T_1 - T_{amb}) \quad \text{Ecuación 3-17}$$

$$\frac{(T_2 - T_1)}{\frac{1}{A} \left( \left( \frac{1}{h2} \right) + \frac{L_{ladrillo}}{K_{ladrillo}} + \frac{L_{acero}}{K_{acero}} \right)} = h_{aire ambiente} * A * (T_1 - T_{amb})$$

Al ser el área la misma se procede a simplificarla del balance de la ecuación general, posteriormente se procede a reemplazar las variables obtenidas previamente, determinando de esta manera la temperatura exterior que llegara en las paredes del secador.

$$\frac{(85^{\circ}\text{C} + 273 - T_1)}{\left(\left(\frac{1}{25 \text{ W/m}^2\text{K}}\right) + \frac{0,065\text{m}}{1,3 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}} + \frac{0,01\text{m}}{13,4 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}}\right)} = 20 * (T_1 - 27,2^{\circ}\text{C} + 273)$$

$$T_1 = 318,85 \text{ }^{\circ}\text{K} = 45^{\circ}\text{C}$$

A partir de haber determinado la temperatura exterior de la pared se calcula nuevamente la energía que se perdería por las paredes del secador una vez colocado los ladrillos térmicos. ( $E_{\text{sale}} = h_{\text{aire ambiente}} * A * (T_1 - T_{\text{amb}})$ )

Ecuación 3-18)

$$E_{\text{sale}} = h_{\text{aire ambiente}} * A * (T_1 - T_{\text{amb}})$$

Ecuación 3-18

$$E_{\text{sale}} = 20 \text{ W/m}^2\text{ }^{\circ}\text{K} * 17\text{m}^2 * (318,85 - 300,2)^{\circ}\text{K}$$

Siendo la pérdida de energía de ;

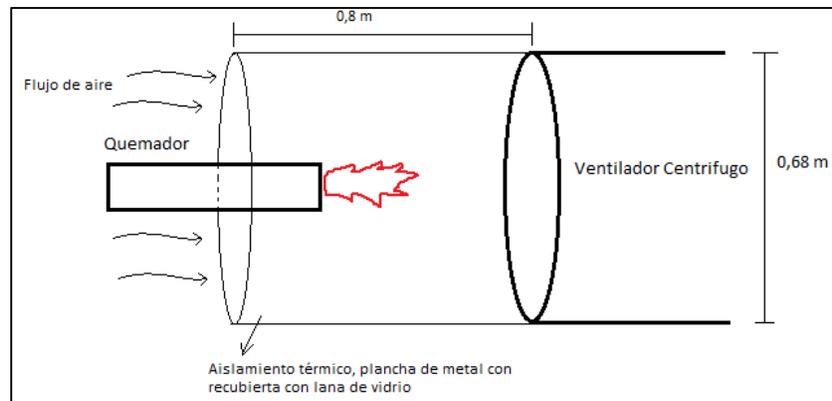
$$E_{\text{sale}} = 6337,6 \text{ W}$$

A partir de este análisis se determina que para cubrir la pared del secador (17m<sup>2</sup>) de ladrillo refractario (dimensiones 20x 10 cm), se requieren 850 ladrillos.

### 3.3.4 AHORRO DE ENERGÍA AL IMPLEMENTAR AISLAMIENTO EN LA LLAMA

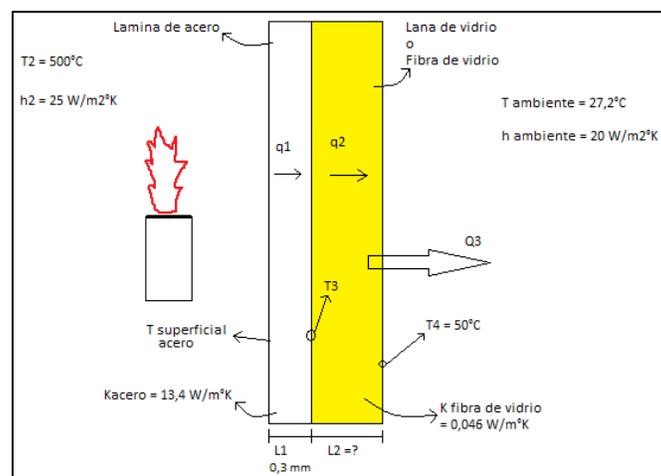
Se considera importante poder instalar una cubierta cilíndrica para empatar el quemador con el ventilador centrífugo con la finalidad de evitar las pérdidas por radiación y convección de la flama . Además este accesorio metálico será recubierto

con lana de vidrio siendo un material comúnmente utilizado como aislamiento térmico en sistemas de calentamiento y refrigeración, evitando las pérdidas por conducción que se puedan generar en estos procesos. A continuación se observa el esquema a analizar.



*Figura 3-13, Instalación de aislamiento entre el quemador y el ambiente para evitar pérdida de energía a través de calor.*

En la Figura 3-14 se presenta el análisis térmico que se considera para el cálculo de las pérdidas de calor.



*Figura 3-14, Esquema del comportamiento del flujo de energía desde el quemador y la pared de aislamiento diseñada.*

A continuación se presentan los cálculos que se ha desarrollado a través del análisis de transferencia de calor, con el objetivo de determinar las dimensiones del cilindro metálico, espesor del aislamiento y las pérdidas de calor representativas en el cilindro.

$$E_{entra} - E_{sale} = 0$$

$$E_{entra} = E_{sale}$$

Por lo tanto;

$$E_{entra} = q_1 = \frac{(T_2 - T_4)}{\sum R}$$

Y ;

$$E_{sale} = h_{aire ambiente} * A * (T_4 - T_{amb})$$

Para determinar el coeficiente de pérdidas de calor, se analiza utilizando el método de resistencias;

$$\sum R = \left( \frac{1}{1/(h2 * A)} \right)^{-1} + \frac{L_1}{K_{acero} * A} + \frac{L_2}{K_{fibra vidrio} * A}$$

$$\sum R = \frac{1}{A} \left( \left( \frac{1}{h2} \right) + \frac{L_1}{K_{acero}} + \frac{L_2}{K_{fibra de vidrio}} \right)$$

Reemplazando las ecuaciones obtenidas en el balance de energía, se obtiene que;

$$\frac{(T_2 - T_4)}{\sum R} = h_{\text{ambiente}} * A * (T_4 - T_{\text{amb}})$$

Por lo tanto;

$$\frac{(T_2 - T_4)}{\frac{1}{A} \left( \frac{1}{h_2} + \frac{L_1}{K_{\text{acero}}} + \frac{L_2}{K_{\text{fibra de vidrio}}} \right)} = h_{\text{ambiente}} * A * (T_4 - T_{\text{amb}})$$

Posteriormente para el cálculo, al ser las mismas áreas se procede a simplificarlas, la temperatura de interior (lo que emite la flama) será de 450 °C , temperatura ambiente 27,2 °C , se propone una temperatura superficial del cilindro de 50°C, a partir de ello , se determina el espesor de la fibra de vidrio;

$$\frac{(T_2 - T_4)}{h_{\text{ambiente}} * (T_4 - T_{\text{amb}})} = \left( \frac{1}{h_2} \right) + \frac{L_1}{K_{\text{acero}}} + \frac{L_2}{K_{\text{fibra de vidrio}}}$$

$$L_2 = K_{\text{fibra de vidrio}} \left[ \frac{1}{h_{\text{ambiente}} (T_4 - T_{\text{amb}})} - \frac{1}{h_2} - \frac{L_1}{K_{\text{acero}}} \right]$$

$$L_2 = 0,046 \text{ W/m}^\circ\text{K} \left[ \frac{1}{20 \text{ W/m}^2\circ\text{K}} \frac{(500 - 50)}{(50 - 27,2)} - \frac{1}{25 \text{ W/m}^2\circ\text{K}} - \frac{0,0003\text{m}}{13,4 \text{ W/m}^\circ\text{K}} \right]$$

Realizando un aproximando,

$$L_2 = 5 \text{ cm}$$

Como se determinó en el cálculo, el espesor requerido para que el cilindro metálico alcance una temperatura superficial de 50°C será de 5 cm, con la finalidad de evitar quemadura a los operadores que manipulan el sistema de calentamiento del secador.

Para la construcción del cilindro se recomienda utilizar acero inoxidable ASTM A240 con un espesor de 0,3mm, llegando a cubrir un área de 1,70 m<sup>2</sup>.

Finalmente, se determina las pérdidas de calor en el cilindro;

$$E_{sale} = 20 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ K} * (0,8 * 0,68 * \pi) * ((50 + 273) - (27,2 + 273))$$

$$E_{sale} = 779,29 W$$

### 3.3.5 ANALISIS DE PERDIDAS

En esta sección se realiza un análisis de las pérdidas de calor que existen en el equipo de secado, presentándose en la Tabla 3-5

Energía que se pierde por las paredes del secador sin aislamiento	9,792 kWh
Energía que se pierde por la llama sin aislamiento	8,037 kWh
Energía total en hora	17,829 kWh
Energía perdida durante 8 horas de operación del equipo.	142 kW

*Tabla 3-5, Perdidas de calor existente en el equipo*

En consecuencia estas pérdidas representan el 24 % del consumo total de 572 KW que se requiere para secar 150 quintales de cacao. A continuación se presenta la estimación de las pérdidas de energía si el sistema estuviera aislado.

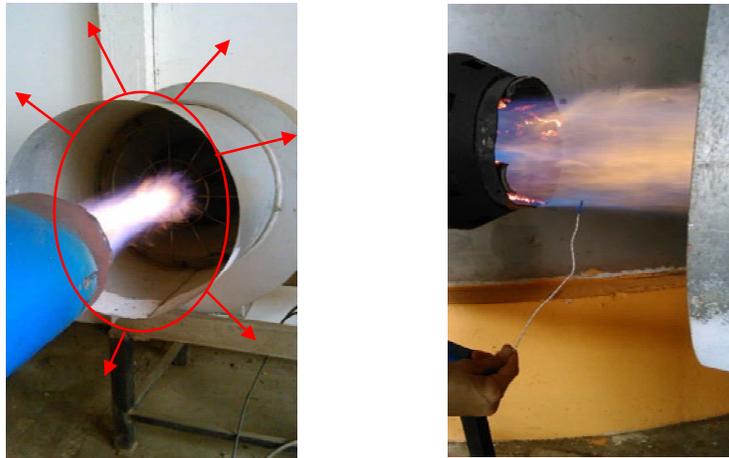
Energía que se pierde por las paredes del secador con aislamiento	6,337 kWh
Energía que se pierde por la llama sin aislamiento	0,779 kWh
Total de la energía que se pierde	7,1168 kWh
Energía perdida durante 8 horas de operación del equipo	56.88 kW

*Tabla 3-6, Estimación de pérdida si el sistema tuviera aislamiento*

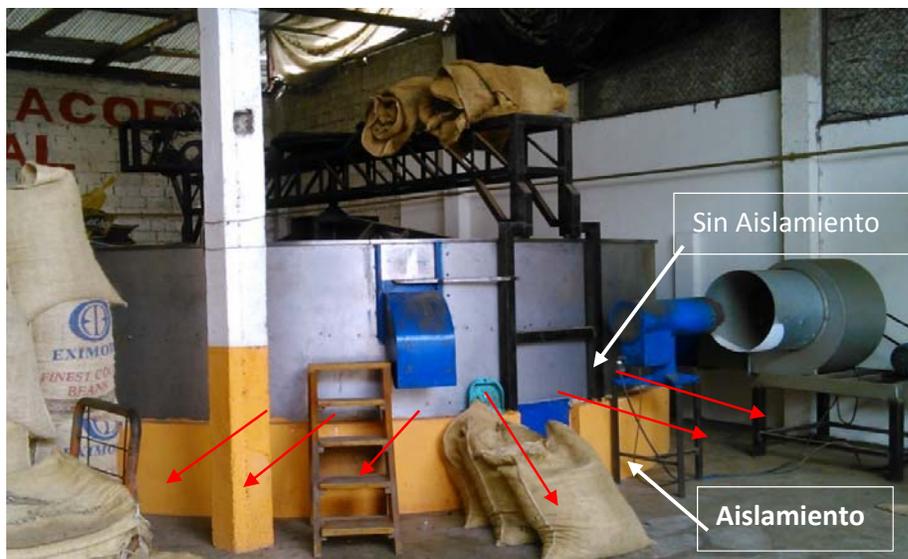
Por lo tanto, logrando aislar el equipo de secado se estima que podremos reducir en al menos un 40 % las pérdidas del proceso de secado. Posteriormente se procederá a dimensionar la alternativa tecnológica seleccionada en el capítulo 2 (energía solar fotovoltaica), como ahorro de energía en el sistema complementario para el calentamiento del aire.

Podríamos resumir a continuación, que el sistema de secado de cacao se encuentra sobredimensionado consumiendo alrededor de un 47% más de energía de la requerida. Además, se estima que la mayor pérdida de energía se debe a las pérdidas de calor existentes en el momento de ingresar el aire caliente al sistema. El quemador produce un frente llama que alcanza temperaturas superiores a los 450 C posteriormente el flujo caliente es extraído por un ventilador centrífugo llevándolo por un ducto hacia la cámara donde el fluido no es distribuido de forma homogénea, permitiendo que los granos se sequen unos más rápido que otros. Por otra parte se considera también que el ventilador centrífugo se encuentra sobredimensionado gastando más energía eléctrica de lo que realmente se requiere. Por lo tanto, se plantea en cambiar el quemador por uno de baja capacidad, complementar el sistema con resistencias eléctrica a manera de equipo auxiliar que estará colocado internamente en la cámara

de calentamiento de aire, además se recomendaría cambiar el ventilador centrífugo a uno de menor capacidad de flujo de aire.



*Figura 3-15, Pérdidas de calor al ingreso de aire caliente al sistema*



*Figura 3-16, Pérdida de calor por las paredes del secador*

### 3.4 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

Como se ha indicado en el capítulo 2, como sistema auxiliar se ha procedido a dimensionar el campo de captación fotovoltaica, que será utilizado para el calentamiento de aire caliente utilizado para el secado de granos. Para lograr el dimensionamiento de un sistema fotovoltaicos se debe de considerar las demandas de potencia que requiere el sistema por día, los pasos a seguir se describen a continuación:

#### 1. Determinación del consumo de los aparatos eléctricos.

Para determinar el consumo energético diario de un sistema es requerido conocer en primera instancia si los equipos trabajan con corriente directa o alterna, número de equipos y horas de funcionamiento del equipo.

Consumo diario de cada equipo  $C_d$  (Wh/día)=número de equipos x Potencia x horas.

Para determinar la energía diaria consumida se debe de considerar las pérdidas que existen en el sistema así como el rendimiento del inversor, para lo cual se aplica la  $E_d =$

$$\frac{(100+E_b)*C_d}{E_i} \quad \text{Ecuación 3-19}$$

$$E_d = \frac{(100+E_b)*C_d}{E_i} \quad \text{Ecuación 3-19}$$

Donde;  $E_d$ , Energía diaria consumida.  $E_b$ , Factor de seguridad que corresponde a las pérdidas del sistema como es el cableado, conexiones, variación en los consumos, para simplificar el análisis se suele considerar este factor un 10%.  $E_i$ , rendimiento del inversor, en el caso de no poseer el valor del rendimiento se suele recomendar el valor mínimo del 90%.

Ante lo expuesto, para este proyecto se ha considerado el uso un banco de resistencia con bobina abierta que permita calentar el aire hasta 150°C estos equipos pueden ser

diseñados bajo pedido , sin embargo, de la revisión de las especificaciones técnica el equipo consume 5.000 W a un voltaje de 220 V y una frecuencia de 60Hz.



Figura 3-17, Banco de resistencia eléctrica  
Fuente: <http://teii.com.mx/bancos-resistencias.html>

Descripción	N : cantidad	P : Potencia (W)	H: horas de funcionamiento	Cd : Consumo
Resistencia eléctrica	1	5000	1	5000

Tabla 3-7, Descripción de la resistencia eléctrica

Por lo tanto el consumo del banco de resistencia será de ;

$$E_d = \frac{(100 + 10\%) * 5000}{90\%}$$

$$E_d = 6111,11 \text{ W h Día}$$

## 2. Determinación de la inclinación óptima de los paneles.

Para determinar la inclinación óptimo del campo de captación es necesario conocer la energía solar por metro cuadrado/día que incide en el área de estudio, durante el año

en este caso particular se considerará el uso de la información disponible en la página web de la NASA.

Lat -1,63 Lon – 79,25	Enero	febrero	Marzo	abril	mayo	junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Gt Prom mensual (KW h/m2/día)	4,21	4,38	4,76	4,63	4,18	3,78	3,81	4,21	4,32	3,97	4,21	4,09

*Tabla 3-8, Irradiación solar existente en Caluma*

Fuente: NASA, 2016 (<https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/RETScreen/>)

El proyecto se desarrollara en la ciudad de Caluma estando ubicada a una Latitud de -1,63° S y longitud de -79,25°, por encontrarnos al hemisferio sur los paneles solares deberán ser orientados hacia el norte, y la inclinación óptima de los paneles es determinado mediante la siguiente ecuación;

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69 * || \varphi || \quad \text{Ecuación 3-20}$$

Dónde:  $\beta_{opt}$ , Ángulo de inclinación óptima (grados).  $||\varphi||$ , Latitud del lugar, sin signo (grados)

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69 * || 1,63 ||$$

$$\beta_{opt} = 4,82^\circ$$

Se determina que el ángulo óptimo de inclinación del panel solar es alrededor de los 4,82° para aprovechar de esta manera la mayor incidencia de radiación solar del lugar,

a la vez esta inclinación no permite que se acumule polvo sobre la superficie del campo de captación fotovoltaica.

En la Tabla 3-9, se presenta la variación de la radiación a distintos ángulos de inclinación, por lo que conlleva que el ángulo determinado previamente es la mejor alternativa (Figura 3-18)

	Enero	febrero	Marzo	abril	mayo	junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Radiación mensual en kWh/m <sup>2</sup>	4,21	4,38	4,76	4,63	4,18	3,78	3,81	4,21	4,32	3,97	4,21	4,09
15 °	4,07	4,23	4,60	4,47	4,04	3,65	3,68	4,07	4,17	3,83	4,07	3,95
10°	4,15	4,31	4,69	4,56	4,12	3,72	3,75	4,15	4,25	3,91	4,15	4,03
5°	4,19	4,36	4,74	4,61	4,16	3,77	3,80	4,19	4,30	3,95	4,19	4,07

*Tabla 3-9, Radiación mensual para cada ángulo de inclinación del panel.*

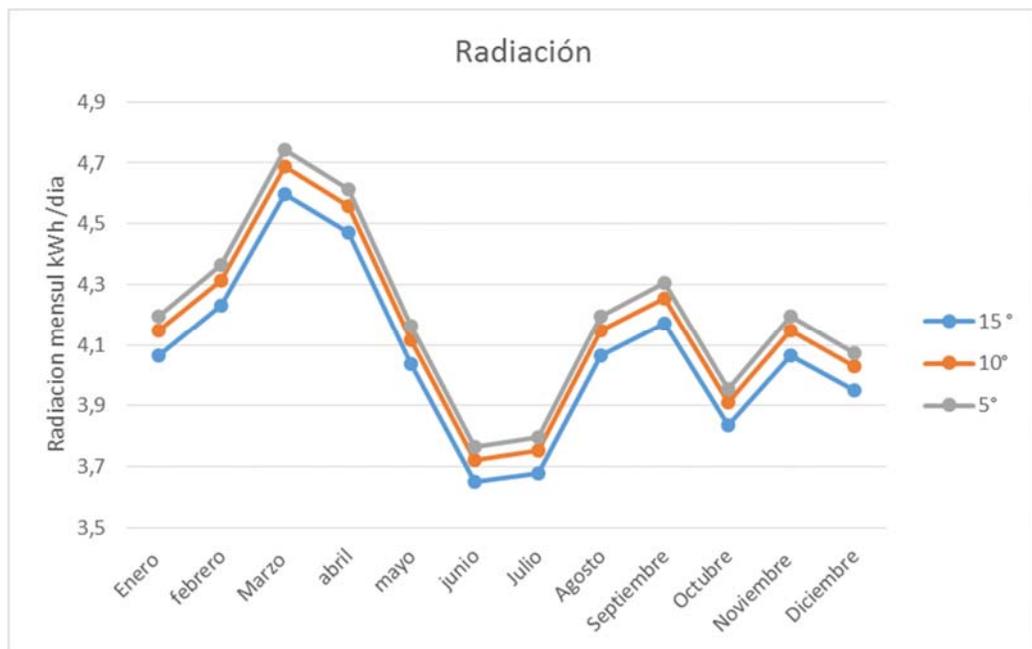


Figura 3-18, Radiación mensual para cada ángulo de inclinación del panel

### 3. Dimensionado del campo de captación.

Para el análisis del dimensionamiento del sistema fotovoltaico es necesario conocer previamente;

- ✓ La potencia de captación del panel ( $P_c$ )
- ✓ Área del panel ( $m^2$ )
- ✓ Rendimiento de los paneles ( $R_{panel}$ )

$$R_{panel} = \frac{P_c}{1000 W / m^2 * A_{panel}} \quad \text{Ecuación 3-21}$$

Para determinar el área necesaria a cubrir con paneles solares ( $P_{panel}$ ) se la obtiene de la relación que existe entre Consumo diario ( $E_d$ ) y Radiación incidente ( $G_t$ ).

$$P_{panel} = E_d / G_t \quad \text{Ecuación 3-22}$$

$$P_{panel} = 6111,11 \text{ Wh/día} / 4,60 \text{ kW}$$

$$P_{panel} = 1329,13$$

Por lo tanto, el área total necesaria para cubrir la demanda del sistema se determina a

través de la  $S = 1,1 * \left( \frac{P}{G_t * R_{panel}} \right)$  Ecuación 3-23

$$S = 1,1 * \left( \frac{P}{G_t * R_{panel}} \right) \quad \text{Ecuación 3-23}$$

Posteriormente se procede a determinar el número de paneles fotovoltaicos necesarios en la instalación, por consiguiente, se divide el área total de captación (S) para el área de un solo panel (A).

$$N_p = \frac{S}{A} \quad \text{Ecuación 3-24}$$

Al respecto, se ha seleccionado un panel fotovoltaico disponible en el Ecuador, con las siguientes características técnicas:

- ✓ Potencia : 300W
- ✓ Área : 1,94 m<sup>2</sup>
- ✓ Voltaje : 24 V
- ✓ Corriente : 8,26 amperios.

Por tanto, en número de paneles necesario para el campo de captación será;

$$N_{p2} = 20 \text{ paneles}$$

Multiplicando el número de paneles ( $N_p$ ) por la potencia pico ( $P_c$ ) del panel se logra obtener la potencia total de la instalación que ha sido diseñada ( $P_t$ )

$$P_T = N_p * P_c \quad \text{Ecuación 3-25}$$

#### **4. Dimensionado del sistema de Baterías.**

Para determinar las cantidades de baterías que formaran parte del sistema fotovoltaico se procede de la siguiente manera:

- Se determinan los días de autonomía (D), esto corresponde los días que el sistema debe operar sin radiación solar, de no tener la información a la mano se recomienda considerar un máximo de 3 días para el dimensionamiento correspondiente.
- Profundidad de descarga máxima (M), esto corresponde al límite que se puede descargar las baterías, sin perjudicar la aportación de energía al sistema; un valor conservador que suele considerarse dentro del análisis será de un 70%.
- Tensión de trabajo de la instalación (T), este valor se selecciona en función a la característica del sistema, generalmente los voltajes pueden ser; 12, 24 o 40V.
- La capacidad de la batería a 100 horas de descarga continuada (C100), corresponde a identificar la velocidad de descarga.

Para determinar el número de baterías se hace necesario determinar en primera instancia calcular la Capacidad de acumulación ( $L_d$ ) (Amper/horas), a través de la siguiente ecuación;

$$Ld = Ed/V \text{ (Ah/día)} \quad \text{Ecuación 3-26}$$

Dónde: Ld, Capacidad de acumulación. Ed, Energía máxima de consumimos diariamente (Wh/día). V, tensión de trabajo de la batería (12 V)

Posteriormente se determina la capacidad de la batería acorde a la siguiente fórmula:

$$C_{100} = 110 * \left( \frac{Ld * D}{T * M} \right) \quad \text{Ecuación 3-27}$$

Para el análisis de la instalación se ha definido dos días de autonomía (D), una profundidad de carga máxima (M) de 0,7 y una Tensión de trabajo para la instalación de las baterías (T) de 24 V, determinando que;

$$C_{100} = 110 * \left( \frac{6111,11 * 2}{24 * 0,7} \right)$$

$$C_{100} = 80026,45 \text{ Wh}$$

$$C_{100} = \frac{80026,45 \text{ Wh}}{24 \text{ V}}$$

$$C_{100} = 3334,44 \text{ Ah}$$

$$N_{\text{baterias}} = \frac{3334,44 \text{ Ah}}{150 \text{ A}}$$

$$N_{\text{baterias}} = 22 \text{ baterias}$$

## **5. Selección del regulador**

El regulador que requiere debe de ser seleccionado de tal manera que se encuentra disponible en el mercado nacional. Para un campo de captación que funcionara a 24 V. Por lo consiguiente, se ha considerado el uso de reguladores tipo analógico mostrando la carga del sistema de operación a través de Led de colores y permite la conexión de hasta 2 paneles fotovoltaicos en paralelo. Es así, que para el funcionamiento del campo de captación solar se requiere de 10 reguladores, a una corriente de hasta de 20 amperios para suplir la demanda.

## **6. Selección del inversor**

Los inversores son seleccionados acorde a la demanda de energía que tiene el sistema, por lo tanto, para cubrir la demanda de energía considerando las pérdidas, 6.100W. En el mercado nacional existen inversores de 1.500 W con una potencia pico de 3000 W, voltajes de salida de 220V con frecuencia de 60Hz. Por lo consiguiente, se ha determinado que se requiere 5 inversores para subir la demanda.

## **7. Dimensionado del cableado.**

Para el dimensionamiento del cableado se debe considerar las normativas de seguridad nacionales e internacionales referente a los diámetros de cada cable, caída de tensión, distancias mínimas de longitud del cables entre los diferentes dispositivos, así también, debe considerarse los conductores eléctricos, valores de tensión nominal, tipo de corriente, entre otros. Las normativas internacionales recomiendan considerar las siguientes pérdidas por caída de tensión durante la instalación:

- Entre el generador y regulador / inversor 3%
- Entre inversión y batería 1%
- Entre regulador y batería 1%
- Entre regulador e inversor 1%

- Entre inversor y cargas 3%
- Iluminación de corriente continua 1,5%

En la Tabla 3-10, Cantidad de equipos del sistema fotovoltaico se presentan el dimensionamiento del sistema de captación fotovoltaicos necesario para suplir la demanda de 6000 Wh de energía, en el secador de grano de cacao. Para una operación de secado de 6 horas como sistema auxiliar, por lo tanto, se cubrirá aproximadamente 36 kW en el proceso de secado.

Descripción	Unidad	Cantidad
Paneles fotovoltaicos policristalino SIMAX, SP672-300	Unidad	20
Batería 12V ultracell UCG20-12	Unidad	22
Regulador, controlador Morningstar SUNSAVER SS-20L-24V	Unidad	10
Inversor ZONHAN TW-1500 – 24v	Unidad	5
Cable DC pv WIRE, 20 V, 4 AWG/25mm <sup>2</sup> .	metros	46
Estructura de soporte de aleación de aluminio 6061-T6	Unidad	1

*Tabla 3-10, Cantidad de equipos del sistema fotovoltaico*

## **CAPITULO 4. COSTOS DEL PROYECTO**

En el presente capítulo se va a exponer los costos que se requieren invertir para llevar a cabo el proyecto, se realizará el cálculo de los costos que se ahorrara por la implementación de la energía renovable lo cual nos conlleva a realizar un análisis financiero a través del uso de herramientas como el Valor Actual Neto (VAN) y de la Tasa Interna de Retorno (TIR).

### **4.1 ESTIMACIÓN DEL AHORRO ANUAL**

Como se evidenció en capítulo 4 numeral 3.4 se ha dimensionado el sistema fotovoltaico para cubrir 5000 Wh del proceso de secado de grano de cacao, consecuentemente se disminuirá la cantidad de GLP que consume el quemado logrando disminuir el tiempo de uso hasta dos hora por cada proceso de secado, recordemos que cada proceso de secado dura 8 horas por lo que en un día se logra llevar a cabo 3 procesos de secado.

Por lo antes expuesto con la implementación del sistema fotovoltaico llega a sustituir el uso del quemador hasta seis horas en un día. Así también el consumo de combustible por hora es alrededor de los 5,6 kg/h, por lo consiguiente se llega a disminuir en un 33,75 kg de GLP por día.

Ahora bien, de la visita técnica realizada se evidenció que el costo del kg de GLP en Caluma es subsidiado, llegando a un valor de 34 centavos de dólar, y sin subsidio es de 81 centavos de dólar.

Energía sistema fotovoltaico	5000 W
Días laborables para el secador	218 días
Consumo de gas por día	33,75 kg GLP/día
Costo del kg de GLP con subsidio	0,34\$/kg GLP
Costo del kg de GLP sin subsidio	0,81\$/kg GLP
Costo de la energía eléctrica	0.436 kW/hora

*Tabla 4-1, Datos para cálculo de ahorro de energía.*

Para determinar el valor anual que se ahorra se multiplica los días laborables por el consumo de gas por día y por el costo de gas, por lo consiguiente el valor anual que se estaría ahorrando con la tarifa del GLP subsidiado es de \$2501,55 y con los costos del GLP sin subsidio asciende a \$5959,58.

No obstante, como parte del ejercicio económico se puede plantear un costo de kW h que lo determina Agencia de Regulación y Control de Electricidad quienes para el año 2017 a través de la Resolución Nro. ARCONEL 051/16, fija una tarifa de 0,4360 USD/kWh para el sector CNEL Bolívar que es la provincia a la cual pertenece Caluma. Por lo consiguiente el ahorro de energía que desde un punto de vista de consumo energético sería los 5kW/h que generará el sistema fotovoltaico por la tarifa y por el tiempo de uso que es 6 horas los 218 días del año llegando a establecer \$2851,44.

## 4.2 COSTO DEL PROYECTO

El diseño contempla asilamiento en el secador y en el sistema fotovoltaico para su óptimo funcionamiento. En la Tabla 4-2 se presenta el listado de los materiales necesarios para determinar el costo total de inversión.

<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total</b>
<b>Ladrillo refractario, 20*6,5*10 cm</b>	Unidad	850	\$ 3,00	\$ 2.550,00
<b>Lamina de acero inoxidable ASTM A240</b>	Plancha	1	\$ 80,00	\$ 80,00
<b>Fibra o Lamina de vidrio, Rollo de espesor de 5 cm</b>	Rollo	1	\$ 50,00	\$ 50,00
<b>Banco de resistencia eléctrica</b>	Unidad	1	\$ 6.000,00	\$ 6.000,00
<b>Paneles fotovoltaicos policristalino SIMAX, SP672-300</b>	Unidad	20	\$ 390,00	\$ 7.800,00
<b>Batería 12V ultracell UCG20-12</b>	Unidad	22	\$ 50,00	\$ 1.100,00
<b>Regulador, controlador Morningstar SUNSAVER SS-20L-24V</b>	Unidad	10	\$ 30,00	\$ 300,00

<b>Inversor ZONHAN TW-1500 – 24v</b>	Unidad	5	\$ 290,00	\$ 1.450,00
<b>Cable DC pv WIRE, 20 V, 4 AWG/25mm<sup>2</sup>.</b>	metros	46	\$ 1,00	\$ 46,00
<b>Estructura de soporte de aleación de aluminio 6061-T6</b>	Unidad	1	\$ 500,00	\$ 500,00
<b>Mano de obra</b>				\$ 2.500,00
<b>Transporte</b>				\$ 700,00
<b>Gastos varios</b>				\$ 500,00
<b>Costo total de inversión</b>				<b>\$ 23.576,00</b>

*Tabla 4-2, Costos requeridos para la implementación del proyecto*

### 4.3 VALOR ACTUAL NETO (VAN)

A continuación, se analizará la viabilidad económica del proyecto utilizando para el efecto el VAN ( $VAN = \sum_{i=1}^n \frac{F_i}{(1+t)^i} - F_0$ ) Ecuación 4-1).

$$VAN = \sum_{i=1}^n \frac{F_i}{(1+t)^i} - F_0 \quad \text{Ecuación 4-1}$$

Dónde:

$F_i$ : Estimación de ahorro anual (numeral 4.1).

n: vida útil del proyecto = 25 años, se considera el tiempo que el fabricante de los paneles a determinado que llegara a cumplir con una eficiencia del 80%.

t: Tasa de descuento, este valor es determinado por el porcentaje de perdida que se produce en la generación de energía del panel foto voltaico el cual determina el fabricante que anualmente es de 0,83%.

F<sub>0</sub>: Costo inicial de inversión del proyecto (Tabla 4-2)

Otro aspecto que se debe de considerar en el proceso del cálculo del VAN es los costos de mantenimiento, que en los proyectos fotovoltaicos es muy bajo. En este caso se considera un valor referencia base (US\$ 100) que se incrementa anualmente, adicionalmente, cada cuatro años se ha considerado la necesidad del cambio de baterías, como lo indica la Tabla 4-3.

Año	Ahorro de consumo de combustible	Costo de mantenimiento	Flujo de caja	VAN
0			\$ 23.576,00	
1	\$ 2.503,77	\$ 100,00	\$ 2.403,77	-\$ 21.192,01
2	\$ 2.503,77	\$ 103,40	\$ 2.400,37	-\$ 18.831,00
3	\$ 2.503,77	\$ 106,92	\$ 2.396,86	-\$ 16.492,84
4	\$ 2.503,77	\$ 1.100,00	\$ 1.403,77	-\$ 15.134,72
5	\$ 2.503,77	\$ 110,55	\$ 2.393,22	-\$ 12.838,39
6	\$ 2.503,77	\$ 114,31	\$ 2.389,46	-\$ 10.564,54
7	\$ 2.503,77	\$ 118,20	\$ 2.385,58	-\$ 8.313,08
8	\$ 2.503,77	\$ 1.100,00	\$ 1.403,77	-\$ 6.999,13
9	\$ 2.503,77	\$ 122,21	\$ 2.381,56	-\$ 4.788,31
10	\$ 2.503,77	\$ 126,37	\$ 2.377,40	-\$ 2.599,51
<b>11</b>	<b>\$ 2.503,77</b>	<b>\$ 130,67</b>	<b>\$ 2.373,11</b>	<b>-\$ 432,66</b>
12	\$ 2.503,77	\$ 1.100,00	\$ 1.403,77	\$ 838,56
13	\$ 2.503,77	\$ 135,11	\$ 2.367,66	\$ 2.965,00
14	\$ 2.503,77	\$ 139,70	\$ 2.362,07	\$ 5.068,96
15	\$ 2.503,77	\$ 144,45	\$ 2.356,32	\$ 7.150,51
16	\$ 2.503,77	\$ 1.100,00	\$ 1.399,77	\$ 8.376,88

17	\$ 2.503,77	\$ 149,36	\$ 2.349,41	\$ 10.418,30
18	\$ 2.503,77	\$ 154,44	\$ 2.343,33	\$ 12.437,68
19	\$ 2.503,77	\$ 159,69	\$ 2.337,08	\$ 14.435,10
20	\$ 2.503,77	\$ 1.100,00	\$ 1.395,77	\$ 15.618,19
21	\$ 2.503,77	\$ 165,12	\$ 2.329,65	\$ 17.576,61
22	\$ 2.503,77	\$ 170,74	\$ 2.323,04	\$ 19.513,39
23	\$ 2.503,77	\$ 176,54	\$ 2.316,23	\$ 21.428,61
24	\$ 2.503,77	\$ 1.100,00	\$ 1.391,77	\$ 22.569,94
25	\$ 2.503,77	\$ 182,54	\$ 2.308,23	\$ 24.447,25
			<b>VAN</b>	<b>\$ 24.447,25</b>

*Tabla 4-3, Calculo del VAN para un costo de \$0,34 por Kg de GLP*

Año	Ahorro de consumo de combustible	Costo de mantenimiento	Flujo de caja	VAN
0			\$ 23.576,00	
1	\$ 5.964,87	\$ 100,00	\$ 5.864,87	-\$ 17.759,41
2	\$ 5.964,87	\$ 103,40	\$ 5.861,47	-\$ 11.994,04
3	\$ 5.964,87	\$ 106,92	\$ 5.857,96	-\$ 6.279,55
<b>4</b>	<b>\$ 5.964,87</b>	<b>\$ 1.100,00</b>	<b>\$ 4.864,87</b>	<b>-\$ 1.572,90</b>
5	\$ 5.964,87	\$ 110,55	\$ 5.854,32	\$ 4.044,40
6	\$ 5.964,87	\$ 114,31	\$ 5.850,56	\$ 9.611,89
7	\$ 5.964,87	\$ 118,20	\$ 5.846,68	\$ 15.129,88
8	\$ 5.964,87	\$ 1.100,00	\$ 4.864,87	\$ 19.683,46
9	\$ 5.964,87	\$ 122,21	\$ 5.842,66	\$ 25.107,25
10	\$ 5.964,87	\$ 126,37	\$ 5.838,50	\$ 30.482,56
11	\$ 5.964,87	\$ 130,67	\$ 5.834,21	\$ 35.809,70
12	\$ 5.964,87	\$ 1.100,00	\$ 4.864,87	\$ 40.215,19
13	\$ 5.964,87	\$ 135,11	\$ 5.828,76	\$ 45.450,10
14	\$ 5.964,87	\$ 139,70	\$ 5.823,17	\$ 50.636,94
15	\$ 5.964,87	\$ 144,45	\$ 5.817,42	\$ 55.776,00
16	\$ 5.964,87	\$ 1.100,00	\$ 4.860,87	\$ 60.034,71
17	\$ 5.964,87	\$ 149,36	\$ 5.810,51	\$ 65.083,51
18	\$ 5.964,87	\$ 154,44	\$ 5.804,43	\$ 70.085,51
19	\$ 5.964,87	\$ 159,69	\$ 5.798,18	\$ 75.041,00
20	\$ 5.964,87	\$ 1.100,00	\$ 4.856,87	\$ 79.157,81

21	\$ 5.964,87	\$ 165,12	\$ 5.790,75	\$ 84.025,80
22	\$ 5.964,87	\$ 170,74	\$ 5.784,14	\$ 88.848,20
23	\$ 5.964,87	\$ 176,54	\$ 5.777,33	\$ 93.625,28
24	\$ 5.964,87	\$ 1.100,00	\$ 4.852,87	\$ 97.604,93
25	\$ 5.964,87	\$ 182,54	\$ 5.769,33	\$ 102.297,18
			<b>VAN</b>	<b>\$ 102.297,18</b>

*Tabla 4-4 Calculo del VAN para un costo de \$0,81 por Kg de GLP*

Año	Ahorro de consumo de combustible	Costo de mantenimiento	Flujo de caja	VAN
0			\$ 23.576,00	
1	\$ 2.851,44	\$ 100,00	\$ 2.751,44	-\$ 20.847,21
2	\$ 2.851,44	\$ 103,40	\$ 2.748,04	-\$ 18.144,22
3	\$ 2.851,44	\$ 106,92	\$ 2.744,52	-\$ 15.466,92
4	\$ 2.851,44	\$ 1.100,00	\$ 1.751,44	-\$ 13.772,44
5	\$ 2.851,44	\$ 110,55	\$ 2.740,89	-\$ 11.142,52
6	\$ 2.851,44	\$ 114,31	\$ 2.737,13	-\$ 8.537,83
7	\$ 2.851,44	\$ 118,20	\$ 2.733,24	-\$ 5.958,24
8	\$ 2.851,44	\$ 1.100,00	\$ 1.751,44	-\$ 4.318,87
<b>9</b>	<b>\$ 2.851,44</b>	<b>\$ 122,21</b>	<b>\$ 2.729,23</b>	<b>-\$ 1.785,31</b>
10	\$ 2.851,44	\$ 126,37	\$ 2.725,07	\$ 723,57
11	\$ 2.851,44	\$ 130,67	\$ 2.720,77	\$ 3.207,88
12	\$ 2.851,44	\$ 1.100,00	\$ 1.751,44	\$ 4.793,93
13	\$ 2.851,44	\$ 135,11	\$ 2.715,33	\$ 7.232,62
14	\$ 2.851,44	\$ 139,70	\$ 2.709,74	\$ 9.646,25
15	\$ 2.851,44	\$ 144,45	\$ 2.703,99	\$ 12.034,93
16	\$ 2.851,44	\$ 1.100,00	\$ 1.747,44	\$ 13.565,90
17	\$ 2.851,44	\$ 149,36	\$ 2.697,08	\$ 15.909,41
18	\$ 2.851,44	\$ 154,44	\$ 2.691,00	\$ 18.228,39
19	\$ 2.851,44	\$ 159,69	\$ 2.684,75	\$ 20.522,94
20	\$ 2.851,44	\$ 1.100,00	\$ 1.743,44	\$ 22.000,73
21	\$ 2.851,44	\$ 165,12	\$ 2.677,32	\$ 24.251,41
22	\$ 2.851,44	\$ 170,74	\$ 2.670,70	\$ 26.478,06
23	\$ 2.851,44	\$ 176,54	\$ 2.663,90	\$ 28.680,74
24	\$ 2.851,44	\$ 1.100,00	\$ 1.739,44	\$ 30.107,19
25	\$ 2.851,44	\$ 182,54	\$ 2.655,90	\$ 32.267,25
			<b>VAN</b>	<b>\$ 32.267,25</b>

*Tabla 4-5, Calculo del VAN que corresponde a al pago de tarifa de luz de \$0,436 kWh*

#### 4.4 TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

El TIR permite determinar si un proyecto es rentable, si el valor calculado del TIR es mayor a la tasa de descuento asignada al proyecto (en este caso se sigue la sugerida por el fabricante que es 0,83%): el proyecto se considera económicamente viable. Es así que el TIR es la tasa o porcentaje de descuento que se aplica cuando el VAN es cero

$$\left(\sum_{i=1}^n \frac{F_i}{(1+TIR)^i} - F_0 = 0 \right) \quad \text{Ecuación 4-2.}$$

$$\sum_{i=1}^n \frac{F_i}{(1+TIR)^i} - F_0 = 0 \quad \text{Ecuación 4-2}$$

TIR y del VAN para cada escenario planteado, se lo presenta en la tabla (Tabla 4-6)

Escenario	VAN	Tasa de descuento (%)	TIR (%)
Costos de GLP con subsidio	\$ 24.447,25	0,83	7,12
Costos de GLP sin subsidio	\$ 102.297,18	0,83	11,14
Costos de energía eléctrica	\$ 32.267,25	0,83	8,04

*Tabla 4-6, Cuadro resumen del cálculo del VAN y TIR para los diferentes escenarios propuestos*

Es evidente que los valores obtenidos del VAN y TIR para los diferentes escenarios permite determinar que el proyecto es económicamente viable.

#### 4.5 EMISION DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

Los gases de efecto invernadero son aquellos gases que presentes en la atmosfera captan y emiten la energía del sol en el rango infrarrojo, la presencia de estos gases en exceso genera el efecto de invernadero lo que produce un constante incremento en la temperatura de la atmosfera.

El Protocolo de Kioto señala al Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) como gas de efecto invernadero. En el presente caso de estudio se genera una disminución de consumo de GLP por cada proceso de secado de cacao en una cantidad de 33,75Kg GLP / día si este valor se multiplica por los días laborables del secador que se realiza al año (218 días/año) se produce un ahorro de 7357,5Kg/año de GLP.

Asimismo, la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos de América (EPA por sus siglas en inglés) publica el AP – 42 “Compilación de factores de Emisión al Aire” y determina que el GLP tiene una tasa de emisión de 12500 lb CO<sub>2</sub>/1000 gal, para poder utilizar este valor en nuestro proyecto transformamos las unidades obteniendo una tasa de emisión de 2,234 Kg CO<sub>2</sub>/kg GLP, por lo consiguiente al multiplicar la tasa de emisión por el consumo de kg de GLP por los kg de GLP que se evitará consumir se obtiene un disminución de 16436,66 KgCO<sub>2</sub>/año que se emitirían al ambiente o dicho de otra manera la implementación del sistema fotovoltaico al proceso de secado de grano de cacao generará una disminución de alrededor de 16 Toneladas por año.

## CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 CONCLUSIONES

La irradiación de sol en el Caluma acorde a la información proporcionada por la NASA es en promedio de 4,21 kW h/m<sup>2</sup>/día, esto permite que dentro de un proceso de selección del uso de energías renovables sea mejor calificada con respecto al uso de otras energías renovables que se encuentran disponibles en Caluma.

Los equipos de secado de cacao que se utilizan en Caluma son convectivos, se evidenció durante la visita de campo que el equipo a ser parte del proyecto no cuenta con aislamiento térmico, por lo que se consideró incluir dentro del proyecto la implementación del respectivo aislamiento y acorde a los cálculos realizados llegaría a disminuir alrededor las pérdidas alrededor de 56,88 kW.

Para el desarrollo de este proyecto se cuenta con paneles policristalinos que generan hasta 300W, esto es una gran ventaja ya que permite alcanzar la generación de los 5000W requeridos apenas 20 paneles.

Observamos que, del cálculo de VAN para el escenario de un costo del kilogramo de GLP subsidiado se logra recuperar la inversión después de los 11 años de operación, así mismo, y acorde a las recomendaciones del fabricante el proyecto puede operar hasta 25 años llegando a un valor del VAN de \$ 24.447,25.

En relación al cálculo del TIR se demuestra que la tasa de retorno es positiva para el tiempo de 25 años por lo que el proyecto es económicamente viable su implementación con un valor inicial de alrededor de \$23576.

De igual manera, el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero que se van a evitar genera se logra determinar que existirá una disminución de alrededor de 16

Toneladas de CO<sub>2</sub> por año cumpliendo con las directrices planteadas en el Plan Nacional de Buen Vivir.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

El presente proyecto por valoración de uso de energía renovable se consideró únicamente el uso de energía fotovoltaica por ser la mejor puntuada dentro de los criterios planteados, sin embargo se podría incluir otra energía renovable dentro del proceso de secado de grano de cacao como es la biomasa, no obstante se requiere determinar la ubicación de energía. Para futuros proyectos se recomienda la inclusión dentro de adaptación de energías renovables

Para mejora del proyecto se recomienda el uso de quemadores con mayor eficiencia y distribuido alrededor de la cámara de acceso de aire caliente, para mejorar la distribución de gas caliente dentro del secador.

## **Bibliografía**

- Ahmed Abed, G. (2010). Design, construction and performance evaluation of solar maize dryer. *Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development* .
- Arun S., M. (2015). *Handbook of Industrial Drying*. Boca Raton: CRC PRESS.
- Barriga, A., Delgado, E., Guevara, J., Peralta , J., Naranjo, M., & Villata, K. (2014). *Introducción al estudio de fuentes renovables de energía*. Guayaquil: Proyecto Latin.
- Bena B., F. (2002). Natural convection solar dryer with biomass back up heater. *Sol Energy*.
- Cárdenas Arévalo , J. E., & Vásquez López, J. R. (Noviembre de 2013). Análisis del ciclo de vida del procesamiento y la distribución del café del beneficio ecológico en la finca Juancito y convencional en la finca La Montaña, Francisco Morazán. *Tesis de grado*. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.
- Delgado, E. (2012). Modelamiento y Análisis de secaderos con aplicaciones a fuentes de energía alternativa utilizando programa de simulación. *12(56-62)*.
- Frank P., I. (1999). *Fundamentos de Transferencia de Calor*. Mexico: PRENTICE HALL.
- Hector A., T., & Yomali O., D. (2010). Análisis del Proceso de Deshidratación de Cacao para la Disminución del Tiempo de Secado. *Revista EIA, ISSN 1974-1237*.
- Hossain , M., Amer, B., & Gottschalk, K. (2008). Hybrid solar dryer for quality dried tomato. *Drying Technology*.
- INEC. (2010). Resultados del Censo 2010 de Población y Vivienda en el Ecuador. *Fascículo Provincial Bolívar*.

INEN 176, N. (1995). NTE INEN 176 Cacao en grano . requisitos.

J.M., L., J., S., & S.J. , K. (2015). Microwave and infrared assisted convective drying of green pepper: Quality and energy considerations. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*.

Kowalski, S., & Pawlowski, A. (2015). Intensification of apple drying due to ultrasound enhancement. *Journal of Food Engineering*.

Kundra, T., & Mujumdar, A. (2009). *Sonic drying. In advanced drying technologies second edition*. Boca Raton (USA).

Mahesh, K., Sunil Kumar, S., & Pankaj, K. (2014). Progress in solar dryers for drying various commodities. *Renewable and Sustainable Energy Review*.

Maupoey, P. F. (2001). *Introducción al Secado de Alimentos por Aire Caliente*. Valencia: U.P.V.

Merino, L. (2013). *Energías Renovables*. Obtenido de [http://www.energias-renovables.com/ficheroenergias/productos/pdf/Cuaderno1\\_ER\\_para\\_todos.pdf](http://www.energias-renovables.com/ficheroenergias/productos/pdf/Cuaderno1_ER_para_todos.pdf)

Moncayo R., R. (2015). Exportación Ecuatoriana de Cacao - 2015. *Exportación Ecuatoriana de Cacao*, 1-2.

Muralidhara, H., Ensminger, D., & Putnam, A. (1985). Acoustic dewatering and drying (low and high Frequency). *Drying Technology*.

Musielak, G., Mierzwa , D., & Kroehnke, J. (2016). Food drying enhancement by ultrasound A review. *Trends in Food Science & Technology*.

Rivas Jimenez, K., Olmedo Junco, F., & Parrales Solis, J. (2008). Aprovechamiento de las aguas de los ríos Tablas y Escaleras para la producción de energía eléctrica en

Caluma Alto (Tesis de Grado). Guayaquil , Guayas, Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral.

SENPLADES. (2013). *Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo*. Obtenido de [www.buenvivir.gob.ec](http://www.buenvivir.gob.ec)

Tadahmun A., Y., & Hussain H., A.-K. (2015). Experimental investigation and evaluation of hybrid solar/thermal dryer combined with supplementary recovery dryer. *Solar Energy*.

Villarrubia López, M. (2012). *Ingeniería de la energía eólica*. Barcelona (España): Marcombo S.A.

Ziafroughi, A., & Abolfazli Esfahani, J. (2016). A salient reduction of energy consumption and drying time in a novel PV- solar collector - assisted intermittent infrared dryer. *Solar Energy*.

APENDICE A, Carta Psicometrica

# Psicrometría-Carta Psicrométrica



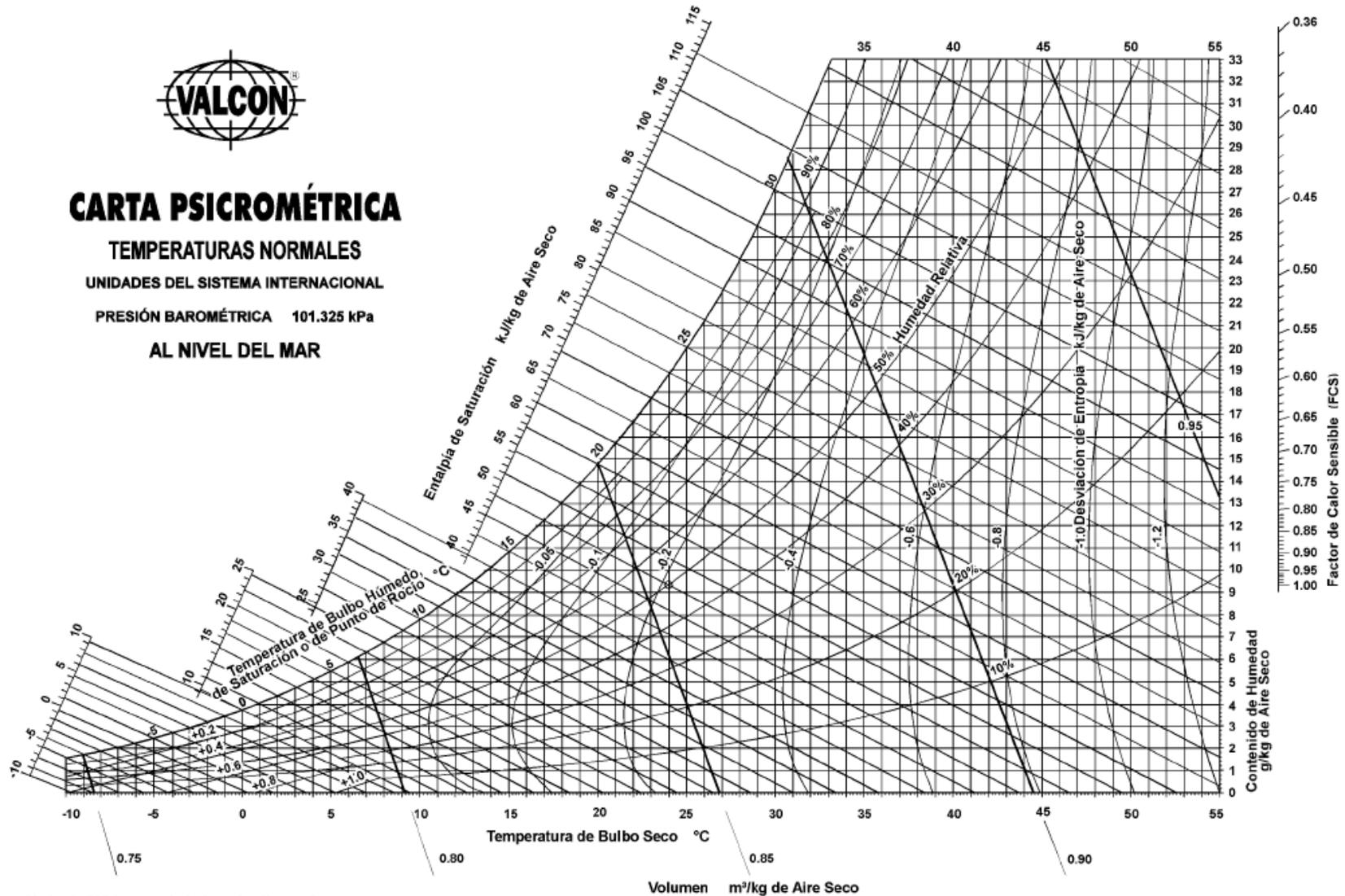
## CARTA PSICROMÉTRICA

TEMPERATURAS NORMALES

UNIDADES DEL SISTEMA INTERNACIONAL

PRESIÓN BAROMÉTRICA 101.325 kPa

AL NIVEL DEL MAR



Abajo de 0°C las propiedades y las líneas de desviación de la entalpia son para el hielo

Figura 13.11 - Carta psicrométrica a temperaturas normales y presión barométrica de 101.325 kPa (al nivel del mar). Las unidades están en el sistema internacional (SI).

APENDICE B, Base meteorológica y radiación solar de la NASA



# NASA Surface meteorology and Solar Energy - Available Tables



Latitude **-1.63** / Longitude **-79.25** was chosen.

## Geometry Information

Elevation: **1075** meters  
taken from the  
NASA GEOS-4  
model elevation

Northern boundary  
**-1**

Western boundary  
**-80**

Center  
Latitude **-1.5**  
Longitude **-79.5**

Eastern boundary  
**-79**

Southern boundary  
**-2**

## Parameters for Solar Cooking:

### Monthly Averaged Insolation Incident On A Horizontal Surface (kWh/m<sup>2</sup>/day)

Lat -1.63 Lon -79.25	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
22-year Average	4.21	4.38	4.76	4.63	4.18	3.78	3.81	4.21	4.32	3.97	4.21	4.09

[Parameter Definition](#)

## Parameters for Sizing and Pointing of Solar Panels and for Solar Thermal Applications:

### Monthly Averaged Insolation Incident On A Horizontal Surface (kWh/m<sup>2</sup>/day)

Lat -1.63 Lon -79.25	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
22-year Average	4.21	4.38	4.76	4.63	4.18	3.78	3.81	4.21	4.32	3.97	4.21	4.09	4.21

### Minimum And Maximum Difference From Monthly Averaged Insolation (%)

Lat -1.63 Lon -79.25	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Minimum	-16	-13	-13	-12	-17	-18	-14	-17	-17	-16	-16	-19
Maximum	24	13	12	10	12	28	19	19	27	30	23	21

[Parameter Definition](#)

## Solar Geometry:

### Monthly Averaged Daylight Hours (hours)

Lat -1.63 Lon -79.25	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Average	12.2	12.1	12.1	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.1	12.1	12.2	12.2

[Parameter Definition](#)

## Parameters for Tilted Solar Panels:

### Monthly Averaged Radiation Incident On An Equator-Pointed Tilted Surface (kWh/m<sup>2</sup>/day)

Lat -1.63 Lon -79.25	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
SSE HRZ	4.21	4.38	4.76	4.63	4.18	3.78	3.81	4.21	4.32	3.97	4.21	4.09	4.21
K	0.41	0.41	0.45	0.45	0.43	0.41	0.41	0.43	0.42	0.38	0.41	0.40	0.42
Diffuse	2.19	2.29	2.35	2.20	2.03	1.93	1.97	2.11	2.27	2.27	2.21	2.15	2.16
Direct	3.02	3.00	3.39	3.51	3.23	2.86	2.81	3.06	2.89	2.42	2.96	2.94	3.01
Tilt 0	4.15	4.32	4.70	4.58	4.13	3.73	3.76	4.16	4.26	3.92	4.15	4.03	4.16
Tilt 1	4.16	4.33	4.70	4.59	4.14	3.75	3.78	4.17	4.27	3.92	4.16	4.04	4.17
Tilt 16	4.24	4.33	4.59	4.63	4.31	3.94	3.94	4.25	4.20	3.89	4.22	4.14	4.22
Tilt 90	2.21	2.00	1.69	2.15	2.45	2.42	2.34	2.18	1.71	1.76	2.14	2.23	2.11
OPT	4.24	4.35	4.70	4.64	4.32	3.97	3.96	4.25	4.27	3.93	4.22	4.14	4.25
OPT ANG	15.0	9.00	1.00	11.0	21.0	24.0	22.0	15.0	3.00	6.00	13.0	17.0	13.1

NOTE: Diffuse radiation, direct normal radiation and tilted surface radiation are not calculated when the clearness index (K) is below 0.3 or above 0.8.

#### Parameter Definition

## Parameters for Sizing Battery or other Energy-storage Systems:

### Equivalent Number Of NO-SUN Or BLACK Days (days)

Lat -1.63 Lon -79.25	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1 day	0.88	0.68	0.75	0.70	0.73	0.73	0.67	0.71	0.68	0.77	0.77	0.87
3 day	1.90	1.37	1.35	1.37	1.51	1.46	1.39	1.57	1.84	1.84	1.88	1.79
7 day	2.80	2.40	2.36	2.28	3.27	2.59	2.29	2.71	2.60	2.62	2.74	3.36
14 day	4.32	3.75	3.47	2.40	4.83	4.43	3.30	3.33	4.57	4.21	4.21	4.32
21 day	5.22	4.85	3.94	2.42	5.16	4.61	3.66	4.79	5.20	6.06	4.89	4.55
Month	5.08	3.57	3.97	3.68	5.26	5.39	4.47	5.15	5.13	4.91	4.70	5.83

#### Parameter Definition

## Cloud Information:

### Monthly Averaged Daylight Cloud Amount (%)

Lat -1.63 Lon -79.25	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
22-year Average	74.2	75.9	73.1	70.8	70.8	66.3	64.0	61.0	68.6	78.8	75.5	72.8	70.9

#### Parameter Definition

## Meteorology (Temperature):

### Monthly Averaged Air Temperature At 10 m Above The Surface Of The Earth (°C)

Lat -1.63 Lon -79.25	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
22-year Average	21.5	21.3	21.4	21.8	21.7	21.6	21.8	22.6	22.9	22.6	21.9	21.7	21.9
Minimum	18.6	18.5	18.4	18.5	18.1	17.6	17.4	17.7	18.3	18.6	18.2	18.6	18.2



(variable %) & groundcover	2.74	2.52	2.43	2.48	2.67	3.50	3.67	3.61	3.32	3.14	3.13	3.01	3.02
0.5-m broadleaf shrubs (10%) with bare soil	2.74	2.52	2.43	2.48	2.67	3.50	3.67	3.61	3.32	3.14	3.13	3.01	3.02
Tundra: 0.6-m trees/shrubs (variable %) & groundcover	2.74	2.52	2.43	2.48	2.67	3.50	3.67	3.61	3.32	3.14	3.13	3.01	3.02
Rough bare soil	2.65	2.43	2.35	2.39	2.58	3.38	3.55	3.49	3.21	3.03	3.02	2.91	2.92
Crop: 20-m broadleaf-deciduous trees (10%) & wheat	2.76	2.57	2.36	2.62	2.82	3.70	3.88	3.82	3.51	3.28	3.22	3.05	3.14
Rough glacial snow/ice	2.90	2.62	2.48	2.50	2.69	3.53	3.70	3.64	3.39	3.28	3.29	3.18	3.10
Smooth sea ice	2.58	2.31	2.19	2.19	2.36	3.09	3.24	3.26	3.06	2.97	2.96	2.85	2.76
Open water	2.44	2.24	2.16	2.20	2.37	3.11	3.26	3.21	2.95	2.79	2.78	2.67	2.69
"Airport": flat rough grass	2.52	2.31	2.24	2.28	2.46	3.22	3.38	3.32	3.06	2.89	2.88	2.77	2.78

[Parameter Definition](#)

**Meteorology (Other):**

**Monthly Averaged Relative Humidity (%)**

Lat -1.63 Lon -79.25	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
22-year Average	71.5	76.5	76.1	70.8	65.0	57.9	50.2	46.6	49.7	55.1	61.4	67.3	62.3

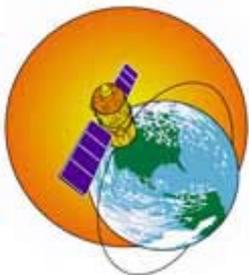
[Parameter Definition](#)

**Supporting Information:**

**Monthly Averaged Top-of-atmosphere Insolation (kWh/m<sup>2</sup>/day)**

Lat -1.63 Lon -79.25	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
22-year Average	10.2	10.5	10.5	10.1	9.52	9.15	9.27	9.78	10.2	10.4	10.2	10.0	10.0

[Parameter Definition](#)



[Back to SSE Data Set Home Page](#)

Responsible > Data: Paul W. Stackhouse, Jr., Ph.D.  
 Officials > Archive: John M. Kusterer  
 Site Administration/Help: NASA Langley [ASDC](#) User Services [\(Contact Us\)](#)  
[\[Privacy Policy and Important Notices\]](#)  
 Document generated on Tue Jan 10 14:32:43 EST 2017

APENDICE C, PANEL FOTOVOLTAICO SIMAX 156

## Product Features



### Positive tolerance

Guaranteed tolerance +3%  
Reliable power output



### High module efficiency

Module efficiency up to 15.7%  
Cells efficiency up to 17.8%



### Strong compressive strength

Certified to withstand high wind of 2400Pa  
and snow loads of 5400Pa



### High manufacture standards

certified to high standards by the  
most reputable labs According to  
IEC:61215: IEC:61730-1/2



### International Management System

Manufactured and certified according  
to ISO9001, Quality management system



### Fire test approved

Application class A, Safety Class II, Fire Rating C



### Excellent performance under extreme condition

High salt mist and ammonia resistance

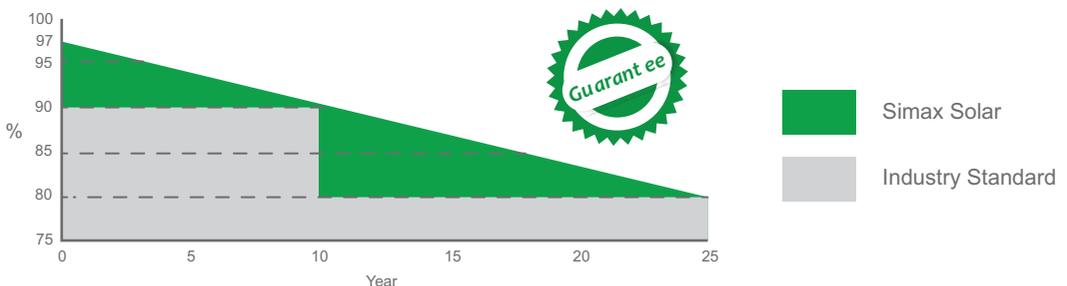


### Reliable quality forever

Without potential induced  
degradation (PID-free)

## Leading Warranty in PV Industry

- 25 year transferrable power output warranty: 10 years / 90%, 25 years / 80%
- Linear performance warranty from SIMAX Power
- 12 year material and workmanship warranty



\* Please refer to Simax Solar Product Warranty for details.





APENDICE D, Batería UGC 20-12

# UCG 20-12

12V 20AH

Deep Cycle Gel

# Ultracell®

'Quality in Every Language'

## UCG20-12



## Physical Specification

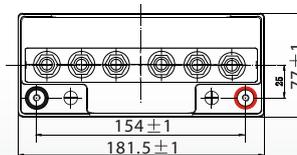
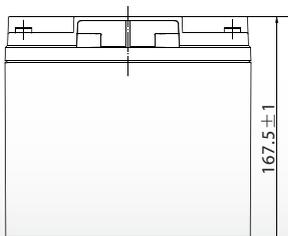
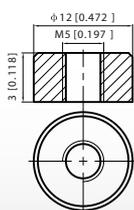
Part Number:	<b>UCG20-12</b>
Length:	<b>181.5 ± 2 mm (7.15 inches)</b>
Width:	<b>77 ± 2 mm (3.03 inches)</b>
Container Height:	<b>167.5 ± 2 mm (6.59 inches)</b>
Total Height (with terminal):	<b>167.5 ± 2 mm (6.59 inches)</b>
Approx Weight:	<b>Approx 5.8 kg (12.8lbs)</b>

## Specifications

	Nominal Voltage	12V	
	Nominal Capacity (20HR)	10AH	
Terminal Type	Standard Terminal	F15	
	Optional Terminal	-	
Container Material	Standard Option	ABS	
	Flame Retardant Option (FR)	ABS (UL94:VO)	
Rated Capacity	20.0 AH/0.85A	(20hr, 1.80V/cell, 25°C / 77°F)	
	15.5 AH/1.55A	(10hr, 1.80V/cell, 25°C / 77°F)	
	13.6 A H/2.72A	(5hr, 1.75V/cell, 25°C / 77°F)	
	11.8 AH/3.94A	(3hr, 1.75V/cell, 25°C / 77°F)	
	9.35 AH/9.35A	(1hr, 1.60V/cell, 25°C / 77°F)	
Max Discharge Current	204A (5s)		
Internal Resistance	Approx 18mΩ		
Discharge Characteristics	Operating Temp. Range	Discharge: -20 ~ 55°C (-4 ~ 131°F)	
		Charge: 0 ~ 40°C (32 ~ 104°F)	
		Storage: -20 ~ 50°C (-4 ~ 122°F)	
	Nominal Operating Temp. Range	25 ± 3°C (77 ± 5°F)	
	Cycle Use	Initial Charging Current less than 4.25A. Voltage 14.4V ~ 15.0V at 25°C (77°F) Temp. Coefficient -30mV/°C	
	Standby Use	No limit on Initial Charging Current Voltage 13.5V ~ 13.8V at 25°C (77°F) Temp. Coefficient -20mV/°C	
Capacity affected by Temperature	40°C (104°F)	103%	
	25°C (77°F)	100%	
	0°C (32°F)	86%	
Design Floating Life at 20°C	12 Years		
Self Discharge	Ultracell batteries may be stored for up to 6 months at 25°C(°77F) and then a refresh charge is required. For higher temperatures the time interval will be shorter.		

## Dimensions

### F15 Terminal



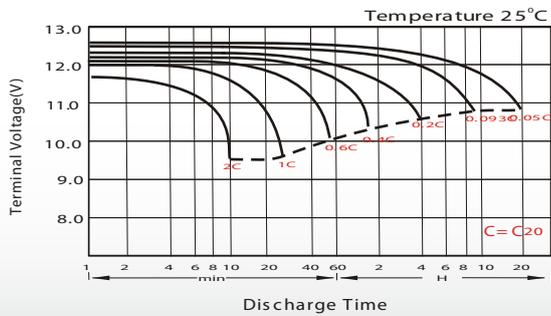
## Constant Current Discharge (Amperes) at 25 °C (77°F)

F.V/Time	20min	30min	45min	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	20h
1.85V/cell	14.4	11.3	8.61	7.21	4.57	3.49	2.89	2.49	2.15	1.90	1.72	1.57	1.48	0.82
1.80V/cell	16.5	12.6	9.50	7.96	4.95	3.73	3.06	2.62	2.26	1.99	1.80	1.65	1.55	0.85
1.75V/cell	18.5	13.9	10.3	8.52	5.24	3.94	3.20	2.72	2.34	2.06	1.86	1.70	1.58	0.87
1.70V/cell	19.9	14.9	10.9	9.01	5.56	4.11	3.31	2.81	2.42	2.13	1.91	1.75	1.62	0.88
1.67V/cell	20.8	15.4	11.3	9.35	5.70	4.24	3.39	2.86	2.46	2.16	1.94	1.77	1.64	0.89
1.60V/cell	22.5	16.5	12.1	9.93	5.93	4.41	3.52	2.95	2.52	2.21	1.98	1.81	1.67	0.90

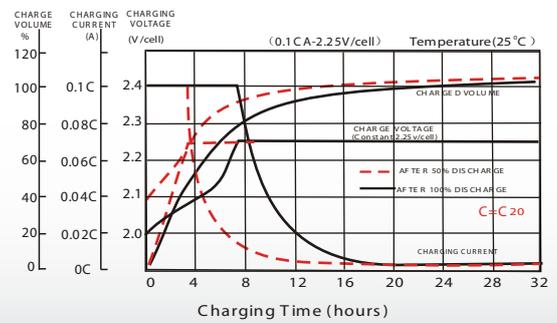
## Constant Power Discharge (Watts) at 25 °C (77°F)

F.V/Time	20min	30min	45min	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	20h
1.85V/cell	27.5	21.8	16.7	14.0	8.94	6.83	5.68	4.92	4.26	3.78	3.42	3.13	2.96	1.63
1.80V/cell	31.1	24.1	18.3	15.4	9.63	7.29	5.99	5.15	4.46	3.95	3.57	3.28	3.09	1.69
1.75V/cell	34.6	26.2	19.6	16.4	10.2	7.68	6.26	5.33	4.60	4.07	3.68	3.37	3.14	1.73
1.70V/cell	36.9	27.9	20.7	17.3	10.7	7.98	6.45	5.48	4.75	4.20	3.78	3.46	3.21	1.75
1.67V/cell	37.9	28.6	21.3	17.8	11.0	8.20	6.59	5.58	4.82	4.25	3.83	3.50	3.25	1.76
1.60V/cell	40.6	30.4	22.7	18.8	11.3	8.49	6.81	5.74	4.92	4.33	3.89	3.57	3.31	1.78

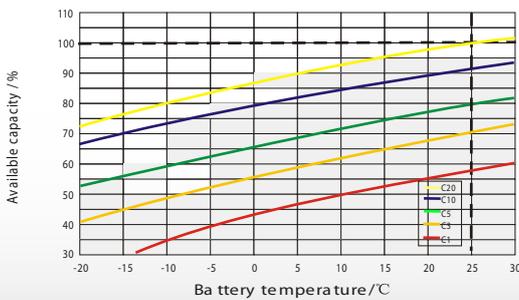
### Discharge Characteristics



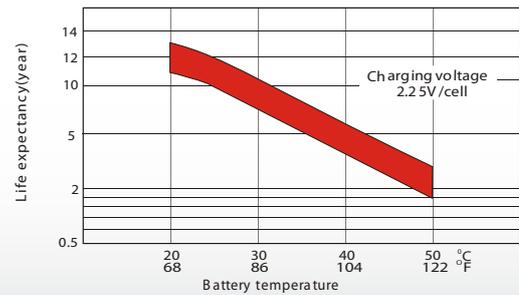
### Float Charging Characteristics



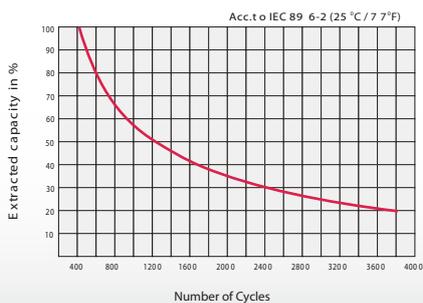
### Temperature Effects in Relation to Battery Capacity



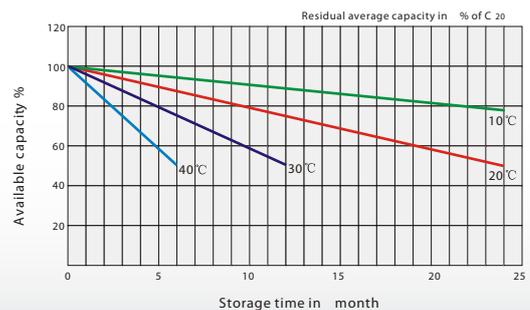
### Effect of Temperature on Long Term Float Life



### Cycle Life in Relation to Depth of Discharge



### General Relation of Capacity VS. Storage Time



APENDICE E, Regulador SS

# SUNSAVER™

## CONTROLADOR SOLAR

Morningstar se complace en presentar el **SunSaver** de tercera generación. Desde su primera presentación en el mercado en 1996, se han instalado más de 1 millón de controladores SunSaver en más de 73 países para numerosos sistemas de energía solar, entre estos, petróleo/gas, telecomunicaciones e instrumentación, marina y navegación y hogares remotos. Hemos conservado mucho de nuestro diseño existente, por ejemplo, las mismas clasificaciones, el espacio y la interfaz de usuario simple y, además, hemos agregado diversas funciones de alto valor nuevas y avanzadas:

- Protecciones electrónicas completas
- Carga de batería de 4 etapas
- Autodiagnóstico para detectar fallas críticas
- LED de estado multicolor
- 3 LED para el estado de carga de la batería
- Recuperación de batería descargada
- Modo de telecomunicaciones para cargas sensibles
- Límite de carga máxima para cargas sensibles
- Cubierta para proteger los terminales de cables
- Certificaciones adicionales



### Características clave y beneficios

#### ■ **Fiabilidad sumamente alta**

- Índice de falla menor que 1 por cada 1.000 enviados (<0,1 %)
- Estado 100 % sólido. Diseño de MOSFET de energía
- Fabricado en una fábrica que cumple con ISO 9000
- Prueba de 100 % de funcionalidad anterior al envío

#### ■ **Baterías con vida útil más larga**

- Carga PWN avanzada
- Diseño de serie (sin derivador de corriente) para un funcionamiento frío
- Carga de 4 etapas: principal, absorción, flotación, compensación
- Puntos de ajuste optimizados para batería sellada o con electrolito líquido
- Carga con compensación de temperatura
- Desconexión de carga de bajo voltaje en diversas versiones

#### ■ **Diseño para ambientes rigurosos**

- Clasificación de temperatura de -40 °C a +60 °C
- Encapsulación de epoxia para protección contra el ingreso de humedad y polvo
- Protección contra la corrosión: terminales de clasificación marina y carcasa de aluminio anodizada
- Certificado para su uso en ubicaciones peligrosas

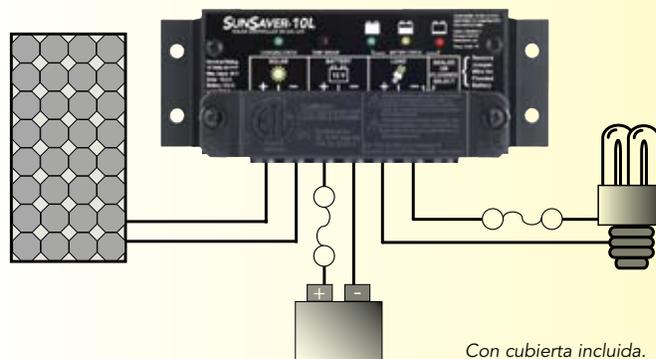
#### ■ **Fácil de instalar y de usar**

- Gracias a los ajustes previos de fábrica, no se requieren configuraciones de instalación
- Las protecciones electrónicas evitan daños debido a errores de cableado
- Funcionamiento y recuperación de fallas completamente automáticos
- Los LED muestran información extensa acerca del estado, fallas, y condición de la batería

# SUNSAVER™ CONTROLADOR SOLAR

## Versiones de SunSaver

	Corriente solar	Corriente de carga	Voltaje del sistema	LVD
• SS-6-12 V	6 A	6 A	12 V	No
• SS-6L-12 V	6 A	6 A	12 V	Sí
• SS-10-12 V	10 A	10 A	12 V	No
• SS-10L-12 V	10 A	10 A	12 V	Sí
• SS-10L-24 V	10 A	10 A	24 V	Sí
• SS-20L-12 V	20 A	20 A	12 V	Sí
• SS-20L-24 V	20 A	20 A	24 V	Sí



Con cubierta incluida.

## ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

### Eléctricas

- **Clasificaciones máx. de carga y fotovoltaica** Según lo anterior
- **Voltaje del sistema** 12 o 24 voltios
- **Voltaje mín. de la batería** 1 voltio
- **Voltaje de regulación**

	<b>12 voltios</b>	<b>24 voltios</b>
Batería sellada	14,1 V	28,2 V
Batería con electrolito líquido	14,4 V	28,8 V
- **Desconexión de carga** 11,5 V 23,0 V
- **Reconexión DBV** 12,6 V 25,2 V
- **Voltaje solar máx.**

Batería de 12 V	30 voltios
Batería de 24 V	60 voltios
- **Capacidad de carga precipitada**

SunSaver-6	45 amperios
SunSaver-10	65 amperios
SunSaver-20	140 amperios
- **Autoconsumo** < 8 mA
- **Precisión de voltaje**

12 V: +/- 25 mV (común)
24 V: +/- 48 mV (común)
- **Protección temporal contra sobrevoltaje** 1500 W por conexión

### Mecánicas

- **Tamaño de cable** 5 mm<sup>2</sup> / AWG n.º 10
- **Peso (desempacado)** 0,23 kg
- **Dimensiones** 15,2 x 5,5 x 3,4 cm

### Ambientales

- **Temperatura ambiente** -40 °C a +60 °C
- **Temperatura de almacenamiento** -55 °C a +80 °C
- **Humedad** 100 % sin condensación
- **Tropicalización** Encapsulación de epoxia  
Terminales de clasificación marina  
Carcasa de aluminio anodizada

### Protecciones electrónicas

- **Solar:** Sobrecarga, cortocircuito, alto voltaje
- **Carga:** Sobrecarga, cortocircuito, alto voltaje
- **Batería:** Alto voltaje
- **Todos:** Polaridad invertida, alta temperatura, rayos y sobrevoltajes temporales
- **Corriente invertida en la noche**

### Carga de la batería

- **Método de carga** PWM de la serie de 4 etapas
- **Etapas de carga** Principal, absorción, flotación, compensación
- **Compensación de temperatura**

Coeficiente	12 V: -30 mV/°C
	24 V: -60 mV/°C
Margen	-30 °C a +60 °C
Puntos de ajuste	Absorción, flotación, compensación

### Indicaciones de LED

- **LED de estado (1)** Cargando o no cargando  
Condiciones de error solar
- **LED de la batería (3)** Nivel de la batería  
Etapa de carga

### Certificaciones

- **ETL con clasificación en la lista UL 1741 y CSA C22.2 N.º 107.1-01**
- **Ubicaciones peligrosas** Clase 1, División 2, Grupos A,B,C,D  
CSA C22.2#213
- **Pautas generales de EMC** Inmunidad, emisiones, seguridad
- **FCC** Clase B, Parte 15
- **CE**
- **RoHS**
- **ISO 9000**

**GARANTÍA:** Período de garantía de cinco años. Comuníquese con Morningstar o con el distribuidor autorizado para conocer los términos completos.

**DISTRIBUIDOR DE MORNINGSTAR AUTORIZADO:**

**MORNINGSTAR**  
corporation

8 Pheasant Run  
Newtown, PA 18940 EE.UU.  
Tel. : +1 215-321-4457 Fax: +1 215-321-4458  
Correo electrónico: [info@morningstarcorp.com](mailto:info@morningstarcorp.com)  
Sitio web: [www.morningstarcorp.com](http://www.morningstarcorp.com)



APENDICE F, Inversor TW - 1500

# INVERSORES ZONHAN

INVERSORES DE ONDA SINOIDAL PURA DE 300W HASTA 6000W !



Inversores económicos para aplicaciones fijas de onda sinodal pura con todas las protecciones. Diseño con componentes de calidad para aguantar el trabajo rudo. Con display para Voltaje y Potencia. Desconexión con voltaje bajo. Dependiendo del modelo está incluido una o varias tomas de USB de 5VDC y uno o dos tomacorrientes.



The Leading Supplier Of  
Wind Turbine,  
Hydro turbine,  
Solar Electric System

<b>Model : TW-1500</b>		<b>TW-1500-12V</b>	<b>TW-1500-24V</b>	<b>TW-1500-48V</b>
<b>SALIDA AC:</b>	Potencia continua:	1500W		
		<b>3000W</b>		
	<b>Potencia Pico:</b>	120%< carga		
		150%< carga		
	Tipo de onda	Sinoidal Pura (THD < 3%)		
	Frecuencia de salida	50Hz±0.1% or 60Hz±0.1% (Opcional)		
	Voltaje de salida AC	100~120VAC / 200~240VAC (Opcional)		
<b>DC Input</b>	Voltajes DC de entrada	12V DC	24V DC	48V DC
	Rango de voltaje DC	10.8V-15.5V	21.6V-31V	43.2V-62V
	Alarma de bateria baja	10.8V± 0.2V	21.6V±0.4V	43.2V±0.8V
	Desconexion de bateria baja	10.2V±0.2V	20.4V±0.4V	40.8V±0.8V
	Desconexion por voltaje alta	15.5V±0.2V	31V±0.4V	62V±0.8V
<b>Eficiencia maxima</b>		90% (a toda carga) / 95% (1/3 carga)		
<b>Autoconsumo</b>		<0.8A	<0.4A	<0.2A
<b>Protección</b>	<b>Termico</b>	Apagado automático con Temperatura >75°C		
	<b>Contra corto circuito</b>	Polaridad Externa a traves de fusible		
	<b>Ventilador enfriamiento</b>	A partir de temperatura ≥45°C		
<b>Environmental</b>	<b>Temperatura de operación</b>	-10°C ~+50°C		
	<b>Humedad</b>	20%~90% RH		
	<b>Bodegaje</b>	-30°C ~+70°C		
<b>Indicadores, LED</b>		<b>Inversor, Falla</b>		
<b>Físico</b>	<b>Dimensiones (mm)</b>	315*195*135mm		
	<b>Peso (kg)</b>	2.6 kg		
	<b>Dimensions Carton(mm)</b>	420*340*460 mm		
	<b>Peso Carton (kg)</b>	16 kg		
		6pcs /Carton		