



PROPUESTA DE IMPLANTACIÓN DE INVERNADERO DE SECADO DE CAFÉ CON CUBIERTA PARABÓLICA Y ESTRUCTURA MODULAR ADAPTADA

PROPOSAL FOR IMPLANTATION OF COFFEE DRYING GREENHOUSE WITH PARABOLIC COVER AND ADAPTED MODULAR STRUCTURE

Bryan Briceño-Martínez^{1,*}, Jairo Castillo-Calderón¹, Rubén Carrión-Jaura¹, Diego
 Díaz-Sinche¹

Resumen

El presente trabajo propone un invernadero destinado al secado de café formado por una cubierta solar parabólica y estructura modular adaptada. Se inició a través de un levantamiento planimétrico elaborado por diferentes *softwares* de ingeniería y arquitectura como: SolidWorks y Revit Architecture. Para el experimento se utilizaron principios de ingeniería inversa, tomando como base una estructura ya existente para desarrollar un modelo de acople modular, con el fin de establecer interacciones entre mecanismos y estructura. El estudio demostró que el diseño de los acoples de armado, facilitan su movilización, reducen costos y permiten la aplicación de materiales accesibles para el secador parabólico solar (marquesina), adicionalmente se presentan curvas de secado de café en un secador solar tipo parabólico y su tiempo representados en Statgraphics. El resultado del modelo con acoples de armado modular se asoció correctamente con resultados experimentales existentes, permitiendo realizar comparaciones entre tiempo y eficiencia del secado de café.

Palabras clave: ingeniería inversa, diseño, marquesina, manufactura, parabólica, Statgraphics

Abstract

The present work proposes a greenhouse for coffee drying, constituted by a parabolic solar cover and adapted modular structure. It started with a planimetric survey made using different engineering and architecture software, such as: SolidWorks y Revit Architecture. For the experiment, reverse engineering principles based on an existing structure, were used to develop a modular coupling model, in order to establish interactions between mechanisms and structure. The study demonstrated that the design of the assembly couplings facilitates their mobilization, reduces costs and allows the application of accessible materials for the solar parabolic dryer (marquee). Also, the coffee drying curves in a parabolic type solar dryer and their time are shown in Statgraphics. The result of the model with modular armature couplings was correctly associated with the existing experimental results, allowing to compare the time and efficiency of the coffee drying.

Keywords: reverse engineering, design, marquee, manufacturing, parabolic, Statgraphics.

^{1,*}Facultad de Energía las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables, Universidad Nacional de Loja, Ecuador.
 Autor para correspondencia ✉: bryan.briceno@unl.edu.ec.

<http://orcid.org/0000-0002-9428-3341> <http://orcid.org/0000-0002-5321-4518>

<http://orcid.org/0000-0003-2068-6882> <http://orcid.org/0000-0003-4910-7151>

Recibido: 27-11-2019, aprobado tras revisión: 09-05-2020

Forma sugerida de citación: Briceño-Martínez, B.; Castillo-Calderón, J.; Carrión-Jaura, R. y Díaz-Sinche, D. (2020). «Propuesta de implantación de invernadero de secado de café con cubierta parabólica y estructura modular adaptada». INGENIUS. N.º 24, (julio-diciembre). pp. 36-46. DOI: <https://doi.org/10.17163/ings.n24.2020.04>.

1. Introducción

El sector mundial del café constituye un importante medio de vida para millones de personas, sobre todo, para países en desarrollo. En su producción, Sudamérica representa el 47 % a nivel mundial, seguida de Asia y Oceanía con el 29 %, América Central y México con el 13 % y África con el 11 %. La producción de Brasil, el mayor productor cafetero del mundo, aumentó un 5,6 % y fue de 57,4 millones de sacos, entre los que estuvo parte de la cosecha de abril de 2018 a marzo de 2019. Se calcula que el consumo de café en Sudamérica, tras un incremento del 3,5 % en 2016/2017, aumentó un 1,8 % y fue de 26,97 millones de sacos [1].

El uso de energía solar en el sector agrícola va aumentando debido a la dilatación del precio de los combustibles, la contaminación del medioambiente y el agotamiento pronosticado de los combustibles fósiles convencionales. El secado por energía solar es una de las aplicaciones más llamativas y prometedoras en zonas rurales. Habitualmente los cultivos agrícolas se secan al exponerlos al sol, esto contribuye a alargar la vida útil de los productos cosechados, mejorando la calidad, posición y negocio del agricultor con el fin de mantener un precio constante en sus productos.

El secado directo al sol requiere una gran área de espacio abierto, y depende en su gran mayoría de la disponibilidad de luz solar, susceptible a la contaminación con materiales extraños como polvo, basura y otros químicos que pueden ser arrastrados por el viento, así como a pájaros, insectos y roedores. De igual forma, la mayoría de los productos agrícolas destinados a ser almacenados deben secarse primero ya que pueden ser afectados por plagas de insectos y hongos que se desarrollan con facilidad cuando existen condiciones húmedas, volviéndose inutilizables [2].

En un día pico se puede obtener el equivalente al 2,0 % de café lavado (escurrido) del total de una producción anual, en una finca con una producción de 2500 kg c. p., para ello se requieren 3,3 m² de piso, con una altura máxima de la capa de 3 cm [3].

Con el fin de permitir un mejor aprovechamiento de la energía solar, disminuir el costo y facilitar la construcción, operación y mantenimiento, se mejoró un secador solar parabólico, marquesina. Esta, al igual que el secador tipo túnel solar, consta de una estructura metálica, una cubierta plástica transparente, piso encementado, compuertas enrollables de plástico transparente y una puerta de acceso interno. El secador solar facilita una calidad aceptable de producto codiciado con un impacto ambiental bajo, por lo tanto, un método eficaz, barato y seguro de secado agrícola y de productos alimenticios.

En la Figura 1 se muestra la marquesina que ocupa un área total de 18 m², su piso de concreto contribuye a ser una zona limpia, alojando dos columnas de es-

tanterías con seis camas de secado cada una de 6 m² que son expuestas al sol. Los cobertores de plástico se enrollan y se elevan cuando existe presencia de lluvia o cuando la temperatura estimada no es la correcta, por lo tanto, la altura de las camas de secado con respecto al piso es de 0,60 m, así se disminuye la posibilidad de que se contamine el café por efecto del pisoteo de los operarios o por el ingreso accidental de animales [4].



Figura 1. Marquesina

1.1. Secador solar

Los secadores solares se clasifican generalmente en tres categorías, como se muestra en la Figura 2.

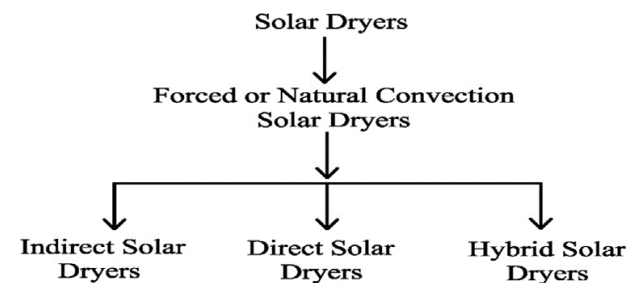


Figura 2. Clasificador de secadores solares [4]

En este contexto se enfocará en el secador solar directo, debido a que la humedad del producto a secar se elimina por el impacto directo de la radiación solar en el propio producto con o sin la circulación de aire natural [4]. En la Figura 3 se indica una vista esquemática del secador solar directo.

El secado solar directo posee una cámara de secado, una caja aislada envuelta por una cubierta transparente de vidrio o plástico, que tiene orificios para permitir que el aire entre y salga de la cámara [5]. Cuando la radiación solar afecta a la cubierta de vidrio o plástico, el aire se calienta y circula de forma natural o por presión del viento utilizando una fuente externa o combinación de ambos.

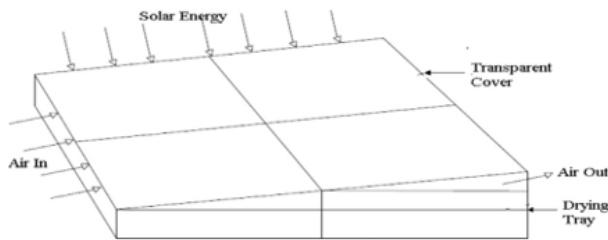


Figura 3. Secador solar directo [5]

El secador solar directo es de construcción simple y más barata que protege el producto de secado del polvo, lluvia, escombros, rocíos, etc.; también presenta algunos inconvenientes en su funcionamiento, como el sobrecalentamiento del producto, la calidad indeseable y la limitada capacidad de secado [6].

Tomar y Norton [7] desarrollaron un secado cultivo, compuesto por un calentador de aire solar y un secador de túnel para el secado de diversos productos agrícolas como se puede observar en la Figura 4. En comparación con los métodos tradicionales de secado solar, el tiempo de secado y las pérdidas masivas se redujeron significativamente con el período de amortización de 1-3 años. Por ejemplo, se informó que la energía necesaria para el secado de 1000 kg de uva varía de 11,2 a 23,0 kWh dependiendo de las condiciones climáticas con un costo entre 1,2 y 2,0 dólares estadounidenses, lo que fue absolutamente insignificante en comparación con la ganancia adicional. Sin embargo, la diseminación del sistema de secado solar a una zona determinada depende de la disponibilidad de electricidad y de sus necesidades.

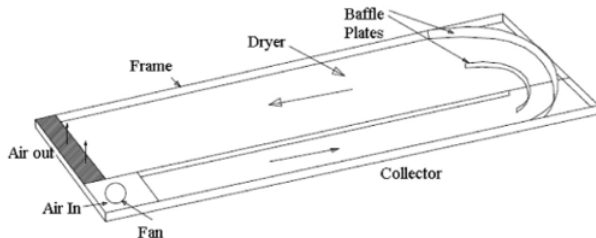


Figura 4. Secador de túnel solar [7]

Neama y Farkas [8] presentaron un estudio experimental para aumentar la eficiencia de secado del cultivo mediante el uso de una célula fotovoltaica. El secador alcanzó una temperatura de 76 °C y redujo el contenido de humedad de 50 a 60 %. La vista esquemática del secador solar con célula fotovoltaica se muestra en la Figura 5.

Ogheneruona and Yusuf [9] diseñaron y fabricaron un secador solar de convección natural directa de secado de tapioca y la reducción que se reportó en su contenido de humedad fue de 79 a 10 % en base húmeda en condiciones ambientales (32 °C y 74 % de humedad relativa).

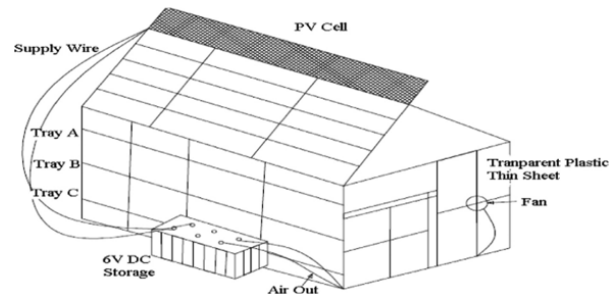


Figura 5. Secador solar fotovoltaico [9]

Tefera *et al.* [10] evaluaron el rendimiento del secador solar directo de madera y de forma piramidal para el secado de papa, lo que redujo el tiempo de secado general entre 2 y 3 horas en comparación con el secado por sol abierto. La secadora piramidal se observó mejor en la creación de un entorno de secado más propicio con una mejor viabilidad económica. De igual forma, Eke y Arinze [11] desarrollaron un prototipo de secador solar directo de convección natural de barro para el secado de maíz. Se observó que el contenido de humedad se redujo del 29 al 12 % sobre la base húmeda, logrando un 55 % de ahorro en tiempo de secado contra el secado al sol abierto. Se encontró que la eficiencia de secado de la secadora y el método de secado solar abierto era del 45,6 % y del 22,7 %, respectivamente.

Por lo tanto, los secadores solares directos son los dispositivos más utilizados para el secado de productos agrícolas y alimenticios. Se observa que la eficiencia media de secado de los secadores solares directos varía de 20 a 40 % dependiendo de los tipos de productos, el caudal de aire y la ubicación de secado. La calidad del producto obtenido por los secadores solares directos es aceptable y se puede mejorar mediante el uso de ciertos tipos de procesos químicos de pretratamiento.

2. Materiales y métodos

Para el estudio de caso se tomó como referencia la Finca León ubicada en la parroquia Vilcabamba, cantón Loja, la misma que cuenta con un secador solar parabólico (marquesina) compuesto por una estructura, estantería y seis camas de secado de 6 m², la cual será levantada planimétricamente para el diseño de los acoples modulares para su fácil movilización y construcción. Los equipos de medición utilizados para el levantamiento fueron flexómetro, medidor de distancia láser y goniómetro.

Los pasos a seguir en esta investigación fueron la toma de medidas reales, el levantamiento planimétrico en 3D, la conversión del levantamiento a un entorno real utilizando el *software* Rendering, el análisis de acoples modulares y la comparación gráfica de eficiencia del tiempo y el secado del café.

2.1. Extensión de la investigación

La investigación abarcó un período de cuatro meses (lapso comprendido entre junio y septiembre de 2019). La recopilación de datos e información de valor fue consultada en los siguientes documentos: i) NTE INEN 2507 [12], ii) Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-11 cap. 14 Energía Renovable [13].

2.2. Levantamiento planimétrico

Se presentan medidas de todos los componentes que conforman la marquesina como se indica en la Figura 6.



Figura 6. Marquesina previa a toma de medidas

Las medidas de la marquesina son de 3 m de alto, 3 m de ancho y 6 m de largo; consta de seis camas para el secado de café, siendo sus medidas de 1 m de ancho x 6 m de largo. En la Figura 7 y Figura 8 se indican las camas de secado de café situadas en la parte izquierda y derecha de la marquesina.



Figura 7. Camas para el secado de café ubicadas en la parte izquierda al interior de la marquesina



Figura 8. Camas para el secado de café ubicadas en la parte derecha de la marquesina

2.3. Adquisición de medidas reales

La adquisición de medidas reales concernientes a la marquesina en donde se evidencia la vista frontal (Figura 9), vista lateral derecha (Figura 10), vista lateral izquierda (Figura 11) y parte interna (Figura 12).

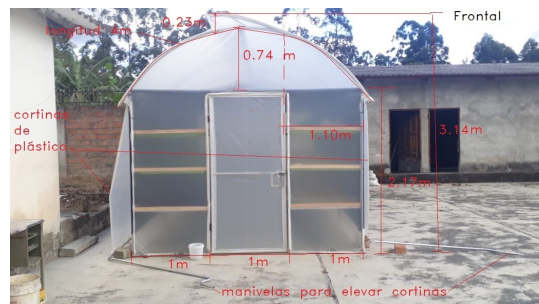


Figura 9. Vista frontal acotada

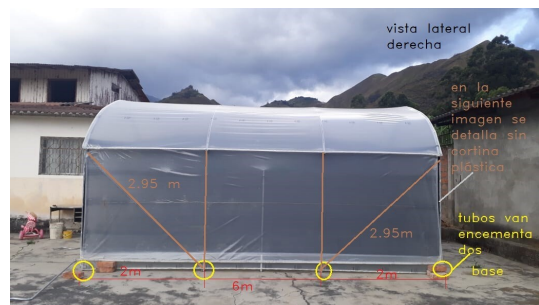


Figura 10. Vista lateral derecha acotada



Figura 11. Vista lateral izquierda acotada



Figura 12. Vista interna de marquesina

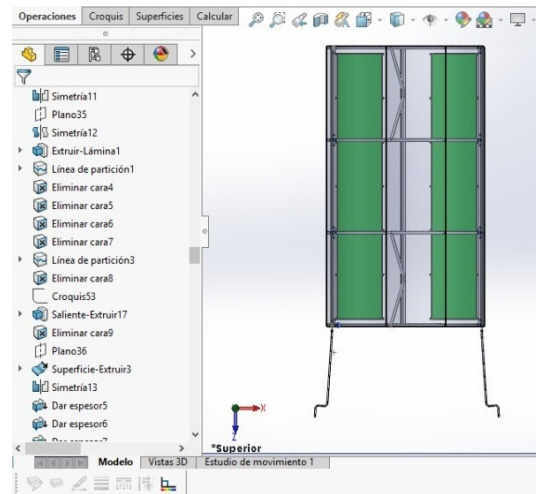


Figura 15. Vista superior de la marquesina

2.4. Levantamiento 3D

Para la toma de medidas de los diferentes componentes de la marquesina se procede a hacer el levantamiento en tres dimensiones, para ello se requiere un *software* interactivo y diferentes aplicaciones, tanto en el aprendizaje del dibujo técnico como en el análisis de ingeniería; se elige el SolidWorks [14]. A continuación, se detalla las vistas frontal (Figura 13), lateral derecha (Figura 14), superior (Figura 15) e isométrica (Figura 16).

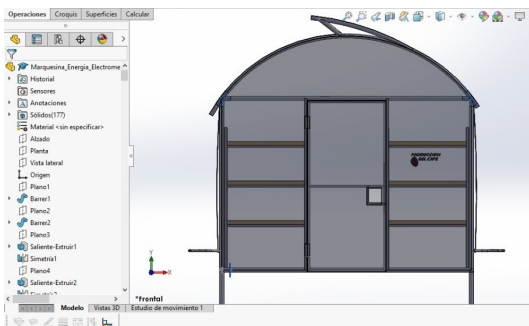


Figura 13. Vista frontal de la marquesina

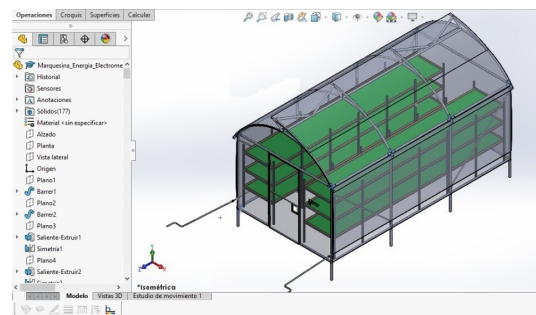


Figura 16. Vista isométrica realizada con el software SolidWorks

2.5. Presentación arquitectónica

Para un mejor acabado y proyección futura de prototipado a escala, se convierte el modelo realizado por SolidWorks a un entorno real utilizando el *software* Rendering [15] aplicado en el campo arquitectónico. Tanto en la Figura 17 como en la Figura 18 se presentan el diseño isométrico realizado por Rendering.

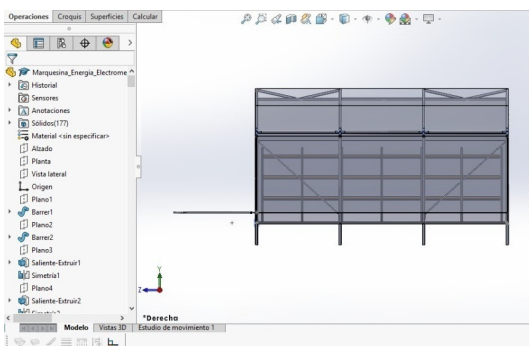


Figura 14. Vista lateral derecha de la marquesina



Figura 17. Marquesina diseñada por Rendering

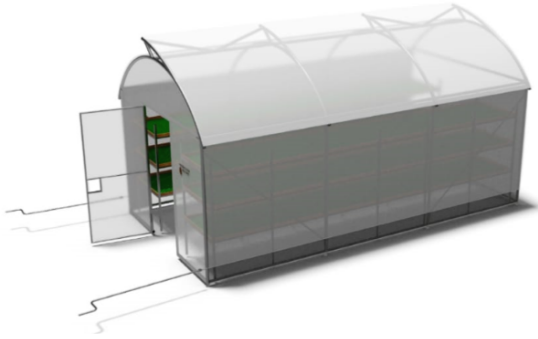


Figura 18. Vista isométrica de marquesina

2.6. Materiales y costos

Paralelo a la toma de medidas se realizó la revisión de los materiales que constituyen la marquesina. En la Tabla 1 se presentan los principales elementos.

Tabla 1. Materiales implementados en la marquesina

Materiales	Cantidad utilizada
Plástico invernadero	25 m
Malla Saran	24 m
Malla plástica verde 3/16"	12 m
Malla plástica antimosquito	24 m
Tubo redondo galvanizado 2"	54,76 m
Tubo redondo galvanizado 1"	21,19 m
Tubo cuadrado	28 m
Ángulos	83,4 m
Varilla corrugada 8	43,5 m
Cable de acero	60 m
Piola linga	254 m
Tiras de madera	83,4 m
Pernos hexagonales y tuercas	36 unidades

Los costos estimados de los materiales que se encuentran disponibles en el mercado nacional se indican en la Tabla 2.

2.7. Diseño experimental

Los resultados de los análisis y los gráficos referentes al tiempo y eficiencia de secado fueron obtenidos a partir del paquete estadístico STATGRAPHICS Centurion XV (Trial version 16.1.18) [16]. Para el diseño experimental fue utilizado un diseño factorial, de uno y varios factores. En el estudio térmico se establece la teoría de la eficiencia del colector de Duffie y Beckmen [17]. La Ecuación 1 se utiliza para el cálculo de eficiencia térmica de un invernadero, a continuación, se evidencia.

$$n_{empty} = \frac{C_p \dot{m}_a (T_0 - T_i)}{A_s I_s} \quad (1)$$

Donde n_{empty} es el porcentaje de eficiencia térmica del invernadero en vacío, C_p es el calor específico del

aire (kJ/kg °C): \dot{m}_a , flujo de masa de aire; T_0 , temperatura inicial del invernadero; T_i , temperatura final del invernadero; A_s área del invernadero e intensidad solar en la pared y techo del invernadero I_s .

Tabla 2. Costos de materiales empleados

Materiales	Presentación comercial	Valor estimado \$
Plástico de invernadero	rollo de 200 m	106,25
Malla Saran	rollo de 30 m	182,4
Malla plástica verde de 3/16	rollo de 30 m	57,48
Malla plástica antimosquito	rollo de 100 m	79,92
Anti Trip		
Tubo redondo galvanizado	6 m	238,2
Tubo redondo galvanizado	6 m	35,8
Tubo cuadrado	6 m	35,8
Ángulo	6 m	161
Varilla corrugada de 8	6 m	38,4
Cable de acero	rollo de 75 m	33
Piola linga	rollo de 100 m	63,5
Tiras de madera	2 m	48
Pernos hexagonales y tuercas	perno de 2"	3,96
TOTAL		\$1083,71

3. Resultados y discusión

3.1. Análisis de acople estructural

Las técnicas de ingeniería de *software* se utilizan para el modelado de sistemas, en especial el diseño y simulación de invernaderos de túnel. Conceptos tradicionales de tecnología orientada a objetos, se enfocan al desarrollo de *software* basado en componentes de ingeniería *desoftware*, similar al diseño basado en modelos, la especificación de los componentes y estándares, aplicando el uso de bibliotecas y la reutilización de estructuras de diseño [18], [19]. Todas estas técnicas son comunes en el diseño de invernaderos, tal como se indica en la Figura 19.

En las Figuras 20 y 21 se presenta la estructura de la marquesina realizada por SolidWorks, detallando el diseño de acople de armado en sus esquinas y en la parte posterior, indicando el tipo de tubo y sus especificaciones, con el fin de proporcionar un fácil acceso de armado y desarmado para su rápida movilización.

Cuando exista la necesidad de modelar invernaderos tipo multitúnel se aplican métodos que incluyen conceptos de reutilización, jerarquía de clases y

sucesión que permiten al usuario contar con diferentes aplicaciones tecnológicas, con el fin de construir una serie de bloques básicos para la fabricación de invernaderos, una vez que el diseño ya ha sido revisado. Desde este punto de vista, un invernadero no es más que una serie de bloques adaptados a un espacio, la eficiencia del uso del espacio constituye un punto crítico [20].

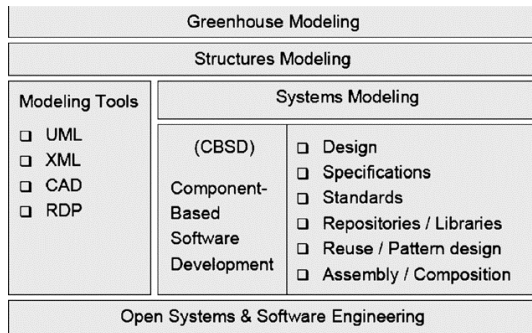


Figura 19. Algunas técnicas de ingeniería de software para el modelado de invernaderos [18]

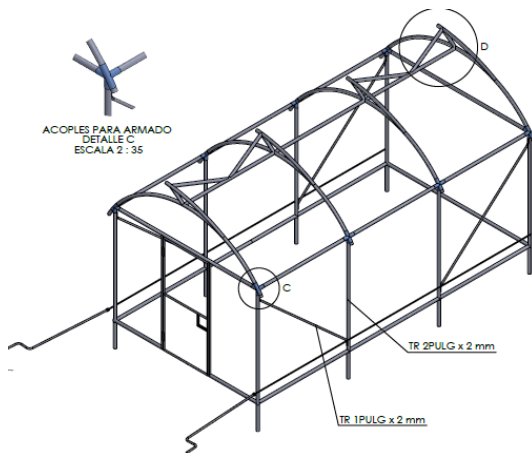


Figura 20. Acople de armado de marquesina

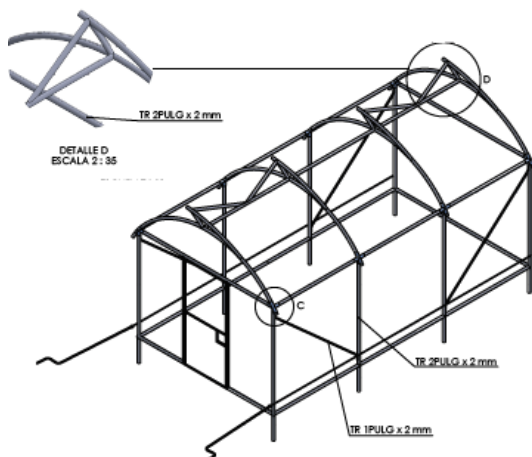


Figura 21. Detalle de la estructura

3.2. Análisis de la estantería

En la actualidad, el lenguaje de modelado unificado (UML) se utiliza en diferentes disciplinas de ingeniería para el modelado de sistemas, lo cual permite entender y describir la estructura y funcionamiento de un sistema en estudio; por ejemplo, el UML es utilizado en sistemas industriales: sector automovilístico [21], [22], teleoperación [20], robótica [22], [23], y sistemas de producción de monitoreo [24]. Por lo tanto, el UML ha sido empleado en el sector agrícola como técnica complementaria para el modelado de invernaderos.

Para el análisis de la estantería se usa la técnica del diseño asistido por computador (CAD), tal como se indica en la Figura 22, evidenciando la longitud y altura; en la Figura 23 se observa la separación de las camas de secado de café y el tipo de tubo empleado con sus especificaciones. Por último, en la Figura 24, se detalla una vista isométrica de la estantería comprendida por seis camas de secado y se especifica el material compuesto y sus dimensiones.

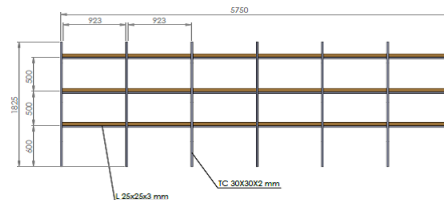


Figura 22. Dimensiones de las camas de secado de café

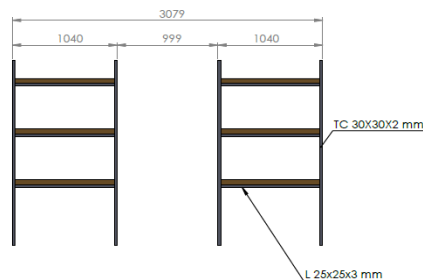


Figura 23. Distancia entre columnas de camas de secado

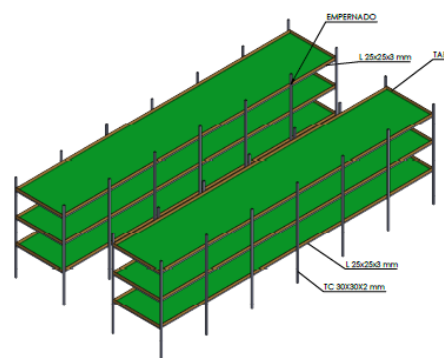


Figura 24. Vista isométrica de estantería y sus especificaciones

3.3. Análisis humedad – tiempo secado de café

Para estimar la relación humedad y tiempo de secado del café se procede a realizar un análisis estadístico de regresión lineal por la poca curvatura que presentan las gráficas en la Figura 25, situando la humedad (%) como variable dependiente y el tiempo de secado (días) como variable independiente. La Figura 25 indica la gráfica del modelo de ajuste, humedad – tiempo de secado, estableciendo las Ecuaciones 2 y 3, como el modelo ajustado.

$$Y = a + b \times X \tag{2}$$

$$\text{Humedad} = 50,7786 + 5,79048 \times \text{tiempo de secado} \tag{3}$$

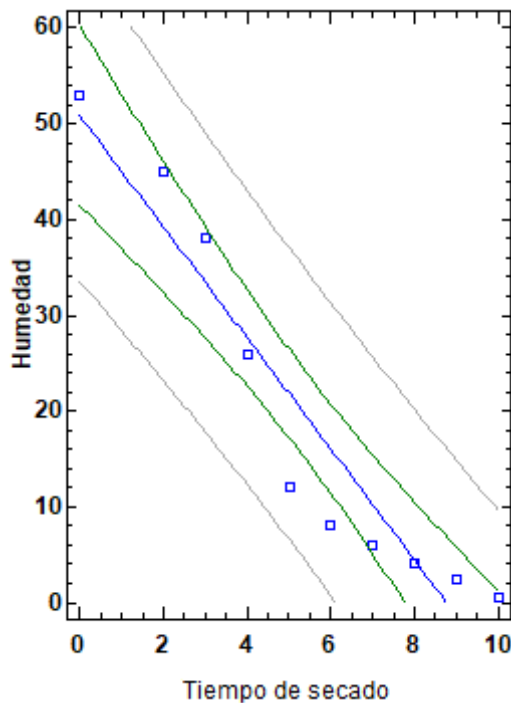


Figura 25. Gráfica del modelo ajustado humedad – tiempo de secado

La Tabla 3 presenta los coeficientes de relación humedad – tiempo de secado, donde se evidencia los parámetros estimados y erróneos del secado de café.

Tabla 3. Coeficientes, humedad–tiempo de secado

Parámetro	Mínimos cuadrados		Estadístico T	Valor-P
	Estimado	Error Estándar		
Intercepto	50,7786	4,05208	12,5315	0
Pendiente	-5,79048	0,653902	-8,85527	0

Según el análisis estadístico se presenta los siguientes valores:

- Coeficiente de correlación = $-0,952588$
- R-cuadrada = $90,7424 \%$
- R-cuadrado, (ajustado para g. l.) = $89,5852 \%$
- Error estándar del est. = $6,28562$
- Error absoluto medio = $4,83571$
- Estadístico Durbin-Watson = $0,587605$ ($P = 0,0005$)
- Autocorrelación de residuos en retraso $1 = 0,60396$

En la Tabla 4 se indica el valor-P menor que 0,05, lo cual existe una relación estadística significativa entre humedad y tiempo de secado con un nivel de confianza del 95,0 %.

Tabla 4. Análisis de varianza humedad-tiempo de secado del café

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	3098,14	1	3098,14	78,42	0,0000
Residuo	316,073	8	39,5091		
Total	3414,21	9			

El parámetro estadístico R-Cuadrada indica el modelo ajustado, exponiendo el 90,7424 % de variabilidad en la humedad, por consiguiente, el coeficiente de correlación es igual a $-0,952588$, que indica una relación relativamente fuerte entre las variables. El error estándar estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es de $6,28562$ y el error absoluto medio es de $4,83571$, al ser el valor promedio de los residuos.

El análisis estadístico de Durbin-Watson (DW) indica los residuos con el fin de determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en el que se presentan en los datos recogidos.

Puesto que el valor-P es menor que 0,05, hay indicación de una posible correlación serial con un nivel de confianza del 95,0 %, esto es que a menor tiempo de secado en el invernadero, mayor será el mayor porcentaje de humedad.

3.4. Análisis área de secado – producción

En lugares donde el secado solar posee producciones menores de 500 arrobas de café pergamino seco al año, suelen ocupar sitios de secado como elbas o casa elbas, marquesinas o secadores parabólicos [25]. La Tabla 5 presenta un resumen estadístico detallando el promedio de las muestras y su desviación estándar. Hay que tener en cuenta que existe una diferencia de más de 3 a 1 entre la desviación estándar más pequeña y la más grande. Esto puede causar problemas puesto que el análisis de varianza asume que la desviación estándar de todos los niveles es igual, por lo tanto, la producción de café en quintales posee una producción creciente.

Tabla 5. Resumen estadístico del área de secado y producción

	Recuento	Promedio	Desviación estándar	Coef. de variación	Mín.
Área de secado	8	63	51,8129	82,2426%	12,0
Producción	8	210	172,71	82,2426%	40,0
Producción en quintales	8	48,75	44,7014	91,6952%	10,0
Total	24	107,25	126,677	118,1140%	10,0

La Tabla 6 presenta una tabla ANOVA, la cual descompone la varianza de los datos en dos componentes: uno entre grupos y otro dentro de grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 5,54178, es el cociente entre el estimado entre grupos y el estimado dentro de grupos, puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05; existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las tres variables con un nivel del 95,0 % de confianza, por lo tanto, son muestras estadísticas válidas y acertados en la producción de café.

Tabla 6. Tabla Anova

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	127503	2	63751,5	5,54	0,0117
Intragrupos	241580	21	11503,8		
Total (Corr.)	369083	23			

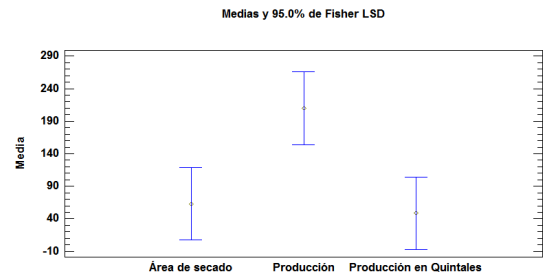
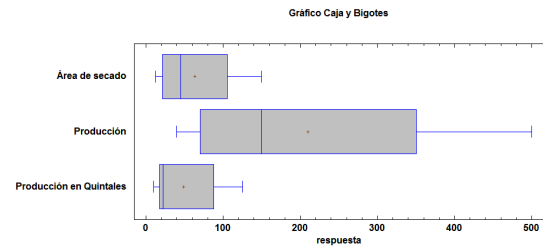
La Tabla 7 muestra la media para cada columna de los datos obtenidos y el error estándar de cada media, la cual es una medida de la variabilidad del muestreo. El error estándar indica un resultado de dividir la desviación estándar mancomunada entre el número de observaciones en cada nivel. Además, también señala una muestra de intervalo alrededor de cada media.

Tabla 7. Tabla de medias con intervalos de confianza del 95,0 %

	Casos	Media	Error Est. (s) Agrupada	Límite inferior	Límite superior
Área de secado	8	63	37,9206	7,23727	118,763
Producción	8	210	37,9206	154,237	265,763
Producción en quintales	8	48,75	37,9206	-7,01273	104,513
Total	24	107,25			

Los intervalos mostrados actualmente están basados en el procedimiento de la diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher; contruidos de tal manera que, si dos medias son iguales, sus intervalos se traslaparán un 95,0 % de las veces, lo que se puede observar gráficamente en la Figura 26.

La Figura 27 indica la relación del área de secado con la producción en arrobas de café pergamino secado; presenta que en un área de secado de 18 m² de la marquesina se puede producir alrededor de 1500 kg anuales.

**Figura 26.** Gráfico de medias y del 95 % de Fisher LSD**Figura 27.** Gráfico de caja y bigotes relación área – producción

3.5. Campo direccional del flujo de calor en el interior de la marquesina

Al considerar la ley de Newton para estudiar el efecto con que un cuerpo alcanza la temperatura interna, como es el caso del grano de café en el interior de la marquesina, consideramos la temperatura T del grano de café y T_a la temperatura del ambiente. La Ecuación 4 se emplea para el estudio del campo de direcciones de flujo de calor en el interior de la marquesina.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = K(T - T_a) \quad (4)$$

La constante K es la conductividad térmica del medio, considerando un ambiente controlado de $0,02 \left[\frac{W}{Km} \right]$. La condición inicial de nuestro problema será $T(t_0) = T_0$. La solución particular de la Ecuación para el tiempo $t_0 = 0$. (Ecuación 5).

$$T(t) = (T_a - T_0) \cdot e^{Kt} + T_a \quad (5)$$

De los datos medidos de temperatura en el interior de marquesina se estableció una $T_a = 82\text{L}$, considerando que no existen pérdidas adiabáticas para el análisis. La representación del campo de direcciones para la Ecuación diferencial ordinaria continua autónoma (Ecuación 6, Ecuación 7) se la puede representar en la Figura 28, empleando un conjunto de mallados de puntos. Se aprecia un punto de equilibrio a la temperatura ambiente en el interior de la marquesina. También se tiene que los puntos por debajo de este se comportan como puntos a tractores que tienen un crecimiento exponencial.

$$Tv = \begin{bmatrix} t \\ T \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$T_{dor} = \begin{bmatrix} t \\ T \end{bmatrix}' = \begin{bmatrix} 1 \\ K(T - T_a) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ K(Tv(2)) \end{bmatrix} \quad (7)$$

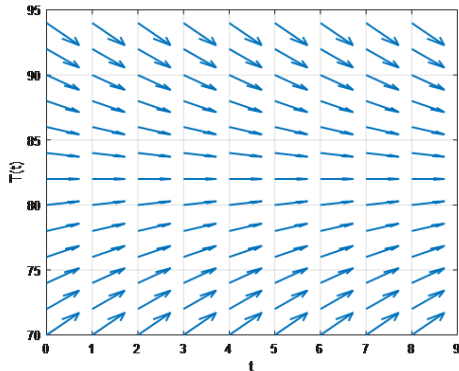


Figura 28. Gráfico del campo de direcciones para la dirección de calor en el interior de la marquesina.

4. Conclusiones

El uso de la marquesina se aplica al secado de productos agrícolas, destacando el secado de café, debido a su gran potencial desde el punto de vista experimental y ahorro energético. Existen varios tipos de secadores solares que han sido diseñados y desarrollados en algunos sectores agroindustriales, produciendo diferentes grados de rendimiento técnico. Los acoples modulares realizados después del levantamiento planimétrico han permitido mejorar su movilidad y adaptabilidad.

Los valores obtenidos referentes a la relación humedad y tiempo de secado del café, presentaron un análisis estadístico de regresión lineal, situando la humedad como variable dependiente y el tiempo de secado como variable independiente dando como resultado un modelo ajustado, mostrando una disminución de humedad asociado con un aumento de secado. En el análisis de varianza de la humedad con respecto al secado del café se obtuvo un valor-P menor que 0,05, lo que significa que existe una relación estadística significativa entre humedad y tiempo de secado con un nivel de confianza del 95,0 %.

En el análisis de producción con relación al área de secado se realizó un resumen estadístico a base de un promedio de muestras y desviación estándar, se obtuvo una diferencia de más de 3 a 1 entre la desviación estándar más pequeña y la más grande, la cual se asume que las desviaciones estándar de todos los niveles son iguales, aportando un crecimiento en la producción de café. Se realizó una varianza de los datos

en dos componentes: entre grupos y dentro de grupos, dando una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las tres variables con un nivel del 95,0 % de confianza, indicando que los datos obtenidos son muestras estadísticas válidas y convenientes en la producción de café.

Los intervalos de humedad y área de secado indican la relación de área de secado con la producción en arrobas de café pergamino secado, para un área de secado de 18 m² existe la capacidad de producir quince quintales, anualmente.

Referencias

- [1] ICO, *Anuario 2017–2018*. International Coffee Organization, 2018. [Online]. Available: <https://bit.ly/36fPT1G>
- [2] K. Jitjack, S. Thepa, K. Sudaprasert, and P. Namprakai, “Improvement of a rubber drying greenhouse with a parabolic cover and enhanced panels,” *Energy and Buildings*, vol. 124, pp. 178–193, 2016. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.04.030>
- [3] C. E. Oliveros-Tascón, C. A. Ramírez-Gómez, and J. R. Sanz-Urbe, “Secador solar de túnel para café pergamino,” *Avances Técnicos Cenicafe*, pp. 1–8, 2006. [Online]. Available: <https://bit.ly/3cNt2NG>
- [4] M. Kumar, S. K. Sansaniwal, and P. Khatak, “Progress in solar dryers for drying various commodities,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 55, pp. 346–360, 2016. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.158>
- [5] A. Ghazanfari, L. Tabil Jr., and S. Sokhansanj, “Evaluating a solar dryer for in-shell drying of split pistachio nuts,” *Drying Technology*, vol. 21, no. 7, pp. 1357–1368, 2003. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1081/DRT-120023183>
- [6] M. E.-A. Slimani, “Etude d’un séchoir solaire agricole muni d’un capteur solaire de type "pv-therm": réalisation d’un prototype et caractérisation,” Ph.D. dissertation, 2017. [Online]. Available: <https://bit.ly/2LQNZVr>
- [7] V. Tomar, G. N. Tiwari, and B. Norton, “Solar dryers for tropical food preservation: Thermophysics of crops, systems and components,” *Solar Energy*, vol. 154, pp. 2–13, 2017, solar Thermal Heating and Cooling. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.05.066>
- [8] M. Al-Neama and I. Farkas, “Utilization of solar air collectors for product’s drying processes,” *The Journal of Scientific and Engineering Research*,

- vol. 5, no. 2, pp. 40–56, 2018. [Online]. Available: <https://bit.ly/3eaPDUJ>
- [9] D. E. Ogheneruona and M. O. L. Yusuf, “Design and fabrication of a direct natural convection solar dryer for tapioca design and fabrication of a direct natural convection solar dryer for tapioca,” *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*, vol. 10, no. 18, pp. 95–104, 2011. [Online]. Available: <https://bit.ly/3bMGqQz>
- [10] A. Tefera, W. Endalew, and B. Fikiru, “Evaluation and demonstration of direct solar potato dryer,” *Livestock Research for Rural Development*, vol. 25, no. 12, 2013. [Online]. Available: <https://bit.ly/2LN8Lf4>
- [11] R. Patil and R. Gawande, “A review on solar tunnel greenhouse drying system,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 56, pp. 196–214, 2016. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.057>
- [12] INEN, *NTE INEN 1757 Frutas frescas, limón, requisitos*. Norma Técnica Ecuatoriana, 2016. [Online]. Available: <https://bit.ly/2XtNXPt>
- [13] MIDUVI, *NEC-11. Energías Renovables*. Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2011. [Online]. Available: <https://bit.ly/2XdaEqY>
- [14] Dassault Systemes. (2019) SOLIDWORKS. [Online]. Available: <https://bit.ly/2XdakZf>
- [15] Rendering. (2019) Rendering, rendering 3d, rendering animation. [Online]. Available: <https://bit.ly/3e2eUQK>
- [16] R. García, *Curso básico de STATGRAPHICS Version 5.0*, 2005. [Online]. Available: <https://bit.ly/2ZjCB2Z>
- [17] J. A. D. W. A. Beckman, *Solar Thermal Power Systems*. John Wiley & Sons, Ltd, 2013, ch. 17, pp. 621–634. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1002/9781118671603>
- [18] G. T. Heineman and W. T. Councill, *Component-based Software Engineering: Putting the Pieces Together*. ACM Press series, 2001. [Online]. Available: <https://bit.ly/2zjQfs2>
- [19] L. Iribarne, J. M. Troya, and A. Vallecillo, “A trading service for cots components,” *The Computer Journal*, vol. 47, no. 3, pp. 342–357, 2004. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1093/comjnl/47.3.342>
- [20] L. Iribarne, J. A. Torres, and A. P. na, “Using computer modeling techniques to design tunnel greenhouse structures,” *Computers in Industry*, vol. 58, no. 5, pp. 403–415, 2007. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2006.09.001>
- [21] S. H. Kong, S. D. Noh, Y.-G. Han, G. Kim, and K. I. Lee, “Internet-based collaboration system: Press-die design process for automobile manufacturer,” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 20, no. 9, pp. 701–708, Oct. 2002. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s001700200209>
- [22] K. L. Mills and H. Goma, “A knowledge-based method for inferring semantic concepts from visual models of system behavior,” *ACM Trans. Softw. Eng. Methodol.*, vol. 9, no. 3, pp. 306–337, Jul. 2000. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1145/352591.352594>
- [23] M. Wirsing, A. Knapp, and S. Balsamo, *Radical Innovations of Software and Systems Engineering in the Future*. 9th International Workshop, RISSEF 2002, Venice, Italy, October 7-11, 2002, Revised Papers. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2004. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/b96009>
- [24] M. Ghazel, A. Toguyéni, and M. Bigand, “An uml approach for the metamodelling of automated production systems for monitoring purpose,” *Computers in Industry*, vol. 55, no. 3, pp. 283–299, 2004, object-oriented modelling in design and production. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2004.08.005>
- [25] Cenicafé, “Secado del café pergamino,” *Cenicafé*, 2019. [Online]. Available: <https://bit.ly/2zZwRk0>