

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**DISEÑO MECATRÓNICO DE UN DESHIDRATADOR SOLAR DE
MEDIANA CAPACIDAD, ASISTIDO POR BOMBA DE CALOR
HÍBRIDA SOLAR, PARA EL SECADO SUSTENTABLE DE
PRODUCTOS AGRÍCOLAS**

DISEÑO DE LOS COMPONENTES ENERGETICOS

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

DANNY FERNANDO CHICAIZA JAMI

danny.chicaiza@epn.edu.ec

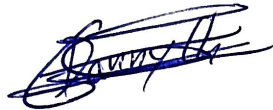
DIRECTOR: DR. ÁLVARO GONZALO AGUINAGA BARRAGÁN

alvaro.aguinaga@epn.edu.ec

DMQ, diciembre 2022

CERTIFICACIONES

Yo, DANNY FERNANDO CHICAIZA JAMI declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



DANNY FERNANDO CHICAIZA JAMI

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por DANNY FERNANDO CHICAIZA JAMI, bajo mi supervisión.



DR. ÁLVARO GONZALO XAVIER AGUINAGA BARRAGÁN

DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

DANNY FERNANDO CHICAIZA JAMI

DR ÁLVARO GONZALO AGUINAGA BARRAGÁN

DEDICATORIA

Dedicado a mis padres Alfonso y Elsa, a mis hermanos Paola, Juan Carlos, Evelyn, mi gran familia que me han acompañado en mi formación profesional, sin su ayuda y sus palabras esto no sería posible.

A mis amigos que estuvieron allí cuando los necesite, su presencia hizo llevadera la dedicación y esfuerzo que tenía que poner para seguir estudiando.

A la Escuela Politécnica Nacional y todas las personas que la conforman por ser parte de mi crecimiento y formación como futuro profesional.

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios, por todas las oportunidades y adversidades que puso en mi camino y por ayudarme a seguir un correcto camino para mi desarrollo como persona, física, mental y espiritualmente.

A mis padres Elsa y Alfonso, por darme todo su apoyo en mis estudios, en la vida, sus palabras de aliento me ayudaron a no rendirme y siempre mirar hacia adelante, gracias por brindarme un amor incondicional y un hogar lleno de felicidad.

A mis hermanos, Paola, Juan Carlos, Evelyn, por estar conmigo en todos los momentos de dificultad, darme su apoyo y ánimos, por su forma de ser y siempre estar dispuestos en ayudarme.

A mis amigos Erick y Martin que estuvieron siempre presentes durante el desarrollo de nuestra carrera, sus consejos y ayuda para no darnos por vencidos fue una base fundamental para la culminación de nuestro ciclo universitario y espero que sigamos adelante con nuestro desarrollo profesional.

INDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
INDICE DE CONTENIDO.....	V
RESUMEN	VII
ABSTRACT	VIII
1. Introducción	1
1.1 Objetivo general	1
1.2 Objetivos específicos	1
1.3 Alcance	1
1.4 Marco teórico	2
1.1.1 Agricultura	3
1.1.2 Noroccidente del distrito metropolitano de Quito.....	4
1.1.3 Deshidratación de Productos Agrícolas.....	6
1.1.4 Tipos de deshidratación.....	7
1.1.5 Deshidratador Solar.....	7
2. METODOLOGÍA.....	12
2.1 Enfoque Metodológico.....	12
2.2 Evaluación de alternativas	13
2.3 Descripción del Proceso.....	15
2.4 Análisis Termodinámico del Sistema.....	15
2.4.1 Transferencia de calor	15
2.4.2 Primera Ley de la Termodinámica	15
2.4.3 Cámara de deshidratación.....	15
2.4.4 Balance de masa	16
2.4.5 Balance de energía.....	16
2.4.6 Eficiencia energética.....	17
2.4.7 Ciclo termodinámico de una bomba de calor.....	17
2.4.8 Panel Solar Hibrido PVT	19
2.4.9 Segunda Ley de la Termodinámica	20
2.4.10 Análisis Exergético	20

2.4.11	Flujos Exergético	21
2.4.12	Flujo de aire	22
2.5	Simulación.....	22
3.	RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	24
3.1	Resultados	24
3.2	Conclusiones	31
3.3	Recomendaciones	32
4.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33
5.	ANEXOS.....	35
	ANEXO I. Condiciones Climáticas	36
	ANEXO II. Panel Solar PVT	41
	ANEXO III. Bomba de Calor.....	43
	ANEXO IV. Datos y Respuestas Obtenidos en Matlab	47

RESUMEN

Este Trabajo de Integración Curricular tiene como objetivo el diseño de un deshidratador solar de mediana capacidad asistido por bomba de calor híbrida para el secado de productos agrícolas en el noroccidente del distrito metropolitano de Quito.

Se inicia a partir de la recopilación de información de la zona y sobre el proceso de secado en un deshidratador, así como nuevas tecnologías para el secado de alimentos. Se evalúa las diferentes alternativas de los componentes energéticos y se elige la mejor opción en términos de ahorro y aprovechamiento de energía solar. Se realiza el modelo matemático que describa el comportamiento del secador y se lo analiza en un software de programación para obtener una respuesta respecto a las características que debe cumplir nuestro deshidratador para poder operar eficientemente, se propone los componentes energéticos que cumplan con los requerimientos obtenidos. Por último, se discute los datos y resultados obtenidos en la simulación con sus respectivas conclusiones y recomendaciones del caso.

PALABRAS CLAVE: Bomba de calor, energía solar, humedad, PVT, deshidratador, secado.

ABSTRACT

This Curricular Integration Work has as objective the design of a medium capacity solar dehydrator assisted by a hybrid heat pump for the drying of agricultural products in the northwest of the metropolitan district of Quito.

It starts from the collection of information on the area and on the drying process in a dehydrator, as well as new technologies for drying food. The different alternatives of the energy components are evaluated and the best option is chosen in terms of saving and use of solar energy. The mathematical model that describes the behavior of the dryer is made and it is analyzed in a programming software to obtain an answer regarding the characteristics that our dehydrator must meet in order to operate efficiently, the energy components that meet the requirements obtained are proposed. Finally, the data and results obtained in the simulation are discussed with their respective conclusions and recommendations of the case.

KEYWORDS: heat pump, solar energy, humidity, PVT, dehydrator, drying.

1. Introducción

A continuación, se establece los objetivos que se desean lograr con el desarrollo del proyecto, esto también es un camino a seguir para la realización del TIC.

1.1 Objetivo general

Diseñar los componentes mecatrónicos para un prototipo de deshidratador solar asistido por bomba de calor híbrido capas de secar los productos agrícolas en las comunidades rurales del distrito Metropolitano de Quito, priorizando un bajo costo, buena eficiencia térmica y fácil manejo del mismo.

1.2 Objetivos específicos

1. Realizar una revisión bibliográfica que aporte con los conocimientos teóricos necesarios para llevar a cabo la investigación.
2. Identificar las nuevas tecnologías que pueden ser aplicadas para el mejoramiento del deshidratador solar.
3. Estimar el consumo energético de los componentes mecatrónicos mediante la evaluación de los resultados obtenidos.
4. Diseñar y especificar los parámetros técnicos para un deshidratador solar asistido por bomba de calor híbrida solar.

1.3 Alcance

En cumplimiento de cada uno de los objetivos específicos propuestos en el presente Trabajo de Integración Curricular, se realizarán las siguientes actividades.

Objetivo Especifico 1: Realizar una revisión bibliográfica que aporte con los conocimientos teóricos necesarios para llevar a cabo la investigación.

- Actividad (1.1): Recopilación bibliográfica.
- Actividad (1.2): Análisis y sistematización de la información bibliográfica.
- Actividad (1.3): Elaboración de un reporte con información bibliográfica sistematizada.

Objetivo Especifico 2: Identificar las nuevas tecnologías que pueden ser aplicadas para el mejoramiento del deshidratador solar.

- Actividad (2.1): Recopilación de investigaciones tecnológicas.
- Actividad (2.2): Ordenamiento y filtrado de información de interés tecnológico.
- Actividad (2.2): Selección he incorporación de los componentes energéticos.

Objetivo Especifico 3: Estimar el consumo energético de los componentes energéticos y mecatrónicos del deshidratador solar mediante la evaluación de los resultados obtenidos.

- Actividad (3.1): Evaluación del consumo energético por parte de los componentes incorporados en el prototipo.
- Actividad (3.2): Elaboración de un reporte con los datos obtenidos de la evaluación del consumo energético por parte de los componentes del prototipo.

Objetivo Especifico 4: Diseñar y desarrollar las especificaciones técnicas de los componentes energéticos y mecatrónicos del deshidratador solar asistido por bomba de calor hibrida solar.

- Actividad (4.1): Diseño del prototipo de un deshidratador solar asistido por bomba de calor hibrida solar.
- Actividad (4.2): Determinación de los parámetros técnicos que se deben seguir para obtener una buena eficiencia térmica y aprovechamiento de la energía.
- Actividad (4.3): Elaboración de documentos memoria de los diseños realizados y especificaciones técnicas, así como los planos de los componentes del deshidratador solar asistido por bomba hibrida solar para fácil manejo para el secado sustentable de productos agrícolas en las comunidades rurales del noroccidente del Distrito Metropolitano de Quito.

1.4 Marco teórico

En la época actual, la tendencia de utilizar energía renovable y la optimización de los recursos que tenemos a disposición para un mejor aprovechamiento de la energía en general, abre un camino para la implementación de nuevas tecnologías, es así que el sector agrícola es un foco importante para la sustentabilidad en cuanto a productos que pueden ser obtenidos en las comunidades rurales del Distrito Metropolitano de Quito.

La agricultura comprende varios sistemas y es un medio de vida que abarca el procesamiento de alimentos para consumo familiar, hasta una producción mayor que llega a los mercados para comercialización, todo esto con el fin de aprovechar los medios

disponibles y también se reconoce el valor social y ambiental de esta ardua labor. (Rodríguez, 2016).

A continuación, se coloca información necesaria sobre los temas relacionados al contenido que se estudiara en este Trabajo de Integración Curricular con el fin de dar a conocer la problemática y estado actual de la agricultura en el Distrito Metropolitano de Quito, así también el proceso que se lleva a cabo en la obtención de los productos agrícolas, tecnologías aplicadas al secado de los mismos, diversos sistemas de aprovechamiento de la energía y el objetivo que se busca llegar al poner en marcha este proyecto.

1.1.1 Agricultura

La agricultura es uno de los trabajos más antiguos realizados por el hombre ya que es de vital importancia para la supervivencia y desarrollo de las comunidades pues esta actividad se lleva a cabo para obtener productos alimenticios para su propio consumo o comercialización.

Hoy en día este trabajo se lo realiza en zonas rurales, con largas extensiones de tierra en el cual se puede sembrar y cosechar los productos agrícolas necesarios, lamentablemente este trabajo en nuestro país se realiza por gente de bajos recursos económicos empleando métodos empíricos transmitidos entre generaciones.

El distrito metropolitano de quito tiene 33 parroquias rurales en la cual sus habitantes viven de lo que la tierra les da.

El municipio no tiene el número exacto de personas que viven de la agricultura, pero se indica que la mayoría de personas en esa situación se ubican en San José de Minas, Nanegalito, Pintag, Guayllabamba, Puellaró, Chavezpamba y Perucho. (Jácome, 2022)

Recientemente se evalúa que entre las parroquias de Nanegal, Pacto, Nanegalito, Guayllabamba, Guala y San José de Minas, se tiene unas 400 hectáreas de tierras destinadas a la siembra de granos de café con sus respectivas variantes. (Anónimo, agricultura.gob.ec, 2022)

La mayoría de habitantes de las parroquias ubicadas en el Noroccidente del Distrito Metropolitano de Quito subsisten del trabajo agrícola, esto debido a la propia geografía y medio que les permite realizar esta actividad, también se tiene en cuenta que al estar lejos de la zona urbana no existen muchos trabajos regulados, por lo que un gran número de personas se ganan la vida realizando este trabajo.

En la obtención de los granos, producto de la agricultura se debe tener especial cuidado en su recolección, almacenamiento y transporte, ya que, durante todo el proceso, los productos agrícolas pueden perecer al estar expuestos a la humedad, plagas y otros factores que amenazan su buen estado para la comercialización y consumo.

1.1.2 Noroccidente del distrito metropolitano de Quito.

1.1.2.1 Ubicación



Ilustración 1. Noroccidente del Distrito Metropolitano de Quito.

Fuente. (Izco, Pazmiño, & Sono, 2017)

El noroccidente del distrito metropolitano de Quito ubicado en pichincha se sitúa desde la vertiente de la cordillera occidental de los andes con una altitud aproximada de 200 msnm (Puerto Quito) y los 4500 msnm (Nono), su hábitat y ecosistemas se extiende desde los páramos de las cercanías del volcán Pichincha hasta los bosques de la región Choco-Darién y muy cerca de las llanuras costeras. (Izco, Pazmiño, & Sono, 2017)

1.1.2.2 Información General

Parroquias	Superficie/ km ²	Habitantes	Clima y altitud (msnm-°C)	Micro-cuencas	Actividades
Cacalalí	184,62	3.895	2.800-1.400 13°-19°	6 (Pichán, Blanco, Tanache)	Agricultura, ganadería, fábricas de bloques y ladrillos
Gualea	120,97	2.025	700-1.800 20°-24°	7 (Chirapi, Tulipe, Pachijal)	Ganadería, panela, minería (oro), turismo
Nanegal	350,14	2.636	1.199 12°-28°	9 (Alambi, Guayllabamba, Saguangal, Pichán, Meridiano)	Ganadería, panela, aves de corral (industrial)
Nanegalito	184,62	3.026	1.533 15°-22°	8 (Tulipe, Pachijal, Alambi)	Ganadería, lácteos, turismo, fábrica de bloques
Nono	207,6	1.732	2.727-3.800 7°-15°	5 (Alambi, Pichán, Cinto)	Agricultura, ganadería (leche), animales menores, turismo, manufacturas
Pacto	346,14	4.798	500-1.800 17°-20°	8 (Mashpi, Chirapi, Pachijal, Guaycuyacu)	Agricultura (palmito), ganadería, minería del oro (15 concesiones)

Ilustración 2. Variables geográficas y sociales que caracterizan a las parroquias del noroccidente

Fuente. (Izco, Pazmiño, & Sono, 2017)

En la ilustración 2 se muestra información relevante acerca del clima, geografía, número de habitantes y sobre todo las actividades que se desarrollan en las parroquias del noroccidente del distrito metropolitano de Quito, se puede notar que la actividad de agricultura aparece en casi todas las parroquias

1.1.2.3 Condiciones Climáticas

Temperatura ambiente

La temperatura suele variar por la altitud, pero en promedio en el Noroccidente del distrito metropolitano de Quito es de 20 - 22 °C. (INAMHI, 2018) , esta temperatura es apropiada para la siembra de productos agrícolas variados.

Humedad Relativa

La humedad relativa depende de ciertos factores como la temperatura, altitud y lluvia presente del lugar, es una medida en porcentaje de lo saturado que se encuentra el aire del sitio, basándose en 0 para un aire seco y 100 para aire saturado, en el noroccidente

del distrito metropolitano de Quito, la humedad relativa promedio es de 80% lo cual indica que es un clima húmedo. (Anónimo, studylib, 2008)

Precipitación

Son los niveles de lluvia presente en el lugar, en el noroccidente del distrito metropolitano de Quito los valores fluctúan entre un mínimo de 2000 mm y un máximo de 3000 mm. (Anónimo, studylib, 2008)

Radiación Solar

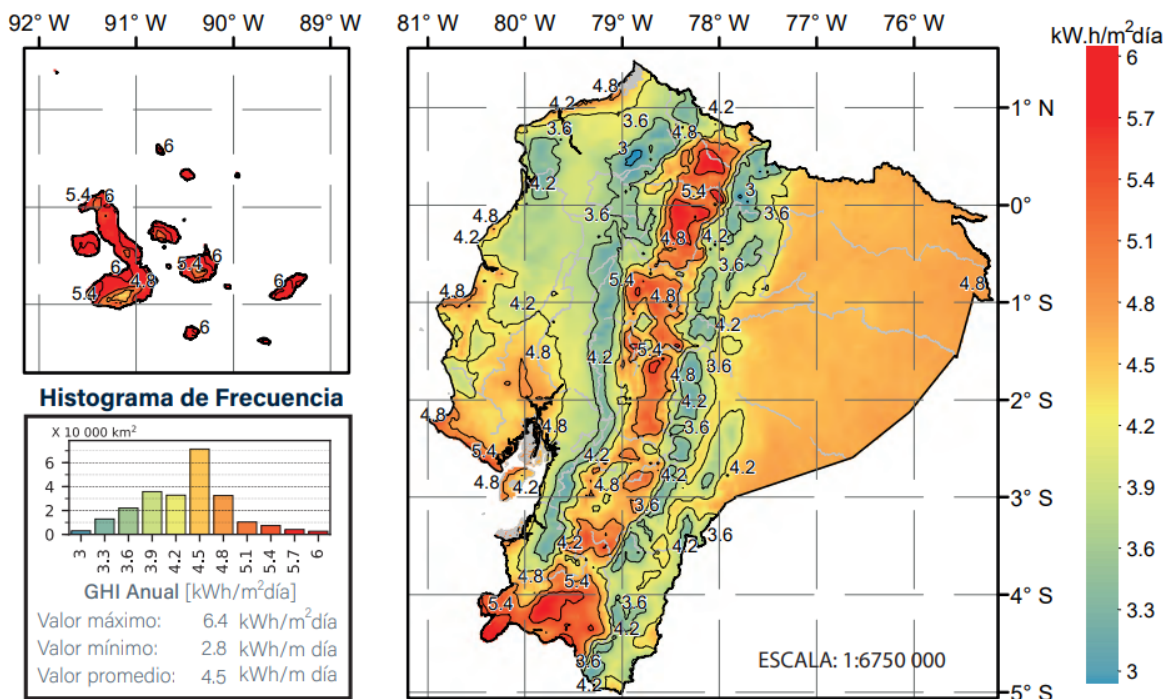


Ilustración 3, Irradiación Solar Global (GHI) Anual

Fuente. (Vaca-Revelo & Ordoñez, 2019)

El noroccidente del distrito metropolitano de Quito presenta un buen potencial solar de 4.2 a 5.7 kWh/m² día, este parámetro de energía puede ser bien aprovechado para la implementación de un deshidratador solar

1.1.3 Deshidratación de Productos Agrícolas

Para deshidratar un producto agrícola, ya sea granos u otro alimento que necesite ser secado, se lo realiza almacenando el producto en una zona dedicada a este fin.

Actualmente el secado de productos agrícolas es un proceso que se lo realiza de manera natural, esto quiere decir que se deja los granos expuestos al sol directamente, por tal motivo la obtención de los productos deshidratados puede llevar de seis a siete días dependiendo de las condiciones ambientales que se presenten. (Guzmán, 2017)

Para el secado de las semillas y granos obtenidos se suele utilizar una zona despejada y colocar los productos directamente al sol, esto puede provocar que plagas se posen sobre los granos o que sean consumidos por las aves de las cercanías, otro método utilizado es emplear secadores a gas GLP, que suele alterar el sabor y olor de los productos allí tratados, estas son un par de alternativas usadas en este trabajo, si bien el secado de las semillas expuestas al sol directamente no es un gasto económico y resulta útil energéticamente, se debe tener en cuenta la disponibilidad de esta fuente de energía.

1.1.4 Tipos de deshidratación

Deshidratación natural

El proceso de deshidratación natural se lo realiza tradicionalmente al colocar los granos en un patio o terraza expuesto directamente al sol, la radiación solar seca a los granos progresivamente, este proceso puede tardar de 1 a 2 semanas dependiendo del clima, se debe tener en cuenta los cambios de clima ya que vientos fuertes o lluvia pueden esparcir el producto o echar a perder el mismo.

Deshidratación Mecánica

Se lo realiza calentando aire en un colector solar el cual será enviado a través de un ducto por una corriente de aire y secará a los granos que reposan en una cámara de secado por el fenómeno de convección, en este caso convección forzada, de esta manera el aire secará el producto al llevarse la humedad consigo.

1.1.5 Deshidratador Solar

Deshidratador Solar Convencional

Los modelos artesanales de deshidratadores son sencillos y eficientes, muy prácticos en zonas rurales, pero también existen diseños más elaborados que cuentan con entradas y salidas de aire, acumuladores de calor y chimeneas, que calientan el aire de mejor manera y aceleran el proceso de secado. (Anónimo, Yo Reciclo, 2016)

Básicamente un deshidratador solar aprovecha el calor del sol para calentar un colector de aire, por el cual el aire transita, se calienta e intercambia calor con los productos dentro de la cámara acondicionadora, además también se lleva la humedad ayudando así a un mejor secado.

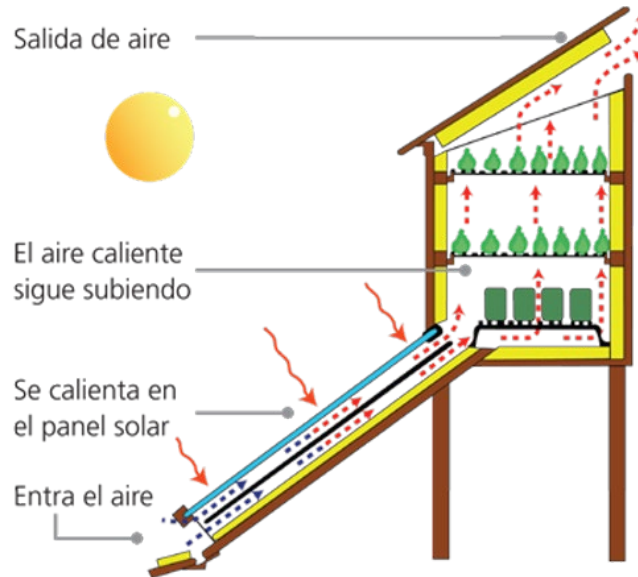


Ilustración 4, deshidratador solar.

Fuente. (Anonimo, Yo Reciclo, 2016)

Deshidratador Solar Asistido Por Bomba de Calor

Un deshidratador solar asistido por bomba de calor es una mejora al ya establecido secador solar convencional, el principio de funcionamiento es el mismo, aire caliente que circula por la cámara de secado calentando el aire circundante y por el aumento de temperatura sea capaz de absorber la humedad presente en los productos tratados. La bomba de calor ayuda al calentamiento del aire (Ilustración 5).

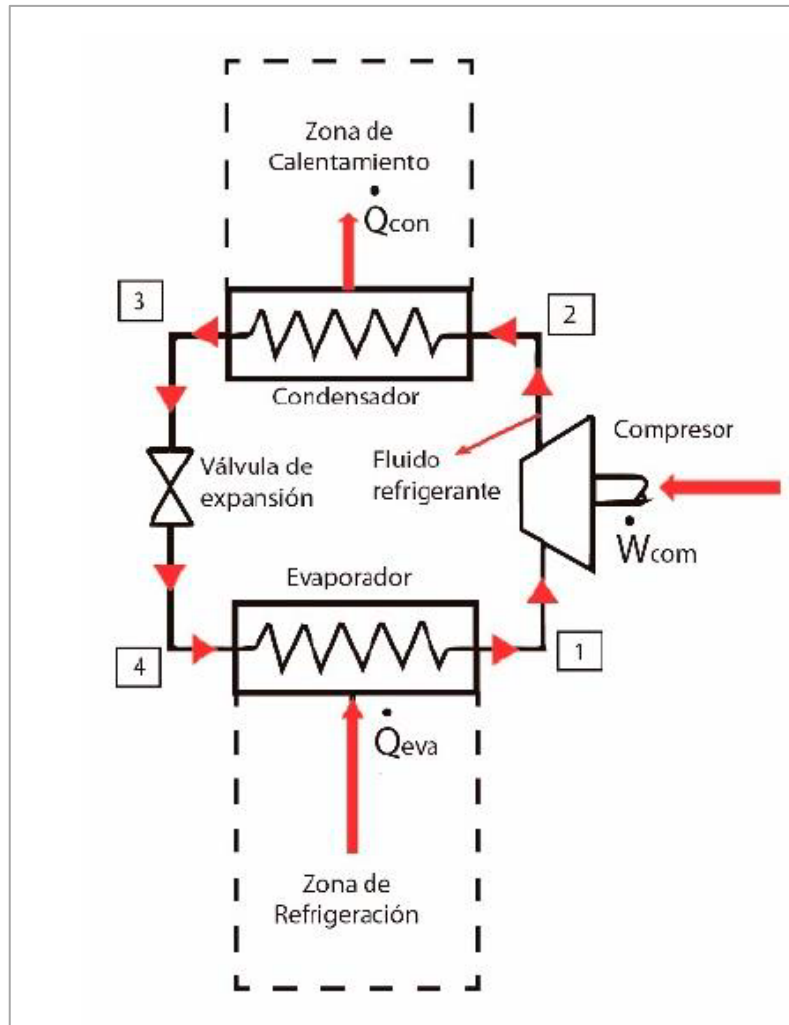


Ilustración 5. Componentes de una Bomba de Calor

Fuente. (Aguinaga, 2022)

Los componentes principales de una bomba de calor son el compresor, condensador, válvula de expansión y evaporador. (Anonimo, AFEC, 2021)

El funcionamiento de una bomba de calor empieza en el compresor, el cual eleva la presión del fluido de trabajo y por ende su temperatura, este pasa al condensador en forma de gas sobrecalentado donde transferirá su energía térmica (entrega calor), el fluido de trabajo pierde energía y continua como un líquido subenfriado hacia la válvula de expansión donde sale como una mezcla de líquida y gas, luego entra al evaporador, en donde gana energía (absorbe calor) hasta llegar al estado vapor saturado, el cual será enviado al compresor donde el ciclo se repite.

Deshidratador Solar Asistido Por Bomba de Calor Híbrida

Para poner en funcionamiento una bomba de calor se debe iniciar por entregar energía al compresor, el cual dará inicio al ciclo de calentamiento, la energía mecánica necesaria es transmitida por un motor eléctrico, aunque también se pueden utilizar motores de combustión interna a diésel o gasolina, dependiendo del lugar en que se encuentren se puede optar por estas alternativas. (Sawochka, 2021)

Para aumentar la eficiencia energética y sobre todo cuidar el medio ambiente se dispone utilizar un colector solar y un panel solar fotovoltaico como método de obtención de energía amigable con el ambiente, de esta manera el panel solar fotovoltaico es el encargado de transformar la energía solar, calor, en energía eléctrica que alimentara el compresor. En el evaporador, el colector solar ayudara a entregar energía al liquido de trabajo para cambiar su estado de líquido a gaseoso, tal como se muestra en la figura 6.

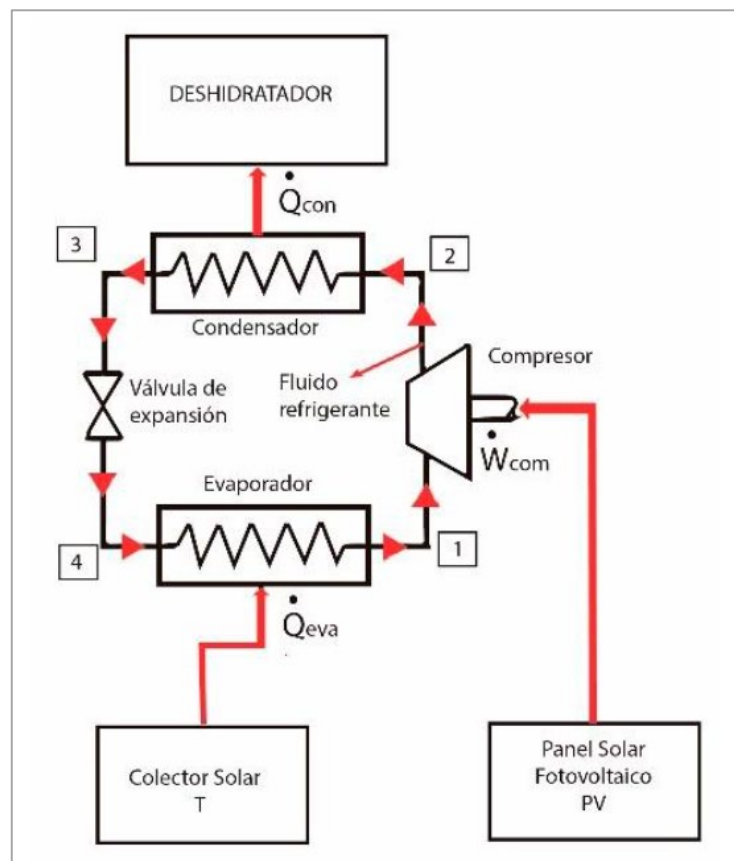


Ilustración 6. Bomba de Calor Asistida por colectores solares PV/T

Fuente. (Aguinaga, 2022)

Bomba de Calor Híbrida

Una bomba de calor híbrida cuenta con panel solar híbrido, el cual logra generar electricidad y calor simultáneamente gracias a que todo el espectro de luz es aprovechado, de esta manera se tiene disponible energía eléctrica y térmica para calentar agua, o cualquier material que necesite ser calentado. (Gestor, 2021)

La gran ventaja que presentan estos paneles solares híbridos es el ahorro de espacio, ya que no se necesita un panel solar térmico y uno panel solar fotovoltaico para generar los dos tipos de energía, así también es el ahorro económico al utilizar energía renovable y el cuidado del medio ambiente al no generar desperdicios en la obtención de la energía para operar.

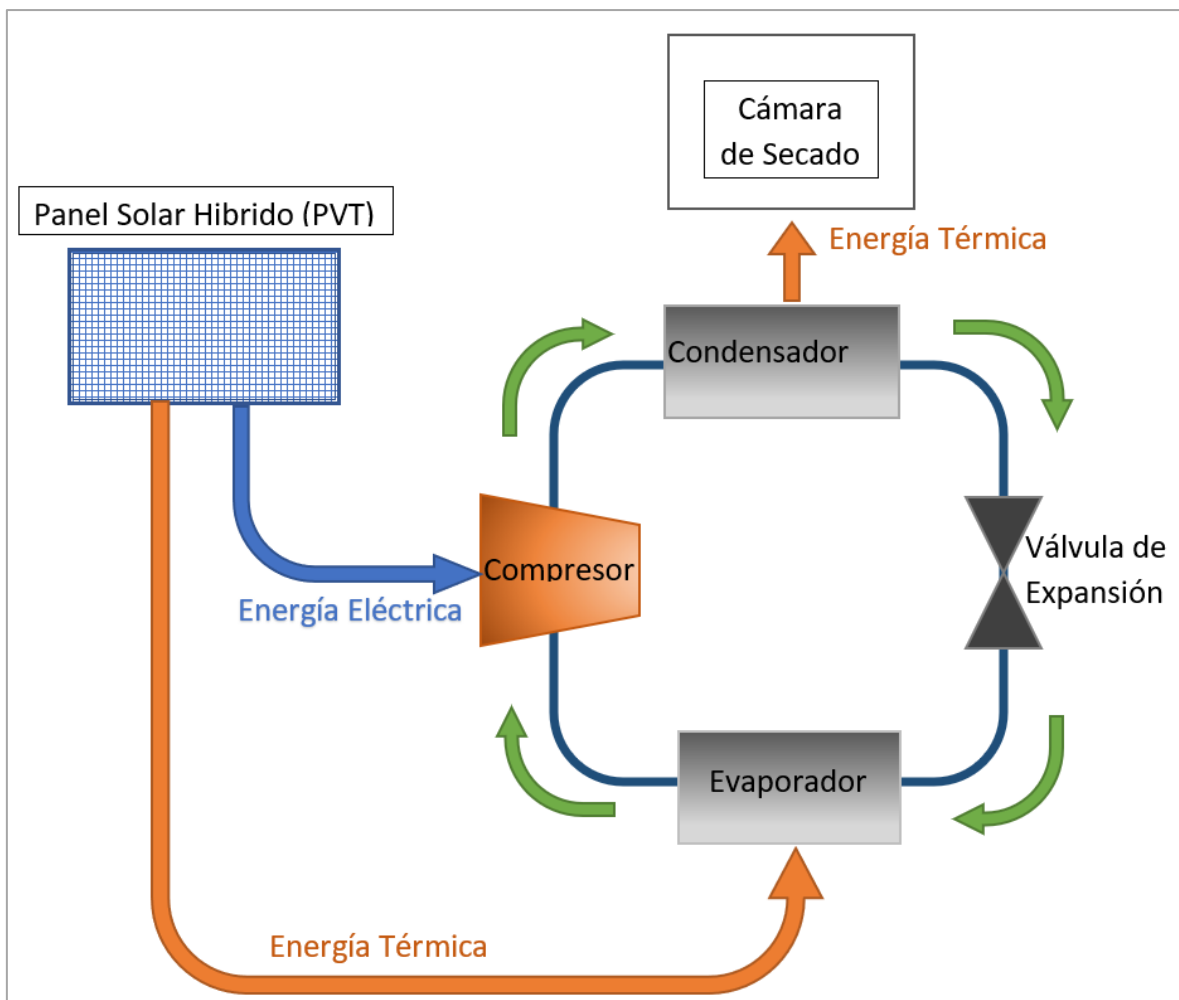


Ilustración 7. Bomba de Calor Híbrida

Fuente. Propia

2. METODOLOGÍA

El presente trabajo de Integración Curricular “Diseño Mecatrónico de un Deshidratador solar de mediana capacidad, asistido por Bomba de calor Híbrida Solar, para el secado sustentable de productos agrícolas” está siendo desarrollado por 2 integrantes del T.I.C.

Esta parte del proyecto se enfocará en el “diseño de los componentes energéticos” por lo cual no se presentará cálculos referentes al diseño mecánico de la máquina y se centrará en el dimensionamiento y requerimientos de energía necesaria que será utilizada para el funcionamiento de la bomba solar híbrida en base a parámetros técnicos y valores deseados alcanzar para una mejor eficiencia.

2.1 Enfoque Metodológico

Al inicio del proyecto se colocó información relacionada con el estado del clima, geografía del distrito metropolitano de Quito, datos relevantes sobre deshidratadores solares y sus diferentes tipos, así también las nuevas tecnologías que se utilizan para mejorar la operación de los mismos.

Para la implementación de la metodología a seguir se incluye un diagrama en el cual se plantea todos los pasos para la elaboración de un deshidratador solar asistido por bomba de calor híbrida el cual inicia con la recopilación de información sobre métodos de obtención de energía de una bomba de calor, todas las características necesarias para su implementación teniendo en cuenta las limitaciones que se nos presenta, se prioriza el apartado de costos y su impacto en el medio ambiente, de esta manera se selecciona la mejor opción disponible.

Después se analiza las condiciones de operación a las cuales tiene que funcionar nuestro sistema, se consideran las variables disponibles y mediante cálculos se procede a formular un modo de operación para el deshidratador.

Posteriormente se acoplan los componentes energéticos junto con los componentes mecánicos para que el diseño del deshidratador solar asistido por bomba de calor híbrido solar esté completo.

Para finalizar se analiza los datos obtenidos y calculados con el propósito de plantear las conclusiones y recomendaciones respectivas para el proyecto.

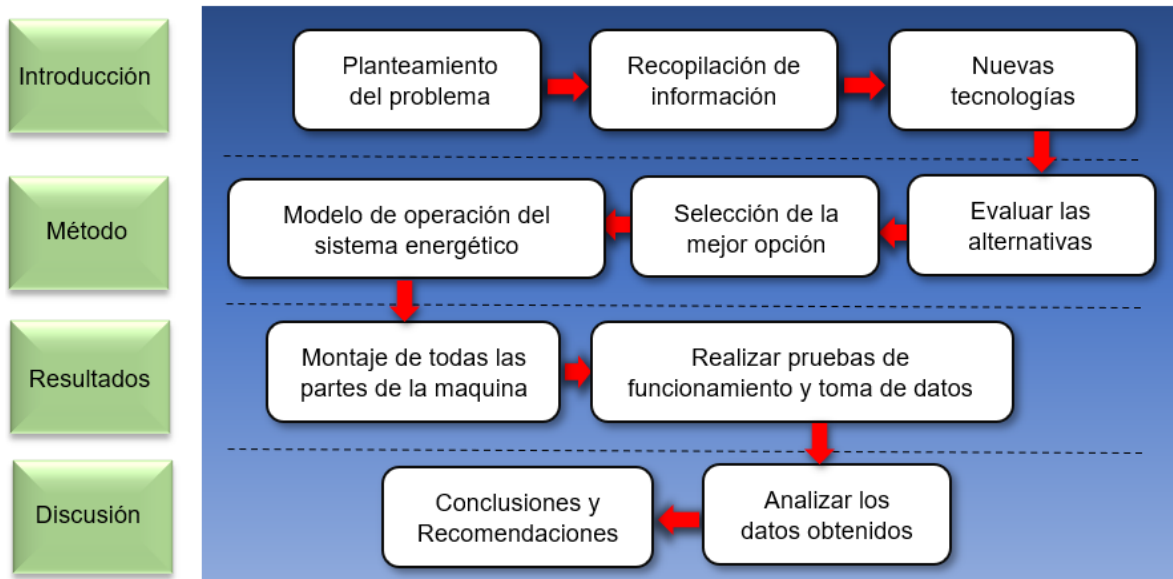


Ilustración 8. Metodología del proyecto

Fuente. Propia

2.2 Evaluación de alternativas

Se presenta una variedad de opciones como posible solución a nuestro problema, de la gama de posibilidades se escoge una que este mas apegada a los requerimientos del proyecto en base a criterios establecidos que deben ser cumplidos o mayormente satisfechos, de igual manera existe una jerarquía que establece cuales características son prioritarias y las que mayor peso o relevancia tienen dentro del desarrollo del trabajo.

Con toda la información obtenida sobre deshidratadores solares se realiza una comparación de las características de cada método de secado, también se toma en cuenta el costo, disponibilidad, impacto ambiental, etc. esto con la finalidad de dar a conocer el porqué de la preferencia de una opción sobre otra.

A continuación, se presenta una grafico donde se lista los valores de cada parámetro.

Alternativas	Opción 1	Opción 2	Opción 3
	Colector Solar o Panel Térmico	Panel fotovoltaico	Panel Solar Híbrido
Abreviatura	T	PV	PVT
Función	Transforma la radiación solar en calor	Convierte la energía solar en energía eléctrica	convierte la energía solar en calor y electricidad
Componentes	Placas o tubos formadas de metal y plástico	Células fotovoltaicas de silicio	Módulo fotovoltaico que lleva incorporado un absorbedor de calor
Espacio en Instalación	Equipos más compactos y no requieren mucho espacio	Requiere por lo menos 4 veces el espacio de un colector solar	Necesita menos espacio que un panel PV, colecta energía con un solo panel
Costo de Compra	Variable	Alto	Bajo
Ahorro de Energía	65%	50 - 60%	>60%
Eficiencia Energética	80 - 90%	<20%	60%
Vida Útil	10 años	20 años	30 años
Mantenimiento	Simple	Complejo	Simple
Impacto Ambiental	100% amigable con el ambiente	No genera material contaminante	Poco Impacto

Ilustración 9. Características de las alternativas para generación de energía

Fuente. (Chiriboga, 2022)

Con lo indicado en el gráfico 9 se llega a la conclusión de que la mejor alternativa para el diseño de un deshidratador solar asistido por bomba de calor, es la bomba de calor híbrida ya que esta proporciona energía térmica y energía eléctrica utilizando solo un panel solar, lo cual es idóneo por lo compacto que llega a ser y además por las diferentes prestaciones que presenta un panel solar híbrido tanto en el costo de su adquisición, ahorro de energía, vida útil y sobre todo porque es amigable con el medio ambiente. Gracias a esto el sistema será eficiente, con elevada vida útil y aprovechará la energía renovable disponible en el noroccidente del distrito metropolitano de Quito.

2.3 Descripción del Proceso

Un deshidratador solar es una máquina que utiliza la radiación solar para calentar aire el cual será puesto en contacto con frutas, verduras, semillas, hierbas para que este aire caliente retire el agua que se encuentra como humedad contenida en los productos alimenticios. (Anonimo, ECOTEC, 2019)

El proceso de secado inicia con el panel PVT el cual actuara como evaporador de la bomba de calor el cual entregara calor al fluido de trabajo refrigerante (R32), este fluido de trabajo en fase vapor se dirige a un compresor el cual es alimentado por el mismo panel PVT pero con energía eléctrica, una vez en el compresor, el fluido es comprimido aumentando su presión y por ende su temperatura para después ser dirigido hacia el condensador, en el condensador el fluido pierde energía cambia a fase líquida, se realiza una transferencia de calor del fluido hacia el aire que entrara en contacto con los productos en la cámara de deshidratación, una vez enfriado y en estado líquido el fluido de trabajo pasa por una válvula de expansión donde su presión es disminuida para luego ser trasladado hacia el evaporador donde el ciclo se repite.

2.4 Análisis Termodinámico del Sistema

2.4.1 Transferencia de calor

La transferencia de calor por convección se da cuando un fluido entra en contacto con una superficie con diferente temperatura, aquí el coeficiente de transferencia de calor por convección del fluido dicta que tan rápido se da esa transferencia de calor. (Bergman, 2011)

2.4.2 Primera Ley de la Termodinámica

La primera ley de la termodinámica o también llamada el principio de la conservación de la energía establece que, durante un proceso, la energía no puede ser creada ni destruida, solo se transforma. (Cengel & Boles, 2015)

2.4.3 Cámara de deshidratación

En nuestro proceso, la cámara de secado es el lugar donde la humedad será extraída de los productos agrícolas, debido a esto, para el análisis termodinámico, se lo establece como un sistema abierto y se comprende un volumen de control, ya que al ser un sistema abierto significa que abra entrada y salida de masa, en este caso masa de agua.

2.4.4 Balance de masa

En procesos donde existe un cambio en el volumen de control se conoce como flujo no estacionario o flujo transitorio. (Cengel & Boles, 2015)

$$m_{entrada} - m_{salida} = \Delta m_{sistema}$$

Ecuación 2.1. Balance de masa del deshidratador

Para elaborar el sistema se utiliza las siguientes ecuaciones

$$H_i = \frac{\dot{m}_{agua(entra)}}{\dot{m}_{producto(humedo)}} * 100$$

Ecuación 2.2. Porcentaje de humedad inicial

$$H_f = \frac{\dot{m}_{agua(sale)}}{\dot{m}_{producto(seco)}} * 100$$

Ecuación 2.3. Porcentaje de humedad final

$$\dot{m}_{agua(evaporada)} = \dot{m}_{agua(entra)} - \dot{m}_{agua(sale)}$$

Ecuación 2.4. Masa de agua que debe ser evaporada

Mediante el uso de las ecuaciones 2.2, 2.3, 2.4 se obtiene el modelo matemático que describe el comportamiento del sistema en función de la variación de la humedad.

$$\frac{d(\Delta H)}{dt} = \frac{\dot{m}_{agua(evaporada)} * (100 - H_f)}{(\dot{m}_{agua(evaporada)} + \dot{m}_{producto(seco)})^2} * \dot{m}_{producto(humedo)}$$

Ecuación 2.5. Balance de masa en el deshidratador

2.4.5 Balance de energía

Del principio de la conservación de la energía se tiene que el cambio neto (aumento o disminución) de la energía durante el proceso es igual a la diferencia entre la energía total que entra y la energía total que sale del sistema. (Cengel & Boles, 2015)

$$E_{entrada} - E_{salida} = \Delta E_{sistema}$$

Ecuación 2.6. Conservación de la Energía

Para modelar este sistema se utiliza las siguientes ecuaciones.

$$\Delta E_{sistema} = m * Cp * \Delta T$$

Ecuación 2.7. Variación de la energía

$$Perdidas = U * A$$

Ecuación 2.8. Perdidas de calor en el deshidratador

Utilizando las ecuaciones antes mencionadas se realiza el modelo matemático del sistema en base a la variación de la energía.

$$\frac{d(\Delta T)}{dt} = \left(\frac{1}{m_{producto} * Cp_{producto}} * \dot{Q}_{condensacion} \right) - \left(\frac{\dot{m}_{aire} * Cp_{aire}}{m_{producto} * Cp_{producto}} \right) - \left(\frac{1}{m_{producto} * Cp_{producto}} * U * A * \Delta T \right)$$

Ecuación 2.9. Comportamiento de un deshidratador de productos agrícolas

2.4.6 Eficiencia energética

Es la relación que presenta el calor transferido del aire al producto y la energía que se emplea para calentar y transportar el aire al interior de la cámara de secado. (Galán, 2011)

$$n_{energetico} = \frac{\dot{Q}_{condensador} - (Pérdidas * \Delta T)}{\dot{Q}_{condensador}} * 100\%$$

Ecuación 2.10. Eficiencia energética del deshidratador

2.4.7 Ciclo termodinámico de una bomba de calor

A continuación, se presenta el ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor, este ciclo es el mismo en el que opera una bomba de calor y este compuesto de 4 procesos. (Cengel & Boles, 2015)

- 1-2 Compresión isentrópica que se da en el compresor.
- 2-3 Rechazo de calor a presión constante en el condensador.
- 3-4 Estrangulamiento debido al dispositivo de expansión.
- 4-1 Absorción de calor a presión constante en el evaporador.

Se toma en consideración que este es un acercamiento ideal al ciclo real, ya que en el proceso existen irreversibilidades por transferencia de calor con los alrededores en el ciclo, fricción y pérdidas de presión en las tuberías que transportan el refrigerante y sobre todo por que no se puede controlar con exactitud el estado del refrigerante durante todo el ciclo.

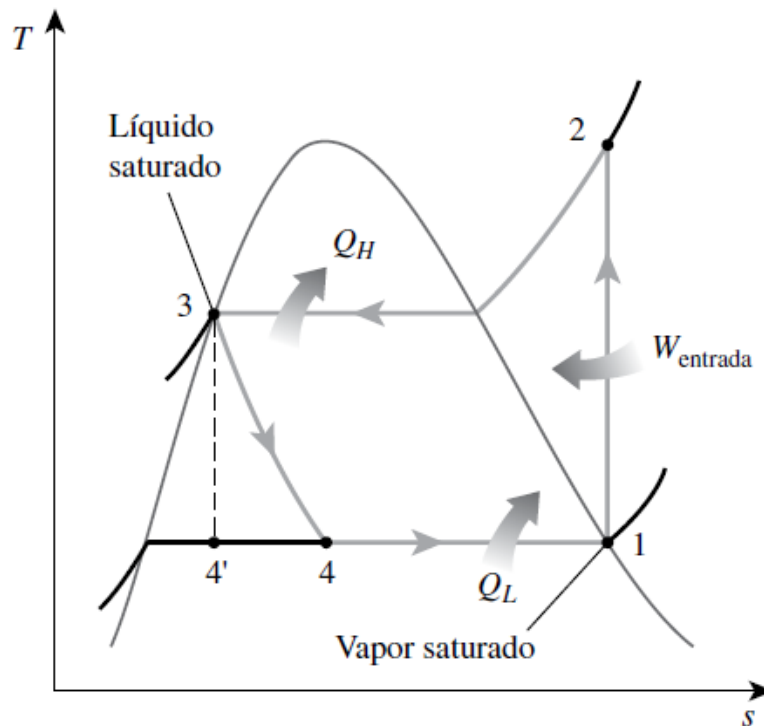


Ilustración 10, Ciclo termodinámico de una bomba de calor

Fuente. (Cengel & Boles, 2015)

2.4.7.1 Balance de energía de una bomba de calor

En el balance de energía para la bomba de calor se presenta la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{condensador} = \dot{Q}_{evaporador} + \dot{W}_{compresor}$$

Ecuación 2.11. Balance de energía de una bomba de calor

2.4.7.2 Eficiencia energética de una bomba de calor

La medida del desempeño de una bomba de calor se puede expresar en términos del coeficiente de desempeño COP(HP). (Cengel & Boles, 2015)

$$COP_{HB} = \frac{\text{Calor absorbido}}{\text{Trabajo neto necesario}} = \frac{\dot{Q}_{\text{condensador}}}{\dot{W}_{\text{compresor}}} = \frac{\dot{Q}_{\text{condensador}}}{\dot{Q}_{\text{condensador}} - \dot{Q}_{\text{evaporador}}}$$

Ecuación 2.12. Coeficiente de desempeño de una bomba de calor

2.4.8 Panel Solar Híbrido PVT

La tecnología de los paneles solares híbridos tiene muchas ventajas en comparación de su trabajo por separado ya que aprovechan de mejor manera el espacio requerido para su instalación y sobre todo la energía solar absorbida, un panel solar híbrido transforma la irradiación solar en un 19% de electricidad y un 70% en energía térmica, lo que es equivalente a la producción de 5 paneles fotovoltaicos estándar. (Pascual, 2019)

2.4.8.1 Balance de energía de un panel Solar Híbrido PVT

Se utiliza la composición y la forma de generación de energía por parte del panel solar Híbrido PVT para realizar el balance de energía.

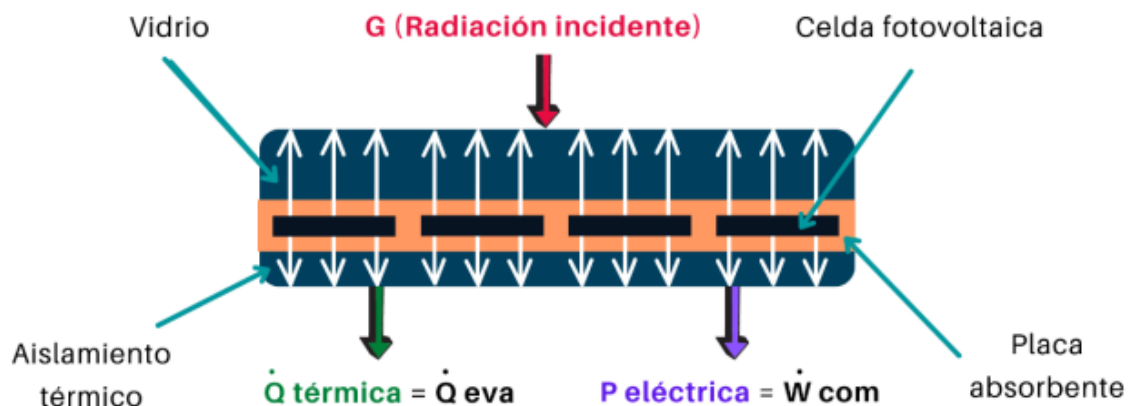


Ilustración 11, Panel Solar Híbrido

Fuente. (Chiriboga, 2022)

De la imagen se establece la siguiente ecuación

$$G_{\text{Radiación Solar}} = \dot{Q}_{\text{térmica}} + P_{\text{Eléctrica}}$$

Ecuación 2.13. Balance de energía de un panel solar PVT

Relacionando el panel híbrido PVT con la bomba de calor se obtiene

$$\dot{Q}_{\text{térmica}} = \dot{Q}_{\text{evaporador}} = 0.7 * G_{\text{Radiación Solar}}$$

Ecuación 2.14. Energía térmica que se obtiene de la radiación incidente

$$P_{Electrica} = \dot{W}_{compresor} = 0.19 * G_{Radiacion Solar}$$

Ecuación 2.15. Energía eléctrica que se obtiene de la radiación incidente

2.4.9 Segunda Ley de la Termodinámica

La segunda ley de la termodinámica afirma que la energía tiene calidad y cantidad, y que los procesos reales ven en dirección en la cual la calidad de la energía disminuye. (Cengel & Boles, 2015)

2.4.10 Análisis Exergético

La exergía también es llamada disponibilidad o energía disponible, esto quiere decir que es el trabajo máximo útil que puede ser extraído de un sistema, ya que el trabajo realizado depende del estado inicial, trayectoria del proceso y el estado final de dicho proceso. (Cengel & Boles, 2015)

Además, se debe notar que existe energía no disponible o exergía destruida, esto sucede por las irreversibilidades presentes en los procesos reales, esta energía no disponible, es energía desperdiciada que se esparce a los alrededores y no puede ser convertido en trabajo útil.

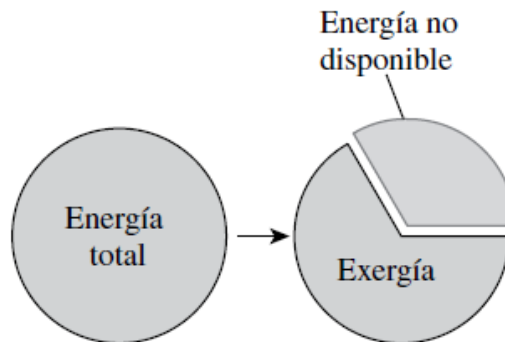


Ilustración 12, destrucción de exergía

Fuente. (Cengel & Boles, 2015)

2.4.10.1 Balance de exergía

Para realizar el balance de exergía se plantean las siguientes ecuaciones

$$X_{entrada} = \dot{m}_{aire} * C_{p_{aire}} \left[(T_{entrada} - T_{referencia}) - T_{referencia} * \ln \left(\frac{T_{entrada}}{T_{referencia}} \right) \right]$$

Ecuación 2.16. Exergía Suministrada

$$X_{salida} = \dot{m}_{aire} * C_{p_{aire}} \left[(T_{salida} - T_{referencia}) - T_{referencia} * \ln \left(\frac{T_{salida}}{T_{referencia}} \right) \right]$$

Ecuación 2.17. Exergía de Salida

$$X_{perdida} = C_{p_{aire}} \left[(T_{entrada} - T_{salida}) - T_{referencia} * \ln \left(\frac{T_{entrada}}{T_{salida}} \right) \right]$$

Ecuación 2.18. Exergía destruida

2.4.10.2 eficiencia exergética

Se establece a partir de la segunda ley de la termodinámica, puede variar por los dispositivos destinados a consumir o producir trabajo, es una aproximación a las operaciones reversibles. (Cengel & Boles, 2015)

$$n_{exergético} = \frac{\text{Exergía recuperada}}{\text{Exergía suministrada}} = 1 - \frac{\text{Exergía destruida}}{\text{Exergía suministrada}}$$

Ecuación 2.19. Eficiencia exergética

2.4.11 Flujos Exergético

Para el cálculo de los flujos de exergía se utiliza las siguientes ecuaciones

$$X\dot{Q}_{evaporador} = \dot{Q}_{evaporador} * \left(1 - \frac{T_b}{T_{panel}} \right)$$

Ecuación 2.20. Flujo de exergía en el evaporador

$$X\dot{W}_{compresor} = \dot{W}_{compresor}$$

Ecuación 2.21. Flujo de exergía en el compresor

$$X\dot{Q}_{condensador} = \dot{Q}_{condensador} * \left(1 - \frac{T_{amb}}{T_{secado}} \right)$$

Ecuación 2.22. Flujo de exergía en el condensador

2.4.12 Flujo de aire

Para el flujo de aire se refiere a la cantidad de volumen por unidad de tiempo que presenta un fluido al atravesar un área transversal, en este caso flujo de aire por unidad de tiempo.

Para el calculo del flujo de aire se utiliza la siguiente ecuación

$$\dot{V} = v_{aire} * A_{seccion\ transversal}$$

Ecuación 2.23. Flujo de aire hacia el deshidratador

En un deshidratador solar para la velocidad del aire (v_{aire}) se recomienda usar entre 2 ± 0.2 m/s. (García, 2012)

2.5 Simulación

A continuación, se establecen todas las variables involucradas en la simulación en MATLAB para la solución del modelo planteado para el deshidratador solar de productos agrícolas.

Tabla 1. Variables del modelo matemático

Parámetro	Siglas	Detalle	Valor	Unidad
Noroccidente del Distrito Metropolitano de Quito	$T_{ambiente}$	Temperatura ambiente	15	[°C]
Condensador	T_{sec}	Temperatura de secado	45	[°C]
Evaporador	T_b	Temperatura baja en el evaporador	5	[°C]
Compresor	$W_{compresor}$	Potencia del compresor	1000	[W]
Deshidratador	ΔT	Delta de temperatura en el deshidratador	30	[°C]
	$Ancho$	Ancho del deshidratador	0.5	[m]
	$Largo$	Largo del deshidratador	1	[m]
	$Alto$	Alto del deshidratador	1	[m]
	\dot{m}_{aire}	Flujo de masa de aire	0.01	$\left[\frac{kg}{s}\right]$

	$C_{p_{aire}}$	Calor específico del aire	1005	$\left[\frac{J}{kg * ^\circ C} \right]$
Colector	T_{colter}	Temperatura agua/aire colector solar térmico	25	$[^\circ C]$
Producto agrícola	T_{maxima}	Temperatura máxima permitida	50	$[^\circ C]$
	$C_{p_{producto}}$	Calor específico del producto	3800	$\left[\frac{J}{kg * ^\circ C} \right]$
	U	Coefficiente global de transferencia de calor	26.48	$\left[\frac{J}{kg * ^\circ C} \right]$
Bomba de Calor	COP	Coefficiente de desempeño de la bomba de calor	4.3	-----

Fuente. (Cengel & Boles, 2015).

Para nuestro deshidratador de calor con bomba de calor híbrida establecemos una temperatura de secado de 45°C, además requeriremos de una bomba de calor de 1000W, el fluido de trabajo de la bomba de calor es el refrigerante R32.

Con los valores presentados verificaremos que nuestro sistema opere eficientemente y modificaremos ciertas variables para conocer el comportamiento del deshidratador y como se ven afectadas el resto de variables a controlar.

Operación

En este apartado se utiliza el modelo matemático para crear un código en Matlab el cual nos dará los resultados de nuestro sistema, para eso se utilizan las variables colocadas anteriormente en la tabla 1.

Respuesta

Se obtiene las respuestas del comportamiento del modelo matemático planteado, se analiza los datos a partir de graficas y se exponen los resultados y explicaciones.

3. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Ahora que se tiene el modelo matemático desarrollado junto con su procesamiento a partir del programa Matlab se procede en el análisis de los resultados obtenidos para establecer las conclusiones y recomendaciones del caso.

3.1 Resultados

Como el presente proyecto tiene un enfoque mecatrónico, se recurre en relacionar la temperatura del proceso del sistema con el tiempo, esto se realiza al aplicar una entrada de control establecida, ya sea en escalón o impulso, de esta manera se utiliza el lazo abierto para la simulación dinámica de un sistema.

Para la simulación del modelo matemático del deshidratador solar asistido por bomba de calor híbrida se considera todas las variables, propiedades, parámetros y coeficientes relacionados con el sistema.

El principal propósito de nuestro proyecto es el secado de productos agrícolas en el noroccidente del distrito metropolitano de Quito, la variedad de productos que aquí se dan es muy variado ya que abarca el café, maíz, papa, lenteja, trigo etc. Debido a esto los valores establecidos en el modelo matemático son promedios de los valores que representa cada uno por tanto no son exacto, aun así, se debe establecer una temperatura de secado.

El secado de los productos agrícolas prioriza la rapidez con la que el producto se deshidrata, sabiendo que a mayor temperatura, el producto se deshidratara con mayor velocidad se podría pensar que debemos elevar la temperatura lo mas posible, pero esto no es posible, ya que el producto puede ser afectado negativamente, con esto en mente se busca una temperatura optima que nos garantice un tiempo de secado menor, manteniendo el producto deshidratado con buena calidad, la temperatura de trabajo de los deshidratadores varia entre 40 a 60 °C, en nuestro caso se define una temperatura de secado de 45 °C.

En el proceso de secado se debe mantener la temperatura de secado en el valor establecido, una forma muy común de realizar eso es mediante la utilización de un termostato, el cual es calibrado para que, al llegar a la temperatura de secado, el compresor se apague, pasado un tiempo la temperatura descenderá hasta un valor igualmente

establecido y el compresor entonces se encenderá, al estar constantemente encendiendo y apagando el motor del compresor, se consumirá mucha energía.

Debido a esto para obtener una variación menor en la temperatura de operación y el trabajo del compresor, se utiliza el control PID (Proporcional, Integral, Derivativo) el cual nos presenta un control mas preciso, para nuestro proyecto se utiliza un control PI el cual modulara el funcionamiento continuo del compresor pero con un rango de velocidad que permita variaciones de temperatura mas pequeñas y mantener la temperatura de operación del deshidratador constante.

3.1.1 Calentamiento del deshidratador

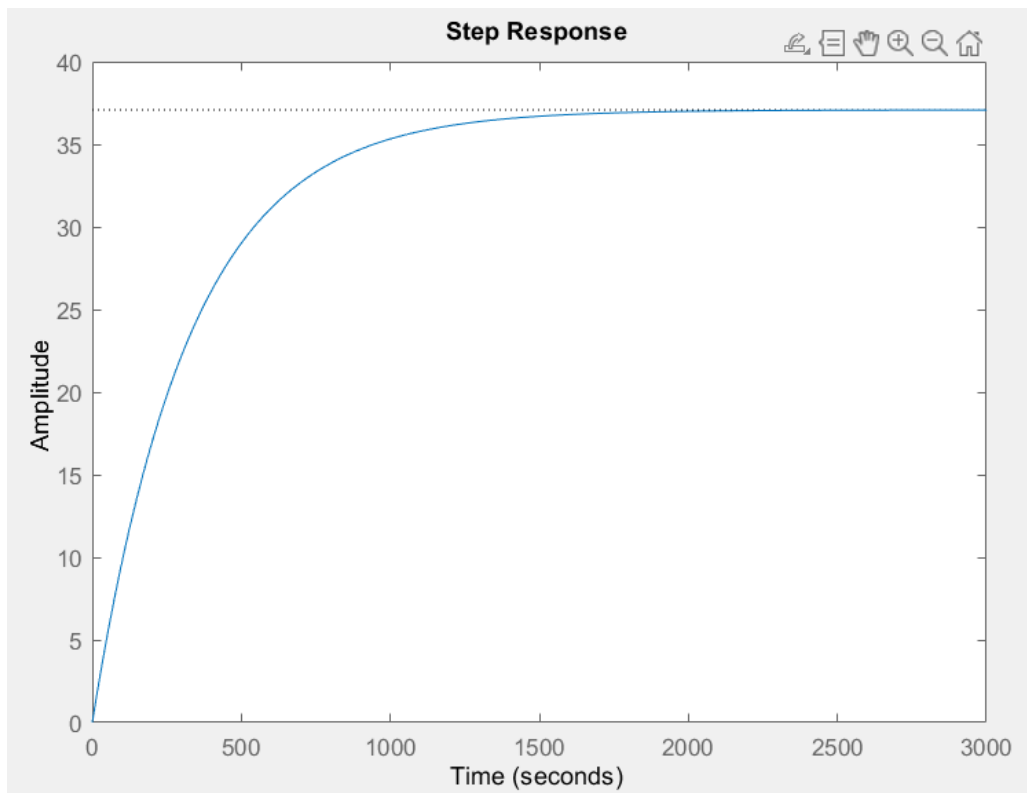


Ilustración 13. Comportamiento termodinámico del deshidratador

Fuente. Propia

Como se puede observar el tiempo que le toma al deshidratador llegar a la temperatura optima de secado es de unos 525 a 650 segundos, o 8.33 a 10.83.

Se puede notar que el tiempo que se demora en subir de 28 a 30 °C es de mas o menos 125 segundo o 2.08 minutos, lo que indica que si tuviéramos un sistema que funcionara con un termostato el compresor debería prenderse unas 15 veces por hora.

Tabla 2. Resultados del deshidratador solar

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Potencia calórica condensador	$\dot{Q}_{condensador}$	4960	[W]
Potencia calórica evaporador	$\dot{Q}_{evaporador}$	3960	[W]
Tiempo calentamiento inicial	$t_{calentamiento}$	650	[s]
Calor del condensador	$Q_{condensador}$	99200	[J]
Calor para el evaporador	$Q_{evaporador}$	79200	[J]
Flujo exergetico condensador	$\dot{X}_{condensador}$	2866.7	[W]
Flujo exergetico evaporador	$\dot{X}_{evaporador}$	3168	[W]
Flujo exergetico compresor	$\dot{X}_{compresor}$	1000	[W]
Coficiente de desempeño	COP	4.96	-----
Incremento de COP	-----	15.34	[%]

Fuente. Propia

Como se mencionó al inicio, se necesita un control más preciso de la temperatura en la que debe operar el deshidratador, para esto se utiliza in control inteligente PI (proporcional e integral) el cual se encargara de mantener el motor del compresor operando a diferentes velocidades y torque para que la variación de la temperatura sea lo más pequeña posible.

Este control se muestra en el siguiente gráfico.

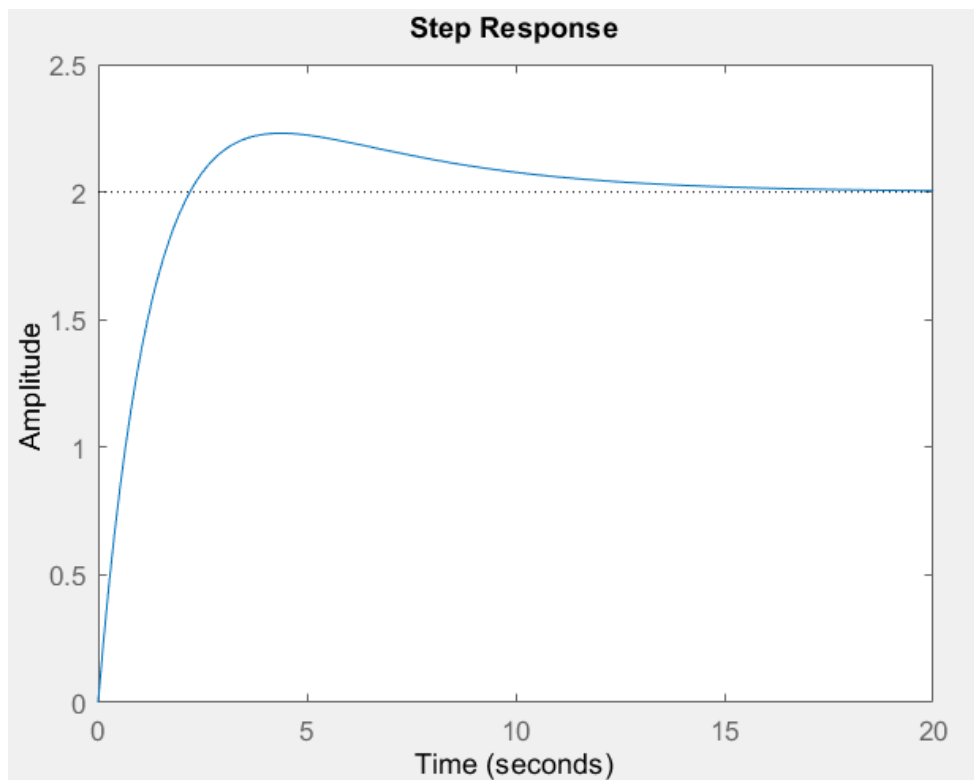


Ilustración 14. Control PI para la temperatura de secado

Fuente. Propia

El control PID arrojan los siguientes valores, $K_p = 3.73e+4$ y $K_i = 7.43e+3$, esto con un tiempo de 20s que se demora en compensar la diferencia de temperatura.

3.1.2 Selección de los componentes energéticos.

Para construir el sistema de secado del deshidratador se selecciona los componentes energéticos que mas se ajustan a nuestro modelo matemático y a los resultados obtenidos.

Compresor

Para el compresor se estableció una potencia nominal de 1000 W, en la bomba de calor seleccionada se necesita una potencia nominal alrededor de 1200W ya que para el ciclo de calor opera con un voltaje de 220-240 V con una corriente de 5.64 A.

Condensador

En el condensador se necesita una potencia de 4960 W de calor, en el calor entregado por parte del equipo tiene una potencia nominal de 4970 W y puede llegar a un máximo de 5850W lo que cubre sin problema la carga térmica.

Evaporador

Para el evaporador debe entregarse una energía de 3960 W, lo cual se dividirá entre la obtenida propiamente por el equipo a partir de la temperatura ambiente exterior y la entregada al evaporador por parte del panel PVT, concretamente la energía térmica.

COP

En el modelo matemático se inicio con un valor para el COP de la bomba de 4.3, nuestro equipo cuenta con un COP de 3.83, esto debido a que la potencia consumida por el compresor es un poco mayor a la establecida en nuestra simulación.

Los componentes antes descritos son parte de una bomba de calor comercial de la marca Ferroli llamada Bomba de calor Split INVENTER DC (1x1) con refrigerante ecológico R32, específicamente la seria 18. Ver Anexo III.

Panel Solar PVT

Para el panel solar PVT se opto por un panel de la Marca DUALSUN llamado Spring 315 black el cual cuenta con una potencia nominal eléctrica de 315 W y una potencia térmica de 629 W/m³. Ver Anexo II.

3.1.3 Variación de los Parámetros

Variación de la masa

Como nuestro deshidratador tiene una capacidad máxima de 45kg variamos la carga de producto que se puede colocar dentro, de esta manera el tiempo de calentamiento también cambiara.

Tabla 3, Kg de producto vs Tiempo de calentamiento

Masa de producto [kg]	Tiempo de calentamiento [minutos]
10	9.16
20	18.16
30	27.16
40	35.83

Fuente. Propia

Como se puede apreciar en la Tabla 3, mientras mas masa de los productos agrícolas coloquemos para secar, mayor será el tiempo que le tomará al deshidratador en calentarse, esto era de esperarse ya que, al tener mas producto para secar, el calor necesario y la humedad que necesite ser removida aumentará.

Si tomamos en cuenta la transferencia de calor, en el deshidratador la principal forma de transferencia de calor es la transferencia de calor por convección, el cual se realiza entre una superficie y un fluido, teniendo esto en mente, mientras mas productos estén apilados, ya sea granos, frutos o cualquier otro producto, los que estas encima podrán intercambiar calor directamente, mientras que los que se encuentra debajo, deberán esperar a que el calor también se transfiera por conducción entre los propios productos, ya que el aire caliente no tendrá contacto directo con toda la masa dentro del deshidratador.

Variación de la temperatura de secado

Ahora estableceremos diferentes valores de temperatura de secado en el cual se pretende observar cual será la variación en el tiempo que le toma al deshidratador calentarse, mantenemos el valor de 10 kg de masa de producto para el siguiente análisis.

Tabla 4. Variación de temperatura vs tiempo

Temperatura de secado [°C]	Tiempo de calentamiento [minutos]
40	9.016
45	9.016
50	9.06
55	9.06

Fuente. Propia

En la tabla 4 se muestra los valores obtenidos de tiempo a diferentes temperaturas de secado, si bien el tiempo aumenta proporcionalmente con la temperatura de secado, el tiempo no vario mucho, esto puede deberse a que la temperatura de secado aumenta, pero el delta T de temperatura que debe calentar el secador no cambia mucho.

Variación de las dimensiones del deshidratador

Otro parámetro importante a la hora de diseñar un deshidratador de calor es la cámara de secado, pues de esta depende el área total por donde suceden las perdidas, mantenemos el valor de 10kg de producto y variamos una medida de longitud del deshidratador.

Tabla 5, Dimensión del deshidratador vs perdidas

Ancho [m]	Área Superficial [m2]	Perdidas [W]
0.5	4	105.92
0.75	5	132.40
1	6	158.88
1.25	7	185.36

Fuente. Propia

La tabla 5 nos muestra valores del ancho del deshidratador junto con el área superficial de cada caso y las perdidas correspondientes.

Los resultados de las perdidas que aumentan con el incremento de la superficie del deshidratador tienen sentido ya que las perdidas se calculan al multiplicar el coeficiente global de transferencia de calor por el área superficial.

Con lo dicho anteriormente, cuando el lugar a calentar es de gran tamaño, las pérdidas también lo son, ya que hay mayor área de contacto con la temperatura exterior o ambiente entonces el calor de nuestro proceso se escapa hacia el ambiente.

3.1.4 Discusión

El comportamiento termodinámico del sistema presenta variación en la temperatura de secado, como el proyecto tiene un enfoque mecatrónico, se busca una manera de disminuir esa variación en la temperatura y al mismo tiempo aumentar la eficiencia del proyecto.

Dicho eso entonces se procedió a crear una simulación de control de lazo abierto aplicando una entrada de control determinada, de este modo se obtuvieron las gráficas con los resultados propuestos.

Con los cálculos obtenidos de la simulación se determina que se debe entregar una potencia calórica cercana a los 4900 W al inicio del calentamiento, el cual tendrá un tiempo estimado de 650s o 10.93 minutos. Esto significa que sin importar el equipo que se use, el colector térmico solar deberá obtener al menos una potencia calórica de 4900 W o también se puede obtener esta energía del panel solar fotovoltaico con una potencia eléctrica superior a los 4900 W esto por el hecho de que existen pérdidas de energía eléctrica en las resistencias de los materiales conductores.

En la Bomba de calor asistida por el panel PVT se tiene que el coeficiente de desempeño COP es de 4.96, lo cual es una mejora importante al compararla con otras tecnologías como el panel solar térmico, mejorando respecto a este último con un 15.3% en la energía térmica entregada

Para una mejor operación del sistema se recalca que debe ser instalado y mantenido con personal técnico con experiencia y que garanticen un buen desempeño de operación de toda la instalación.

El presente proyecto resalta el uso de energía renovable como la energía solar que está presente y disponible en casi cualquier lugar, además de ser una fuente de energía abundante y el proceso para transformar esa energía es amigable con el medio ambiente.

Este tema ya ha sido abarcado por otros autores, los cuales también han sido citados en este proyecto, los resultados obtenidos son parecidos a los que los demás trabajos sugieren, este proyecto además de verificar la teoría respecto a la implementación de energía solar en sistemas térmicos, contribuye con la mejora de un control PI el cual mejora el ciclo y la operación de la bomba de calor, dando así un mejor manejo de la temperatura

y disminuyendo los tiempo de aclimatación del deshidratador para una operación constante y efectiva.

El uso de la energía solar no se queda simplemente en la operación de bombas de calor, esta tecnología funciona de igual manera para sistemas de aire acondicionado y ciclos de refrigeración que pueden ser mejorados tanto en su desempeño como en el costo de operación de cada proceso.

3.2 Conclusiones

Este proyecto se enfocó en el mejoramiento de la operación de las bombas de calor híbridas asistidas por paneles solares PVT mejorando la operación de cada componente energético que forma parte del ciclo de secado, se logró cumplir con el objetivo de mejorar la eficiencia energética mediante una implementación mecatrónica para deshidratadores de productos agrícolas del noroccidente del Distrito Metropolitano de Quito.

El modelado matemático y simulación en Matlab fueron herramientas clave en la obtención de resultados sobre la operación y desarrollo del ciclo de secado del deshidratador.

Se pudo aumentar la eficiencia energética de los componentes de la bomba de calor al utilizar un Panel solar PVT ya que los componentes energéticos obtienen la energía para operar de la energía solar, el compresor es alimentado por energía eléctrica del Panel solar PVT y a su vez el evaporador provee de la energía térmica necesaria para calentar el refrigerante.

Los resultados obtenidos apoyan la teoría de que al utilizar tecnología de paneles solares PVT se obtendrá una mejora significativa sobre otros tipos de generación de energía, incluso mejor que un panel solar térmico, no solo en la eficiencia, sino también en el costo de adquisición y el sitio de ocupación el cual es menor con un panel solar PVT, para aumentar la energía eléctrica requerida se necesita acoplar más de un panel solar PVT.

El enfoque mecatrónico resulto ser una excelente forma de mejorar el proceso de secado, al aplicar un control PI se pudo disminuir la variación de temperatura en el ciclo de trabajo del deshidratador, así como la reducción de energía hacia el compresor.

Aun con lo anterior se debe tener en cuenta acoplar una batería donde se almacene la energía eléctrica captada por el panel solar PVT para su uso posterior, de igual manera para una mejor operación y autonomía del deshidratador, se deberá incluir una conexión

directa a la corriente eléctrica, esto tomando en cuenta el lugar donde operara el deshidratador y que posiblemente este dispuesto a trabajar por largas jornadas de secado.

Por último, este trabajo de integración curricular pretende aumentar el interés sobre nuevas tecnologías en el campo de la generación de energía amigable que no genere contaminantes ambientales, para un mejor enfoque y la búsqueda de mejorar y encontrar soluciones a las problemáticas de nuestro país, teniendo en cuenta la importancia de la energía disponible y el correcto uso de la misma para no generar un impacto negativo en nuestro medio ambiente.

3.3 Recomendaciones

Una manera para disminuir la pérdida de calor por la superficie de la cámara de secado es aplicar un aislante a las paredes, esto para disminuir el coeficiente global de transferencia de calor y por ende aumentar la eficiencia y el secado del deshidratador

Realizar un modelo matemático de nuestro problema nos ayuda a relacionar las variables disponibles en nuestro trabajo y el impacto que tienen en el proceso que se lleva a cabo, esto también ayuda a predecir el comportamiento del proceso y las mejoras que se pueden realizar al mismo

Utilizar el control PID siempre que sea optimo, implicara un mejor manejo de los resultados y cálculos de interés, esto con el fin de optimizar el trabajo y la energía empleada en desarrollarlo.

Analizar los coeficientes de los procesos es una buena manera de medir el diseño de nuestro deshidratador, ya que la variación de estos es una medida directa de la eficiencia del proceso.

El material bibliográfico es de mucha ayuda para la recolección de información, este nos puede brindar un camino a seguir o no en el desarrollo de nuestro problema, nos brinda un punto de partida y también los resultados de las aplicaciones de las diversas ideas planteadas.

Realizar una comparación de la variación de valores de los parámetros nos ayuda a identificar problemas o mejoras que podemos aplicar, así como también establecer relaciones entre variables que pueden ser pasadas por alto o que no se les dio la importancia debida.

A partir de los resultados obtenidos en este Trabajo de Integración Curricular se impulsa a la generación de nuevas ideas que mejoren y optimicen aún más los procesos de secado

en deshidratadores solares, los cuales son de mucha ayuda en las comunidades rurales, además de impulsar la participación del gobierno con apoyo social y económico en proyectos para el desarrollo de la agricultura en el país.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bibliografía

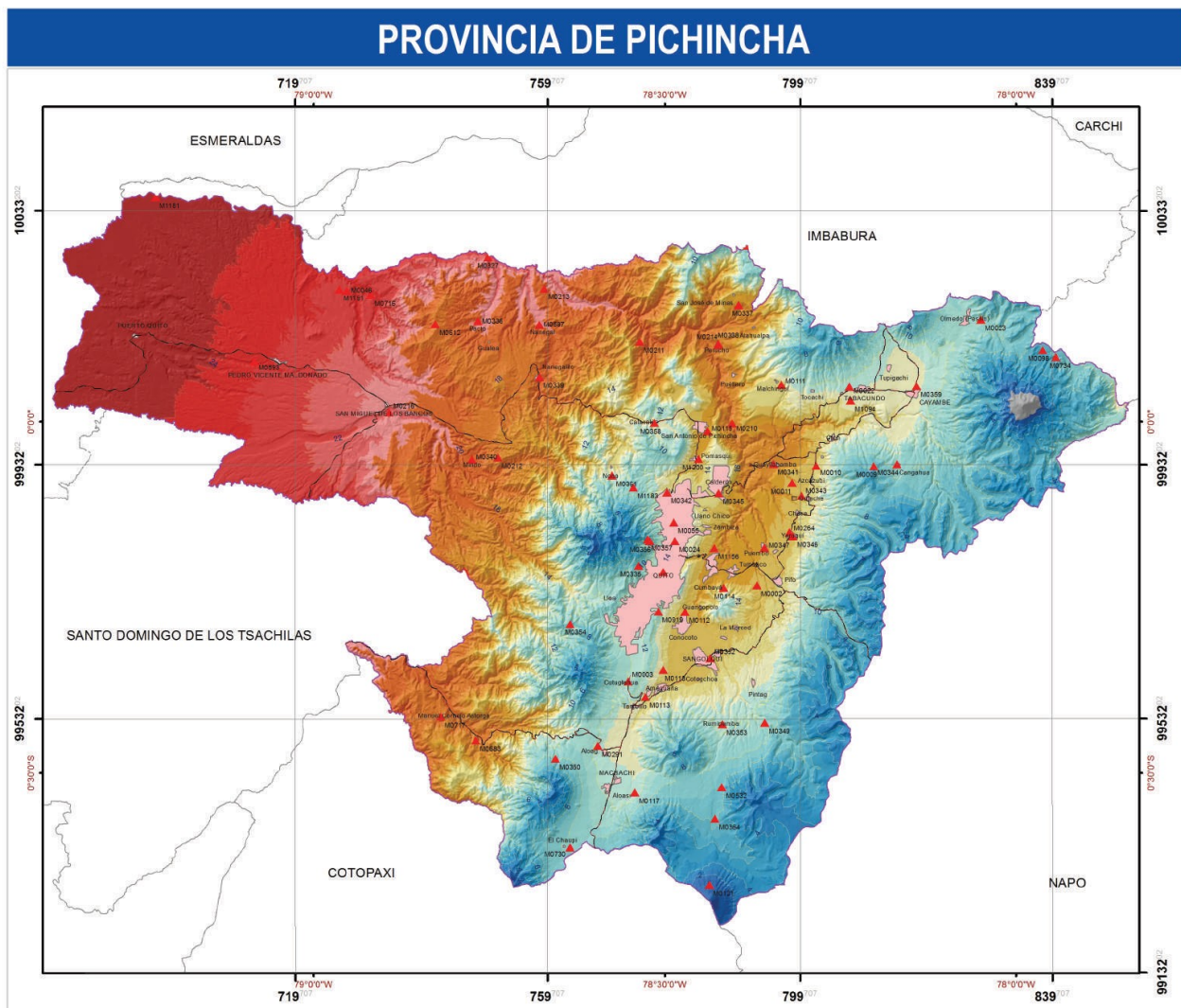
- Aguinaga, A. (2022). Evaluacion Energetica y Exergetica de Bombas de Calor Solares para Deshidratadores de Productos Agricolas. *Revista Politecnica*, 3-5.
- Anonimo. (2008). *studylib*. Obtenido de <https://studylib.es/doc/4756947/el-clima-en-el-distrito-metropolitano-de-quito>
- Anonimo. (2016). *Yo Reciclo*. Obtenido de <https://www.yo-reciclo.org/deshidratadores-solares-py1wv>
- Anonimo. (2019). *ECOTEC*. Obtenido de <https://ecotec.unam.mx/ecoteca/deshidratadores-solares-2#:~:text=Descripci%C3%B3n%3A,superior%20del%20%C3%A1rea%20de%20secado.>
- Anonimo. (2021). *AFEC*. Obtenido de [https://www.bombadecolor.org/noticias/principios-termodinamicos#:~:text=La%20bomba%20de%20calor%20es,baja%20a%20una%20m%C3%A1s%20alta.\]](https://www.bombadecolor.org/noticias/principios-termodinamicos#:~:text=La%20bomba%20de%20calor%20es,baja%20a%20una%20m%C3%A1s%20alta.)
- Anonimo. (10 de Noviembre de 2022). *agricultura.gob.ec*. Obtenido de <https://www.agricultura.gob.ec/productores-del-noroccidente-de-pichincha-se-capacitan-para-fortalecer-la-produccion-de-cafe/>
- Bergman, T. L. (2011). *Fundamentals of heat and mass transfer*. Jefferson City: Renata Marchione.
- Carvajal, L. (2006). *Metodología de la Investigación Científica. Curso general y aplicado* (28 ed.). Santiago de Cali: U.S.C.
- Cengel, Y. A., & Boles, M. (2015). *Termodinamica*. Mexico DF: Patricia Ledezma.
- Chiriboga, E. (2022). *bibdigital epn*. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/23154/1/CD%2012580.pdf>
- Galán, N. (13 de Abril de 2011). *Universidad Zaragoza*. Obtenido de <https://zaguan.unizar.es/record/5778/files/TAZ-PFC-2011-201.pdf>
- García, A. (2012). Análisis comparativo de la cinética de deshidratación Osmótica y por Flujo de Aire Caliente de la Piña (Ananas Comosus, variedad Cayena lisa). *SciELO*.
- Gestor. (Junio de 2021). *Greening-e*. Obtenido de <https://greening-e.com/paneles-solares-hibridos-caracteristicas-y-ventajas-de-su-uso/#:~:text=Los%20paneles%20solares%20h%C3%ADbridos%20son,calefacci%C3%B3n%20en%20un%20solo%20panel.>

- Guzmán, A. (15 de Febrero de 2017). *Universidad de Piura*. Obtenido de <https://www.udep.edu.pe/hoy/2017/02/ingeniero-estudia-el-uso-de-la-tecnologia-para-el-secado-de-productos-agricolas/#:~:text=Actualmente%2C%20el%20proceso%20de%20secado,de%20seis%20a%20siete%20d%C3%ADas.>)
- INAMHI, I. N. (2018). *Sistema de informacion territorial*. Obtenido de https://sitp.pichincha.gob.ec/repositorio/disenio_paginas/archivos/Atlas%20Climatico%20Pichincha.pdf
- Izco, X., Pazmiño, E., & Sono, A. (2017). *Instituto de la ciudad*. Obtenido de <https://institutodelaciudad.com.ec/wp-content/preview/boletines/Folleto7.pdf>
- Jácome, E. (Julio de 2022). *EL comercio*. Obtenido de <https://www.elcomercio.com/quito-3/la-agricultura-cada-vez-mas-agonizante-en-las-parroquias-rurales-de-quito.html>
- Pascual, J. (19 de Abril de 2019). *Computer hoy*. Obtenido de <https://computerhoy.com/noticias/tecnologia/abora-panel-solar-hibrido-mas-eficiente-1047357>
- Rodríguez, A. (Octubre de 2016). *Conquito.org*. Obtenido de https://www.conquito.org.ec/wp-content/uploads/2016/11/QUITO_SIEMBRA_AGRICULTURA_URBANA_CONQUITO.pdf
- Sawochka, P. (8 de Junio de 2021). *SULLAIR*. Obtenido de <https://america.sullair.com/es/blog/como-funciona-un-compresor-de-aire>
- Vaca-Revelo, D., & Ordoñez, F. (2019). Obtenido de ingenieria verde: https://www.ingenieriaverde.org/wp-content/uploads/2020/01/Mapa_Solar_del_Ecuador_2019.pdf

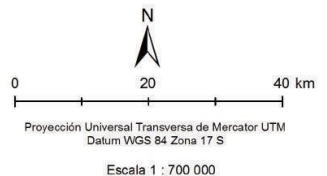
5. ANEXOS

En este apartado se presentan la información y cálculos que se realizaron pertinente para el desarrollo del proyecto.

ANEXO I. Condiciones Climáticas



- Simbología**
- ▲ Estaciones
 - Carreteras
 - Poblados
 - Limite provincial
 - División Política Administrativa



TEMPERATURA MEDIA ANUAL (SERIE 1981 - 2010)

CODIGO	NOMBRE	°C
M0002	LA TOLA	15.6
M0003	IZOBAMBA	11.9
M0009	LA VICTORIA INERHI	17.2
M0010	MONTESERRIN	15.0
M0011	URAPAMBA	15.3
M0022	TABACUNDO H. MOJANDA	12.9
M0023	OLMEDO-PICHINCHA	11.1
M0024	QUITO INAMHI-INAQUITO	14.9
M0046	PACHIJAL MASHPI	20.3
M0054	QUITO-OBSERVATORIO	14.1
M0055	QUITO AEROPUERTO- PARQUE BICENTENARIO	14.1
M0098	SAN MARCOS	8.1
M0111	MALCHINGUJI INAMHI	14.5
M0112	CONOCOTO	15.7
M0113	UYUMBICHO	14.0
M0114	TUMBACO	16.8
M0115	SAN ANTONIO DE PICHINCHA	16.0
M0117	MACHACHI	12.7
M0118	INAP-SUPLEMENTARIA PORCINOS	14.3
M0121	EL REFUGIO-COTOPAXI	1.0
M0210	VINDOBONA	17.9
M0211	LA VIÑA DE CHESPI	19.2
M0212	MINDO INECEL	19.4
M0213	LA PERLA	19.3
M0214	PERUCHO INECEL	18.5
M0216	SAN MIGUEL DE LOS BANCOS	20.3
M0260	PIFO	16.1
M0291	CEEA-AYCHAPICHO	11.6
M1094	TOMALON-TABACUNDO	14.9
M1156	NAYÓN GRANJA SANTA ANA - PUCE	16.7
M1174	LA PERLA	19.4
M1175	MINDO-HCPP	16.6
M1176	SAN MIGUEL DE LOS BANCOS-HCCP	19.9
M1178	RIO CAONI	24.7
M1180	PUERTO QUITO-UTE-HCPP	23.7
M1181	BUENOS AIRES-HCPP	24.6
M1200	POMASQUI	15.4
M5088	SAN MARCOS-PICHINCHA	23.6

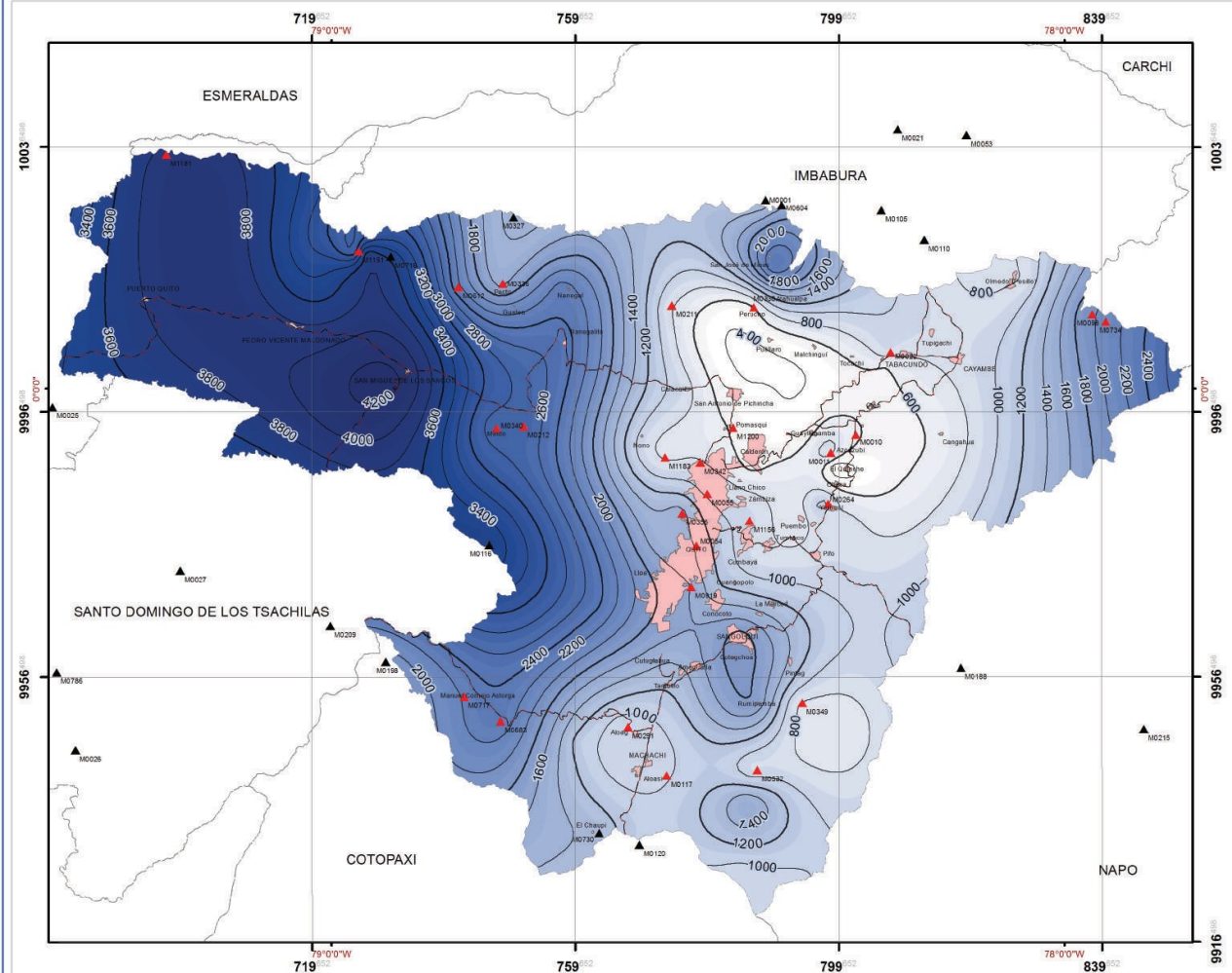



Dirección de Estudios e Investigación y Desarrollo Hidrometeorológico

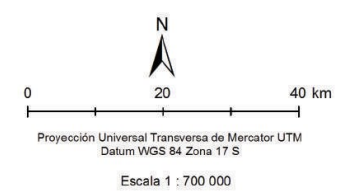
Mapa Isotermas

FUENTE: División política administrativa INEC Temperatura media interanual Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología - INAMHI Modelo digital de terreno, SRTM, resolución espacial 90 m	ESCALA de TRABAJO : 1: 50 000 FECHA: ENERO, 2018
---	---

PROVINCIA DE PICHINCHA



- Simbología**
- ▲ Estaciones complementarias
 - ▲ Estaciones referenciales
 - Carreteras
 - Poblados
 - División Política Administrativa



- Isoyetas medias anuales [mm]**
- 400 — 1400 — 2400 — 3400
 - 600 — 1600 — 2600 — 3600
 - 800 — 1800 — 2800 — 3800
 - 1000 — 2000 — 3000 — 4000
 - 1200 — 2200 — 3200 — 4200


MAPA DE UBICACIÓN PROVINCIA RESPECTO AL ECUADOR CONTINENTAL



PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (SERIE 1981 - 2010)

Código *	Estación	Precipitación mm	Código **	Estación	Precipitación mm
MO002	LA TOLA	864.9	MO046	PACHUAL MASHPI	3582.8
MO003	IZOBAMBA	1485.8	MO112	CONOCOTO	1246.3
MO337	SAN JOSE DE MINAS	2324.7	MO087	NANEGAL	2256.5
MO343	EL QUINCHE-PICHINCHA	326.4	MO393	PECRO VICENTE MALDONADO-INCEL	5124.6
MO245	CALDERON	554.3	MO212	MINDO INAMHI	2778.0
MO346	YARUQUI INAMHI	834.7	MO717	TANDAPI INCEL	2194.8
MO354	SAN JUAN-PICHINCHA(CHILLOG.)	2485.5	MO211	LA VINA DE CHESPI	852.3
MO357	CANAL 10 TV.	1414.4	MO612	GUAYCUCACU	2316.8
MO358	CALACALI INAMHI	891.6	MO022	TABACUNDO H.MOJANDA	880.3
MO361	NONO	954.2	MO055	QUITO AEROPUERTO- PARQUE BICENTENARIO	1013.0
MO364	LORETO PEDREGAL	1558.2	MO117	MACHACHI	966.2
MO024	QUITO INAMHI-IRAZQUITO	1096.3	MO338	PERUCHO INAMHI	547.1
MO353	RUMIPAMBA-PICHINCHA	1738.0	MO340	MINDO INAMHI	2711.9
MO113	UNUMBICO	1299.0	MO336	PACTO	1583.1
MO335	LA CHORRERA	1439.3	MO356	CANAL 4 TV.	1504.1
MO339	NANEGALITO	2499.9	MO010	MONTEERRIN	648.8
MO359	CAYAMBE	876.7	MO054	QUITO-OBSERVATORIO	1392.4
MO327	CHONTAL BAJIO(GUAYLL.DJ ALAMBI)	1358.8	MO342	COTOCOLAO	814.5
MO023	OLMEDO-PICHINCHA	832.3	MO730	LLULLUCHIS	1343.1
MO114	TUMBACCO	893.1	M1183	RUNDOPAMBA	778.9
MO344	CANGAHUA	646.1	MO583	CAITOA	2346.8
MO104	TOMALON-TABACUNDO	617.8	M1156	NAYON GRANJA SANTA ANA - PUCE	952.7
MO111	MALCHINGLI INAMHI	525.8	M1191	MONTE OLIVO - HCPP	2837.0
MO341	GUAYLLABAMBA	524.1	M1200	POMASQUI	592.4
MO115	SAN ANTONIO DE PICHINCHA	450.6	MO349	HDA.PINANTURA(LA COCHA)	834.8
MO118	INIAP-SUPLEMENTARIA PORCINOS	1568.6	M1181	BUENOS AIRES-HCPP	3844.9
MO347	PUEMBO	697.3	M1186	COOP. U. GANADEROS ORENSES	156.5
MO009	LA VICTORIA INERHI	563.2	MO264	YARUQUI INERHI	1082.5
MO214	PERUCHO INCEL	563.5	MO532	RIO PITA-HDA PEDREGAL	895.8
MO352	SANGOLQUI	1859.6	MO716	TELEMBI-ONZOLE	3592.3
MO210	VINDOBONA	425.2	MO919	MIRAVALLE	1599.3
MO216	SAN MIGUEL DE LOS BANCOS	4171.2	MO011	LRAPAMBA	877.6
MO350	HDA LA GRANJA-ALDAG	1125.9	MO098	SAN MARCOS	1951.2
MO121	EL REFUGIO-COTOPAXI	912.3	MO291	CEEA-AYCHAPICHO	902.5
MO213	LA PERLA	1734.3	MO734	RIO ARTURO	2031.0

* Estaciones referenciales con series climatológicas mayores a 10 años ** Estaciones complementarias con información de apoyo



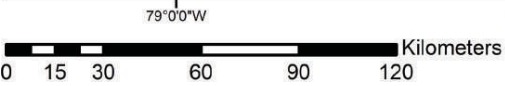
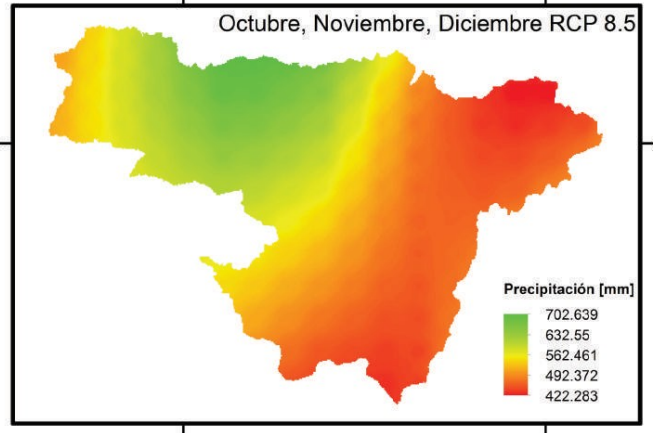
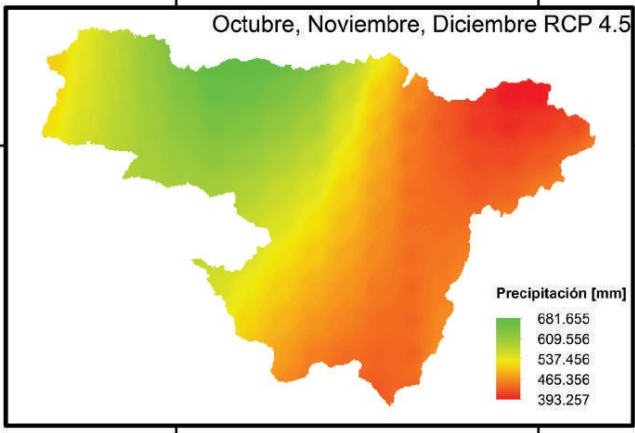
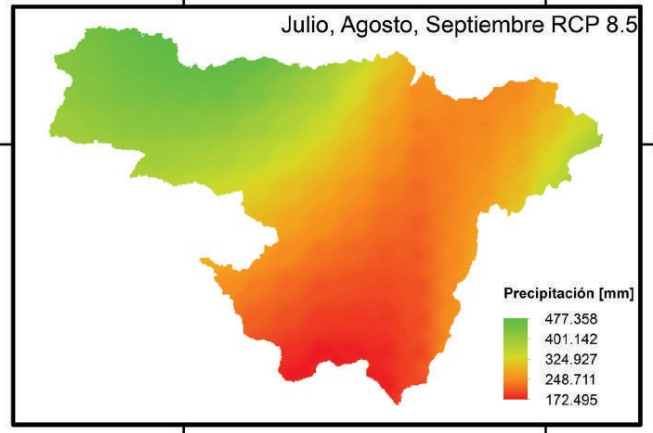
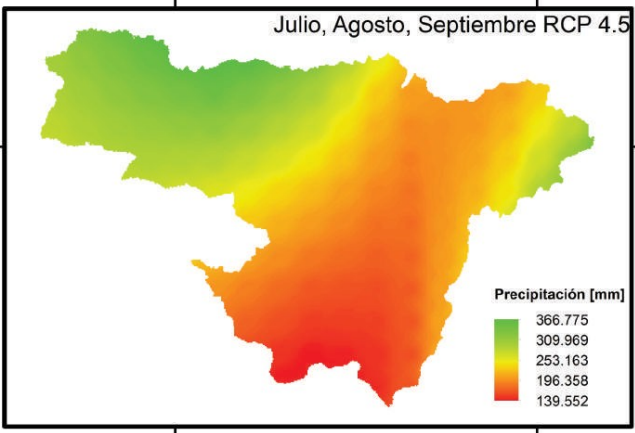
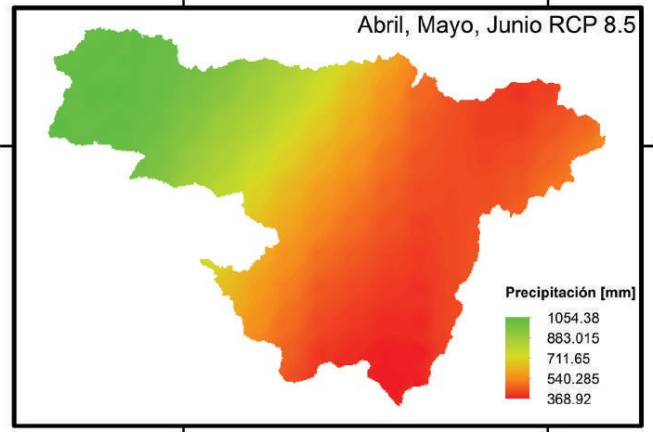
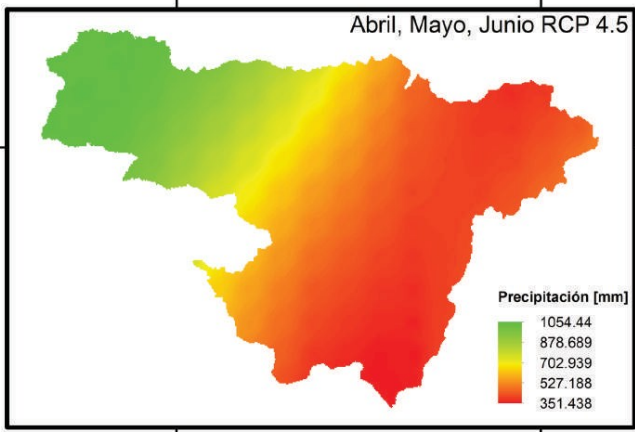
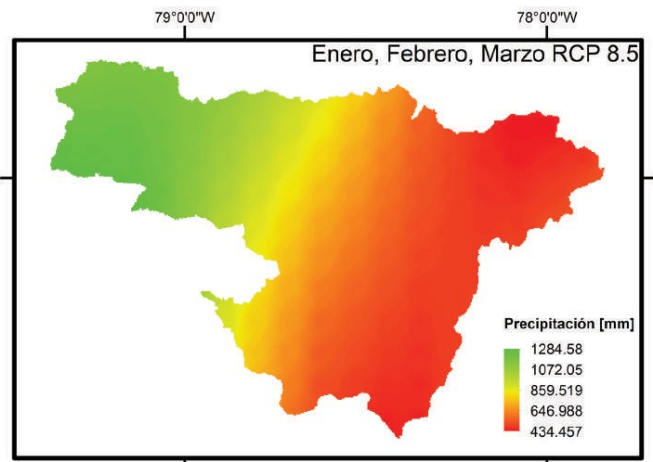
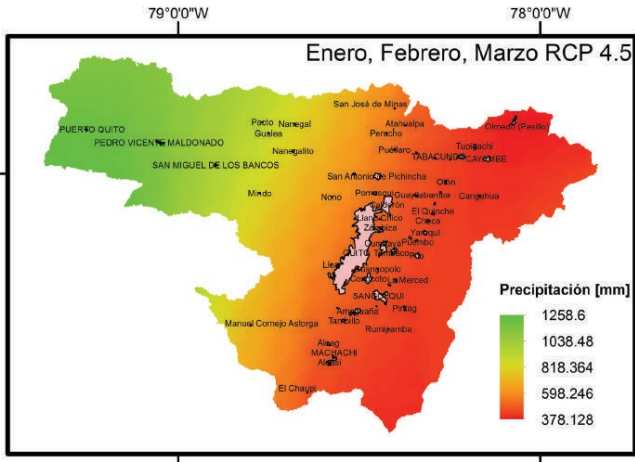

Dirección de Estudios Investigación y Desarrollo Hidrometeorológico

Mapa Isoyetas

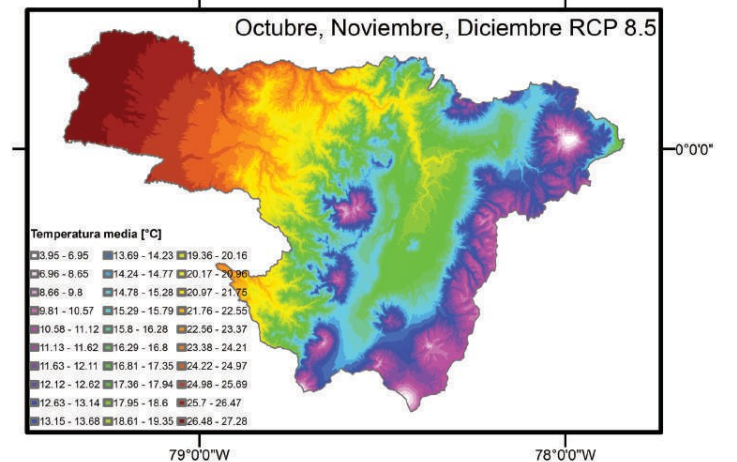
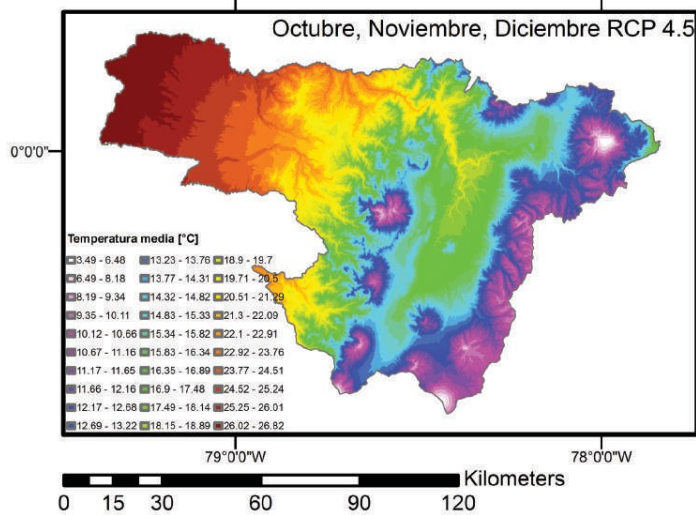
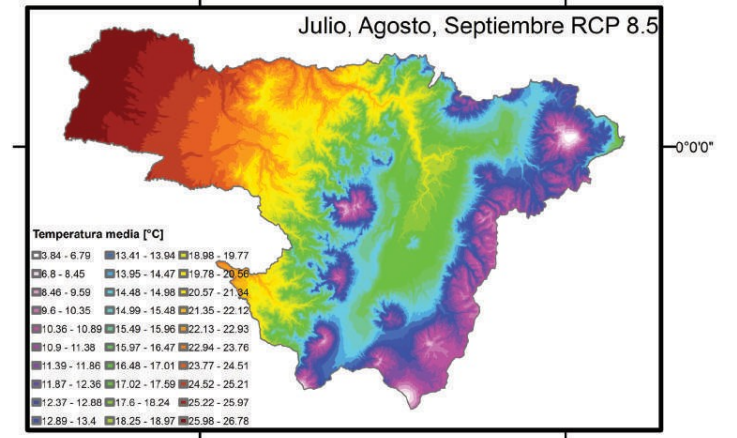
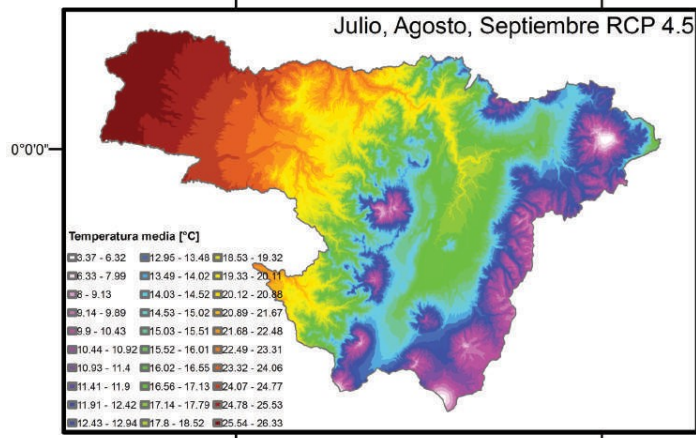
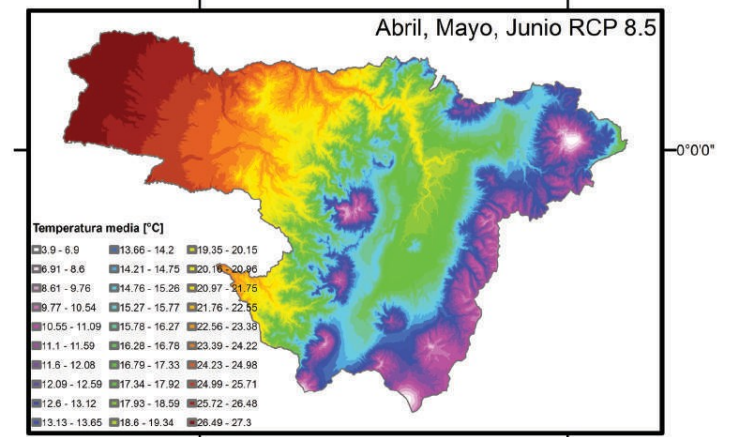
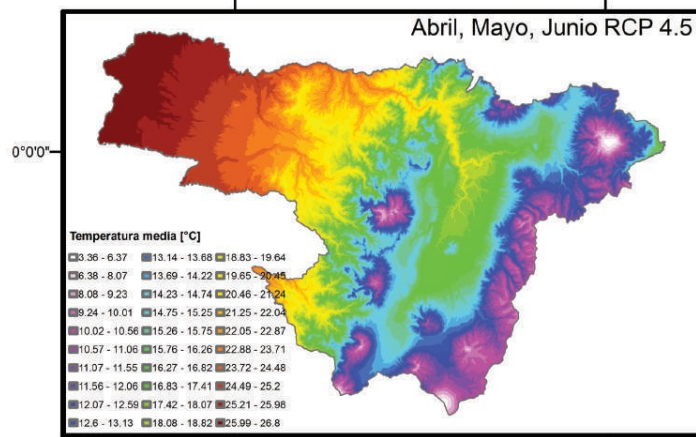
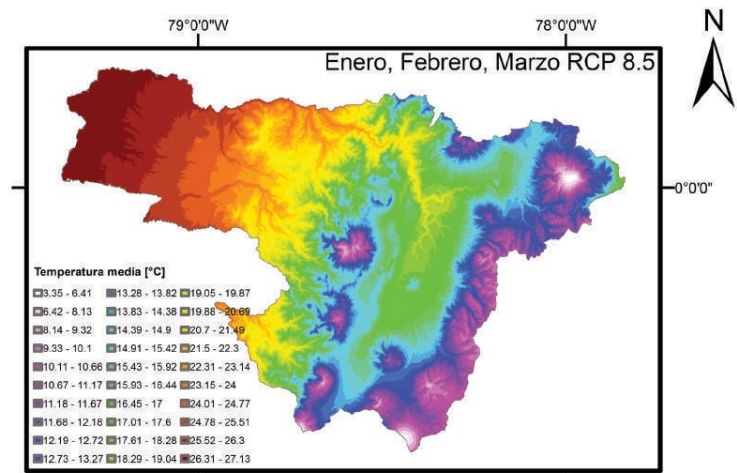
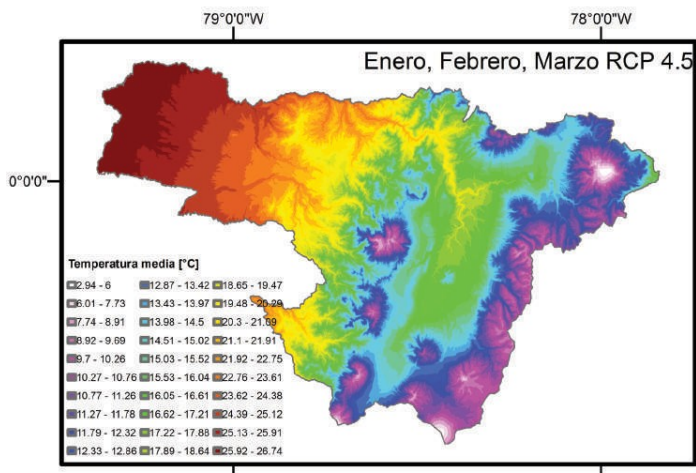
FUENTE:
División política administrativa INEC
Precipitación interanual Estaciones Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología - INAMHI
Modelo digital de terreno, SRTM resolución espacial 90 m

ESCALA de TRABAJO : 1: 50 000
FECHA: ENERO, 2018

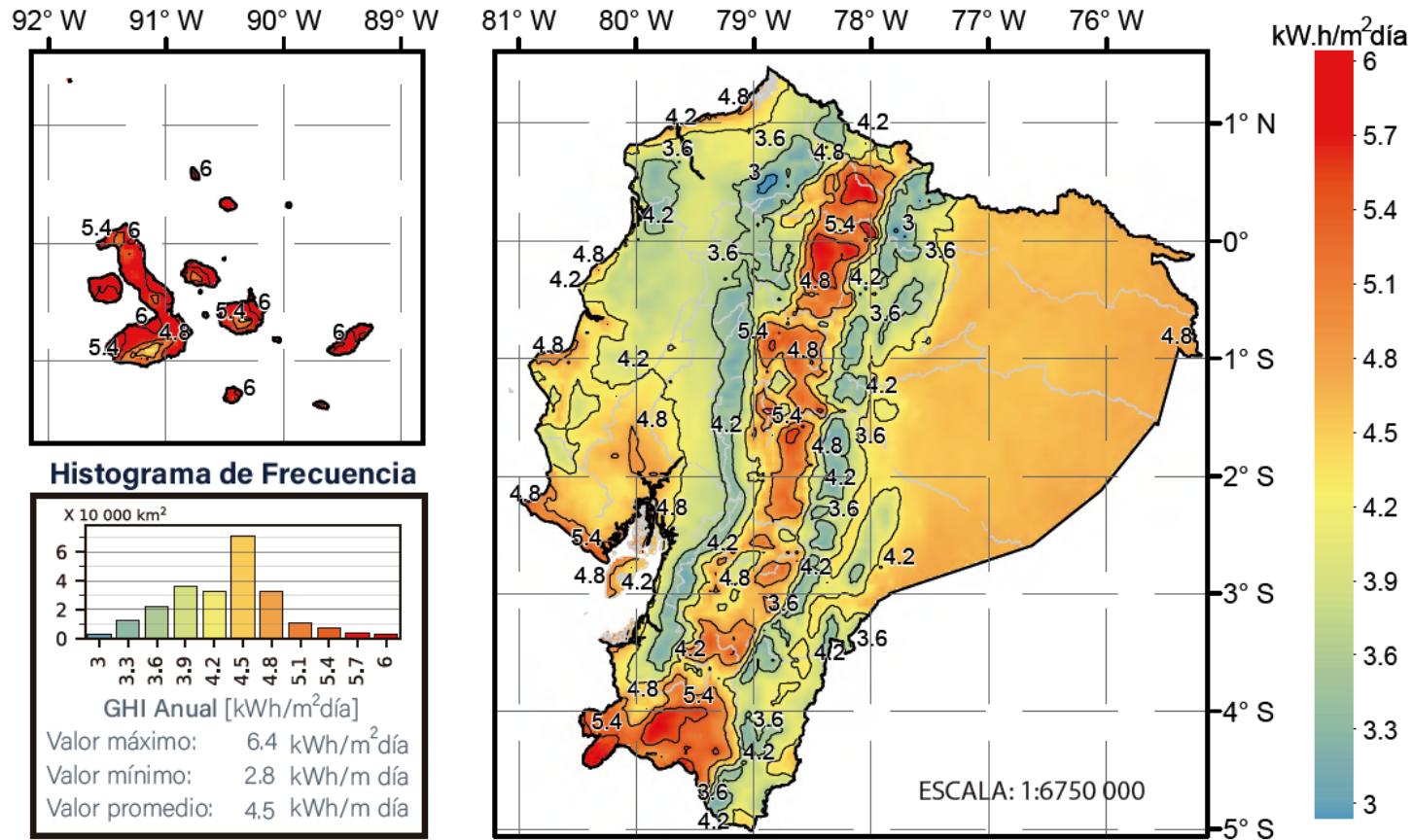
ESCENARIO FUTURO DE PRECIPITACIÓN (2031-2050)




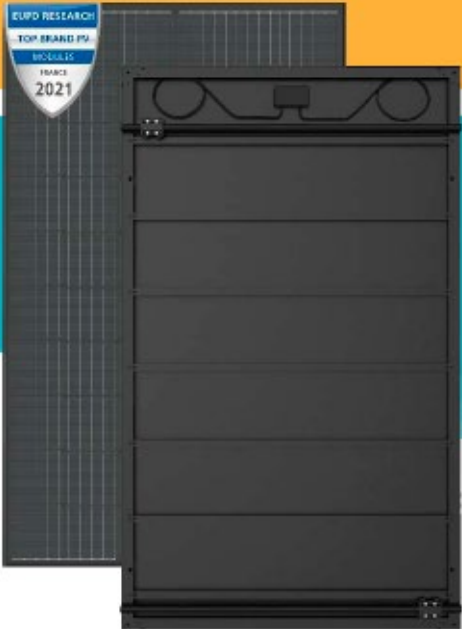
ESCENARIO FUTURO DE TEMPERATURA MEDIA (2031-2050)



Irradiación Solar Global Horizontal (GHI) Anual



ANEXO II. Panel Solar PVT



Fabricante francés de paneles solares

El panel solar híbrido SPRING (PVT)[®] diseñado y fabricado en Francia (certificado Made in France), produce electricidad y agua caliente

SPRING[®] 315 Black

CARA FRONTAL FOTOVOLTAICA

- Células monocristalinas de alta eficiencia refrigeradas por circulación de agua
- Clasificación positiva -0/+5 Wp
- Vidrio antirreflejante que garantiza un alto rendimiento incluso con luz difusa

CARA POSTERIOR TÉRMICA

Producción de agua caliente con un intercambiador de calor ultrafino patentado completamente integrado en el panel

DualBoost[®] : Aumento de la eficiencia fotovoltaica mediante células de refrigeración.

GARANTIAS

Garantía de producto y mano de obra ^{*} 10 años

Garantía de devolución lineal de 25 años

* Consulte las condiciones de garantía de DualSun

CALIDAD Y SEGURIDAD

- Marcado CE
- IEC 61215 y 61730 n°16429 Rev.2
- SOLAR KEYMARK n°16458 + n°16459 Rev.2
- Listado CEC / UL 1703 n°702139 / ICC-SRCC n°10002099

DUALQUICKFIT[®]


Sistema de conexión hidráulica Plug & Play patentado, para una instalación más rápida y confiable del panel SPRING[®]

ETIQUETA INDUSTRIA DEL FUTURO


Diseñado en Francia :
Centro de I&D en Marsella
Fabricado en Francia (certif. FR-IMF-2019-198):
Fábrica certificada DIN EN ISO 9001:2015

PANEL COMPATIBLE PARA APLICACIONES:

ACS




BOMBA DE CALOR



PISCINA

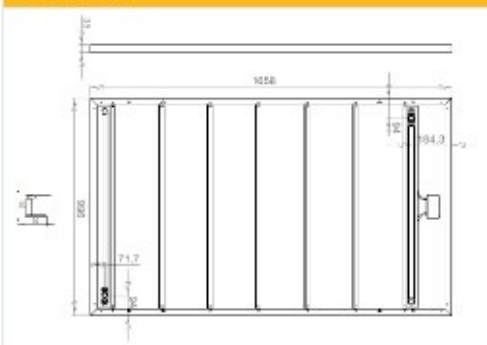


 Panel reciclable

SPRING[®] 315 Black



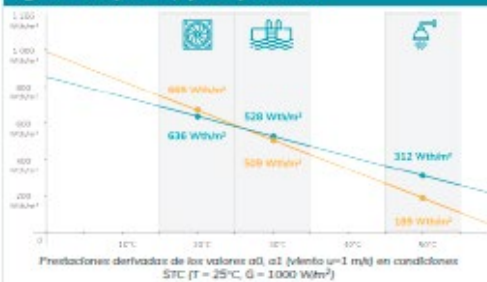
Dimensiones



Características físicas

Largo	1658 mm	
Ancho	996 mm	
Grosor	35 mm	
Peso vacío / completo	No aislado	Aislado
	25,3 / 30,3 kg	26,1 / 31,1 kg
Número de células	60	
Tipo de célula	Monocristalino PERC	
Conectores	MC4 / MC4 compatible	
Longitud del cable	900 mm	
Carga máxima	5400 Pa (nieve) / 2400 Pa (viento)	
Marco / Backsheet	Aluminio anodizado negro / Negro	

Potencia térmica en función de la temperatura del agua en el panel y por aplicación



Características fotovoltaicas

Potencia nominal	315 W
Tolerancia de potencia de salida	0 / +5W
Eficiencia del módulo	19,08 %
Tensión a potencia nominal (V_{mpp})	32,85 V
Corriente a potencia nominal (I_{mpp})	9,59 A
Tensión a circuito abierto (V_{oc})	40,12 V
Corriente de cortocircuito (I_{sc})	10,12 A
Coefficiente de temperatura Tensión ($\mu V_{oc}/K$)	-0,29 %/K
Coefficiente de temperatura Corriente ($\mu I_{sc}/K$)	0,05 %/K
Coefficiente de temperatura Potencia ($\mu P_{mpp}/K$)	-0,36 %/K
Tensión máxima del sistema	1000 VCC
Corriente inversa máxima	20 A
NMOT	45 +/- 2°C
Clase de aplicación	Clase II

* Condiciones STC (AM 1,5 - 1000 W/m^2 - 25°C)
Tolerancia de medición: +/- 3%

Características térmicas

Energía térmica	629 W_e/m^2 *	
Superficie absorbedor	1,635 m^2	
Volumen del absorbedor	5 L	
Presión máxima de trabajo	1,5 bar	
Carga de presión	Retrato	Paisaje
(Pa mmH2O)	a 60 L/h 186 19	441 45
	a 100 L/h 461 47	961 98
Entrada / salida hidráulica	conexión DualQuickfit®	
	No aislado	Aislado
Temperatura de estagnación	70°C	75,6°C
Eficiencia óptica α_0	58,9 %**	58,2 %**
Coefficiente α_1	16,0 W/K/m^2 **	10,8 W/K/m^2 **
Coefficiente α_2	0 $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K}^2)$ **	0 $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K}^2)$ **

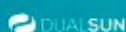
* Potencia térmica calculada con viento $u = 0$ m/s, $DT = 0$, $G = 1000$ W/m^2

** Los coeficientes α_0 , α_1 y α_2 resultado de las pruebas de certificación EN 9806:2017 para colectores solares sin acristalamiento realizadas por KIVA para una velocidad del viento $u=1$ m/s: $\alpha_0 = \eta_0 - \alpha_2 \cdot u^2$; $\alpha_1 = c_1 + c_2 \cdot u$; $u = u - 3$

Encuentre las instrucciones y los sistemas de instalación en nuestra área de recursos:



2.1 – 2021
DualSun 315M-60-388PI / DualSun 315M-60-388PN



2 rue Marc Donadille - 13013 Marseille - FRANCE

+33 4 13 41 53 70

contact@dualsun.fr

dualsun.com

AMBRA S

Bomba de calor split Inverter DC individual (1x1)



Bomba de calor split INVERTER DC (1x1) con refrigerante ecológico R32.

Equipo con elevado rendimiento (Calificación A++/A+++), con conectividad WIFI de serie y elevado nivel de filtración (filtros BIO HEPA y COLD CATALYST de serie).

Descubre más sobre AMBRA



VER VÍDEO

Descargar la app FERROLI Control



GAS R32
El gas R32 es un refrigerante de bajo impacto ambiental y elevado rendimiento.

WIFI+APP DE SERIE
WIFI + APP de serie: El equipo está preparado para conectarse a una red WIFI local.

COMPRESOR DC INVERTER
Compresor DC Inverter: Permite amplia modulación y una reducida intensidad de arranque.

ROHS
Restriction of Hazardous Substances, según la directiva 2011/65/UE, restringe el uso de sustancias peligrosas en aparatos electrónicos.

FILTRO BIO HEPA
Efecto combinado de eliminación de polvo y esterilización de bacterias, hongos y microbios.

FILTRO COLD CATALYST
Catalizador de baja temperatura, destructor de formaldehído y compuestos orgánicos volátiles.

(*) Consultar clasificación energética para clima medio en el cuadro de características de la siguiente página.

- Refrigerante ecológico R32.
- Conexión WIFI DE SERIE. Posibilidad de control a través de APP para smartphone.
- Unidad Interior con gran display LED y mando remoto IR.
- Elevado nivel de filtración: Filtros BIO HEPA y COLD CATALYST de serie.
- Diseño moderno y elegante en la Unidad Interior.
- Equipado con tecnología Inverter DC.
- Unidad Exterior con conexiones de refrigerante cubiertas.
- Reducido nivel sonoro tanto de la Unidad Interior como de la Unidad Exterior.
- Filtro lavable en la Unidad Interior.
- Reset automático en caso de fallo de corriente.
- Función de operación en modo nocturno.
- Función de operación en modo automático.
- Programación diaria ON-OFF.
- Unidad Exterior con tratamiento especial anticorrosión.



AMBRA S

Bomba de calor split Inverter DC individual (1x1)

Ferrolí

PRECIOS PVP_r SIN IVA

	9 Cód.: 4B3670099	12 Cód.: 4B3670129	18 Cód.: 4B3670189	24 Cód.: 4B3670249
Tarifa conjunto	636 €	689 €	1.173 €	1.391 €
Coste de reciclaje	4 €	4 €	6 €	10 €

Clasificación energética frío (D a A+++)	A ⁺⁺⁺	A ⁺⁺⁺	A ⁺⁺⁺	A ⁺⁺⁺
Clasificación energética calor clima cálido/medio (D a A+++)	A ⁺⁺⁺ / A ⁺	A ⁺⁺⁺ / A ⁺	A ⁺⁺⁺ / A ⁺	A ⁺⁺⁺ / A ⁺
Capacidad Frigorífica/Calorífica (CC/HC)	2,77 / 2,93 kW	3,35 / 3,57 kW	5,27 / 4,97 kW	5,86 / 6 kW
Alimentación eléctrica	220-240 V / 1 f / 50 Hz	220-240 V / 1 f / 50 Hz	220-240 V / 1 f / 50 Hz	220-240 V / 1 f / 50 Hz
Potencia frigorífica ⁽¹⁾ nominal / mín. / máx.	2.770/908/3.398 W	3.350/1.113/4.160 W	5.270/3.390/5.830 W	5.860/2.080/7.910 W
Potencia absorbida modo frío ⁽¹⁾ nominal / mín. / máx.	769/100/1.240 W	1.021/130/1.580 W	1.550/560/2.050 W	1.787/420/3.150 W
Corriente nominal modo frío ⁽¹⁾	3,34 A	4,44 A	6,7 A	7,77 A
EER ref. estándar EN14511 nominal ⁽¹⁾	3,6	3,28	3,4	3,28
SEER ref. estándar EN14825	6,3	6,1	7,4	6,1
PdesignC	2,8 kW	3,6 kW	5,2 kW	7 kW
Potencia calorífica ⁽²⁾ nominal / mín. / máx.	2.930/820/3.369 W	3.570/1.084/4.220 W	4.970/3.100/5.850 W	6.000/1.610/7.910 W
Potencia absorbida modo calor ⁽²⁾ nominal / mín. / máx.	733/120/1.200 W	963/100/1.680 W	1.298/780/2.000 W	1.608/300/2.750 W
Corriente nominal modo calor ⁽²⁾	3,18 A	4,19 A	5,64 A	6,99 A
COP ref. estándar EN14511 nominal ⁽²⁾	3,99	3,71	3,83	3,73
SCOP ref. estándar EN14825 clima cálido / medio	5,1 / 4	5,1 / 4	5,1 / 4	4,8 / 4
Zona climática ref. estándar EN14825	A (Average-media)	A (Average-media)	A (Average-media)	A (Average-media)
PdesignH clima cálido / medio	2,6 / 2,6 kW	2,5 / 2,7 kW	4,4 / 4,1 kW	5,8 / 4,8 kW
Tª bivalente T _{biv} / uso límite Tol	-7 / -15° C	-7 / -15° C	-7 / -15° C	-7 / -15° C
Consumo en stand-by	0,5 W	0,5 W	0,5 W	0,5 W

(1) Temperatura aire exterior: 35°C BS, temperatura sala: 27°C BS, 19°C BH.

(2) Temperatura aire exterior: 7°C BS, 6°C BH, temperatura sala: 20°C BS.

NOTA: Datos provisionales sujetos a cambios.

Precio Franco Fábrica - Transporte NO INCLUIDO. Precio de venta de referencia sin IVA. Ferrolí se reserva el derecho a modificar los datos sin previo aviso.



AMBRA S

Bomba de calor split Inverter DC individual (1x1)

	9 Cód.: 4B3670099	12 Cód.: 4B3670129	18 Cód.: 4B3670189	24 Cód.: 4B3570249
Caudal de aire unidad interior máx./ med./ mín.	466/360/325 m ³ /h	540/430/314 m ³ /h	840/680/540 m ³ /h	980/817/662 m ³ /h
Presión sonora unidad interior máx./ med./ mín./ slow ⁽³⁾	38,5/32/25/21 dB(A)	40,5/34,5/25/22 dB(A)	42,5/36/26/25 dB(A)	45/40,5/36/28 dB(A)
Potencia sonora unidad interior máx.	54 dB(A)	55 dB(A)	56 dB(A)	59 dB(A)
Caudal de aire unidad exterior	1.750 m ³ /h	1.800 m ³ /h	2.100 m ³ /h	3.500 m ³ /h
Presión sonora unidad exterior ⁽³⁾	55,5 dB(A)	56 dB(A)	56 dB(A)	59 dB(A)
Potencia sonora unidad exterior	62 dB(A)	63 dB(A)	63 dB(A)	67 dB(A)
Refrigerante	R32	R32	R32	R32
GWP	675 kg CO ₂ eq.	675 kg CO ₂ eq.	675 kg CO ₂ eq.	675 kg CO ₂ eq.
Carga de refrigerante	0,5 kg	0,55 kg	1,08 kg	1,42 kg
Diámetro conexión líquido	1/4"	1/4"	1/4"	3/8"
Diámetro conexión gas	3/8"	3/8"	1/2"	5/8"
Longitud línea refrigerante máx./mín.	25 / 3 m	25 / 3 m	30 / 3 m	50 / 3 m
Desnivel máx. entre UE y UI ⁽⁴⁾	10 m	10 m	20 m	25 m
Peso neto unidad interior	7,6 kg	7,6 kg	10 kg	12,3 kg
Peso neto unidad exterior	23,2 kg	23,2 kg	32,7 kg	42,9 kg
Dimensiones embalaje unidad interior alto / ancho / fondo	270 / 870 / 360 mm	270 / 870 / 360 mm	295 / 1.035 / 380 mm	310 / 1.120 / 405 mm
Dimensiones embalaje unidad exterior alto / ancho / fondo	540 / 835 / 300 mm	540 / 835 / 300 mm	615 / 915 / 370 mm	740 / 995 / 398 mm

(3) Presión sonora medida a 1m: UE en campo libre, UI en cámara cerrada de 100 m³ con tiempo de reverberación de 0,5 segundos.

(4) Para distancias verticales superiores a 6m es necesario realizar sifones en la tubería frigorífica. Consultar el manual de instalación para más información.

NOTA: Datos provisionales sujetos a cambios.

Precio Franco Fábrica – Transporte NO INCLUIDO. Precio de venta de referencia sin IVA. Ferrol se reserva el derecho a modificar los datos sin previo aviso.

DESCARGAS DISPONIBLES



MANUAL USUARIO E INSTALACIÓN



MANUAL CONTROL REMOTO



MANUAL WIFI



MANUAL SEGURIDAD



ETIQUETA ENERGÉTICA



CERTIFICADOS



GALERÍA DE IMÁGENES .ZIP

SOPORTE AL PROFESIONAL



Formulario



916 612 304

SERVICIO TÉCNICO



saferrol@ferrol.com

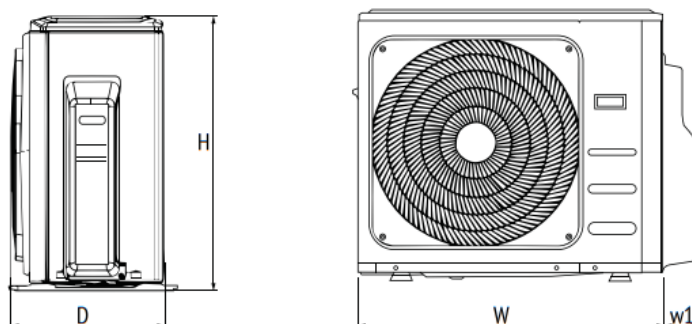


914 879 325

AMBRA S

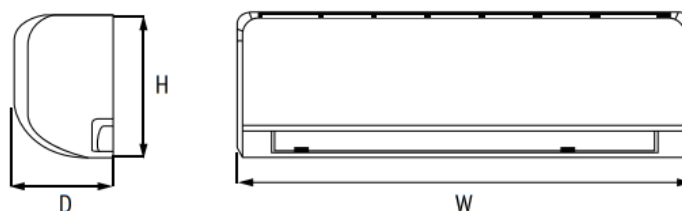
Bomba de calor split 1x1

Dimensiones Unidad Exterior



MODELO	9	12	18	24
Dimensiones H / W / D / W1	495/720/270/73 mm	495/720/270/73 mm	554/802/330/73 mm	673/890/342/73 mm

Dimensiones Unidad Interior



MODELO	9	12	18	24
Dimensiones H / W / D	285 / 805 / 194 mm	285 / 805 / 194 mm	302 / 957 / 213 mm	327 / 1.040 / 220 mm

ANEXO IV. Datos y Respuestas Obtenidos en Matlab

```
>> BCSHMODULACION                                mflujo =  
  
Tamb =                                            0.0100  
  
15                                                Cpa =  
  
Tsec =                                            1005  
  
55                                                U =  
  
Tb =                                              26.4800  
  
5                                                  perdidas =  
  
deltaT =                                          105.9200  
  
40                                                potcom =  
  
Tcolter =                                        1000  
  
25                                                potcomBCSH =  
  
ancho =                                          1000  
  
0.5000                                           potcon =  
  
largo =                                          4300  
  
1                                                  poteva =  
  
alto =                                           3300  
  
1                                                  potevaBCSH =  
  
Ac =                                              3.9600e+03  
  
4                                                  potconBCSH =  
  
m =                                               4960  
  
10                                                COPBCSH =  
  
Cpc =                                            4.9600  
  
3800                                             Porinc =
```



```

15.3488                                7.9200e+04
Gc =                                     flujoexercomBCSH =
                                     1000
                                     flujoexerconBCSH =
      Kp + Ki * ---
                                     3.1273e+03
                                     flujoexerevaBCSH =
                                     3168
with Kp = 3.73e+04, Ki = 7.43e+03      eficienciaenergetica =
Continuous-time PI controller in       95.7290
parallel form.                          >>
info =
struct with fields:
Stable: 1
CrossoverFrequency: 1
PhaseMargin: 78.9071
H =
0.9807 s + 0.1954
-----
s^2 + 0.9838 s + 0.1954
Continuous-time transfer
function.
tcalent =
20
calorconBCSH =
99200
calorevaBCSH =

```