



TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO
DISEÑO DE UN SISTEMA DE DESHIDRATACIÓN DE TOMATE, A ESCALA DE
LABORATORIO, EMPLEANDO ENERGÍA SOLAR EN BARRANCABERMEJA,
SANTANDER

AUTORES

SHIRLEY ALEXANDRA ARCINIEGAS LUGO
YAN CARLOS DURAN CORDOBA
CRISTIAN ANDRÉS HERNÁNDEZ CRUZ

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERIA ELECTROMECHANICA
BARRANCABERMEJA

Fecha de Presentación: (17-10-2018)



TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO
DISEÑO DE UN SISTEMA DE DESHIDRATACIÓN DE TOMATE, A ESCALA DE
LABORATORIO, EMPLEANDO ENERGÍA SOLAR EN BARRANCABERMEJA,
SANTANDER

AUTORES

SHIRLEY ALEXANDRA ARCINIEGAS LUGO
YAN CARLOS DURAN CORDOBA
CRISTIAN ANDRÉS HERNÁNDEZ CRUZ

**Trabajo de Grado para optar al título de
INGENIERO ELECTROMECHANICO**

DIRECTOR

LEIDYS RODRIGUEZ CASTRO

Proyecto de investigación- DIONOIA

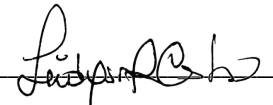
UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERIA ELECTROMECHANICA
BARRANCABERMEJA

Fecha de Presentación: (17-10-2018)

Nota de Aceptación

Trabajo de grado titulado: DISEÑO DE UN SISTEMA DE DESHIDRATACIÓN DE TOMATE, A ESCALA DE LABORATORIO, EMPLEANDO ENERGÍA SOLAR EN BARRANCABERMEJA, SANTANDER.

Presentado por: SHIRLEY ALEXANDRA ARCINIEGAS LUGO, YAN CARLOS DURAN CORDOBA Y CRISTIAN ANDRÉS HERNÁNDEZ CRUZ. Para optar el título de Ingeniero electromecánico.


Firma del jurado

Firma del Jurado

DEDICATORIA

Quiero agradecer a Dios por siempre estar a mi lado, por regalarme una buena salud y que me permitió superar cada obstáculo a lo largo de mi carrera; A mis padres ya que gracias a su apoyo pude culminar esta etapa de mi vida igualmente a mis hermanos, amigos y profesores que siempre estuvieron para brindarme su amistad en los momentos más difíciles.

SHIRLEY ALEXANDRA ARCINIEGAS LUGO

Le doy gracias a Dios por sus grandes bendiciones que me permitieron afrontar cada uno de los problemas que se me presentaron en el trayecto de mi proceso de formación; también agradecer a mis padres, hermanos, amigos, profesores y a la institución que estuvieron para apoyarme y respaldarme en cada uno de los pasos que fui llevando a cabo en el trayecto de mi carrera.

YAN CARLOS DURAN CORDOBA

Agradezco en primer lugar a Dios por ayudarme a terminar este proyecto, a mis queridos padres que fueron muy importantes para terminar esta etapa de mi vida ya que sin su ayuda no hubiera sido posible, a mis amigos y a mis profesores por brindarme su apoyo en todo momento, a la institución por darme la oportunidad de realizar mi proyecto de mi vida y poder cumplir todas mis metas.

CRISTIAN ANDRÉS HERNÁNDEZ CRUZ

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, le agradecemos a Dios por acompañarnos y guiarnos durante todo el trayendo de nuestra carrera, por ser la fortaleza que siempre estuvo a nuestro lado en los momentos más difíciles ya que sin él este logro nunca hubiera sido posible, gracias por darnos esa fuerza y coraje para poder hacer este sueño realidad y lograr cada meta que nos propusimos.

Le damos gracias a nuestros padres, hermanos, amigos y personas importantes en nuestras vidas ya que cada una de ellas fue muy importante en nuestro proceso de formación, siempre estuvieron para motivarnos y apoyarnos en todo momento ya que fueron esenciales a lo largo de nuestro trayecto y nos ayudaron para poder culminar nuestra carrera de la mejor forma posible.

Estamos muy agradecidos con la institución por brindarnos la gran oportunidad de formarnos tanto académicamente como personalmente y de proyectarnos hacia un mejor futuro lleno de triunfos, también agradecer a los profesores que con su inmensa paciencia y enseñanza nos guiaron en todo momento para que nuestras metas se hicieran realidad. En especial Gracias a la Ing. Leidys Rodríguez Castro por su apoyo incondicional, por su tiempo, amistad y conocimientos y experiencias que nos transmitió que fueron muy importantes en todo momento de nuestra carrera, ya que siempre estuvo para acompañarnos y orientarnos en las dificultades que se nos fueron presentando en el trayecto de nuestro proceso de formación.

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
RESUMEN EJECUTIVO	15
INTRODUCCIÓN	17
1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....	18
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	20
1.3. OBJETIVOS.....	23
1.3.1. Objetivo general.....	23
1.3.2. Objetivos específicos.....	23
1.4. ESTADO DEL ARTE / ANTECEDENTES.....	24
2. MARCOS REFERENCIALES.....	32
2.1. MARCO HISTÓRICO.....	32
2.2. MARCO TEÓRICO	35
Cálculo del flujo mínimo de aire requerido	36
2.3. MARCO CONCEPTUAL	40
2.3.1. Mermeladas.....	40
2.3.2. Néctares	40
2.3.3. Encurtidos.....	40
2.3.4. Desecadoras.....	41
2.3.5. Directos	41
2.3.6. Discontinuos.....	41
2.3.7. Continuos	42
2.3.8. Indirectos	43

2.3.9. Almacenamiento.....	43
2.3.10. Deshidratación y concentración.....	44
2.3.11. Congelación.....	44
2.3.12. Movimientos de Solutos.....	44
2.3.13. Retracción	45
2.3.14. Endurecimiento Superficial	45
2.3.15. Irradiación.....	45
2.4. MARCO LEGAL.....	46
2.4.1. NTE INEN 2996, Productos deshidratados. zanahoria, zapallo, uvilla. Requisitos.....	46
2.4.2. Resolución número 003929 de 2013.....	47
2.4.3. Resolución número 4506 de 2013, Por la cual se establecen los niveles máximos de contaminantes en los alimentos destinados al consumo humano y se dictan otras disposiciones.	49
3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO.....	50
3.1. ANALIZAR LAS VARIABLES AMBIENTALES, FISICOQUÍMICAS, OPERACIONALES Y PROPIEDADES TÉRMICAS QUE INTERVIENEN EN EL DISEÑO DEL MÓDULO DE DESHIDRATACIÓN DE TOMATE.	51
3.1.1. Principio de secado	51
3.1.2. Mecanismo del secado.....	53
3.1.3. Proceso de secado de tomate.....	53
3.1.4. Condiciones para el secado de tomate.....	55
3.1.4.1 Condiciones externas.	57
3.1.4.2 Temperatura Barrancabermeja, Santander.	59
3.1.5. Requerimientos básicos para el proceso de secado.	63
3.2. MODELAR EL EQUIPO DE DESHIDRATACIÓN CON BASE A LAS VARIABLES DE RADIACIÓN SOLAR Y PROPIEDADES TÉRMICAS,	

DETERMINANDO EXPERIMENTALMENTE CONTENIDO DE HUMEDAD, VELOCIDAD Y TIEMPO CRÍTICO..... 70

3.3. CONSTRUIR EL SISTEMA DE DESHIDRATACIÓN A ESCALA DE LABORATORIO TENIENDO EN CUENTA LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS DE SECADO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE UN MATERIAL SÓLIDO, IDENTIFICANDO LOS DIFERENTES PERIODOS DE SECADO EN CONDICIONES DE OPERACIÓN CONSTANTE..... 79

3.3.1. Programación del sensor de peso en el software Arduino..... 79

3.3.2. Construcción del sistema de deshidratación de tomate a escala de laboratorio. 91

4. RESULTADOS..... 112

5. CONCLUSIONES 118

6. RECOMENDACIONES 120

ANEXOS 121

7. BIBLIOGRAFÍA 121

Lista de figuras

	pág.
Figura 1. Condiciones de secado	56
Figura 2. Curva típica de secado.....	58
Figura 3. Cielo nublado, sol y días de precipitación	60
Figura 4. Temperaturas máximas.....	60
Figura 5. Cantidad de precipitación	61
Figura 6. Radiación solar promedio mensual kWh/ m ² por día.....	62
Figura 7. Condiciones iniciales y finales del tomate	66
Figura 8. Estructura del prototipo del secador.....	71
Figura 9. Lamina de acero inoxidable	72
Figura 10. Estructura metálica.....	73
Figura 11. Celda de peso	74
Figura 12. Ventilador	75
Figura 13. Pantalla indicadora de peso	76
Figura 14. Entorno de secado	77
Figura 15. Flujo de aire	78
Figura 16. Explosionado del secador de tomate	78
Figura 17. Interfaz de Arduino.	80
Figura 18. Seleccionar Placa.....	81
Figura 19. Seleccionar puerto serie de la Placa.	81
Figura 20. Línea de comentarios.....	84
Figura 21. Variables	85
Figura 22. Variable sometida a un condicional.....	86
Figura 23. Ejecución del Código para registro del peso marcado por la celda.....	90
Figura 24. Corte de material.....	91
Figura 25. Modificación en el banco.....	93

Figura 26. Ajuste de estructura	93
Figura 27. potenciómetro	94
Figura 28. Ventilador.....	95
Figura 29. Sensores de temperatura.....	95
Figura 30. Conexión de circuito electrónico para el sistema indicador de peso y lectura de señales	96
Figura 31. Velocidad en función de la humedad	99
Figura 32. Prueba.....	100
Figura 33. Tomate sumergido en agua	101
Figura 34. Conexión software Arduino	102
Figura 35. Prueba peso en gramos	102
Figura 36. Trayectoria del vapor de agua durante la deshidratación.....	103
Figura 37. Comportamiento de la masa del tomate.....	105
Figura 38. Variación de temperaturas respecto a un tiempo.....	107
Figura 39. Temperatura colector lapso de tiempo promedio 10:30 y 11:30 am ..	107
Figura 40. Temperatura colector 1:30 pm	108
Figura 41. Temperatura máxima colector 2:30 pm	108
Figura 42. Comportamiento de masa extraída	109
Figura 45. Partes del equipo	112
Figura 44. Simulación de la temperatura en SDF.....	113
Figura 45. Simulación de la presión en SDF	114
Figura 46. Simulación de la velocidad en SDF	114
Figura 47. Apertura deshidratador.....	115
Figura 50. Deshidratación del tomate.....	116

Lista de tablas

	pág.
Tabla 1. Propiedades del tomate.....	64
Tabla 2. Parámetros calculo área del colector solar.....	67
Tabla 3. Proceso de Cálculo del flujo de masa	69
Tabla 4. Datos técnicos del ventilador.....	75
Tabla 5. Funciones básicas E/S analógicas.....	83
Tabla 6. Continuación de las Funciones básicas E/S analógicas.....	84
Tabla 7. Programación Arduino.....	88
Tabla 8. Características sensor HX711	97
Tabla 9. Condiciones de deshidratación	98
Tabla 10. Densidad del tomate.....	104
Tabla 11. Prueba diferencial de masa en el tomate	104
Tabla 12. Diferencial de masa extraída	106
Tabla 13. Temperatura de prueba.....	106
Tabla 14. Eficiencia del deshidratador con Angulo de inclinación.....	116

Lista de anexos

	pág.
Anexo 1. Corte transversal de entorno de deshidratación.....	123
Anexo 2. Curva de flujo de aire vs presión.....	123
Anexo 3. Curva de longitud de onda vs irradiacia	124
Anexo 4. Plano soporte	125
Anexo 5. Plano secador	126
Anexo 6. Plano estructura	127
Anexo 7. Ajuste al enchufe.....	128
Anexo 8. Ajustes ventilador.....	128
Anexo 9. Medidas del corte de tabla	129
Anexo 10. Ajuste de sensores de temperatura.....	129
Anexo 11. Conexión control de velocidad.	130
Anexo 13. Ingreso de vidrio.....	130
Anexo 14. Cuadro de registro de pruebas.....	131
Anexo 15. Pruebas en el software Arduino	131
Anexo 16. Presión	132
Anexo 17. Temperatura.....	132
Anexo 18. Paleta de colores del proceso de velocidad	133
Anexo 19. Comportamiento del cambio de temperatura	133

RESUMEN EJECUTIVO

En la presente propuesta, se diseña un mecanismo para deshidratación de tomate (*Lycopersicon esculentum*), mediante el aprovechamiento de la energía solar en Barrancabermeja, Santander. El diseño debe contemplar el estudio y evaluación de parámetros ambientales, de proceso, las propiedades fisicoquímicas del fruto, entre otras, con el fin de identificar la mejor alternativa tecnológica para desarrollar mejoras y reducir fallas en la eficiencia del proceso de secado.

La humedad es un factor crítico en el deterioro de la calidad de un grano o producto, por ello, la importancia de eliminar el exceso mediante un método artificial como es el equipo de secado, a través del paso de calor y el flujo del aire. Una de las ventajas en la deshidratación de frutos o alimentos es que es un proceso reversible conservando en casi su totalidad las propiedades nutricionales, adicionalmente el proceso disminuye el volumen del alimento y por tanto, se puede guardar en mayor cantidad de sustrato en el mismo espacio. Debido al procedimiento de aplicación de temperatura, el tiempo de conservación del mismo es prolongado.

La metodología empleada en la investigación es tipo descriptiva/cuantitativa, lo cual permite incrementar la consideración de parámetros de diseño (velocidad de secado, longitudes, accesorios estructurales, condiciones fisicoquímicas, entre otros) el dimensionamiento y determinación de los tipos de materiales para a simulación del modelo en el software solidworks y la construcción.

El desarrollo de este proyecto investigativo, visiona al estudiante del área electromecánica no solo al estudio de los mecanismos del sistema, circuitos y piezas mecánicas que interfieren en el funcionamiento del mismo, sino que además crea una imagen clara de cambios fisicoquímicos de un fruto sometido a procesos termodinámicos y de transferencia de calor influyen en la deshidratación, recursos

que interfieren en el cambio físico-químico como lo es la disponibilidad solar, temperatura, velocidad del flujo del aire y área de referencia de prueba, lo cual se considera de gran utilidad lo cual se considera de gran utilidad para la conservación, minimización del peso y espacio de almacenamiento.

INTRODUCCIÓN

De las necesidades del hombre, la alimentación, ha sido una de las más importantes para su sustento. La industria alimentaría ha tenido sus orígenes desde la prehistoria, cuando el hombre comenzó a conservar los alimentos mediante equipos e instrumentos que inicialmente eran de tipo doméstico aprovechando los medios que tenía a su alrededor; agua, viento, sol, pero a medida que las sociedades crecieron y otros factores como sequías, inundaciones etc. influían, hubo entonces la necesidad de aumentar la producción y la eficiencia en la conservación de alimentos es así como a finales de este siglo ocurre una transformación de la industria artesanal alimentaría en una industria basada en el conocimiento científico.

La humedad es un factor crítico en el deterioro de la calidad de un grano o producto, por ello la importancia de eliminar el exceso mediante un método artificial, ya sea con un equipo de deshidratación que además permita manipular las diferentes variables involucradas en el secado. De ahí la importancia de este proyecto que busca implementar un equipo experimental que permita apreciar el comportamiento del tomate en el proceso de secado o deshidratación.

Durante la investigación, los autores buscan dar La importancia de estudiar este tema en particular, de la obtención de datos en sistema de secado o deshidratación empleando energía solar, igualmente buscar las diferentes variables que sufre durante el proceso de secado o deshidratación y asimismo tener resultados que ayude en la conservación de productos a mas escala.

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La transferencia de energía calórica desde el ambiente circundante hacia el sólido mojado puede ocurrir como resultado de la convección, conducción o radiación y en algunos casos puede darse como la combinación de estos mecanismos (Mujumdar, 2006). Los secadores industriales difieren en el tipo y diseño, dependiendo sobre todo del principal método de transferencia de calor empleado.

El uso de un módulo de deshidratación que permita efectuar el secado de la fruta, además de evidenciar el comportamiento de transferencia de calor y termodinámica que incluye este proceso, a través de la construcción de un sistema diseñado mediante cálculos analíticos obtenidos de la recopilación de variables que intervienen en el método de secado, como son la temperatura, tipo de producto y flujo de aire de secado, es considerado como una de las técnicas con mayor relevancia, al momento de requerir eliminar el peso, volumen y la humedad conservada, experimentando que las condiciones de secado aseguren un menor tiempo en el proceso de evaporación y maltrato del mismo.

Las Unidades Tecnológicas de Santander sede Barrancabermeja, no cuentan con un diseño estructurado con equipos electromecánicos y dimensiones nominales del sistema que permita evaluar el comportamiento que sufre la fruta al momento de ser expuesta a un proceso de convección a través de la transferencia de aire caliente, generando el calor necesario para evaporar la humedad. Permitiendo así, minimizar el porcentaje de peso y probabilidad de sufrir daños o pérdidas en sus propiedades de textura, sabor y aspecto.

Asimismo, la falta de un módulo de prueba que lleve a cabo actividades de secado, concretando la comparación de temas vistos en las asignaturas de transferencia de calor y termodinámica, los cuales son visualizados en el proceso de deshidratación, a través de la variación de velocidad en los sistemas de ventilación y demás factores ambientales expuestos al producto agrícola (tomate).

Con base a la problemática planteada anteriormente se plantea la estructuración de un proyecto investigativo el cual plantea el surgimiento de una interrogante direccionada a ¿Cuál es el diseño apropiado de un equipo deshidratador de tomates, a escala de laboratorio, en el que se aproveche la radiación solar emitida en la ciudad de Barrancabermeja, Santander? El cual permita a los estudiantes no solo evaluar aspectos mecánicos y eléctricos, si no, que además visualicen el comportamiento que genera la exposición de factores físico-químicos, teniendo en cuenta que es un aspecto altamente relevante para la verificación de hipótesis expuestas en el transcurso del ciclo profesional.

1.2. JUSTIFICACIÓN

La deshidratación es una operación compleja donde participan la transferencia transitoria de calor y masa, transformaciones químicas y físicas, que a su vez pueden producir un cambio en la calidad del producto. Entre los cambios físicos que pueden ocurrir incluyen el encogimiento, soplamiento, cristalización, etc. En algunos casos pueden ocurrir reacciones bioquímicas, como cambios en el color, textura, olor u otras características del sólido.

La realización de un diseño en el software de modelación solidworks permite a los estudiantes de las Unidades Tecnológicas de Santander sede Barrancabermeja, área electromecánica observar detenidamente las piezas mecánicas externas e internas que influyen en el funcionamiento del sistema de deshidratación de tomate, teniendo en cuenta el análisis de la variación de humedad, funciones matemáticas simplificadas que demuestren el fenómeno de transferencia de masa y variables térmicas que interfieren en el comportamiento de secado, para posteriormente efectuar la construcción de un prototipo a escala real, estructurado según las indicaciones y lineamientos de dimensionamiento establecidos para el ensamble del equipo.

Con base a lo señalado anteriormente, uno de las actividades con mayor relevancia en la ejecución del proceso es la elaboración de cálculos analíticos en los que se define el proceso de secado, lo cual requiere del conocimiento de un buen número de parámetros como las características del material, los coeficientes de transferencia de calor como convección y conductividad. En la mayoría de los casos estos mismos no se pueden calcular por medio de modelos matemáticos si no que son basados en procesos físicos y experimentales, determinados bajo condiciones de laboratorio bien definidas los cuales son adquiridos a través de antecedentes

que efectuaron investigaciones con igual trascendencia a la presentada por los autores.

El sistema de deshidratación cuenta con una facilidad de traslado y adaptabilidad de sus sistemas a sus diferentes equipos. Este equipo cuenta con una facilidad de traslado por su bajo peso además de su tamaño y la adaptabilidad de sus sistemas a diferentes equipos, el diseño es planteado para que en cualquier falla de algunos de los sistemas que lo componen permita una inspección local sin que involucre otras partes, es decir cada elemento es independiente en situaciones de mantenimiento.

Del mismo modo, la simetría permite de tal manera que la posición de pieza y distancia geométrica no refleje ninguna alteración a la hora de operar una prueba por parte de los estudiantes, evitando de esta manera que si existe alguna variación en alguna prueba no afecte las demás secciones del equipo. La máquina por su diseño comparada con otros equipos similares brinda ventajas en aspectos relacionados a la seguridad y ahorro. Este diseño permite un fácil mantenimiento de todos sus elementos por la flexibilidad de su diseño.

La visualización del proceso, su fácil manejo constituye el equipo como una herramienta de investigación para el secado y además como un buen instrumento pedagógico para el laboratorio. En la práctica el comportamiento de los materiales puede ser distinto del que se esperaría, de acuerdo con las curvas de deshidratación teórica debido a los cambios en la temperatura, humedad relativa del aire y otros fenómenos como velocidad de difusión que alteran el valor de las propiedades en las probetas

La realización del proyecto investigativo abarca un estudio de los conocimientos a lo largo de la carrera, el diseñar y construir un equipo, es una experiencia enriquecedora, que ayuda a confrontar la teoría con la práctica, favorece al

estudiante con la vivencia de enfrentar situaciones reales por ejemplo en la adquisición de materiales, sus costos la adaptabilidad en las situaciones de no encontrarlos, todo esto aporta un valor agregado un trabajo de grado de este tipo.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Diseñar de un sistema de deshidratación de tomate, a escala de laboratorio, empleando energía solar en Barrancabermeja, Santander

1.3.2. Objetivos específicos

- Analizar las variables ambientales, fisicoquímicas, operacionales y propiedades térmicas que intervienen en el diseño del módulo de deshidratación de tomate.
- Modelar el equipo de deshidratación con base a las variables de radiación solar y propiedades térmicas, determinando experimentalmente contenido de humedad, velocidad y tiempo crítico.
- Construir el sistema de deshidratación a escala de laboratorio teniendo en cuenta las curvas características de secado en función del tiempo de un material sólido, identificando los diferentes periodos de secado en condiciones de operación constante.

1.4. ESTADO DEL ARTE / ANTECEDENTES

A continuación, se presenta una recopilación de varios proyectos realizados por autores nacionales e internacionales que diseñaron y/o construyeron modelos de un sistema de deshidratación de tomate. Con base a la investigación realizada para el direccionamiento y fundamento de la presente propuesta, se mencionan los objetivos principales de los antecedentes estudiados, así como un resumen del desarrollo que tuvieron y las conclusiones finales de cada trabajo de tesis. Cada párrafo es referenciado bajo las normas APA y tal como indican los parámetros establecidos por la Universidad, de modo que se describa las referencias de las cuales se extrajo el texto.

Este proyecto se divide en cuatro etapas fundamentales: recopilación de información, diseño de los colectores, implementación de los colectores, análisis de resultados. Santamaría (2016) describe como objetivo el diseñar, construir y analizar energéticamente tres paneles solares de aire forzado para un horno deshidratador de frutas en su proyecto. Para complementar la investigación, realizó el estudio económico – ambiental de los colectores, como conclusión del proyecto puede afirmarse que el uso la construcción de los paneles solares de este proyecto como fuente de energía para un horno deshidratador en una opción viable desde los puntos de vista tecnológico, de aprovechamiento eficiente de la energía, económico y ambiental.

En el desarrollo del proyecto se realizaron pruebas, se colocaron sensores de temperatura en cada una de las superficies de interés: tubo absorbedor, cubierta interior, cubierta exterior además de medirse la temperatura ambiente (Santamaría, 2016). Como complemento a la verificación del diseño del colector se requiere conocer si el deshidratador cumple con el tiempo de deshidratación propuesto. El deshidratador tiene capacidad para 30 kg de producto con alto porcentaje de

humedad. Para verificar el modelo matemático desarrollado en el capítulo de diseño deben medirse la temperatura ambiental, de la cubierta exterior, de la cubierta interior, del absorbedor y comparándolas con las calculadas en la fase de diseño. En un lapso de 18 horas el deshidratador debe ser capaz de reducir el porcentaje de humedad a 15%, que reduce la proliferación de microorganismos durante el almacenamiento y permite al producto conservar características de textura y sabor agradables para el consumidor.

El estudio de los modelos y el análisis de las características de diferentes colectores solares resultaron ser los adecuados para un modelo plano con doble cubierta. Santamaría (2016) determina que al realizar un estudio de las características de la energía solar en Ecuador, obtuvo los diferentes modelos de deshidratadores para alimentos a fin de determinar el más adecuado para el proyecto. El modelo térmico del colector fue implementado con éxito, ya que los valores de temperatura medidos están muy cerca de los calculados. Además, la reducción del costo de energía eléctrica por año fue significativa con un valor de 1 135.00 Dólares haciendo viable el proyecto. La temperatura máxima del aire entregado por los colectores fue de 80 °C que es la temperatura máxima recomendada para la deshidratación de frutas.

Alonso (2014) refiere que en los últimos años se ha puesto énfasis especial a reducir en lo posible el uso de energía que provenga de fuentes convencionales y a desarrollar tecnologías que utilicen fuentes de energía renovables o alternas. Así, dentro de este proyecto se desarrolló el diseño, la construcción y la evaluación de un secador solar con almacenamiento térmico para el secado de tomate; la energía solar tiene la ventaja de estar disponible en las comunidades donde no hay suministro de energía eléctrica y al hacer uso de la energía aportada por el sol, la tecnología desarrollada puede igualmente ser utilizada en casi cualquier sitio. El prototipo consiste en una cámara de secado, un captador solar de tubos evacuados con almacenamiento térmico y un intercambiador de calor.

Para los cálculos se parte de la consideración de que el sistema se encuentra en estado estacionario, esto es, los diferenciales de variables permanecen sin cambio en el tiempo (Alonso, 2014). Las condiciones tomadas son condiciones promedio a menos que se especifique valor diferente. La eficiencia óptica calculada con el concepto producto absorptancia transmitancia es de 82.65%, considerando $\alpha = 0.97$ para la lámina pintada de negro. Lo cual quiere decir que para las condiciones de operación descritas y utilizando el ángulo de inclinación mencionado en el techo de la cámara de secado, se tiene un aprovechamiento de la radiación del 82.65% del total incidente. El secado de tomate en el prototipo tarda alrededor de 60 horas, dependiendo de las condiciones ambientales - en el secador eléctrico tarda 45 horas ; en exposición directa al sol y con condiciones climáticas claras tarda entre 3 y 6 días-.

Al identificar cada uno de los procedimientos de construcción del secador solar para deshidratación de frutos. Alonso (2014) indica que cumplió el objetivo de plantear un secador solar con almacenamiento térmico, construido con materiales disponibles en la región y evaluado con tomate, producto de importancia regional y nacional. Durante las horas de secado, la cámara de secado mantiene una temperatura mayor que la temperatura ambiente, esto se atribuye al adecuado diseño de la cámara de secado y a una correcta selección de los materiales utilizados, lo cual representa una ventaja contra el secado eléctrico. La máxima temperatura alcanzada en el secador es de 73.5 °C el día 18 de junio de 2014 a las 12:51 pm, en donde se registró una temperatura ambiente de 26 °C, lo que representa una diferencia de temperaturas de 47.5 °C, esto es un incremento de la temperatura en un 182%.

Este trabajo describe el diseño, construcción y caracterización, de un prototipo de sistema de deshidratación de frutas y verduras. Lemus & Gómez (2015) afirman que su trabajo tuvo como principal propósito construir sistemas, que utilicen la energía

solar térmica de manera eficiente, para la obtención de alimentos deshidratados confiables al consumo humano de calidad aceptable, deshidratados con un mínimo de consumo de energía convencional. La efectividad fue basada en dos características: primero; La construcción de un colector con tubos evacuados al alto vacío, para funcionar con un fluido que sirva de receptor y transporte de la energía solar térmica, y segundo; un deshidratador instalado al interior del edificio para tener mejor control de la inocuidad de los alimentos. Al realizar la caracterización del colector se comprobó que: el deshidratador puede alcanzar la temperatura de 59 °C, el estudio evidenció áreas de oportunidad para la mejora del dispositivo.

Inicialmente, para estimar las diferencias en la velocidad de evaporación como función de la posición dentro del deshidratador se realizó la siguiente prueba (Lemus & Gómez, 2015). Se utilizó piña de temporada, se rebanó en rodajas de 0.8 cm aproximadamente. Las rebanadas se sometieron a un tratamiento térmico previo de escaldado para eliminar las enzimas que puedan provocar la fermentación y la eliminación de gases que están incluidos en los tejidos de la piña. Durante este tratamiento se le agregó $\frac{1}{4}$ de su peso de azúcar para favorecer el sabor dulce del producto, el azúcar también le ayudará para su conservación. Estas rebanadas se pesaron y alcanzaron una masa de 1730 g en total. Para esta masa fue necesario utilizar dos de las tres charolas dentro del secador.

Una vez concluido el diseño, construcción y caracterización del sistema cíclico de deshidratación de frutas y verduras se puede concluir que, se determinó que el flujo de radiación solar promedio disponible Lemus & Gómez (2015) el proyecto de Diseño y Construcción del deshidratador de Frutas y Verduras se adaptó al recurso solar en San Juan del Río y con una capacidad para deshidratar 1 kg de fruta mínimo. El diseño conceptual del prototipo definió las siguientes características: Capacidad de 1 kg de producto húmedo, humedad final de 10 % máximo, secado den 20 horas de sol máximo, producto libre de contaminación física, bajo consumo

de energía convencional, un número mínimo de piezas para la construcción, fácil operación y mantenimiento; así como se estéticamente presentable. Para San Juan del Río es de 2059 KW-h/m² año siendo un recurso potencial considerable. Los parámetros de operación se variaron desde 50 ml/min hasta 200 ml/min encontrándose la operación óptima en 150 ml/min con una temperatura máxima en el deshidratador de 71 °C y una mínima de 43 °C con el flujo mínimo.

García, Mejía, Julieth & Valencia (2012) indican en su proyecto, en donde se describe el diseño y construcción de un equipo de deshidratación solar de flujo inducido. Los instrumentos obtenidos como resultado de este estudio permiten el desarrollo del proceso de deshidratación en frutos tropicales de diferentes características físicas y organolépticas. En primer lugar, el estudio se centra en la selección del punto de implementación del equipo y la selección de la disposición constructiva del mismo. Posteriormente, se realiza el diseño, dimensionamiento y construcción de los materiales. Finalmente, se realizan pruebas de deshidratación; los resultados se comparan con datos obtenidos en equipos de deshidratación tradicionales y con datos de modelos matemáticos empleados en dichos procesos.

Las innovaciones de diseño desarrolladas en esta investigación permiten la obtención de frutos deshidratados de manera homogénea y la reducción de emisiones de CO₂ (García, Mejía, Julieth, & Valencia, 2012). Con el fin de verificar la correcta operación del equipo se procedió a realizar una prueba de deshidratación. Las materias primas consideradas para dicha prueba fueron mango, fresa y uchuva (*Physalis peruviana*), las cuales presentan grandes cantidades de producción en la zona de implementación seleccionada. Los resultados evidencian diferencias de un 20 % en los tiempos de procesamiento, al emplear energía solar en comparación con energía obtenida de recursos fósiles; de la misma forma, se establece que el modelo de Page modificado es el que mejor se ajusta a los datos obtenidos del proceso de deshidratación desarrollado en este estudio.

García, Mejía, Julieth & Valencia (2012) el equipo diseñado en este estudio, si bien presenta tiempos similares de procesamiento a los obtenidos en equipos convencionales con diferencias de 5 horas más de procesamiento y, como consecuencia de esto, un gasto adicional de 3.73 kWh (20 %) adicional en el gasto energético por uso del sistema de ventilación, permite un ahorro de 250 kWh al no requerir del uso del sistema de calentamiento de resistencia eléctrica del equipo convencional empleado en la prueba piloto, evitando de esta forma la emisión de 238.75 kg de CO₂ , 2.95 kg de SO₂ y 1.08 kg de NO_x (Estimaciones basadas en producción de energía en plantas termoeléctricas a carbón). Las diferencias en tiempo de secado se deben principalmente a la variación en la radiación solar.

Muy pocas son las empresas colombianas que exportan snacks de frutas tropicales. Buitrago (2014) plantea una pregunta de investigación, la cual fue ¿Es posible usar secadores solares industriales para procesar mango común en Colombia? se estudió el mercado mundial de snacks saludables, la cadena agroindustrial del mango en Colombia, el avance tecnológico en secadores solares, y a nivel teórico se propuso una escala y condiciones técnico operativas para secar mango común con secadores solares. FRUTAS FRUANDES LTDA. Es una empresa colombiana dedicada a producir entre otros productos, frutas tropicales deshidratadas con tecnología de secado convencional. De esta empresa se conoce que en 2012 realizó exportaciones totales por \$ USD 126932. El mercado de Snacks saludables más atractivo es el de los Estados Unidos con \$ USD 1,4 mil millones anuales.

Para obtener resultados satisfactorios secando productos agrícolas mediante el uso de la tecnología de secadores solares, es preciso conocer en profundidad las características del alimento a procesar (Buitrago, 2014). La ingeniería de los secadores solares es un campo de estudio en pleno crecimiento, los trabajos más representativos mencionados en el capítulo anterior exponen que los avances más significativos provienen de regiones del mundo geográficamente apartadas de

Colombia, países de Norteamérica, Centro Oriente y Asia Pacífico abanderan los avances en la tecnología. Como resultado del caso propuesto se encuentra que teóricamente para procesar 1640 kg/día de mango fresco mediante secado solar en las condiciones de altitud, velocidad media del viento y radiación solar media, del municipio de Anapoima, Cundinamarca, se requieren 650690,84 kJ, de los cuales la colección solar puede aportar el 70% y el 30% restante mediante un sistema auxiliar de calentamiento a partir de GLP.

Para optimizar el proceso de secado de mango, será necesaria la construcción de un prototipo a escala conveniente y evaluar la evolución del secado, comparando los resultados contra los modelos teóricos y así definir las variables para mejorar el proceso. Buitrago (2014) concluye a partir de las ecuaciones para inclinación de los colectores, pudo determinar que un ángulo conveniente para ubicar el colector al iniciar el día 01 de agosto es a $13,36^\circ$ en dirección sur. Esto da por sentado que cada día se debe calcular el ángulo óptimo para captar la máxima radiación. La cantidad de energía que debe aportar el sistema de calentamiento auxiliar puede ser suplida con la combustión de 0,00047 kg de GLP/día. Las dimensiones internas sugeridas para un prototipo de cámara de secado son: Ancho: 3,21 m, Largo: 7,22 m y Alto: 2 m, para garantizar la disposición de 3 hileras de 7 carros con capacidad de 80 kg cada uno.

Finalmente, que se alcanzaron cumplir los objetivos propuestos en este proyecto. Pinzón (2016) señala que la alternativa de secado propuesta en su proyecto funcionó para el objetivo puntual de reducción de humedad en la borra de café, puesto que se determinó por medio de balances de masa y energía que la humedad se redujo en un 70% y el poder calorífico de la muestra aumentó en más de 1.400 kilocalorías, lo cual demuestra que mejoraron las condiciones de la borra para su combustión. Adicional a eso, se evaluó la viabilidad de implementación de este sistema de secado solar por medio de un análisis del costo de la inversión para la

instalación de este sistema mostrando dos alternativas y de acuerdo a los resultados, se determinó que CENICAFÉ propone la alternativa más económica para la implementación.

Respecto al sistema de secado solar, se determinó que, si es recomendable para el secado de borra de café, puesto que es posible determinar y analizar el comportamiento de las muestras de los lotes 1 y 2 (Pinzón, 2016). Es posible observar el comportamiento de las características de humedad removida respecto a la masa del sólido, así como la influencia del espesor de capa seleccionado en el comportamiento de la muestra a lo largo del proceso de secado. Para el lote 2, debido a que el espesor de capa, respecto al lote 1 es mayor, el proceso de secado no es uniforme y es inclusive más lento respecto al secado del lote 1, debido a que la relación de masa de sólido y humedad removida, no se refleja de manera inmediatamente opuesta, incluso en el día 2 y 3, se observa un periodo donde no se retira humedad de la muestra, como si el proceso de secado hubiera quedado suspendido, luego hay un crecimiento exponencial en el porcentaje de humedad retirado pero que no se mantiene constante.

Pinzón (2016) menciona que la alternativa de secado propuesta para biomasa de café tipo borra es el sistema de secado solar térmico empleado con el secador solar tipo túnel de CENICAFE. El aprovechamiento actual de la borra de café como residuo del proceso de producción de café liofilizado, es el uso de este residuo como combustible directo para la caldera acuatubular de generación de vapor, sin embargo, al ser el contenido de humedad de la borra de 52,21% no cumple con las características necesarias para ser empleado como este tipo de combustible en la generación de vapor. Se determinó que el espesor de capa de la muestra de borra no debe ser mayor a 1 centímetro, debido a que, bajo esta condición, la reducción del contenido de humedad de la muestra, así como el aumento del poder calorífico es mayor respecto a un espesor de capa mayor.

2. MARCOS REFERENCIALES

2.1. MARCO HISTÓRICO

La actividad hortícola de la provincia de Corrientes (Argentina), se ha incrementado notablemente en la última década (Castillo, Subovsky, Rodríguez, & Fernández, 2002). Esto conlleva también a distintas problemáticas. como, por ejemplo, el exceso de producción lo que ocasiona un notorio detrimento en la comercialización de los vegetales por el bajo precio; y también la existencia de productos de distinta calidad: dañados, deformados o con otro efecto no deseado, y que no están en condiciones de ser tipificados.

La deshidratación a través de la historia es una de las técnicas más ampliamente utilizadas para la conservación de los alimentos (Galaviz J. V., 2012). Ya en la era paleolítica, hace unos 400.000 años, se secaban al sol alimentos como frutas, granos, vegetales, carnes y pescados, aprendiendo mediante ensayos y errores, para conseguir una posibilidad de subsistencia en épocas de escasez de alimentos, no solo necesarios, sino que también nutritivos.

Galaviz J. V (2012) indica que el primer hombre secó sus alimentos en sus refugios. “Los indios americanos precolombinos usaron el calor del fuego para secar alimentos. El uso del fuego para secar alimentos fue descubierto independientemente por muchos hombres en el Nuevo y Viejo Mundo” (pág. 15). Las dificultades y limitaciones inherentes al secado al sol pronto espolearon la imaginación del hombre primitivo a utilizar técnicas más poderosas y seguras. Así, en la edad de Hierro ya se construyen en la zona del Norte de Europa los primeros hornos para el secado del trigo recién cosechado.

La deshidratación de productos hortícolas usando energía solar es una alternativa técnica para aprovechar tanto el exceso de producción como la falta de calidad comercial de los mismos (Castillo, Subovsky, Rodríguez, & Fernández, 2002). Dicha técnica consiste en eliminar cierta proporción de agua,

aunque esto generalmente no resulta eficiente para asegurar una adecuada preservación de dichos productos.

En 1877 se crea la oficina alemana de patentes y un año más tarde se presenta la patente de un secador calentado por radiación y 4 años después la patente de un secador a vacío (Galaviz J. V., 2012). A principios del siglo pasado Hausbrand publica "Drying of air and steam" (1901) lo que puede ser considerado como el primer intento serio de aplicación de los métodos de ingeniería al cálculo de deshidratadores. Se puede afirmar que la deshidratación es una operación unitaria plenamente desarrollada y con unos fundamentos teóricos bien establecidos.

Hipócrates ya postuló que la ingesta de hígado podría mejorar la visión nocturna. Más recientemente, en el siglo XVIII James Lind estableció que para curar el escorbuto era preciso administrar frutas y verduras frescas (Martínez, 2005). A finales del siglo XIX Eijman descubre que es posible inducir estados de parálisis muscular en pollos alimentando a estos con arroz descascarillado y que esto era reversible añadiendo a la dieta extractos obtenidos de cáscara de arroz. Eijman formula entonces «la teoría de las vitaminas» según la cual el escorbuto, el raquitismo, la pelagra y el beriberi, eran debidos a la ausencia en la dieta de diferentes "aminas vitales" (de donde procede el término de vitaminas).

Martinez (2005) señala que "El término vitamina hace referencia a sustancias orgánicas complejas que deben estar presentes en la dieta, en muy pequeñas cantidades, en relación con otros nutrientes" (pág. 35). Las vitaminas son esenciales en el sentido de que los tejidos corporales no pueden sintetizarlas, o si las producen, lo hacen en cantidades que no cubren las necesidades del individuo.

El uso del desecado solar de diferentes productos (frutos de especies autóctonas, plantas aromáticas y hortícolas) ha sido objeto de estudios en el

Nordeste Argentino (NEA) (Castillo, Subovsky, Rodríguez, & Fernández, 2002). Para dicha desecación se ha usado diferentes equipos y metodologías encontrándose bajo condiciones controladas, por ejemplo, para pimiento, que el tiempo de desecación fue menor variando desde 8 a 24 horas, y con mayores temperaturas, variando de 40 °C a 80°C.

En la India (3.000 a.C.) ya se conocía un proceso de extracción del azúcar, que fue importado a Europa por Alejandro Magno y por los Cruzados. En el año 1493, Colón, en su segundo viaje, llevó la caña de azúcar al Nuevo Mundo (Martínez, 2005). Fue el químico ruso Kirchoff quién estudió el almidón y Schmidt en 1844 les dio el nombre de glúcidos (o glícidos), aludiendo a su carácter dulce. Claude Bernard en 1856 demostró la presencia de un almidón (glucógeno) en el hígado de los animales bien alimentados.

La planta de la patata (*solanum tuberosum*) es originaria de la región andina de América del Sur, desde donde fue introducida por los españoles en Europa en la segunda mitad del siglo XVI (Martínez, 2005). A finales del siglo XVII y principios del XVIII se estableció como un cultivo importante en toda Europa, sustituyendo a los cereales como principal fuente energética. Al ser su cultivo barato formó parte de la dieta de muchas comunidades, sirviendo en países como Irlanda para el pago del salario de los trabajadores. La destrucción de las cosechas por el hongo *phytophthora infestans* entre 1845-1847 en Irlanda, causó una de las hambrunas más desastrosas de la historia, con una elevada mortalidad, siendo determinante para la emigración a Estados Unidos de los irlandeses.

2.2. MARCO TEÓRICO

Flujo natural

Galaviz & Alfaro (2014) en la evaluación de la transferencia de calor a través de calentadores de aire, evaluados como placas paralelas con flujo natural la diferencia de temperaturas entre la pared caliente y fría juega un papel fundamental en el comportamiento térmico, ya que puede presentar inestabilidad donde la transferencia sea puramente de conducción, no obstante, el parámetro que nos advierte la presencia del fenómeno convectivo es el número de Rayleigh.

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_H - T_C)L^3}{\nu\alpha} = 1708 \text{ Ecuación 1}$$

Valor a partir del cual bajo el fenómeno de la convección natural aparecen celdas de convección. “Con base en el número de Rayleigh, se han presentado diferentes patrones de flujo cada vez más complejos hasta que finalmente, el flujo en el centro se vuelve turbulento” (pág. 7). Estos cambios en el patrón de flujo debido a cambios en el número de Rayleigh son característicos de la convección natural interna en recintos de cualquier geometría.

Flujo forzado

En el estudio de los calentadores solares de aire es necesario conocer el coeficiente de transferencia de calor por convección para un flujo forzado a través de cavidades rectangulares, por lo que en este apartado se busca establecer la correlación de Nusselt, parámetro del cual depende el coeficiente convectivo h (Galaviz & Alfaro, 2014).

$$h = \frac{Nu k}{D_h} \text{ Ecuación 2}$$

$$D_h = \frac{4(A_c)}{P} \quad \text{Ecuación 3}$$

Siendo:

k = conductividad térmica del fluido [W/m K]

D_h = diámetro hidráulico [m]

A_c = área de la sección transversal del flujo [m²]

P = perímetro mojado [m]

Temperatura del calentador de aire

De esta depende la calidad del producto, aún es más importante si los productos son de origen agrícola, por el hecho de ser necesario mantener sus nutrientes, vitaminas y sabor (Galaviz & Alfaro, 2014). La temperatura más baja de secado es de 30°C, aunque alrededor de esta temperatura el secado es muy suave y se corre el riesgo del deterioro del producto. Para un secador directo el rango de temperaturas es de 40°C a 70°C y en algunos casos especiales supera los 80°C.

CÁLCULO DEL FLUJO MÍNIMO DE AIRE REQUERIDO

Galaviz & Alfaro (2014) mencionan que: Para calcular el flujo de aire requerido primero se tienen que definir que es la humedad de un producto tanto en base seca como en húmeda (pág. 12).

- Humedad en base seca: se define como la relación existente entre el peso del agua contenida en el producto con respecto a la materia seca.

$$\omega_{db} = \frac{W_w}{W_d} * 100 \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

ω_{db} = Contenido de humedad en base seca, (%)

W_w = Peso del agua contenido en el producto, (Kg)

W_d = Peso del producto seco, (Kg)

- Humedad en base húmeda: Se define como la relación del peso del agua contenida en el producto, respecto al peso total de este.

$$\omega_{wb} = \frac{W_w}{(W_w + W_d)} * 100 \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

ω_{wb} = contenido de humedad en base humedad, (%).

W_w = Peso del agua contenido en el producto, (Kg)

W_d = Peso del producto seco, (Kg)

Liofilizadoras

Rodríguez & López (2016) “Las liofilizadoras consisten, esencialmente, en una cámara de vacío, dotada de unas bandejas donde se coloca el alimento que desea liofilizarse, y en unos calentadores para suministrar el calor de sublimación” (pág. 42). Para la condensación del vapor formado, se emplean serpentines refrigerantes dotados de un sistema automático de descongelación con el objeto de mantenerlos libres de hielo. Las liofilizadoras se caracterizan por el método utilizado para el suministro calórico a la superficie del alimento.

Deshidratación

En la conservación de frutas y verduras por 'disecación' o 'deshidratación', la operación básica consiste en reducir el contenido de humedad hasta un nivel tan bajo, que no permita el desarrollo de microorganismos (Ghosh, 1986). Un alimento es considerado 'seco' cuando su contenido de humedad es de 10 a 12%, mientras que un material deshidratado tiene únicamente de 4 a 6% de humedad.

Durante la deshidratación, se da una reducción de peso, y, frecuentemente, del volumen de material, lo que da lugar a un tipo de alimento concentrado que baja el costo de transporte y el espacio para almacenamiento de manera considerable. El alimento deshidratado extiende el período de consumo de alimentos frescos, mucho más allá de la época en que son producidos y amplía el grupo de consumidores de un producto dado, que, de otra forma, estaría limitado a la región de origen.

Deshidratación y contenido de humedad

Las frutas y verduras maduras contienen entre 80 y 95 % de agua; una proporción mucho mayor que la que se encuentra en otras sustancias que son secadas comercialmente, como químicos, tintes, arcillas e incluso ciertos alimentos, como los granos, cosechados con una humedad entre 20 y 25 % y secados al 12 y 15 % para almacenarlos en forma segura (Ghosh, 1986).

Estado inicial y estado final del contenido de la humedad

Basados en las ecuaciones que permiten cuantificar el contenido de humedad, se tienen las siguientes para los estados de inicio y finalizado tales como:

$$\omega \frac{W_{\omega}}{W_{\omega} + W_{\omega}} = \frac{W_{\omega}}{W_T} \quad \text{Ecuación 6}$$

Se requiere determinar la masa seca del producto a partir del conocimiento del contenido de humedad que se despeja.

$$W_s = W_T(1 - \omega) \quad \text{Ecuación 7}$$

Si se quiere conocer la masa de humedad en el producto, para cualquier contenido de humedad ω , despejando se obtiene:

$$W_{\omega} = \frac{W_s \cdot \omega}{(1-\omega)} \quad \text{Ecuación 8}$$

La velocidad de variación del contenido de humedad del grano puede definirse como:

$$\Delta\omega = \frac{\omega_i - \omega_f}{t} \quad \text{Ecuación 9}$$

El contenido de humedad de las frutas y verduras frescas puede ser comparado con el de la leche que posee un 87 % de agua. La leche en polvo generalmente contiene menos del 5 % de agua. En el estado deshidratado, las frutas y verduras contienen alrededor de 6 a 8 % de agua, aunque un material "seco y suave", como los dátiles, puede contener entre 12 y 14 % de agua. (Ghosh, 1986, pág. 121)

Almacenamiento

El almacenamiento de granos o cosechas está sujeto a muchos riesgos y si no se realiza cuidadosamente, puede haber pérdidas muy altas (Ghosh, 1986). Por lo general, las pérdidas ocurren debido a daños causados por insectos, plagas, roedores o por deterioros por una mala ventilación, sobrecalentamiento, fermentación, enmohecimiento, otros.

Se estima que aproximadamente el 25 % de la cosecha de una granja puede perderse debido únicamente a un mal almacenamiento. El método de almacenamiento en la granja depende del tamaño de la cosecha, del tiempo de almacenamiento, del valor económico de la misma y de los peligros de que ésta se dañe por un almacenamiento incorrecto.

Generación de aire caliente

En los secadores convectivos, el aire caliente es impulsado a través del secador por medio de ventiladores (Galaviz J. V., 2012). Las fuentes de energía utilizadas para calentar el aire son muy variadas, entre ellas el gas natural ofrece mayor flexibilidad y una respuesta más rápida a menor coste, y también permite trabajar

a temperaturas más altas. Sin embargo, los requerimientos de seguridad con muy estrictos o rigurosos. El propano tiene características similares al gas natural, pero es muy caro.

2.3. MARCO CONCEPTUAL

2.3.1. Mermeladas

Oscar Díaz (2003) “se entiende como un producto formulado con base en una fruta y azúcar, de consistencia pastosa pero no dura, obtenido por la cocción y concentración de una o más frutas” (pág. 15). Se prepara con edulcorantes naturales. Algunos aspectos importantes para tener en cuenta para la elaboración de las mermeladas son, emplear fruta de buena calidad, mezclar el azúcar en proporciones y no de una vez, no sobrepasar los grados Brix.

2.3.2. Néctares

Oscar Díaz (2003) el néctar es una bebida preparada con base en frutas, azúcar y agua. “El néctar es entonces un producto formulado, es decir, se prepara bajo una fórmula establecida que puede variar de acuerdo con las preferencias de los procesadores” (pág. 15). Frutos, tallos, hojas, raíces o tubérculos pueden originar un néctar, solamente es deseable que logren ser despulpados con un rendimiento adecuado, un contenido pequeño de fibra y que sean aceptados sensorialmente (por: aroma, sabor, color, otros).

2.3.3. Encurtidos

El encurtido es una forma de transformación de las legumbres, donde básicamente se conservan algunas características organolépticas del producto, acompañada de una solución salina para su preservación (Díaz, 2003). Salsas de fruta: estas son formuladas con base en una gran gama de ingredientes y

todos ellos se mezclan en proporciones que nuevamente dependerán del gusto de los procesadores y su apreciación sobre la demanda de los consumidores. Son obtenidas a partir de pulpas de frutas y se les adiciona agentes edulcorantes, espesantes y conservantes. Se pueden preparar de cualquier fruta, prefiriéndose aquellas que brindan colores, aromas y sabores atractivos, como es el caso de la mora, maracuyá, piña y la fresa.

2.3.4. Desecadoras

Según Rodríguez & López (2016), los equipos de deshidratación convencional pueden ser:

- Directos:
 - Discontinuos: deshidratadores de bandejas o armarios.
 - Continuos: deshidratadores de túnel, de cinta sinfín, rotatorios, de lecho fluidificado, neumáticos y por atomización.
- Indirectos: deshidratadores de rodillos, de superficie caliente, etcétera.

2.3.5. Directos

Rodríguez & López (2016) “Los deshidratadores directos son los que, para calentar el alimento, utilizan aire caliente (casi siempre) o gases de combustión filtrados, gases inertes o vapor recalentado” (pág. 43).

2.3.6. Discontinuos

Estos deshidratadores se cargan, desecan el alimento y, una vez cumplida su función, vuelven a descargarse (Rodríguez & López, 2016). Los más empleados son los deshidratadores de bandejas o de armario, que están constituidos por un armario perfectamente aislado en el que el alimento, en capas de 2 a 6 cm de grosor, se deshidrata sobre bandejas perforadas de malla.

Con el objeto de conseguir que la deshidratación sea homogénea, estas cabinas cuentan con pantallas y conductos para dirigir el aire sobre el producto o, a través de él, a una velocidad de 0,5 a 5 m/s (Rodríguez & López, 2016). Se utilizan tan solo en pequeñas instalaciones. Son baratos de comprar, aunque se controlan con dificultad, por lo que es complicado obtener un producto de características homogéneas. Además, al ser discontinuos, necesitan más mano de obra.

2.3.7. Continuos

Cuando se utilizan estos secadores, no hay que esperar a que terminen su misión para descargarlos, sino que el desplazamiento, la carga y la descarga del alimento se hacen continua y constantemente (Rodríguez & López, 2016). Dentro de los deshidratadores continuos, los más utilizados son:

- Deshidratadores de cinta sinfín: en estos, el alimento, en una capa de 5 a 15 cm de grosor, se seca mientras se desplaza sobre una cinta de malla. Son equipos de considerable capacidad que se emplean para la deshidratación a gran escala de diversos alimentos: frutas, verduras, etcétera.
- Deshidratadores de lecho fluidificado: en estos deshidratadores, el alimento, en capas de hasta 15 cm de grosor, se deshidrata sobre bandejas metálicas de lecho perforado o de malla. la capa de alimento es atravesada por un flujo de aire de abajo arriba, que lo esponja (fluidifica) y lo agita vigorosamente.

Rodríguez & López (2016) “Son equipos que ocupan poco espacio y su aprovechamiento energético y la velocidad de deshidratación son elevados. Solo pueden emplearse en alimentos susceptibles a la fluidificación y suficientemente resistentes para que, durante el tratamiento, no sufran un daño mecánico excesivo” (pág. 44).

Deshidratadores por atomización: en estas instalaciones, el alimento, previamente concentrado, es atomizado en forma de pequeñas gotitas (de 10 a

200 pm de diámetro) en una masa de aire caliente en movimiento (entre 150 y 300°C) en el interior de una cámara de deshidratación de gran volumen (Rodríguez & López, 2016). El polvo deshidratado se recoge en el fondo del deshidratador, desde donde un tornillo sinfín o un sistema neumático lo transportan a un ciclón separador. Este es el sistema por el cual se deshidratan la mayor parte de cafés solubles y leches en polvo que se encuentran, hoy en día, en el mercado.

2.3.8. Indirectos

Son los equipos de deshidratación que, para calentar el alimento, utilizan una superficie caliente que transmite el calor por conducción (Rodríguez & López, 2016). Los más importantes son los deshidratadores de tambor (o de rodillo), los cuales están constituidos por un tambor o rodillo en rotación calentado internamente hasta una temperatura de 120 a 170°C mediante vapor a presión. Sobre su cara externa, se distribuye una capa fina y uniforme del alimento a deshidratar. La deshidratación se produce antes de que el tambor complete el giro (un giro completo tarda entre 20 s y 3 min) y el alimento deshidratado es despegado de la superficie mediante una cuchilla que entra en contacto uniformemente con la superficie del tambor.

2.3.9. Almacenamiento

En cualquier producto que se cultiva para ser transformado el tiempo que transcurre entre la cosecha y el consumo es muy corto, usualmente unas pocas horas (Díaz, 2003). Cuando se producen demoras entre la cosecha y el consumo directo del producto o porque tiene que ser transportado a largas distancias o almacenado por unos días, se deben tener en cuenta los cambios fisiológicos que ocurren en los productos para evitar su daño.

El almacenamiento de productos agropecuarios frescos es esencial para tener la disponibilidad y suministrar a la población. Este almacenamiento siempre es necesario para

abastecer prolongadamente al consumidor. A medida que mejora el poder de compra del consumidor las razones de almacenamiento pueden dejar de ser aquellas tradicionales, para tratar en cambio de satisfacer las necesidades y demandas. Es posible que sus demandas incluyan mejoras en calidad y en disponibilidad, y a medida que la presión aumente se exigirán mejoras en las técnicas de almacenamiento. (Díaz, 2003, pág. 16)

2.3.10. Deshidratación y concentración

C. Ernesto (2007) “El secado, que es la eliminación de agua por exposición de un material al sol, es una práctica de conservación de alimentos muy antigua” (pág. 59). En cambio, la deshidratación es la eliminación del agua bajo condiciones controladas por métodos mecánicos. A la fecha las dos técnicas de eliminación de agua se utilizan para la producción de frutas tanto en piezas enteras como en trozos o segmentos.

2.3.11. Congelación

Biswa Ghosh (1986) la conservación de alimentos por congelación es un adelanto bastante reciente. “De acuerdo con los conocimientos técnicos actuales, hay alimentos que no se pueden conservar en esta forma; otros productos congelados adecuadamente, pueden mantener su calidad casi perfectamente durante un largo período de tiempo” (pág. 118). Las principales desventajas del método de conservación por congelamiento son: el material debe almacenarse hasta su consumo siempre a temperaturas de 0°C o menos, para prevenir daños o deterioros; se necesita transporte especialmente equipado y refrigerado y el costo del producto tiende a ser alto.

2.3.12. Movimientos de Solutos

Galaviz J. V. (2012) “el agua que fluye hacia la superficie durante la desecación contiene diversos productos disueltos. A la migración de sólidos en los alimentos, contribuye también la retracción del producto, que crea presiones en el interior de las piezas” (pág. 18). Se ha demostrado que el movimiento de los solutos,

puede ir del centro a la superficie y viceversa; esto dependerá de las características del producto y de las condiciones de desecación.

2.3.13. Retracción

Durante la desecación de los tejidos animales y vegetales, se produce cierto grado de retracción del producto (Galaviz J. V., 2012). La retracción de los alimentos durante la desecación puede influir en las velocidades del proceso, debido a los cambios en el área de la superficie de la desecación y a la creación de gradientes de presión en el interior del producto.

2.3.14. Endurecimiento Superficial

Se ha observado que, durante la desecación de algunas frutas, carnes y pescados, frecuentemente se forma en la superficie, una película impermeable y dura (Galaviz J. V., 2012). Esto, determina normalmente, una reducción en la velocidad de desecación. Es causado, probablemente, por la migración de sólidos solubles a la superficie y las elevadas temperaturas que se alcanzan en el proceso de desecación.

2.3.15. Irradiación

La irradiación es un tratamiento físico por medio del cual un alimento se expone a radiaciones de distinta frecuencia. En el espectro total de radiaciones se distinguen dos clases: las de baja frecuencia y las de alta frecuencia (C. Ernesto, 2007). La radiación de baja frecuencia, de gran longitud de onda y de escasa energía, se extiende desde las ondas de la radio hasta el espectro infrarrojo.

Por el contrario, las radiaciones de alta frecuencia y de longitud de onda más corta, poseen una gran cantidad de energía, lo que genera una excitación o destrucción de compuestos orgánicos, incluyendo a los de los microorganismos,

sin calentar el alimento (C. Ernesto, 2007). Por ello, el uso de radiaciones para la destrucción de microorganismos sugiere el término de esterilización en frío.

2.4. MARCO LEGAL

2.4.1. NTE INEN 2996, Productos deshidratados, zanahoria, zapallo, uvilla.

Requisitos

Esta norma establece los requisitos que debe cumplir la zanahoria el zapallo y la uvilla que han sido deshidratadas artificialmente (incluidas las desecadas por liofilización), bien sea a partir de productos frescos o bien en combinación con la desecación al sol, y comprende los productos a los que suele aludirse con la expresión "alimentos deshidratados" (NTE INEN 2996, 2015).

2.4.1.1 Aplicación

“Esta norma se aplica a productos deshidratados como la zanahoria, zapallo, uvilla” (NTE INEN 2996, 2015, pág. 2).

2.4.1.2 Definiciones

Para los efectos de esta norma se adoptan las siguientes definiciones: Deshidratación (NTE INEN 2996, 2015). Se entiende por la eliminación de la humedad por medios artificiales y, en algunos casos, en combinación con el secado al sol.

2.4.1.3 Requisitos

- Las hortalizas pueden presentarse en forma de rodajas, cubitos, dados, granuladas o en cualquier otro tipo de división, o dejarse enteras antes de su deshidratación.
- La zanahoria el zapallo y la uvilla deshidratadas deben cumplir con los requisitos estipulados en CPE INEN CODEX CAC/RCP-5:2014.

- Las zanahorias zapallas y uvillas deshidratadas deben tener un olor y color característico de la variedad. Deben estar libres de olores extraños y trazas de olores procedentes de zanahorias, zapallos o uvillas fermentadas.
- En los alimentos regulados por la presente Norma podrán emplearse antioxidantes y conservantes de conformidad NTE INEN-CODEX 192
- Los productos a los que se aplican las disposiciones de la presente norma deberán cumplir con los niveles máximos contaminante y plaguicidas de la NTE INEN CODEX CAC/MRL 1
- Se Los productos deshidratados concernientes a esta norma deben estar libres de insectos vivos, ácaros, otros parásitos y mohos; deben estar prácticamente libres de insectos muertos, fragmentos de insectos y contaminación de roedores.
- La cantidad de materias extrañas, tales como tierra, restos de piel, tallos, hojas, restos de semilla y otras materias extrañas, que se adhieran o no a la fruta u hortaliza, no será superior a 1% en base a 100g de producto.
- Requisitos microbiológicos, el producto debe estar exento de microorganismos capaces de desarrollarse en condiciones normales de almacenamiento. No debe contener ninguna sustancia tóxica originada por microorganismos. (NTE INEN 2996, 2015, pág. 7)

2.4.2. Resolución número 003929 de 2013

Por la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir las frutas y las bebidas con adición de jugo (zumo) o pulpa de fruta o concentrados de fruta, clarificados o no, o la mezcla de éstos que se procesen, empaquen, transporten, importen y comercialicen en el territorio nacional (Resolución número 003929, 2013).

La presente resolución tiene como objeto establecer el reglamento técnico, mediante el cual se señalan los requisitos sanitarios que deben cumplir las frutas y las bebidas con adición de jugo (zumo) o pulpa de fruta o concentrados de fruta, clarificados o no o la mezcla de éstos que se procesen, empaquen, transporten, importen y comercialicen en el territorio nacional, con el fin de proteger la salud humana y prevenir posibles daños a la misma, así como las prácticas que puedan inducir a error a los consumidores (Resolución número 003929, 2013).

2.4.2.1 Aplicación

Las disposiciones contenidas en el reglamento técnico que se establece mediante la presente resolución se aplican a:

- Las frutas procesadas, así como a las bebidas con adición de jugo (zumo) o pulpa de fruta o concentrados de fruta, clarificados o no, o la mezcla de estos productos, todos destinados para el consumo humano.
- Los establecimientos donde se fabriquen, procesen, empaquen, transporten, importen y comercialicen frutas y los productos que se procesen a partir de éstas, destinados al consumo humano en el territorio nacional, así como a las bebidas con adición de jugo (zumo) o pulpa de fruta o concentrados de fruta, clarificados o no o la mezcla de éstos.
- Las actividades de inspección, vigilancia y control que ejerzan las autoridades sanitarias en los establecimientos donde se fabriquen, procesen, empaquen, transporten, importen y comercialicen frutas y los productos que se procesen a partir de éstas, así como a las bebidas con adición de jugo (zumo) o pulpa de fruta o concentrados de fruta, clarificados o no o la mezcla de éstos, destinados para el consumo humano en el territorio nacional (Resolución número 003929, 2013, pág. 5).

2.4.2.2 Resolución número 7992 de 1991,

Por la cual se reglamenta parcialmente el Título V de la Ley 09 de 1979, en lo relacionado con la elaboración, conservación y comercialización de Jugos. Concentrados, Néctares, Pulpas, Pulpas Azucaradas y Refrescos de Frutas.

2.4.2.2.1 Aplicación

Resolución número 7992 (1991) Los jugos concentrados, néctares, pulpas, pulpas azucaradas y refrescos de frutas que se produzcan, Importen, Exporten, Transporten, envasen y comercialicen en el territorio nacional “deberán cumplir con las reglamentaciones de la presente resolución y las disposiciones complementarias que en desarrollo de la misma o con fundamento en la Ley dicte el ministerio de Salud” (pág. 1).

2.4.2.2.2 Definiciones

Para los efectos de la presente resolución adóptense las siguientes definiciones:

- Concentración de frutas: Es el producto elaborado mediante la extracción parcial del agua de constitución al jugo o a la pulpa de frutas.
- Jugo de frutas: Es el líquido obtenido al exprimir algunas clases de frutas frescas, maduras y limpias, sin diluir, concentrar o fermentar. También se considera Jugos los productos obtenidos a partir de Jugos concentrados, clarificados, congelados o deshidratados a los cuales se les ha agregado solamente agua, en cantidad tal que restituya la eliminada en su proceso.

- Néctar de frutas: Producto elaborado con Jugo, pulpa o concentrado de frutas adicionado de agua, aditivos e ingredientes permitidos en la presente resolución.
- Pulpa azucarada de frutas: Es el producto elaborado con pulpas o concentrados de frutas con un contenido mínimo de 60% de fruta y adicionado de azúcar.
- Pulpa de frutas: Es el producto pastoso, no diluido, ni concentrado, ni fermentado, obtenido por la desintegración y tamizado de la fracción comestible de frutas frescas, sanas, maduras y limpias.
- Refresco de frutas: Es el producto elaborado con jugos o pulpas de frutas frescas o con concentrados de frutas reconstituidos, adicionado con agua, saborizantes y colorantes permitidos en la presente resolución (Resolución número 7992, 1991, pág. 12).

Los Jugos y pulpas de frutas deben elaborarse en condiciones sanitarias aprobadas, con frutas frescas sanas y limpias (Resolución número 7992, 1991). Los Jugos pueden prepararse con concentrados de frutas siempre que reúnan las condiciones antes mencionadas. Para su conservación los Jugos y pulpas de frutas pueden ser sometidos a tratamiento físico.

2.4.3. Resolución número 4506 de 2013, Por la cual se establecen los niveles máximos de contaminantes en los alimentos destinados al consumo humano y se dictan otras disposiciones.

2.4.3.1 Objeto

La presente resolución tiene por objeto establecer los niveles máximos de contaminantes en los alimentos destinados al consumo humano, con el fin de proteger la salud humana (Resolución número 4506, 2013).

2.4.3.2 Aplicación

Las disposiciones contenidas en la presente resolución, se aplican en todo el territorio nacional a los alimentos y materias primas para alimentos destinados al consumo humano (Resolución número 4506, 2013).

3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

Se lleva a cabo la realización de un proyecto el cual abarca en primera medida el análisis de los procesos de transferencia de calor implicados en un equipo de secado de tomate, el cual es diseñado y construido a escala de laboratorio, empleando energía solar en Barrancabermeja, Santander.

Los parámetros iniciales de la estructura de secado cumplen con ciertos planteamientos, como secado por desplazamiento de flujo de aire, un sistema de impulsión de aire, fácil manejo, sistema funcional en comparación con modelos previos de secador existentes, variador de velocidad y dispositivo LED para la visualización de las variables registradas, mediante el enlace de la celda de peso con el software Arduino. El equipo comprende la determinación de los requerimientos globales de energía para secar un producto y a la cantidad de aire que hay que mover a través del producto para garantizar el secado dentro de los parámetros de diseño.

El proceso de diseño está basado en los requerimientos mínimos que se desean imponer al secador. Este equipo cuenta con una facilidad de traslado, por su bajo peso además de su tamaño. Su diseño desde un inicio fue planteado para que en cualquier falla de algunos de los sistemas que lo componen permita una inspección local, sin que involucre otras partes, es decir cada elemento es independiente en situaciones de mantenimiento.

El diseño busca satisfacer una necesidad básica, que para el caso es la extracción de humedad del tomate y desde un contenido de humedad conocido que puede ser verificado experimentalmente, hasta los niveles recomendados de almacenamiento.

3.1. ANALIZAR LAS VARIABLES AMBIENTALES, FISICOQUÍMICAS, OPERACIONALES Y PROPIEDADES TÉRMICAS QUE INTERVIENEN EN EL DISEÑO DEL MÓDULO DE DESHIDRATACIÓN DE TOMATE.

3.1.1. Principio de secado

El secado describe el proceso térmico para remover humedad con el fin de obtener un producto sólido (Palacios, 2009). La humedad se presenta en forma de solución líquida dentro del sólido o atrapada en su micro estructura la cual, ejerce una presión de vapor menor que el líquido puro, esta es llamada humedad intrínseca. La humedad en exceso es llamada humedad extrínseca.

Según Morales, Merino, Pérez & Almaguer (2014), cuando la superficie sólida que se encuentra húmeda es sometida a un tratamiento de secado, ocurren dos procesos simultáneamente:

1. Transferencia de energía (sobre todo como calor sensible) desde el ambiente circundante para evaporar la humedad superficial.
2. Transferencia de humedad interna hacia la superficie para la evaporación subsiguiente debido al proceso.

La transferencia de energía calórica desde el ambiente circundante hacia el sólido mojado puede ocurrir como resultado de la convección, conducción o radiación y en algunos casos puede darse como la combinación de estos mecanismos. Los secadores industriales difieren en el tipo y diseño, dependiendo sobre todo del principal método de transferencia de calor empleado.

La velocidad (rata de secado) depende de las características particulares de los siguientes dos procesos:

Proceso 1. La remoción de vapor de agua desde la superficie húmeda está determinada sobre todo por las condiciones externas, como temperatura, humedad, flujo del aire y el área de exposición superficial.

Proceso 2. El movimiento interno de la humedad dentro del sólido el cual es función de la naturaleza física del mismo, la temperatura, y su contenido de humedad.

La deshidratación es una operación compleja donde participan la transferencia transitoria de calor y masa, junto con varios tipos de procesos, transformaciones químicas y físicas, que a su vez pueden producir un cambio en la calidad del producto. Entre los cambios físicos que pueden ocurrir incluyen el encogimiento, soplamiento, cristalización, etc. En algunos casos pueden ocurrir reacciones bioquímicas, como cambios en el color, textura, olor u otras propiedades del producto sólido.

Dominguez (2009) señala que el transporte de humedad dentro de un sólido puede ocurrir por cualquiera de los siguientes mecanismos de transferencia de masa:

- Difusión líquida que, en los sólidos húmedos, ocurre a una temperatura por debajo del punto de ebullición.
- Difusión de vapor si el líquido se vaporiza dentro del material.
- Difusión superficial
- Diferencias de presión hidrostática, cuando las tasas de vaporización internas exceden la tasa de movimiento de vapor por el sólido al entorno.

El cálculo de procesos de secado requiere de la identificación de parámetros como las características del material, convección, conductividad, etc. El secado se puede definir como el método universal para adecuar el tomate mediante la eliminación del agua hasta un nivel que prevenga el crecimiento de hongos y bacterias, de manera que se conserve el aspecto y la calidad nutritiva como

alimento. El nivel seguro de humedad para el almacenamiento se encuentra entre el 10 y el 13%, dadas las condiciones medias de temperatura y humedad relativa en el trópico.

Los parámetros que influyen en la tasa de secado, cuando se secan con aire forzado, son: la temperatura y la humedad relativa ambiente, la temperatura y el flujo de aire de secado, el contenido de humedad inicial, la temperatura y, dado el caso, la velocidad dentro del secador.

3.1.2. Mecanismo del secado

Cuando el aire caliente entra en contacto con el tomate, su superficie se calienta y el calor transmitido se utiliza como calor latente de evaporación con lo que el agua que contiene pasa a estado de vapor.

El vapor de agua, que atraviesa por difusión la capa de aire en contacto con el alimento, es arrastrado por el aire en movimiento, generándose sobre aquel una zona de baja presión y creándose entre el aire y el alimento un gradiente de presión de vapor, este gradiente proporciona la fuerza impulsora que permite eliminar el agua.

3.1.3. Proceso de secado de tomate

Durante el proceso de secado el tomate cede la mayor parte de la humedad al aire caliente que es forzado a pasar. En el secado, clásicamente se distinguen dos periodos de secado citados anteriormente: el inicial, donde la resistencia a la pérdida de humedad se da en la superficie y el final, cuando la resistencia se ofrece dentro del tomate, esto se logra cuando la humedad interna alcanza la superficie, llamando a este fenómeno de difusión (Galaviz J. V., 2012).

En la primera fase el coeficiente de transferencia de masa por convección determina las tasas de secado; en la segunda fase, que es la más prolongada,

el coeficiente de difusión de humedad, o la resistencia al paso del agua en el interior del tomate es la determinante.

La ley de conservación de masa establece que la masa que entra en un proceso es igual a la masa que sale del mismo.

$$\boxed{\text{Masa de la materia prima a la entrada}} = \boxed{\text{Masa de los productos y desechos}} + \boxed{\text{Masa de los productos almacenados}} + \boxed{\text{Pérdidas}}$$

De forma semejante, el balance de energía establece que la cantidad de calor y energía mecánica que ingresa en el proceso es igual a la energía que sale del mismo con los productos y los desperdicios + la energía almacenada + las pérdidas al entorno.

3.1.3.1 Etapas de secado.

Pueden distinguirse tres etapas principales durante el proceso de secado de tomate

Periodo inicial.

De calentamiento, se cumple entre los puntos 1 y 2, en ella la velocidad de evaporación aumenta según que se va calentando.

Periodo de secado 1.

De velocidad constante, se lleva a cabo entre los puntos 2 y 3; el secamiento tiene lugar en la superficie del producto, la cual se mantiene húmeda en su totalidad; la velocidad de secado en esta etapa es independiente de las características internas del tomate y es controlada fundamentalmente por las características del aire desecante. La velocidad está determinada por la rata de

difusión del calor de agua a través de la película de aire estancado que envuelve el tomate hasta la corriente de aire principal.

Periodo de secado 2.

Se lleva a cabo entre los puntos 3 y 4; donde la superficie deja de permanecer completamente húmeda, se denomina en ocasiones punto crítico e indica el inicio de la tercera etapa, de velocidad de secado decreciente, etapa que a su vez puede dividirse en partes húmedas y otra en la cual se encuentra completamente seca.

Para el análisis del proceso de secado partimos de conocer que existen condiciones internas y externas involucradas a lo largo de la deshidratación y su comportamiento ingiere de una manera más crítica en una etapa de secado que en otra.

Estudio de las condiciones que intervienen en el proceso de secado

El secado de un producto, por lo general se hace pasar una corriente de aire a presión atmosférica, es la técnica más comúnmente usada debido a no requiere el uso de equipo altamente especializado como ocurre con otra clase de secadores (Morales, Merino, Pérez, & Almaguer, 2014). Es así como el secado lo podemos definir como una operación unitaria en la que el agua que contiene un sólido o una disolución se transfiere a una masa de aire gracias a los gradientes de humedad producidos en ambas fases gaseosas y sólida.

3.1.4. Condiciones para el secado de tomate.

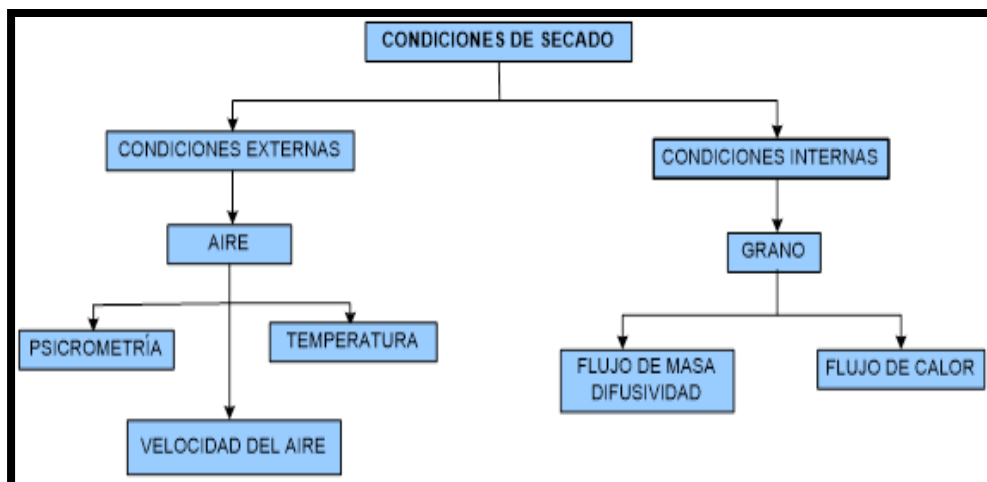
Claramente ningún procedimiento de diseño puede aplicarse directamente, sin antes estudiar los fundamentos de transferencia de calor, de masa, las propiedades de materiales y los cambios físicos que ocurren a lo largo del

proceso todos estos factores intervienen en el diseño aún en el secador más simple.

Entre las condiciones externas que se estudian en el secado están la temperatura, humedad, el flujo de aire, y es importante su control y estudio sobre todo en las primeras etapas cuando la humedad superficial es removida, ya que puede generar ciertas alteraciones; por ejemplo, un encogimiento considerable si existe una extracción excesiva de humedad en la superficie generando altos gradientes de humedad en el interior causando una sobresequedad y una alta tensión dentro del tomate.

Después de mencionar las condiciones externas se centra el estudio en las condiciones internas, de cómo la transferencia de calor desarrolla un gradiente de temperatura dentro del cuerpo mientras la evaporación de la humedad ocurre en la superficie generando una migración de humedad desde el centro de sólido a la superficie que ocurre gracias a uno o varios mecanismos, difusión, flujo capilar, y a su genera presiones internas cuando se reduce el contenido de humedad es por esto la importancia en esta parte del estudio de determinar la influencia de cada uno de los factores que determinan la velocidad de secado.

Figura 1. Condiciones de secado



Fuente: Autor

3.1.4.1 Condiciones externas.

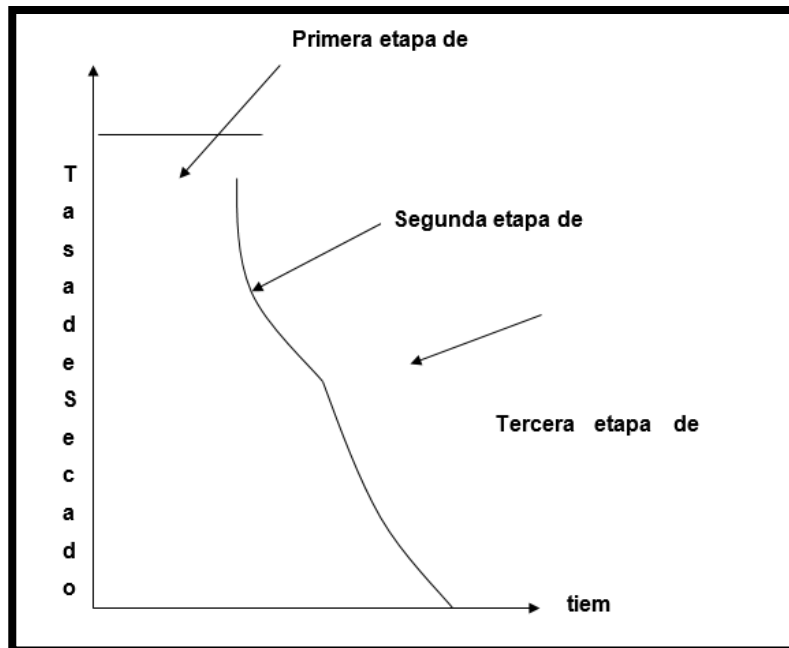
Aquí las variables externas son la temperatura, la humedad, la dirección de flujo de aire, la forma física del tomate, la ubicación del sólido durante la operación de secado. Las condiciones externas de secado son importantes durante las etapas iniciales, cuando la humedad superficial es removida. La evaporación superficial es aquí controlada por la difusión de vapor desde la superficie del sólido a la atmósfera circundante por medio de una película delgada (fina) de aire que está en contacto con la superficie.

Los productos que contienen un mayor contenido de agua se comportan de manera diferente. Durante la primera etapa de secado la tasa se mantiene constante. La vaporización ocurre desde la superficie húmeda, un encogimiento podría ocurrir debido a que la superficie es retrocedida hacia la superficie sólida.

Esta etapa de secado es controlada mediante la difusión de vapor, hacia el final de este período la humedad es entonces transportada del interior del sólido a la superficie por fuerzas capilares y la tasa de secado todavía puede ser constante. Cuando el contenido de humedad medio ha alcanzado el contenido de humedad crítico, se reduce la capa filmica superficial y es aquí donde la tasa de secado cae, es la etapa de secado decreciente, esta continua hasta que la superficie líquida es evaporada totalmente.

La transmisión de calor ahora consiste en la transferencia de calor a la superficie y la conducción de calor dentro del tomate. Debido a que la conductividad de calor en las zonas secas externas es muy pequeña, la tasa de secado es cada vez más baja y es a su vez más influenciada por la conducción de calor; sin embargo, el producto seco tiene una relativamente alta densidad y un pequeño volumen. El secado es determinado no tanto por la conducción de calor, sino más bien por una alta resistencia a la difusión dentro del producto.

Figura 2. Curva típica de secado



Fuente: Autor

3.1.4.1.1 Aire.

En el secado y almacenamiento, uno de los conceptos más importantes es el contenido de humedad de equilibrio. El intercambio recíproco de humedad entre materiales como el tomate, y el aire que los rodea; la condición de intercambio recíproco de humedad indica el equilibrio que hay entre el aire y el producto. Se establece dicho equilibrio cuando la presión de vapor que corresponde a la humedad del producto es igual a la presión de vapor de la humedad presente en el aire, en condiciones fijas de temperatura. Por tanto, en los estudios de higroscopia, las propiedades termodinámicas del aire húmedo son de fundamental importancia.

Cuando se entrega energía al aire, la temperatura aumenta, pero la razón de humedad permanece constante, pues no hay aumento ni disminución en la cantidad de masa de la mezcla (aire seco y vapor de agua).

3.1.4.1.2 Velocidad del aire.

Las velocidades de aire son importantes sólo en la medida en que aumenten las tasas de transferencia de calor. Otros factores representativos en lo concerniente a los cambios en las etapas de secado son la temperatura del aire, la humedad, etc.

El aire caliente o seco recoge más humedad que el aire frío, pero el aire en movimiento, es decir, el aire a alta velocidad, además de recoger humedad, la barre de la superficie del tomate, previniendo la creación de una atmósfera saturada que disminuiría la velocidad de la eliminación subsiguiente de humedad. Además, caudales mayores que los recomendados, forzarán al aire a salir antes que tenga tiempo de recoger suficiente humedad, lo que significa un desperdicio de energía

Entre las influencias del aire exterior podríamos mencionar que el rendimiento mejora cuanto mayor sea la diferencia entre la temperatura del tomate y la del aire. Esencialmente el ventilador impulsa el aire a través de la cámara de desplazamiento y/o de secado, la variación de la velocidad de este es una de las principales pautas de estudio del proyecto, podemos obtener varios rangos de velocidades.

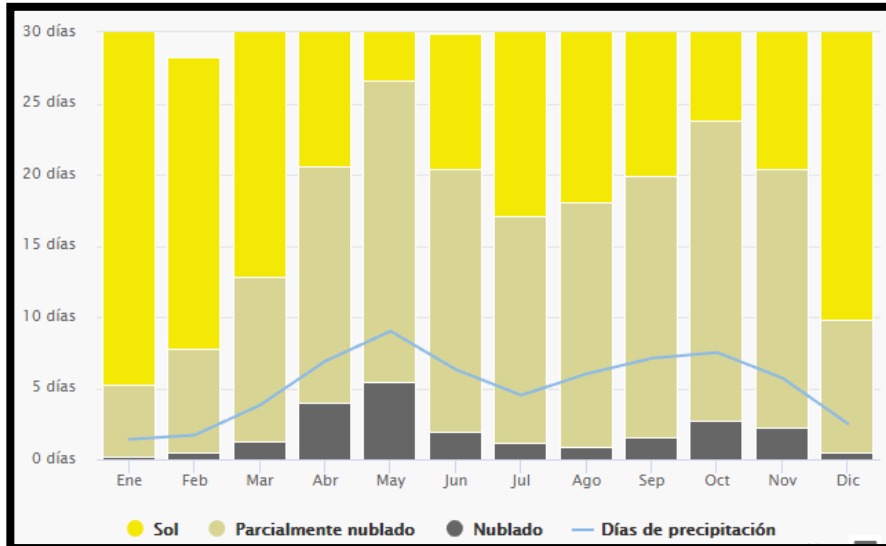
3.1.4.2 Temperatura Barrancabermeja, Santander.

La temperatura afecta directamente la tasa de secado. Cuanto mayor sea la temperatura, mayor será la tasa de evaporación y la irregularidad del contenido final de humedad, si el producto no se revuelve.

Normalmente la Ciudad de Barrancabermeja maneja unos rangos promedios de humedad relativa del 80%, una presión barométrica aproximadamente de 676 mm de hg, 0.896 bar y una temperatura ambiente promedio de 35°C (IDEAM,

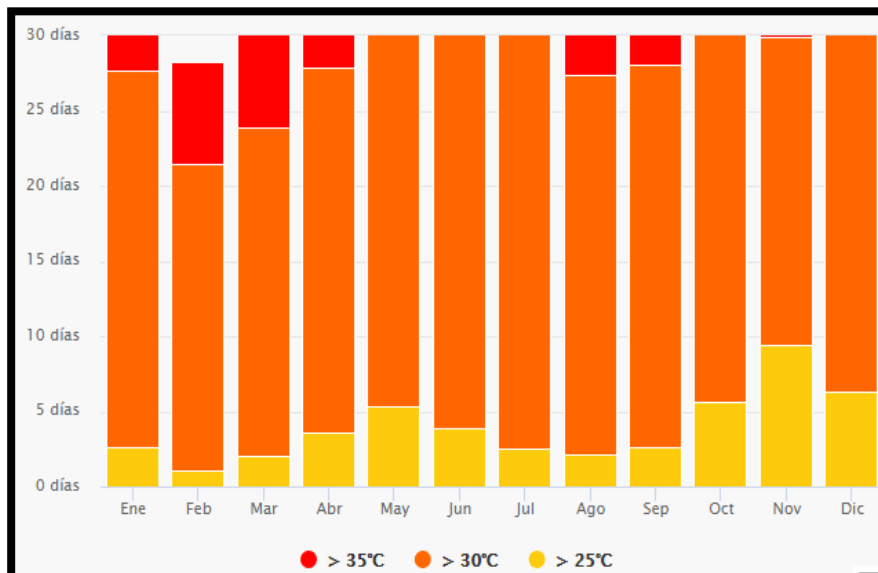
2018). Estas condiciones básicas se tienen en cuenta para el cálculo termodinámico, y serán las pautas para el nuestro.

Figura 3. Cielo nublado, sol y días de precipitación



Fuente: METEOBLUE. Clima Barrancabermeja Santander. [sitio web]. Colombia: sd. [Consulta: 25 junio 2018]. Disponible en: <https://www.meteoblue.com>.

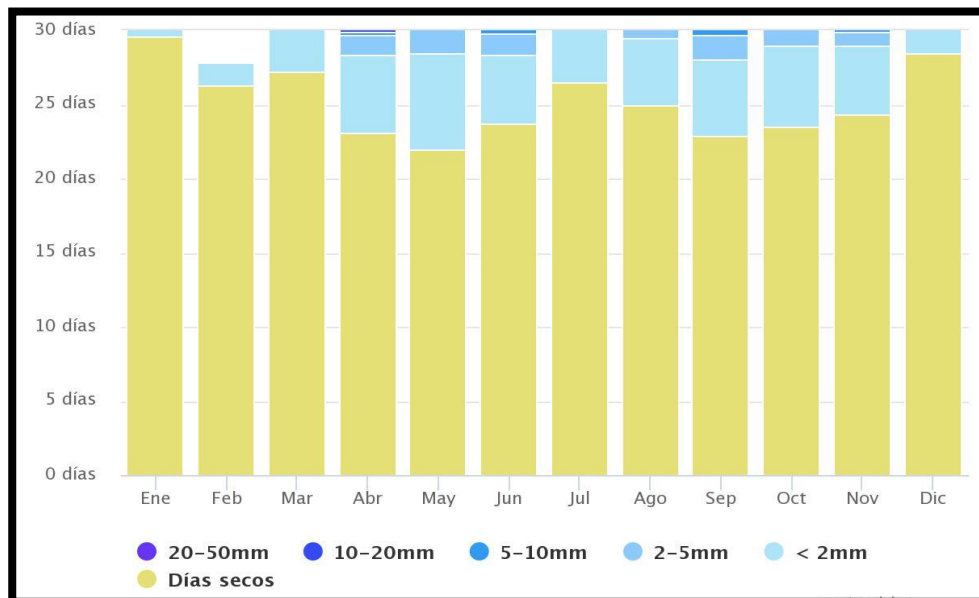
Figura 4. Temperaturas máximas



Fuente: METEOBLUE. Clima Barrancabermeja Santander. [sitio web]. Colombia: sd. [Consulta: 25 junio 2018]. Disponible en: <https://www.meteoblue.com>.

La Temperatura en el sector registra promedios de hasta 40 grados centígrados con una sensación termina de 42 ° C. El instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales de Colombia junto a instituciones como el METEOBLUE señalan que anualmente el promedio de temperatura se mantiene de 2 a 3 °C mayor al anterior. La Figura 3 refleja un comportamiento máximo en el mes de diciembre con un alcance de 35,4 ° C. Enero con un alce de 36.2 ° C y finalmente el mes de mayor intensidad llego hasta los 38° C. Posteriormente, la Figura 3, representa las variaciones de precipitación, luz solar y cielo nublado.

Figura 5. Cantidad de precipitación



Fuente: METEOBLUE. Clima Barrancabermeja Santander. [sitio web]. Colombia: sd. [Consulta: 25 junio 2018]. Disponible en: <https://www.meteoblue.com>.

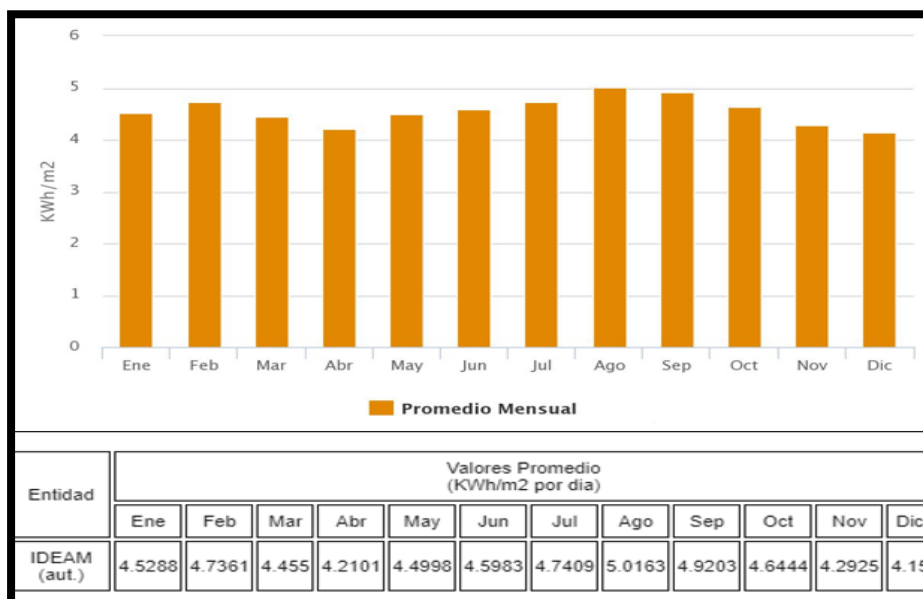
El volumen se mide en milímetros, que a su vez equivale a litros de agua por metro cuadrado. La precipitación en el municipio es de 2782 milímetros lo cual representa un 38% entre abril y junio, lo que simboliza un total de las lluvias anuales. De marzo a noviembre las variaciones oscilan entre los 13 y 21 días de lluvia. En la Figura 4 se logra percibir que los meses con menor número de días lluviosos se comprenden entre diciembre y febrero donde se evidencia un aproximado de 6 a 9 días. Del mismo modo, se caracteriza en el sector de Barrancabermeja el mes de enero como el periodo más seco.

A medida que el agua es expulsada del tomate en forma de vapor de agua, tiene que ser removida, ya que, de otra manera, la humedad crearía en la superficie del producto una atmósfera saturada, que disminuiría la velocidad de eliminación del agua. Cuanto más caliente y seco esté el aire más humedad podrá absorber antes de saturarse; de esta manera el aire caliente y seco que se encuentre en la proximidad en proceso de secado, recogerá la humedad expulsada de éste con más facilidad que el aire más frío.

Es evidente también que un mayor volumen de aire puede recoger más humedad que un menor volumen de aire. La temperatura del aire está además asociada con la humedad relativa, flujo del aire, humedad del tomate y el tiempo de secamiento. A una temperatura constante el contenido en agua cambia continuamente hasta que alcanza un equilibrio con la presión de vapor con en el aire circundante. En estas condiciones durante su almacenamiento, el alimento no gana ni pierde peso.

3.1.4.3 Radiación solar Barrancabermeja, Santander

Figura 6. Radiación solar promedio mensual kWh/ m² por día



Fuente: IDEAM. Cartas climatológicas, medias mensuales aeropuerto yariguies Temperatura y otros valores. Estaciones del Atlas de Radiación Solar en Colombia Barrancabermeja, 2014.

El instituto de Hidrología, meteorología y estudios ambientales (IDEAM) establecen en la Figura 1 una relación del promedio de valor mínimo de radiación solar, caracterizando el mes de diciembre con 4.15 kWh/ m²; y máximo en agosto con 5.0163 kWh/ m² por día, emitida en el municipio de Barrancabermeja.

3.1.4.4 Condiciones internas.

Como se ha mencionado antes, en el período de velocidad constante la variación de secado es determinada por la tasa de evaporación. Cuando la superficie externa del sólido pierde su humedad, el movimiento de vapor de agua desde el centro el sólido a la superficie está controlado por la difusión y la capilaridad.

Para explicar la disminución de tamaño (encogimiento), es debido a gradientes de presión que se crean dentro del tomate y puede asumir gran importancia. El gradiente de temperaturas en el sólido también creará un gradiente de presión de vapor, que a su turno causará la difusión de vapor de humedad a la superficie; esto ocurrirá simultáneamente con el movimiento de humedad.

Además, el contenido de humedad en una solución dentro de un sólido ejerce una presión de vapor significativa que depende de la naturaleza de el y la temperatura, un cuerpo húmedo sometido a un suministro continuo de gas fresco sigue perdiendo humedad hasta que la presión de vapor de esta en el sólido sea igual a la presión parcial del vapor del gas.

3.1.5. Requerimientos básicos para el proceso de secado.

El diseño busca satisfacer una necesidad básica, que para el caso es la deshidratación de tomate, hasta los niveles recomendados de almacenamiento mediante un prototipo a escala de laboratorio de secado.

Tabla 1. Propiedades del tomate

Especie	Temperatura de almacenamiento (°C)	Humedad relativa (%)	Tiempo de almacenamiento (días)
Tomate verde	18 - 22	90-95	14-21
Tomate rojo	13-15	90-95	7-10

Fuente: JURADO, Daiana. Elaboración de tomate deshidratado. Sd: Universidad autónoma, 2016

3.1.6. Diseño termodinámico

Comprende a la determinación de los requerimientos globales de energía para secar el tomate y a la cantidad de aire (\dot{m}_a) que hay que mover a través del producto para garantizar el secado dentro de los parámetros de diseño. El proceso de diseño termodinámico está basado en los requerimientos mínimos que se desean imponer al secador.

Potencial del Secado de aire. El movimiento del aire a lo largo de la prueba de secado sufre diferentes cambios Entendiendo que el potencial de secado es el delta de humedad específica que hay entre los puntos 2 y lo precisamos como: $\Delta\omega$.

En el proceso de aire pasa a través del colector donde gana energía al paso por la superficie caliente y eleva su temperatura, el continúa dependiendo del sentido y velocidad de impulsión fijado durante la prueba.

Cálculo del flujo mínimo de aire requerido.

Para calcular el flujo de aire requerido primero tenemos que definir que es la humedad de un producto tanto en base seca como en húmeda.

- Humedad en base seca: se define como la relación existente entre el peso del agua contenida en el producto con respecto a la materia seca.

$$\omega_{db} = \frac{W_w}{W_d} * 100 \text{ Ecuación 10}$$

Donde:

ω_{db} = Contenido de humedad en base seca, (%).

W_w = Peso del agua contenido en el producto, (Kg.).

W_d = Peso del producto seco, (Kg.)

- Humedad en base húmeda: Se define como la relación del peso del agua contenida en el producto, respecto al peso total de este.

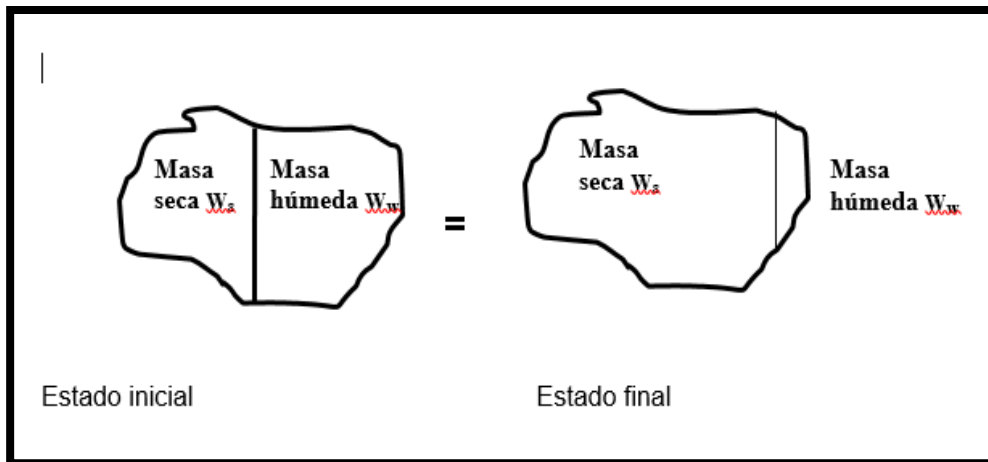
$$\omega_{wb} = \frac{W_w}{(W_w + W_d)} * 100 \text{ Ecuación 11}$$

Donde:

ω_{wb} = contenido de humedad en base humedad, (%).

Teniendo claro las condiciones de donde empezamos y a las que queremos llegar figura 7, se calcula el flujo de aire requerido, el cual contribuirá para el diseño del deshidratador

Figura 7. Condiciones iniciales y finales del tomate



Fuente: Autor

Las ecuaciones que permiten cuantificar el contenido de humedad:

$$\omega = \frac{W_w}{W_w + W_s} = \frac{W_w}{W_T} \quad \text{Ecuación 12}$$

Se requiere determinar la masa seca del producto a partir del conocimiento del contenido de humedad que se despeja.

$$W_s = W_T(1 - \omega) \quad \text{Ecuación 13}$$

Si se quiere conocer la masa de humedad en el producto, para cualquier contenido de humedad ω , despejando se obtiene:

$$W_w = \frac{W_s \cdot \omega}{(1 - \omega)} \quad \text{Ecuación 14}$$

La velocidad de variación del contenido de humedad del tomate puede definirse como:

$$\Delta\omega = \frac{\omega_i - \omega_f}{t} \text{ Ecuación 15}$$

Proceso de Cálculo del flujo de masa para una muestra de 0.016 kilogramos de tomate desde una humedad inicial del 80% hasta una humedad final del 30%.

3.1.7. Calculo para conocer el área del colector solar

Tabla 2. Parámetros calculo área del colector solar

Eficiencia del colector propuesto (η)	Según el método de Suleyman, para este tipo de procesos es adecuado un colector con una eficiencia de 0,6 a 0.7
Calor específico del aire (CP):	1012 J/Kg°C.
Masa específica del aire (P):	1,03 kg/m ³
Velocidad del aire (Va):	3m/s

Fuente: GIRALDO, Ines. Deshidratación de tomate.

Flujo Volumétrico (q).

$$q = va * Ad$$

$$q = 3 \frac{m}{s} * \frac{(\pi * 0.07)^2}{4}$$

$$q = 8.48 \times 10^{-3} m^3/s$$

Cálculo del área del colector a partir de las variables concluidas anteriormente.

A continuación se determina la potencia requerida por el colector para calentar el aire particular de la zona (Q_1).

$$Q_1 = P * q * Cp * \Delta T$$

Que a su vez se traduce en:

$$Q_1 = P * (Va * Ad) * Cp * \Delta T$$

$$Q_1 = 1,3kg/m^3 * (8.48 \times 10^{-3}m^3/s) * 1012J/Kg^{\circ}C * 13^{\circ}C.$$

$$Q_1 = 143 W$$

3.1.8. Área del colector

$$Q_2 = \frac{Q_1}{\eta}$$

Para la determinación del área que debe tener el colector se divide la potencia que entrega el colector entre la irradiación promedio presente en el lugar:

Q= Potencia real

$\eta = \text{Eficiencia}$

$$Q_2 = \frac{143}{0,7} W$$

$$Q_2 = 204.28 W$$

$$\text{Area de colector} = \frac{Q_2}{\text{Irradiación}} = \frac{204.28 W}{1000 W/m^2}$$

$$\text{Area de colector} = 0.204 m^2$$

Una vez obtenida el área que deberá tener el colector se escogen los límites que tendrá en sus dimensiones para el cumplimiento del área calculada. Para ilustrar dichas dimensiones,

Tabla 3. Proceso de Cálculo del flujo de masa

Nº	Parámetro	Símbolo	cantidad
1	Peso total de la muestra	W_i (Kg)	0.016 kilogramos
2	Humedad inicial	ω_i	0.80
3	Humedad final	ω_f	0.30
4	Tiempo de secado	Δt	5 horas
5	Cantidad humedad retirar	ω_r %	$\omega_T - \omega_i = \omega_r$ $\omega_r = 0.50$
6	Peso de la humedad inicial	W_{ω_i} (Kgs)	$W_{wi} = W - W_s$ $W_{wi} = 0.016 - 0.0032$ $W_{wi} = 0.0128$
7	Peso de la masa seca	W_s (Kg)	$W = W_i * (1 - W_i)$ $W = 0.0032$
8	Densidad del aire a T(K)	Kg/m ³	$\rho = 1106 \frac{Kg}{Kg^3}$
9	Masa del aire requerido.	\dot{m} Kg / seg	$\dot{m} = 5.269 * 10^{-3} \frac{Kg}{s}$
10	Caudal requerido Q C_{fm}	$C_{fm} = \frac{pie^3}{min}$	$\dot{m} = \rho * Q$ $\dot{Q} = 10.09 cfm$

Fuente: Autor

3.2. MODELAR EL EQUIPO DE DESHIDRATACIÓN CON BASE A LAS VARIABLES DE RADIACIÓN SOLAR Y PROPIEDADES TÉRMICAS, DETERMINANDO EXPERIMENTALMENTE CONTENIDO DE HUMEDAD, VELOCIDAD Y TIEMPO CRÍTICO.

El diseño es la organización de materiales y procesos de la forma más productiva, en un sentido económico, con un equilibrado balance de todos los elementos necesarios para cumplir una función. El proceso de diseñar, suele implicar las siguientes fases:

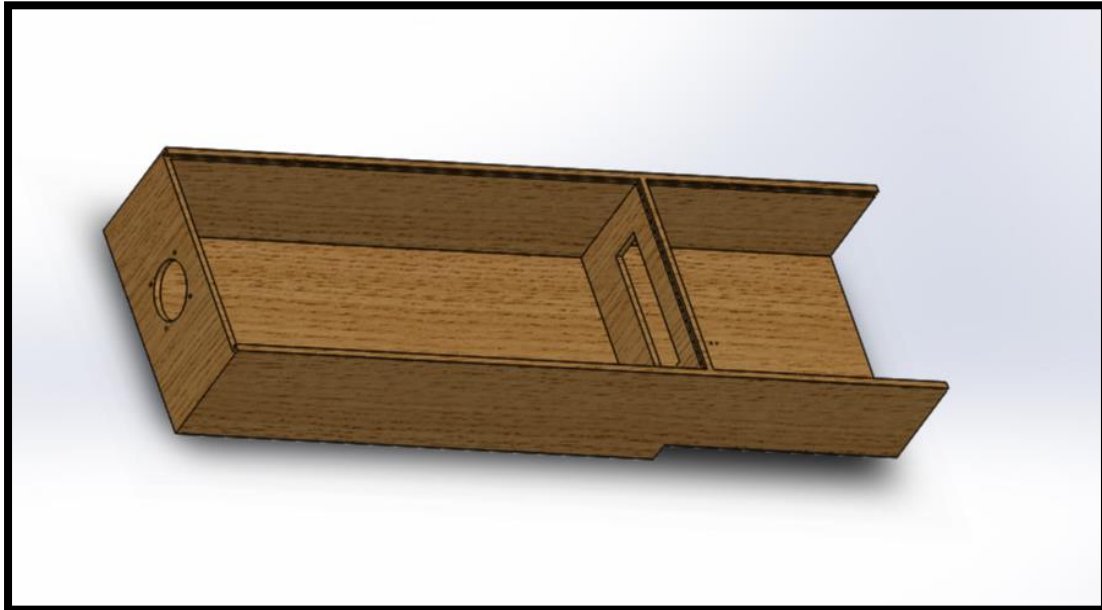
1. Observar y analizar
2. Planear y proyectar
3. Construir y ejecutar

Inicialmente los elementos que constituían el secador de tomate aportaban las bases de los sistemas requeridos para el prototipo como cámara de secado, sistema de impulsión de aire, alimentación de vapor y su estructura.

El diseño abarca la estructura del prototipo del secador con una distribución simétrica y un sistema de visualización que permite evidenciar el comportamiento interno. Las dimensiones del equipo son ilustradas en el anexo 4, 5 y 6.

De igual forma, el aislamiento de las paredes con el fin de evitar pérdidas de calor en el proceso de secado. El uso de un sistema de control y monitoreo abarca la implementación de un variador de velocidad al sistema de impulsión de aire y tablero LED el cual genera las variables obtenidas en el proceso de pesaje.

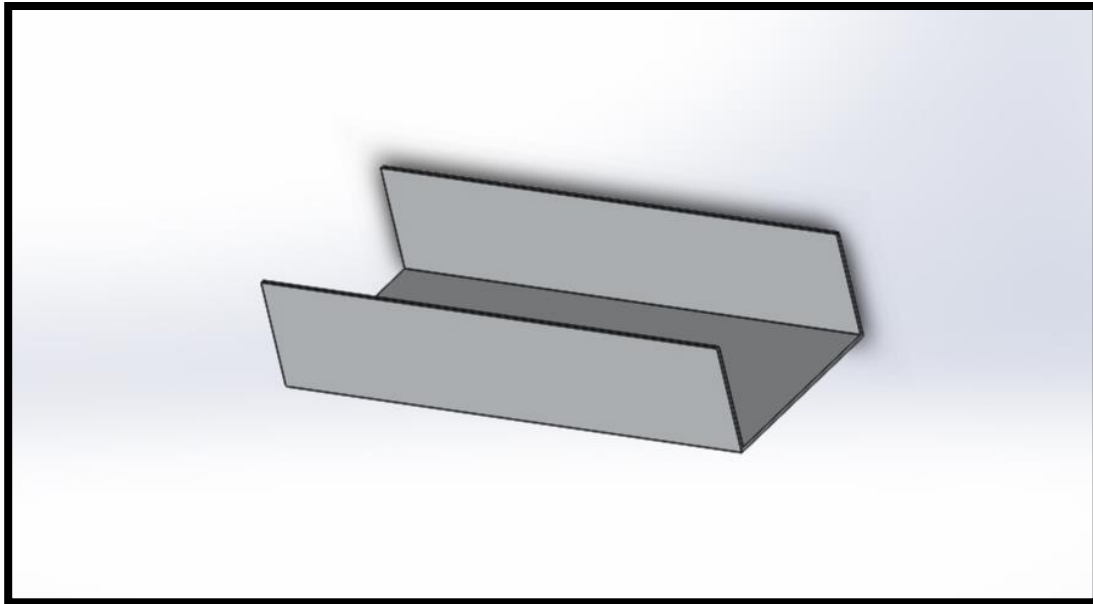
Figura 8. Estructura del prototipo del secador



Fuente: Autores

En la Figura 8. Se ilustra la estructura del prototipo de deshidratación de tomate, la cual se realizó en madera de 1.5 cm de espesor y con dimensiones totales de 31.5 centímetros de ancho y 11.30 de largo, dividiendo en dos entornos el prototipo, para la parte de radiación tiene medidas de 76 cm de largo y 31.5 cm de ancho y 14.5 cm de alto, en la sección de deshidratación tiene medidas de 37 cm de largo y 31.5 cm de ancho y 11.5 cm de alto el cual comprende un volumen en la parte de deshidratación de 34713 la cm^3 y en el entorno de deshidratación 13403 cm^3 .

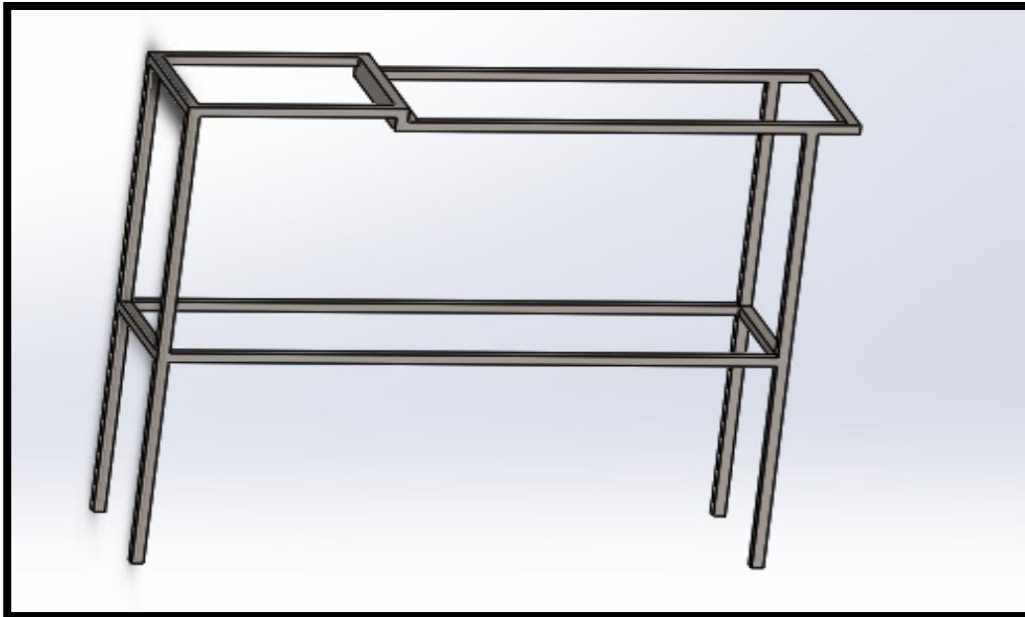
Figura 9. Lamina de acero inoxidable



Fuente: Autores

En la selección del material utilizado para encargarse de recibir la radiación se tuvieron en cuenta una comparación entre los materiales más reflectivos como es el aluminio, el galvanizado y el acero inoxidable. En conclusión, los más reflectivos son el galvanizado y el acero oxidable, pero el galvanizado disminuye su reflectividad con el paso del tiempo, a diferencia del acero inoxidable que la mantiene. Es por ello que la selección fue el acero inoxidable, con área de sección transversal 0.55075 m^2 .

Figura 10. Estructura metálica

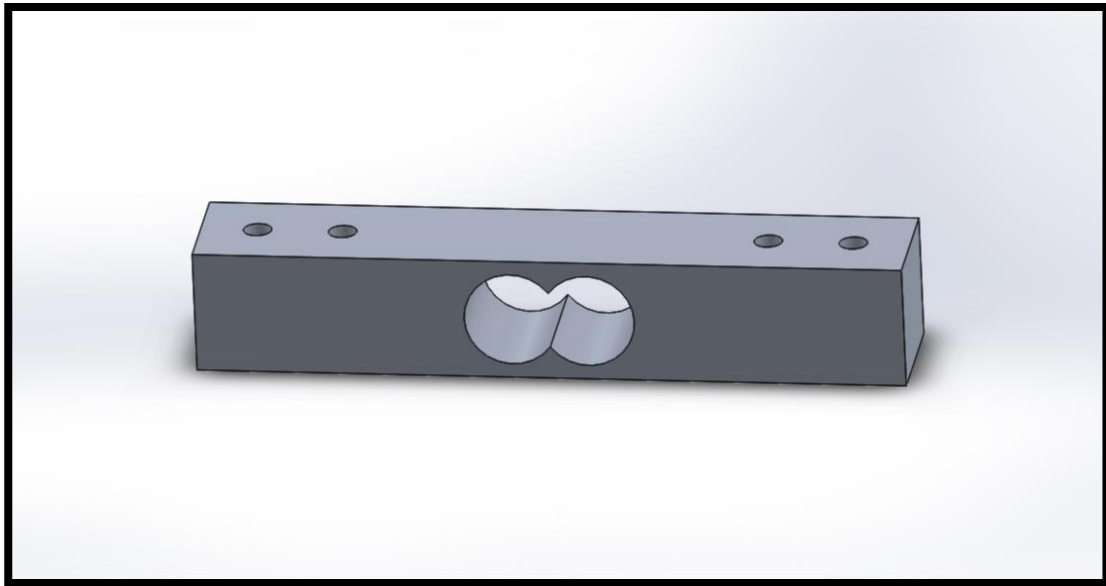


Fuente: Autores

El desarrollo del soporte estructural que se realizó para el sistema de secado se inicia con las medidas de la base, Para la construcción de la estructura y la base para el inicio del banco de prueba, se emplea el uso de tubería metálica que corresponde en medias a, (3/4”), en calibre veinte (K 20). Las medidas de la estructura son reflejadas en: un metro con cincuenta de alto (1,20 m), por (0.46 m), de ancho y (1.30 m) de largo Para el ensamble de la estructura, se utilizó soldadura revestida 6013 de 3/32” eléctrico manual.

La aplicación de la soldadura se basa en puntos continuos que dan forma al cordón encargado de soportar y mantener la estructura en pie, Figura 9. Para el desplazamiento de la estructura, se cuenta con cuatro rodas chinas, dos de ellos con sistema de seguridad para dar mayor refuerzo a la estructura y evitar desplazamientos inesperados con la capacidad de soportar por encima el total del banco de prueba terminado, El acabado desarrollado en la estructura (pintura), deriva al terminado en pintura electrostática en esmalte gris.

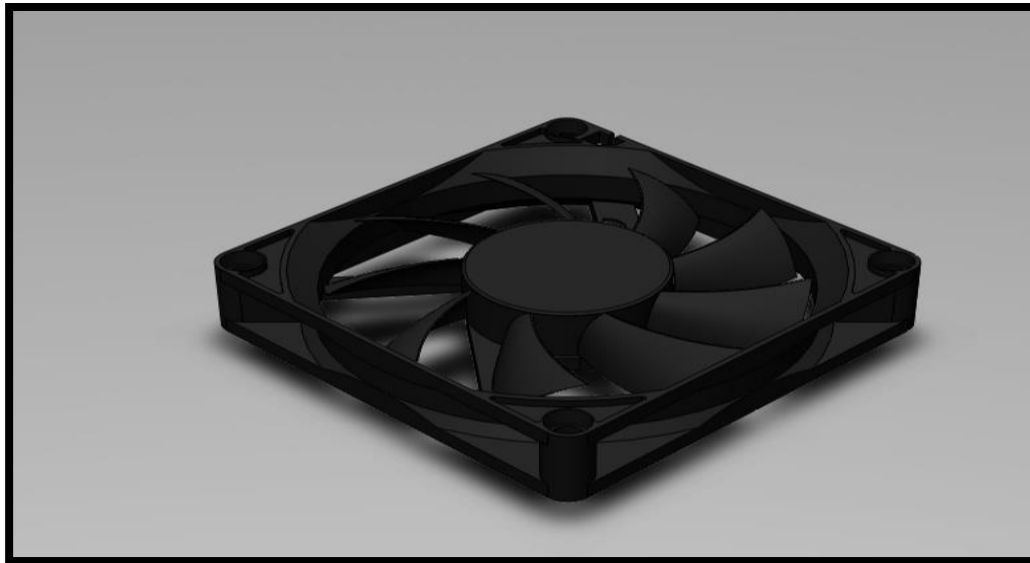
Figura 11. Celda de peso



Fuente: Autores

El prototipo de pruebas está compuesto por una celda de carga con una capacidad de 5 kg, que permite determinar la magnitud del campo de deformación al aplicarle una determinada fuerza, tiene como salida una señal eléctrica que será directamente proporcional a la fuerza que ha sido aplicada. Se conecta a un lector de masa que identifica la capacidad en kg en el instante de colocar los tomates, con estos resultados se utiliza la ecuación para identificar el peso $F=m \cdot g$.

Figura 12. Ventilador



Fuente: Autores

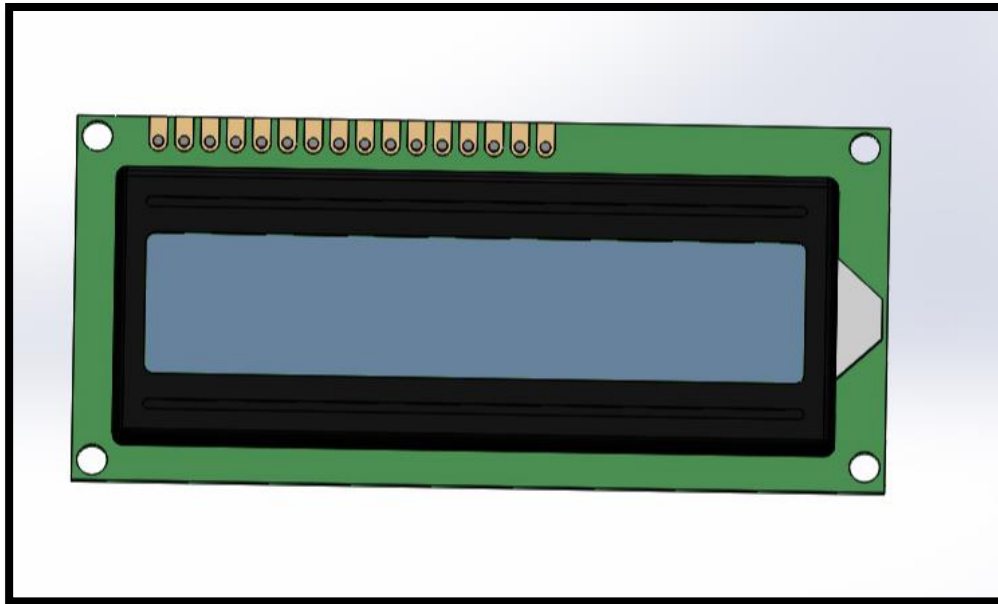
Tabla 4. Datos técnicos del ventilador

Ítems	Descripcion	Unidad	Valor
1	Voltaje nominal	VCD	12
2	Rango de voltaje	VCD	8.15
3	velocidad	Min ⁻¹	2700
4	potencia	W	2.2
5	Flujo de aire	m ³ /h	84

Fuente: Autores

En la Figura número 12 se puede observar el ventilador usado para la transferencia de calor las dimensiones son de 7.8 cm de diámetro y 1 figura cuadrada con valor del lado de 9.2 cm, en la tabla número 1 se denota las fichas técnicas con los valores que se identifican para realizar el cálculo de pérdida de humedad del tomate, de estos valores se tiene en cuenta que el valor de flujo de aire es de 84 m³/h. En el anexo 5 se visualiza la curva de comportamiento del ventilador respecto a la eficiencia del dispositivo.

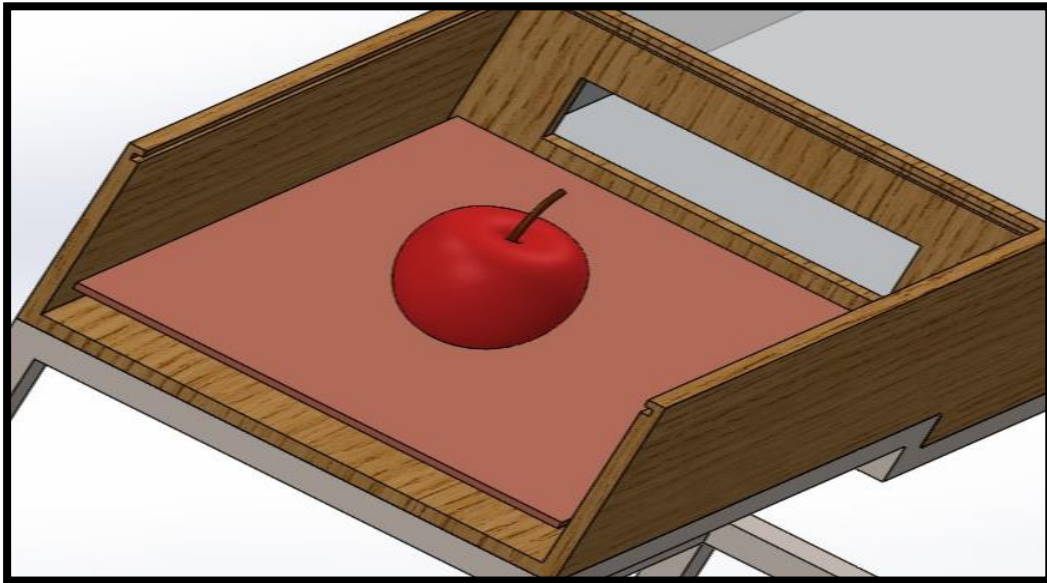
Figura 13. Pantalla indicadora de peso



Fuente: Autores

Tarjeta de diseño con el PROSITI, está basada en ATMEGA 328p es un micro en arduino 1, tiene un espacio visual LCD 2x16 columnas por 16 filas, un sensor QRD 1114 foto eléctrico, un diodo receptor y un emisor, dos autocoopladores de la señal alterna a DC, un regulador de voltaje de 7 V a 12 V DC fijo para evitar daños. Se utiliza como un instrumento de medición y control que recibe señales, generalmente señales digitales o pulsos provenientes de sensores de deformación, permite conocer el número total de la masa, esta debe ir conectado a la tarjeta electrónica y ubicada en la caja.

Figura 14. Entorno de secado

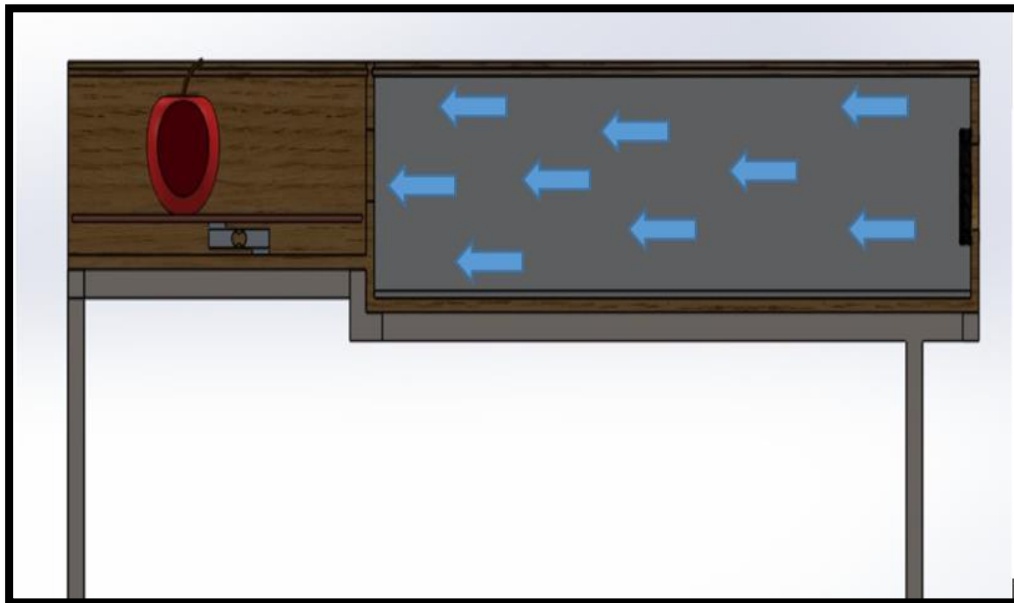


Fuente: Autores

La caja de control comprende de diferentes dispositivos los cuales permiten tener la confiabilidad del proyecto, tales como un Arduino el cual es el encargado de recepcionar la señal de la celda indicadora de peso, para luego poder por medio del software de Arduino conocer el comportamiento térmico del sistema, así mismo la caja de control contiene dos indicadores de temperatura, un regulador de velocidad que se utiliza para el control del fluido deseado para su proceso.

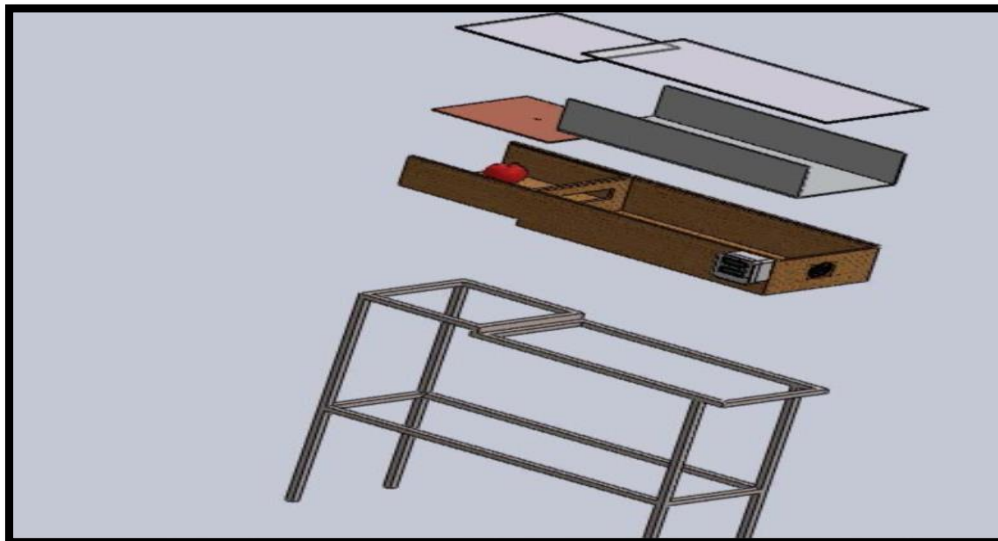
Por otra parte, se encuentra una conexión de corriente alterna y luego por medio de un convertidor de energía lograr tenerla en corriente directa para el funcionamiento del ventilador. Los datos que se quieran utilizar del sistema térmico, se debe usar computadores ya que por medio del Arduino se realizó una interfaz gráfica que permite monitorear los resultados del sistema de deshidratación.

Figura 15. Flujo de aire



Fuente: Autores

Figura 16. Explosionado del secador de tomate



Fuente: Autor

El explosionado del diseño del deshidratador, es realizado de tal manera que se visualice las partes que lo conforman como se ilustra en la Figura 16 , donde se puede observar la estructura metálica que le da soporte al equipo, el colector que

es hecho de madera, la lámina galvanizada para la recolección de la radiación solar los vidrios que sirven para el aumento de las reflexiones del sol, el ventilador para el suministro del flujo de aire caliente, el monitoreo del peso y temperatura del sistema.

De esta manera se ha realizado un proyecto en el programa de simulación solidworks que ayudo a la visualización y simulación de un proceso, de igual forma se puede observar un video del comportamiento del deshidratador con las variables que priman el sistema como lo es la temperatura, la presión y el flujo de aire.

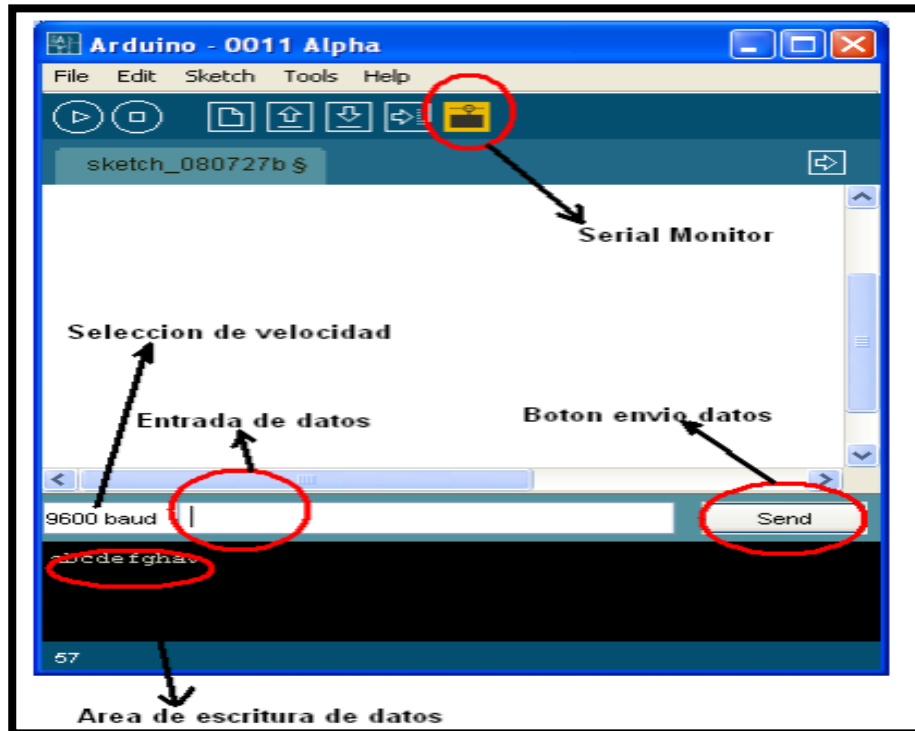
3.3. CONSTRUIR EL SISTEMA DE DESHIDRATACIÓN A ESCALA DE LABORATORIO TENIENDO EN CUENTA LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS DE SECADO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE UN MATERIAL SÓLIDO, IDENTIFICANDO LOS DIFERENTES PERIODOS DE SECADO EN CONDICIONES DE OPERACIÓN CONSTANTE.

3.3.1. Programación del sensor de peso en el software Arduino.

Paso a paso para manejar Arduino.

El software Arduino maneja una interfaz, la cual dispone de una serie de iconos que se describen a continuación, en la Figura 17.

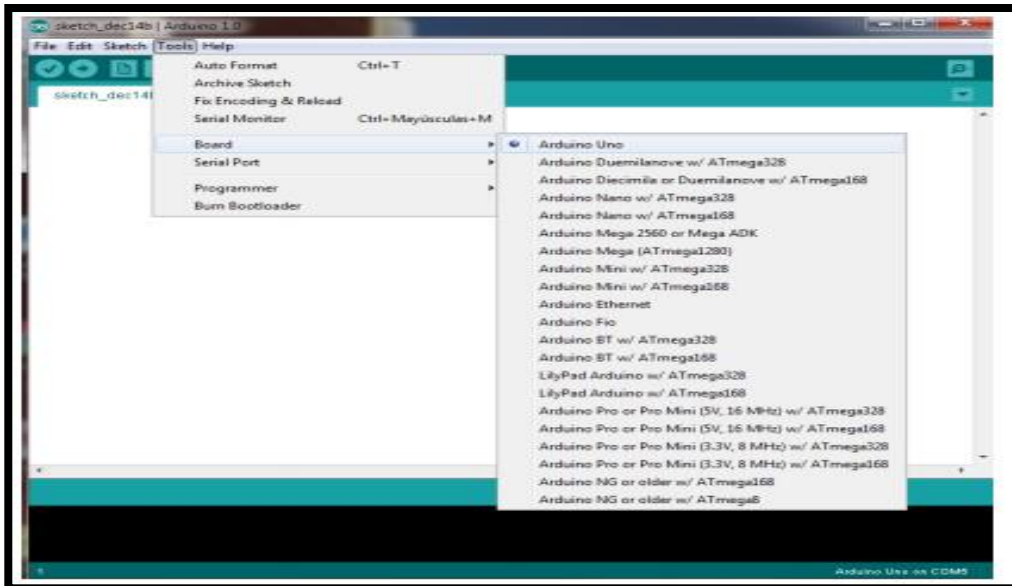
Figura 17. Interfaz de Arduino.



Fuente: RUIZ, GUTIEERREZ, José. Manual de programación arduino. California, 1ra edición, 2007. p. 52.

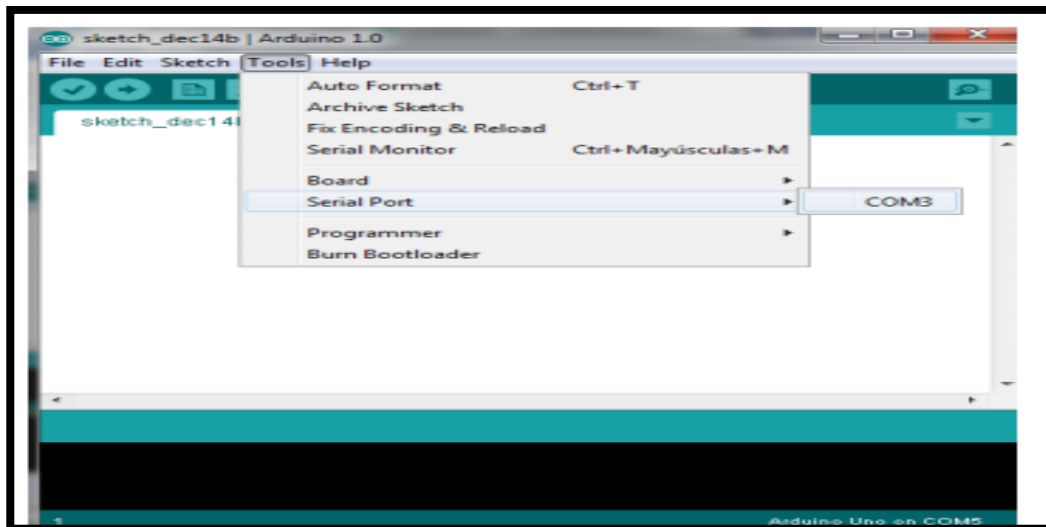
Una vez abierta la aplicación nos vamos a Tools y Board esto con el propósito de seleccionar que tipo de tarjeta se va a programar, una vez seleccionado el modelo de la placa, se debe seleccionar el dispositivo serie de la placa, véase en la siguiente Figura 17.

Figura 18. Seleccionar Placa.



Fuente: PEREZ GALDOS, Benito. Unidad de innovacion docente, Cediz españa, Universidad de cediz, 2010. p. 4.

Figura 19. Seleccionar puerto serie de la Placa.



Fuente: PEREZ GALDOS, Benito. Unidad de innovacion docente, Cediz españa, Universidad de cediz, 2010. p. 4.

Usos y funciones del Arduino

Una función de Arduino es un segmento de código, que está separado del código principal del programa, la cual realiza una tarea específica. La estructura básica del lenguaje de programación de Arduino es bastante simple y se compone de al menos dos partes. Estas dos partes necesarias, o funciones, encierran bloques que contienen declaraciones, estamentos o instrucciones.

```
void setup()  
{  
  estamentos;  
}  
void loop()  
{  
  estamentos;  
}
```

En donde setup () es la parte encargada de recoger la configuración y loop () es la que contienen el programa que se ejecutará cíclicamente (de ahí el termino loop –bucle-). Ambas funciones son necesarias para que el programa trabaje. La función setup () se invoca una sola vez cuando el programa empieza. Se utiliza para inicializar los modos de trabajo de los pins, o el puerto serie. Debe ser incluido en un programa aunque no haya declaración que ejecutar (Gutierrez, 2007).

La función Loop () “hace precisamente lo que sugiere su nombre, se ejecuta de forma cíclica, lo que posibilita que el programa este respondiendo continuamente ante los eventos que se produzcan en la tarjeta” (Gutierrez, 2007 , pág. 6).

Las utilidades de las funciones en arduino ayudan al programador a ser organizado, haciendo que el sketch sea más pequeño y más compacto, debido a que las secciones de código se reutilizan varias veces, y también reducen las

posibilidades de error en modificaciones, haciendo más fácil la reutilización del código en otros programas.

Funciones básicas e/s digitales.

- PinMode (pin, modo): Configura el pin especificado para comportarse como una entrada (INPUT) o una salida (OUTPUT). (Galdos, 2010, pág. 6)

Funciones básicas e/s analógicas.

Tabla 5. Funciones básicas E/S analógicas.

<p>AnalogRead (pin): Lee el valor de tensión en el pin analógico especificado. La placa Arduino posee 6 canales conectados a un conversor analógico digital de 10 bits. El rango de entrada puede ser cambiado usando la función analogReference.</p>	<p>AnalogWrite (pin, valor): Escribe un valor analógico (PWM) en un pin. Puede ser usado para controlar la luminosidad de un LED o la velocidad de un motor. Después de llamar a la función analogWrite (), el pin generará una onda cuadrada estable con el ciclo de trabajo especificado.</p>
<p>Serial. Begin (speed): Establece la velocidad de datos en bits por segundo (baudios) para la transmisión de datos en serie. Para comunicarse con el ordenador, utilice una de estas velocidades: 300, 1200, 2400, 4800, 9600, 14400, 19200, 28800, 38400, 57600 o 115200</p>	<p>Serial.read (): Lee los datos entrantes del puerto serie.</p>

Fuente: GALDOS, PEREZ, Benito. Unidad de innovación docente. Cádiz España. Universidad de los bicentenarios, 2010. p. 8.

Tabla 6. Continuación de las Funciones básicas E/S analógicas.

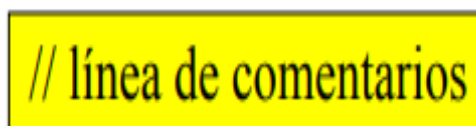
<p>Serial.print (val, [format]). Imprime los datos al puerto serie como texto ASCII. Val: el valor a imprimir - de cualquier tipo format: especifica la base (formato) a usar; los valores permitidos son BYTE, BIN (binarios o base 2), OCT (octales o base 8), DEC (decimales o base 10), HEX (hexadecimales o base 16).</p>	<p>Serial.available (). Devuelve el número de bytes (caracteres) disponibles para ser leídos por el puerto serie. Se refiere a datos ya recibidos y disponibles en el buffer de recepción del puerto (que tiene una capacidad de 128 bytes).</p>
---	---

Fuente: GALDOS, PEREZ, Benito. Unidad de innovación docente. Cádiz España. Universidad de los bicentenarios, 2010. p. 8.

Línea de comentarios en Arduino

Los comentarios son ignorados por el programa y no invaden espacio en la memoria de Arduino logran ser manejados con esplendidez y también pueden utilizarse para "comentar" bloques de código con el propósito de apuntar informaciones para filtrado. Dentro de una misma línea de un bloque de comentarios no se consigue escribir un nuevo bloque de comentarios (usando /* .. */).

Figura 20. Línea de comentarios



Fuente: GUTIERREZ, RUIZ. José. Manual de programación Arduino. San francisco California. Creative Commons, 2007. p. 9.

Una línea de comentario aborda con // y finalizan con la siguiente línea de código. Al igual que los comentarios de bloque, los de línea son ignoradas por el

programa y no invaden espacio en la memoria. Una línea de comentario se utiliza a menudo después de una instrucción, para proporcionar más información acerca de lo que hace esta o para recordarla más adelante (Gutierrez, 2007).

Variables

Una variable debe ser declarada y opcionalmente asignada a un determinado valor. En la declaración de la variable se indica el tipo de datos que almacenará (int, float, long). Puede ser declarada en el inicio del programa antes de setup (), localmente a una determinada función e incluso dentro de un bloque como pueda ser un bucle.

El sitio en el que la variable es declarada determina el ámbito de la misma. Una variable global es aquella que puede ser empleada en cualquier función del programa. Estas variables deben ser declaradas al inicio del programa (antes de la función setup ()).

Figura 21. Variables

```
int variableEntrada = 0; // declara una variable y le asigna el valor 0
variableEntrada = analogRead(2); // la variable recoge el valor analógico del PIN2
```

Fuente: GUTIERREZ, RUIZ. José. Manual de programación Arduino. San francisco California. Creative Commons, 2007. p. 9.

Una variable es una forma de llamar y almacenar un valor numérico para usarse después por el programa. Como su nombre indica, las variables son números que pueden cambiarse continuamente al contrario que las constantes, cuyo valor nunca cambia. Una variable necesita ser declarada y, opcionalmente, asignada al valor que necesita para ser almacenada (Herrador, 2009).

Figura 22. Variable sometida a un condicional.

```
if (entradaVariable < 100) // pregunta si la variable es menor de 100
{
  entradaVariable = 100; // si es cierto asigna el valor 100 a esta
}
delay(entradaVariable); // usa el valor como retardo
```

Fuente: GUTIERREZ, RUIZ. José. Manual de programación Arduino. San Francisco California. Creative Commons, 2007. p. 9.

Declaración de variable

Todas las variables tienen que ser declaradas antes de que puedan ser usadas. Declarar una variable significa definir su tipo de valor, como int, long, float, etc., definir un nombre específico, y, opcionalmente, asignar un valor inicial. Esto sólo necesita hacerse una vez en un programa pero el valor puede cambiarse en cualquier momento usando aritmética y varias asignaciones (Herrador, 2009).

```
int inputVariable = 0;
```

Una variable puede ser declarada en un número de posiciones en todo el programa y donde esta definición tiene lugar determina que partes del programa pueden usar la variable.

Tipos de datos

Byte: almacena un valor numérico de 8 bits sin puntos decimales. Tienen un rango.

- De 0 a 255. Byte someVariable = 180; //declara 'someVariable' como un tipo byte.

Int: Enteros son los tipos de datos primarios para almacenamiento de números sin puntos decimales y almacenan un valor de 16 bits con un rango de -32,768 a 32,767.

- `Int someVariable = 1500; //declara 'someVariable' como tipo int.`

Long: Tipo de datos de tamaño extendido para enteros largos, sin puntos decimales, almacenados en un valor de 32 bits con un rango de -2,146,483,648 a 2,147,483,647.

- `Long someVariable = 90000; //declara 'someVariable' como tipo long.`

Float: Un tipo de datos para números en punto flotante, o números que tienen un punto decimal. Los números en punto flotante tienen mayor resolución que los enteros y se almacenan como valor de 32 bits con un rango de -3.4028235E+38 a 3.4028235E+38.

- `Float someVariable = 3.14; //declara 'someVariable' como tipo float.`

Array: es una colección de valores que son accedidos con un índice numérico. Cualquier valor en el array debe llamarse escribiendo el nombre del array y el índice numérico del valor.

Los arrays están indexados a cero, con el primer valor en el array comenzando con el índice número 0. Un array necesita ser declarado y opcionalmente asignarle valores antes de que puedan ser usados.

- `Int myArray [] = {value0, value1, value2...};`

Asimismo, es posible declarar un array declarando el tipo del array y el tamaño y luego asignarle valores a una posición del índice.

Programación del sensor de carga y pantalla led en Arduino.

La programación da inicio mediante la inclusión de la librería HX711 con el fin de alcanzar lecturas confiables y con buena precisión de las señales enviadas por el sensor de carga. El módulo HX711 es ubicado entre las celdas de carga y arduino, permitiendo leer el peso en la celda. Seguidamente, el uso de la librería LiquidCrystal para el control de la pantalla led.

Tabla 7. Programación Arduino

PROGRAMACIÓN SENSOR DE CARGA Y PANTALLA LED EN ARDUINO
<pre> #include <LiquidCrystal.h> LiquidCrystal lcd(7, 8, 9, 10, 11, 12); #include <HX711.h> #define DOUT A1 #define CLK A0 HX711 balanza(DOUT, CLK); float peso = 0; void setup() { Serial.begin(9600); Serial.print("Lectura del valor del ADC: "); Serial.println(balanza.read()); balanza.set_scale(439430.25); // La escala por defecto es 1. La escala valor de lectura / peso real balanza.tare(20); // El peso actual es considerado Tara. lcd.begin(16, 2); // Fijamos el número de caracteres y filas lcd.setCursor(1, 0); // Ponte en la line 1, posición 6 lcd.print("Peso en gramos"); } // Aquí va el mensaje </pre>


```
void loop() {  
  
  Serial.print("Peso del tomate (g): ");  
  Serial.println(balanza.get_units(10),2);  
  peso = balanza.get_units(10)*100;  
  lcd.setCursor(4, 1);      // Ponte en la line 1, posición 6  
  
  if (peso >= 0)  
    lcd.print(peso,1);  
  else  
    lcd.print(0) ;  
  delay(400);  
}
```

Fuente: Autor

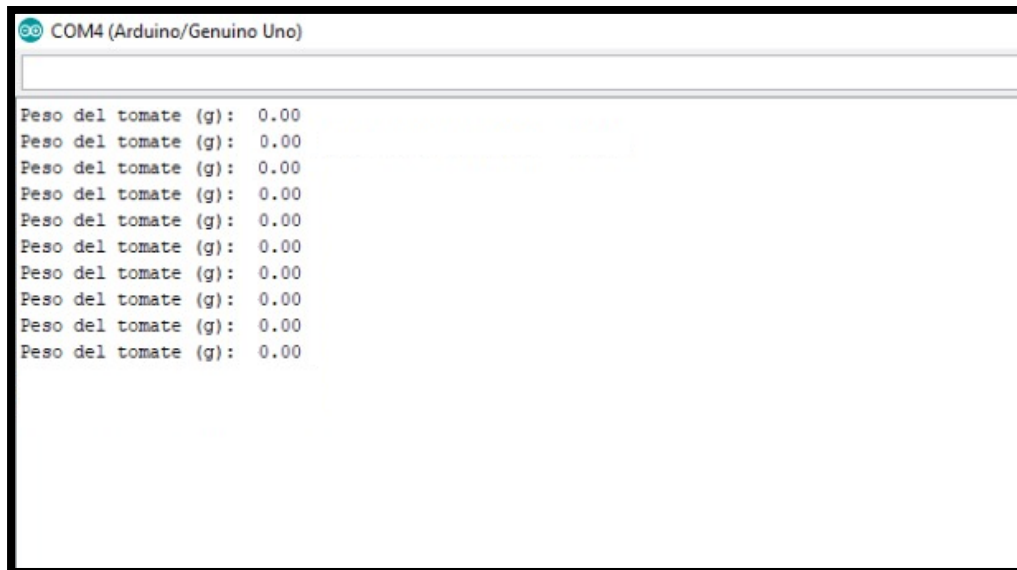
Una vez selecta la placa y el puerto se procede a pulsar sobre el botón subir, para comenzar el proceso de compilación y carga del programa a la placa Arduino. En la Tabla 5, se observa el código fuente creado por los autores el cual es empleado para enlazar una celda de carga y un microcontrolador encargado de representar en el software Arduino - monitor serie los datos de peso del tomate.

El programa corre sin el peso colocado, teniendo en cuenta el cálculo al inicio de la tara. El uso del delay a un valor de 400, permite pausar el programa por la cantidad de tiempo establecido en milisegundos especificado como parámetro. El código pausa el programa por un segundo antes de alternar el pin de salida.

El uso del void set_scale permite indicar el dato de escala, el cual es un factor de conversión para convertir el valor de lectura en unidades de peso siendo el caso en gramos. El sketch usa 6356 bytes del espacio de almacenamiento y es

dividido mediante el void setup y void loop los cuales siguen un orden secuencial de variables comparativas y operativas requeridas para la ejecución de comandos y derivación de resultados.

Figura 23. Ejecución del Código para registro del peso marcado por la celda



```

COM4 (Arduino/Genuino Uno)
Peso del tomate (g): 0.00
Peso del tomate (g): 0.00
Peso del tomate (g): 0.00
Peso del tomate (g): 0.00
Peso del tomate (g): 0.00
Peso del tomate (g): 0.00
Peso del tomate (g): 0.00
Peso del tomate (g): 0.00
Peso del tomate (g): 0.00
Peso del tomate (g): 0.00
  
```

Fuente: Autor

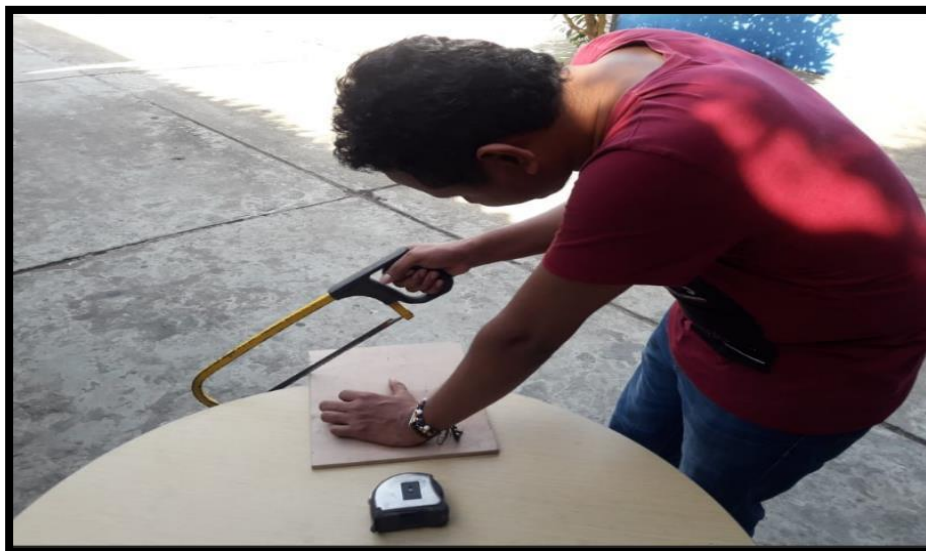
Se establece la velocidad de datos en bits por segundo (baudios) para la transmisión de datos en serie. Para comunicarse con la computadora, se usa una tarifa de 9600. No obstante, puede especificar otras tarifas, por ejemplo, comunicarse a través de los pines 0 y 1 con un componente que requiere una velocidad en baudios particular.

La pantalla monitor serie permite observar la comunicación entre Arduino y el computador, realizada mediante un cable USB. Es decir, expresa las variables enviadas por Arduino las cuales son captadas por un sensor de peso. Para elaborar la conexión mediante puerto serie únicamente es necesario conectar la placa Arduino en el mismo puerto empleado en la programación. Se abre el IDE Standard de Arduino y se hace clic en el “Monitor Serial”, abriendo la ventana reflejada en la Figura 23.

3.3.2. Construcción del sistema de deshidratación de tomate a escala de laboratorio.

Este equipo cuenta con una facilidad de traslado, por su bajo peso además de su tamaño y la adaptabilidad de sus sistemas. Su diseño desde un inicio fue planteado para que en cualquier falla de algunos de los sistemas que lo componen permita una inspección local, sin que involucre otras partes, es decir cada elemento es independiente en situaciones de mantenimiento.

Figura 24. Corte de material



Fuente: Autor.

Como se puede apreciar en la figura 24 donde se hacen sus respectivos cortes de la tabla para la que va ser la plataforma donde ira el sensor para determinar el peso del tomate a utilizar.

Se puede ver entonces que el sistema deshidratador de tomate por energía solar está compuesto por:

- Estructura. El ensamble de diferentes partes permite la conformación de una base sólida y ergonómica que brinda estabilidad al sistema de deshidratación.

- Ventilación y sistema de impulsión. El uso de un dispositivo de ventilación da cabida a la distribución del flujo de aire a la cabina de deshidratación.
- Control. Se emplea un sistema de variación de velocidad (potenciómetro), sensores de temperatura, indicador de peso con el fin de evidenciar y controlar las variables intervenidas en el proceso como lo es temperatura, presión, velocidad y flujo másico.
- Cámara de Secado. Se encarga de captar la radiación solar emitida en el periodo de prueba.

La estructura es dividida en tres partes:

1. La estructura metálica, con tubería de 3/4", ángulos a 45° y 90° y cuatro patas en tubería metálica cuadrada como soporte permiten una estabilidad a la plataforma principal hecha en madera triple con espesor de 4 mm. De igual forma, el anclaje de un elemento mariposa e inclusión de un transportador como guía para brindar facilidad a la graduación de 0° a 25° grados con el propósito de seguir la trayectoria a la luz emitida por el sol.
2. Por otra parte, la parte interna de la cabina principal en madera es recubierta en lámina galvanizada debido a que esta permite incrementar hasta en un 50% la temperatura recibida a partir de la radiación solar, la cual atraviesa un vidrio de 3 mm de espesor que actúa como recubrimiento en el deshidratador, para luego ser desplazada a la cámara de secado.
3. En el panel principal, se encuentra la pantalla led, sensores de temperatura y potenciómetro. Este equipo cuenta con un sistema de control, que permite operarlo, y manipularlo a lo largo de la prueba. Un tablero de fácil manipulación, para activar los elementos de trabajo como Arduino, pantalla led, y ventilador.

Figura 25. Modificación en el banco



Fuente: Autor.

Como se puede apreciar en la figura 25 donde se modifica la estructura para que se efectúe la graduación del equipo con el propósito de variar las pruebas y evidenciar diferentes comportamientos en el sistema una vez es variada gradualmente.

Figura 26. Ajuste de estructura



Fuente: Autor.

Ventilación y sistema de impulsión

Figura 27. potenciómetro



Fuente: Autor.

- Fácil visualización de los sensores de temperatura y peso.

Es un circuito cuyo valor de resistencia es variable. De esta manera, indirectamente, se puede controlar la intensidad de corriente que fluye por un circuito si se conecta en paralelo, o la diferencia de potencial al conectarlo en serie. En este caso será implementado a un ventilador de 12 voltios para variar su intensidad y velocidad.

Figura 28. Ventilador.



Fuente: Autor.

- Permite un cambio de velocidad.
- Activación manual.
- Fácil operación.

Como se aprecia en la figura 28 el uso de un ventilador de 12 voltios Marca Delta De Corriente Directa y actual 0:70A con cuatro cables y cuatros pines conectores 80mm como elemento impulsor de aire permite el desplazamiento de flujo de aire hacia la cámara de secado o deshidratación del tomate.

Elementos de control

Figura 29. Sensores de temperatura



Fuente: Autor.

Como muestra en la figura 29 donde se instalan 2 sensores de temperatura, se instala uno en la primera cámara de flujo de aire y la otra en la cámara de secado o deshidratación, en la primera cámara, (cámara de flujo de aire) tiene un recubrimiento con lámina galvanizada y una tapa de vidrio para que con la ayuda de radiación solar aumente más su temperatura

Figura 30. Conexión de circuito electrónico para el sistema indicador de peso y lectura de señales



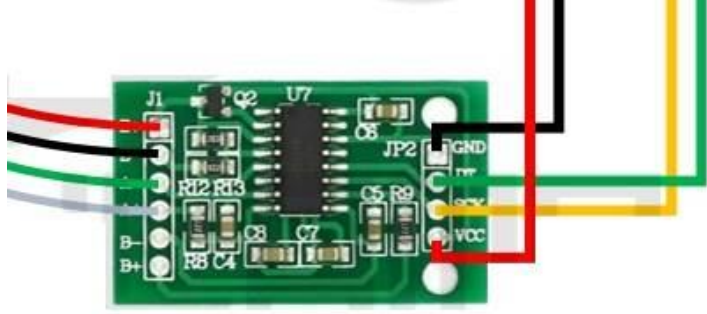
Fuente: Autor.

Como se muestra en la figura 30 donde se realizan sus respectivas uniones con soldadura usando cautín las partes para su respectiva conexión como lo son sensor, celda de carga, pantalla led verificando que cada parte este en óptimas condiciones listas para ser utilizada.

El módulo HX711 es un transmisor entre las celdas de carga y un microcontrolador como Arduino, que permite leer el peso registrado por la celda de forma simple. Este, se enlaza con el microcontrolador a través de un protocolo de tipo serial mediante 2 pines (Clock y Data). Las celdas de carga están

formadas por galgas extensiométricas en configuración de puente Wheatstone. Para conectar la celda al módulo HX711 es necesario el uso de 4 cables, los colores utilizados son Rojo, Negro, Blanco y Verde. Cada color pertenece a una señal.

Tabla 8. Características sensor HX711



1	Voltaje de Operación	5V DC
2	Consumo de corriente	menor a 10mA
3	Voltaje de entrada diferencial	$\pm 40\text{mV}$
4	Resolución conversión A/D	24 bit
5	Frecuencia de lectura	80 Hz
6	Dimensiones	38mm*21mm*10mm

Fuente: Autor.

Rojo: Voltaje de excitación +, E+, VCC

Negro: Voltaje de excitación -, E-, GND

Blanco: Amplificador +, Señal +, A+

Verde: Amplificador -, Señal -, A-

Como se puede evidenciar este modelo es una interface entre las celdas de carga HX711 y el microcontrolador (Arduino), permitiendo poder leer el peso de forma sencilla. Internamente se encarga de la lectura del puente wheatstone desarrollado por la celda de carga, convirtiendo la lectura analógica a digital con su conversor A/D interno de 24 bits.

3.3.3. Realización de pruebas en el sistema de deshidratación de tomate.

Teniendo en cuenta la radiación solar emitida en Barrancabermeja se realiza a continuación pruebas de secado en el tomate, aprovechando al máximo la energía adquirida con un promedio de 4,5 a 5 kw/h como se observa en la Figura 6.

Tabla 9. Condiciones de deshidratación

PERIODO	NOMBRE	CONDICIÓN	PARÁMETRO
1-2	Inicial	Externa	Velocidad del aire
			Temperatura de la cámara
2-3	Velocidad Constante	Externa	Velocidad del aire
			Temperatura de la cámara
3-4	Velocidad Decreciente	Internas	Difusividad
			Coefficiente de transferencia de masa

Fuente: Autor

- Secar un material sólido y obtener los diferentes periodos de secado en condiciones de operación constantes.
- Determinar experimentalmente humedad, velocidad y tiempo crítico.
- Analizar curvas características de secado en función del tiempo.

La operación de secado consiste en la eliminación de un líquido contenido en un sólido, por medios térmicos. Los contenidos de humedad son generalmente bajos en comparación con la cantidad de sólido.

El secado generalmente es la etapa final de una serie de operaciones y el producto obtenido de un secador, queda frecuentemente listo para el envasado final.

Velocidad de Secado

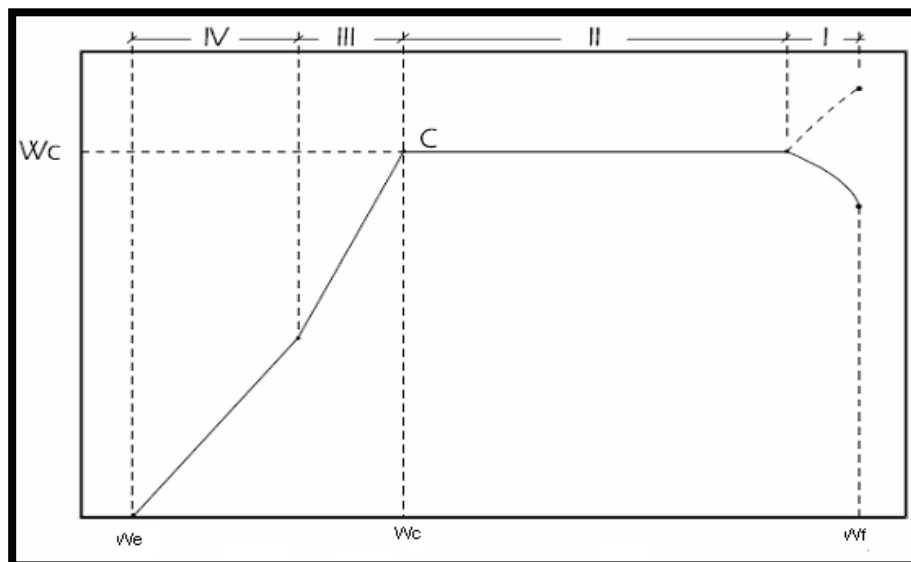
La capacidad de un secador térmico depende de la velocidad de transmisión de calor y de la velocidad de transferencia de masa. Puesto que la humedad tiene que evaporarse, hay que suministrar calor de secado a la zona de evaporación, que puede estar en o cerca de, la superficie del sólido o bien dentro del mismo, dependiendo del tipo de material y de las condiciones del proceso.

La humedad debe fluir a través del tomate como líquido o como vapor, y como vapor, desde la superficie del sólido hasta el seno de la cámara de secado.

Curva de velocidad de secado

Para estudiar el mecanismo de secado en condiciones constantes, es conveniente representar la velocidad instantánea de secado en función de la humedad libre instantánea.

Figura 31. Velocidad en función de la humedad



Fuente: Autor

Esta es una curva característica de secado que refleja el paso del sólido por distintos períodos a medida que la humedad del sólido se reduce desde un valor inicial elevado W_i hasta el pequeño valor final, que puede incluso ser la humedad de equilibrio W_e .

Periodos de Secado. Análisis

De la figura 31, en el periodo I la velocidad de secado aumenta o disminuye rápidamente, desde un valor inicial. Su duración es relativamente corta y en algunos experimentos no llega a observarse. En este periodo, se ajusta la temperatura del material a las condiciones de secado.

La línea II representa el período de velocidad constante. Se caracteriza porque la velocidad de secado es independiente de la humedad del sólido. Durante este período del sólido está tan húmedo que existe una película de agua continua sobre toda la superficie de secado y el líquido se comporta como si el sólido no existiera.

Figura 32. Prueba



Fuente: Autor.

- Fácil alimentación y apertura
- Mayor capacidad de 5 kilos
- Una distribución simétrica dentro de la cámara
- Un sistema de visualización del proceso externo.
- Buen aislamiento en las paredes

Como se muestra en la imagen 32 Se corta un tomate para realizar las pruebas de temperatura en cámara de secado o deshidratación para analizar las diferentes materias en de prueba donde se puede determinar los periodos de secado de la humedad y condiciones de operación constante. El manejo de instrumentos desde su comienzo involucra la toma de datos previos. La temperatura, humedad ambiente, peso de muestras.

Para realizar la prueba se empleó una tabla para cortar, cuchillos de acero y una balanza (celda de carga) como herramienta para medir el peso antes y después de la prueba.

Figura 33. Tomate sumergido en agua



Fuente: Autor

Aquí se realiza el corte de trozos de tomate, se pesaron y luego son sumergidos en agua para observar la cantidad de volumen de agua desplazada.

Figura 34. Conexión software Arduino



Fuente: Autor.

Como se muestra en la figura 34 se toman los resultados en una computadora o una pantalla led los resultados que transfiere los sensores instalados en el banco de prueba donde se puede establecer los periodos de secado y condiciones de operación constante.

Figura 35. Prueba peso en gramos

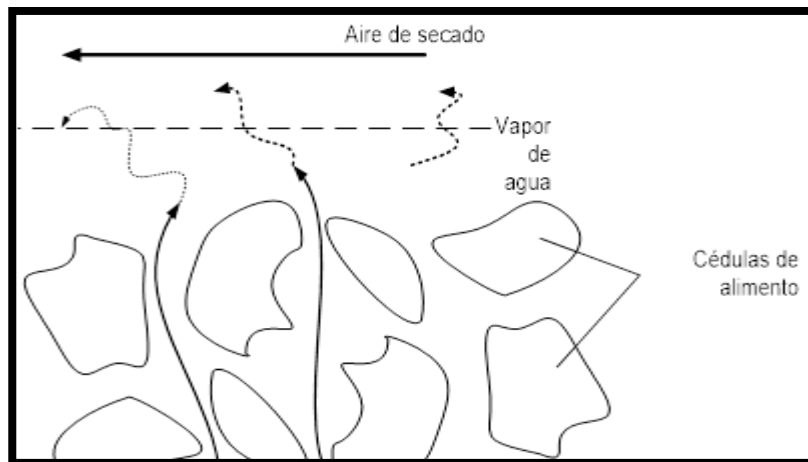


Fuente: Autor.

En la figura 35 se representa en la pantalla led el peso en gramos del tomate. A medida que el agua es expulsada del tomate en forma de vapor de agua, esta es removida, ya que, de otra manera, la humedad crearía en la superficie del grano una atmósfera saturada, que disminuiría la velocidad de eliminación del agua.

Cuanto más caliente y seco se encontraba el aire más humedad se absorbe antes de saturarse; de esta manera el aire caliente y seco que se encuentre en la proximidad del tomate en proceso de secado, recogerá la humedad expulsada de éste con más facilidad que el aire más frío. La temperatura del aire está además asociada con la humedad relativa, flujo del aire, humedad del tomate y el tiempo de secamiento.

Figura 36. Trayectoria del vapor de agua durante la deshidratación



Fuente: Autor

A una temperatura constante el contenido en agua del alimento cambia continuamente hasta que alcanza un equilibrio con la presión de vapor con en el aire circundante. En estas condiciones durante su almacenamiento, el alimento no gana ni pierde peso.

Tabla 10. Densidad del tomate

Ítems	Masa del tomate kg	Volumen del tomate m ³	Densidad del Tomate $\frac{kg}{m^3}$
1	0.0213	0.000022	968.18
2	0.0232	0.000023	1008.7
3	0.0176	0.000014	1257.4
4	0.0161	0.000013	1238.46
5	0.0147	0.000012	1225
Promedio	0.0157	0.000014	949.62

Fuente: Autor

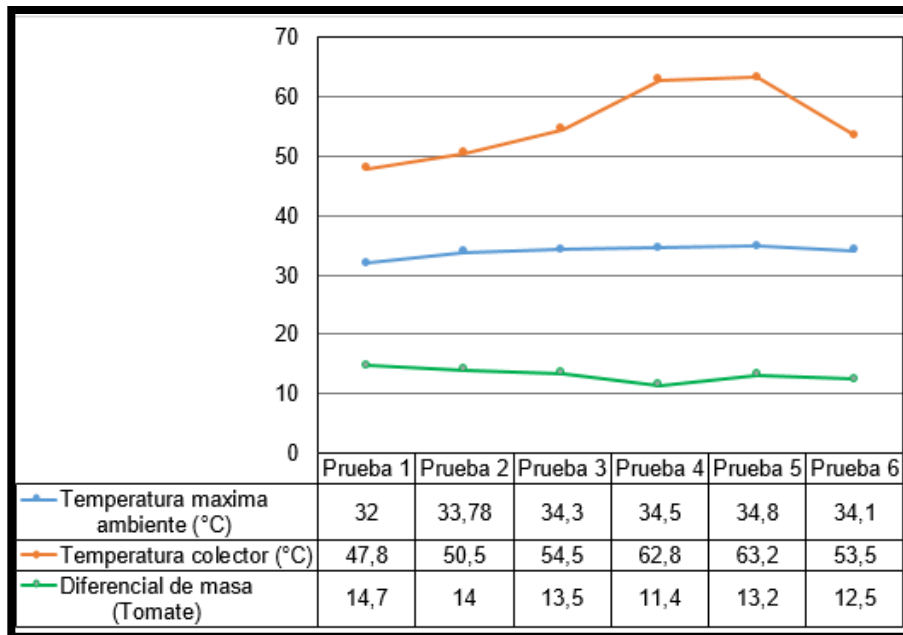
La densidad promedio del tomate esta entre $1550 \frac{kg}{m^3}$ a $1600 \frac{kg}{m^3}$ en relación con la densidad del tomate al que fue realizado la prueba se encuentra entre $1600 \frac{kg}{m^3} - 949.62 \frac{kg}{m^3} = 650.37 \frac{kg}{m^3}$

Tabla 11. Prueba diferencial de masa en el tomate

Pruebas	Temperatura Máxima ambiente °C	Temperatura colector °C	Masa sin tomate (g)	Masa con tomate (g)	Δ de masa
1	32	47,8	1,3	16	14,7
2	33,78	50,5	1,3	15,3	14
3	34,3	54,5	1,3	14,8	13,5
4	34,5	62,8	1,3	12,7	11,4
5	34,8	63,2	1,3	14,5	13,2
6	34,1	53,3	1,3	13,8	12,5

Fuente: Autor

Figura 37. Comportamiento de la masa del tomate



Fuente: Autor

La Figura 37 evidencia el comportamiento en la masa del tomate y variación de la temperatura ambiente vs la temperatura recibida en el colector una vez expuesto a la radiación solar. Las pruebas realizadas en el prototipo reflejan un aumento en el colector de casi el 50% a la temperatura ambiente. Asimismo, se observa la variación de masa en el tomate. El término secado es relativo y significa solamente que hay una reducción en el contenido de humedad desde un valor inicial hasta un final.

En este periodo de secado se obtuvieron valores de la pendiente (Figura 37) (la cual está relacionada directamente con la transferencia de calor) que fueron variando a medida que aumentó la temperatura del secador y flujo de aire en secador, obteniéndose la mayor velocidad de secado a una temperatura 63,2 °C y una velocidad de flujo de (3 m/seg.) y la menor a 32 °C. A mayor temperatura mayor energía de las moléculas del agua. Así mismo se observó que fue menor el tiempo necesario para llegar a la humedad requerida cuando se aplicó la temperatura más alta

Tabla 12. Diferencial de masa extraída

Pruebas	Masa Entrada (g)	Masa Salida (g)	Δ de masa extraída
1. Prueba	14,7	8,82	5.88
2. Prueba	14	8,68	5.32
3. Prueba	13,5	8,775	4.725
4. Prueba	11,4	7,08	4.32
5. prueba	13,2	8,84	4.36
6. prueba	12,5	8,125	4.375
Masa promedio	13,2	8,38	4.83

Fuente: Autor

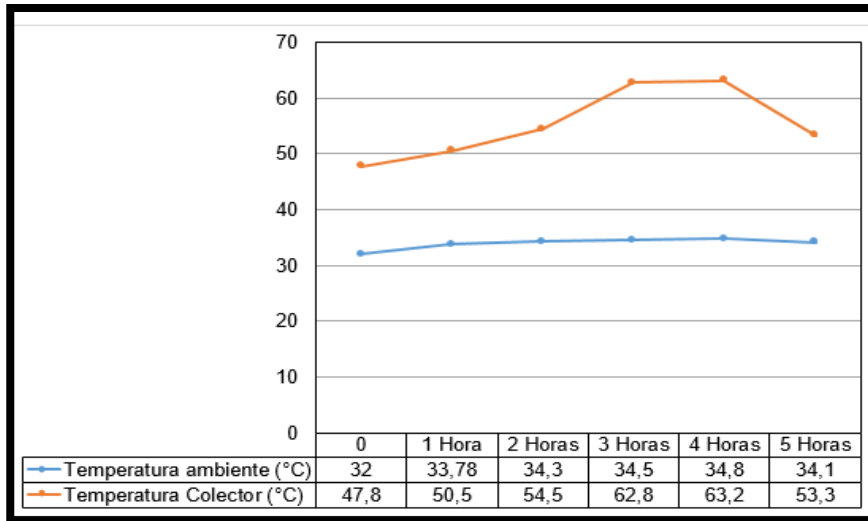
La Tabla 11 y 12 representa los datos obtenidos en la realización de 6 pruebas caracterizadas por la temperatura, masa inicial, masa final y diferencial de masa extraída del tomate, el cual fue expuesto a un sistema de secado que trabajo bajo la radiación emitida del sol en horarios de 10:00 am a 3:00 pm considerados como horarios picos para los sistemas de aprovechamiento de energía. El colector implementado se gradúa en porcentajes entre 5, 10 y 25 grados para mantener una mayor eficiencia en la trayectoria realizada por el sol.

Tabla 13. Temperatura de prueba

Pruebas	Tiempo de prueba	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura Colector (°C)
Prueba 1	10:30 am	32	47,8
Prueba 2	11:30 am	33,78	50,5
Prueba 3	12:30 pm	34,3	54,5
Prueba 4	1:30 pm	34,5	62,8
Prueba 5	2:30 pm	34,8	63,2
Prueba 6	3:30 pm	34,1	53,3

Fuente: Autor

Figura 38. Variación de temperaturas respecto a un tiempo



Fuente: Autor

La Figura 38 indica el comportamiento de la temperatura ambiente vs la del colector a partir de las variaciones de periodos entre las 10:30 am y 3:30 pm.

Figura 39. Temperatura colector lapso de tiempo promedio 10:30 y 11:30 am



Fuente: Autor

Teniendo en cuenta la trayectoria del sol se lleva a cabo la graduación del colector de 0 a 25°. La Figura 39 refleja una fijación de aproximadamente 18°, captando así una temperatura de 48,8 ° C.

Figura 40. Temperatura colector 1:30 pm



Fuente: Autor

Evidencia temperatura colector 62,8 °C en el periodo comprendido entre 12:30 y 1:30 pm.

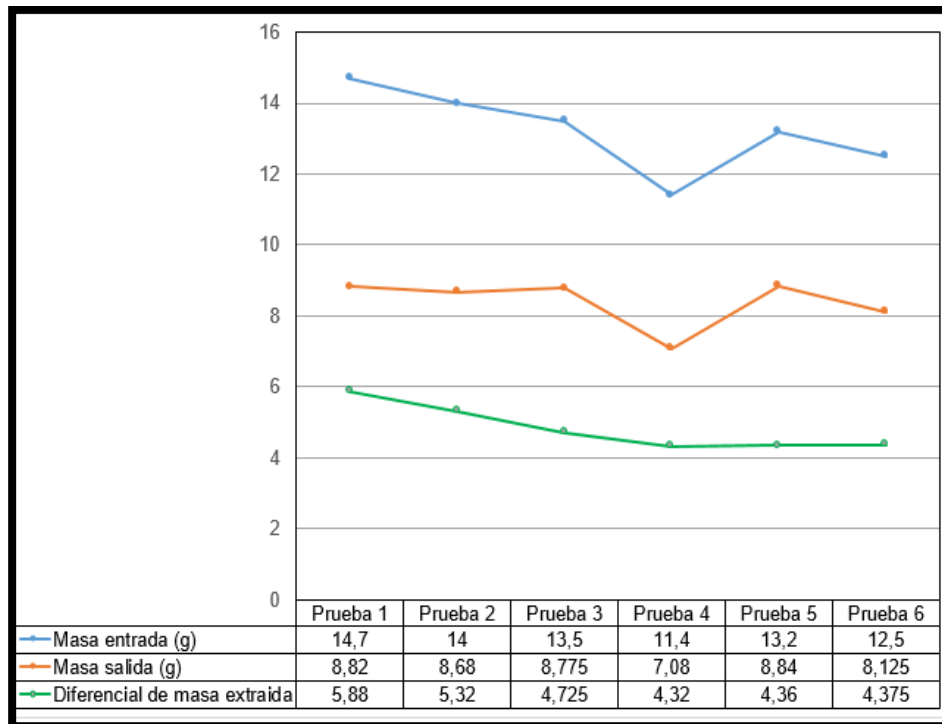
Figura 41. Temperatura máxima colector 2:30 pm



Fuente: Autor

Con base a la Figura 41, se representa en la Figura 43 la evidencia de temperatura máxima 63,2 ° captada por el colector y el flujo de temperatura desplazado a la cabina de deshidratación con un valor de 54,5 °C.

Figura 42. Comportamiento de masa extraída



Fuente: Autor

A partir de los datos obtenidos en la Tabla 9 se lleva a cabo el desarrollo gráfico del comportamiento del diferencial entre la masa de entrada y masa de salida. El eje Y de la gráfica representa el rango de masa, ya sea de entrada, salida o extraída. Concluyendo valores máximos en la prueba 1 y 2 con un promedio de extracción de 5,32 y 5,88 g. Al igual los valores mínimos están basados en un promedio de 4,32 a 4,37 evidenciados en la prueba 4,5 y 6, las cuales se caracterizan por una temperatura de menor grado a las pruebas 1,2 y 3 como se observa en la Tabla 8.

A partir de la ecuación 11 se logra calcular el porcentaje de contenido de humedad.

$$\omega_{wb} = \frac{W_w}{(W_w + W_d)} * 100$$

W_w = Peso del agua contenido en el producto, (Kg.).

W_d = Peso del producto seco, (Kg.)

ω_{wb} = contenido de humedad en base humedad, (%).

Prueba 1.

$$\omega_{wb} = \frac{5,88}{(5,88+8,82)} * 100 = 40\%$$

Prueba 2

$$\omega_{wb} = \frac{5,32}{(5,32+8,68)} * 100 = 38\%$$

Prueba 3

$$\omega_{wb} = \frac{4,72}{(4,72+8,77)} * 100 = 35\%$$

Prueba 4

$$\omega_{wb} = \frac{4,32}{(4,32+7,08)} * 100 = 38\%$$

Prueba 5

$$\omega_{wb} = \frac{4,36}{(4,36+8,84)} * 100 = 33\%$$

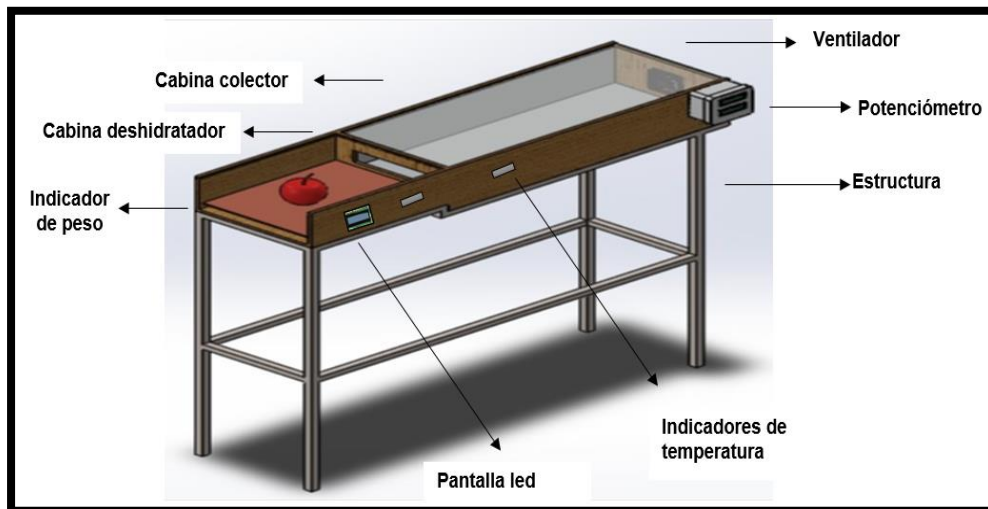
Prueba 7

$$\omega_{wb} = \frac{4,37}{(4,37+8,125)} * 100 = 35\%$$

4. RESULTADOS

Se construyó un prototipo con un sistema de deshidratación, el cual su proceso es de transportar de la cámara de flujo de aire hacia la cámara de secado, donde se instaló un ventilador de 12 voltios con un potenciómetro para graduar su velocidad.

Figura 43. Partes del equipo

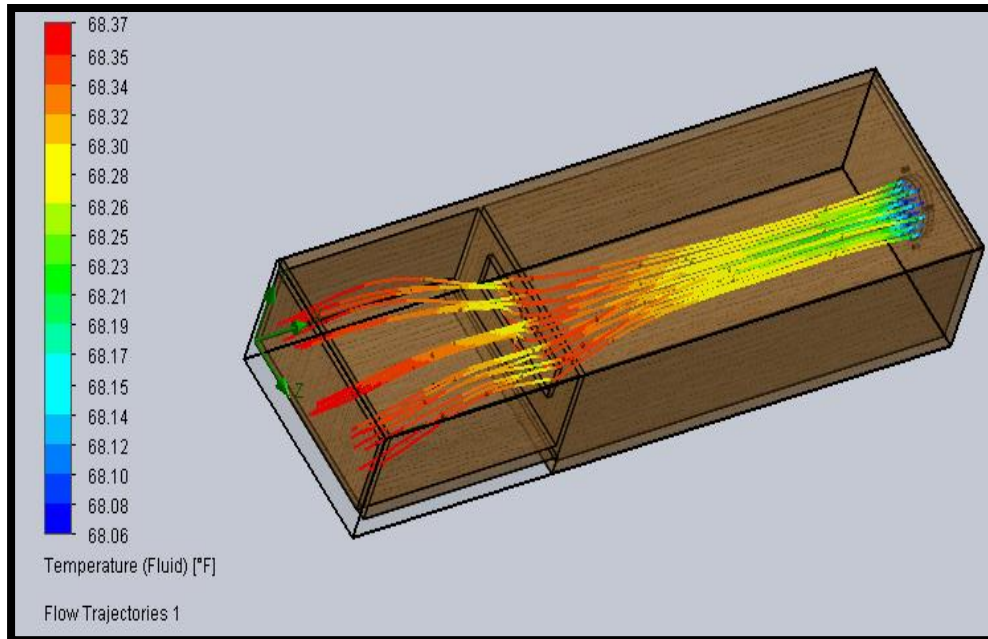


Fuente: Autor

Asimismo, se recubrió las paredes con lámina galvanizada para concentrar más la temperatura y un vidrio en la parte superior para permitir entrada de la luz solar y así mismo poder ver su proceso que continua hacia la cámara de secado con sensores que permiten medir la temperatura que llega desde la cámara de fluido.

Figura 45 se observa la modelación del secador de tomate que se realizó en el formato de descripción de la simulación (SDF), que es utilizado para crear modelos de mecanismos para la visualización de videos lo cual se utiliza la solapa de comandos con la opción complementos de solidworks y luego flow simulación.

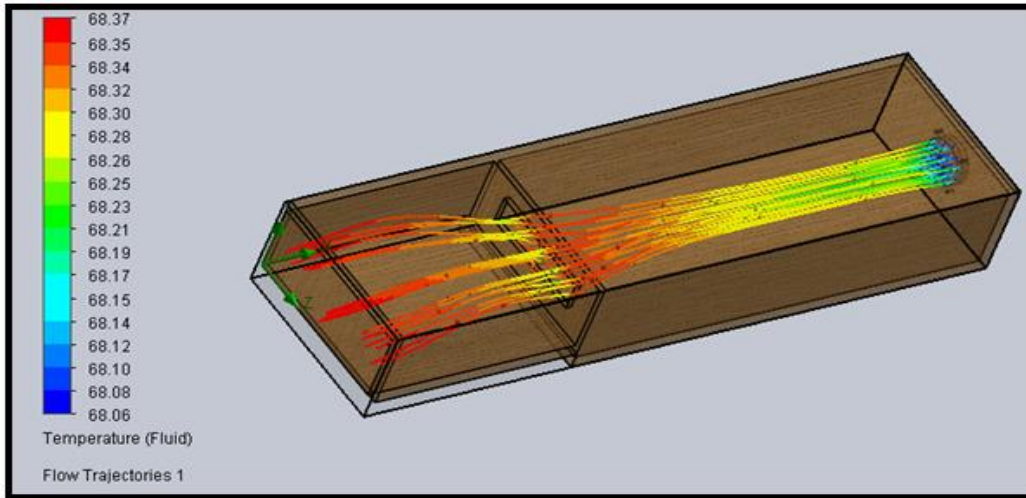
Figura 44. Simulación de la temperatura en SDF



Fuente: Autor

La presión que se refleja en la Figura 44 entre los valores $2115.427 \frac{lbf}{ft^2}$ y $2118.079 \frac{lbf}{ft^2}$ se denota que la diferencia es muy baja ya que mantienen la presión atmosférica 14.7 psi, los cambios oscilan entre mili psi, esto ocurre a diferentes factores como los diámetros del ventilador, la potencia que entrega es baja y no lo suficiente para generar producir un aumento de presión en el sistema.

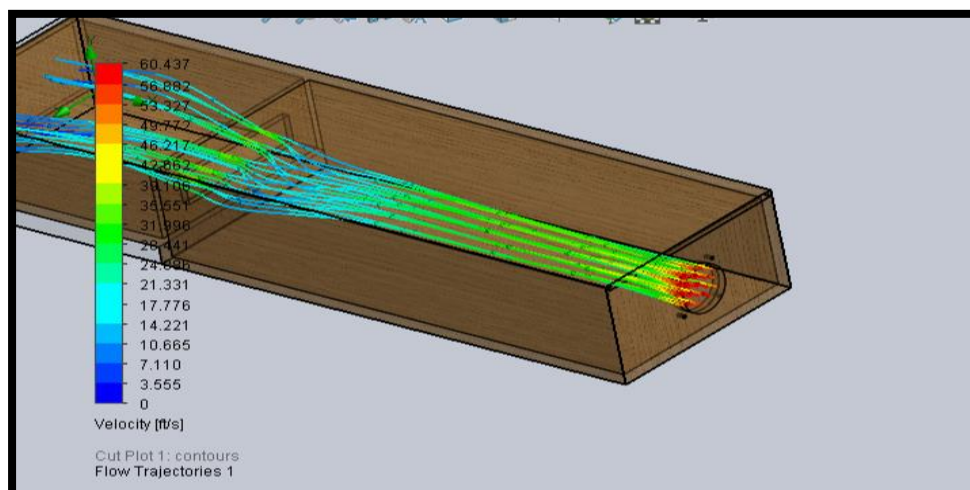
Figura 45. Simulación de la presión en SDF



Fuente: Autor

Otro factor que influye para que se presenten estas condiciones es el diseño del deshidratador de tomate. En otras palabras, el sistema no es hermético, sino al contrario se encuentra a la atmosfera y como se conoce que la presión es igual a la presión atmosférica más la presión del sistema, podemos decir que la presión del sistema es despreciable, por tal razón la simulación solo arrojo resultados de la presión casi constante.

Figura 46. Simulación de la velocidad en SDF



Fuente: Autor

En la simulación realizada se verifica el comportamiento del deshidratador tanto la velocidad como la temperatura y presión, siendo la temperatura y presión dependen de la velocidad de aire del ventilador. La Figura 46 refleja en la paleta de colores el proceso ascendente de la velocidad empezando $3.55 \frac{ft}{s}$ hasta alcanzar la máxima de $60.437 \frac{ft}{s}$.

La variación del flujo tiene como consecuencia la disminución de la temperatura en el colector solar, de tal manera que la energía cinética del aire interactúa con el material galvanizado realizando la transferencia de calor y de esta manera pierde temperatura la lámina, teniendo claro que solo es un porcentaje bajo de ello, para después mantener una temperatura en el flujo de aire del secador, esto solo varia si hay aumento de la temperatura en la lámina a raíz de la radiación solar.

Figura 47. Apertura deshidratador



Fuente: Autor

Los resultados que se obtiene del diseño que se implementó en este proyecto de grado muestra que es un modelo versátil, que permite estudiar las variables ambientales, fisicoquímicas, operacionales y propiedades térmicas asimismo

como de humedad, velocidad tiempo crítico y calcular los diferentes periodos de secado en condiciones de operación constante, por medio de su diseño gradual.

Figura 48. Deshidratación del tomate



Fuente: Autor

Los resultados obtenidos en el tomate que fue lavado, cortado y pesado en un sensor Hx711. Donde mostro una disminución en la capacidad antioxidante pero no mostro diferencias significativas. La pérdida de la capacidad antioxidante puede deberse a la estructura del producto y la forma en que se cortó y fue expuesto al proceso de deshidratación y a la pérdida por degradación térmica de los compuestos fotosensibles induciendo a la oxidación.

Tabla 14. Eficiencia del deshidratador con Angulo de inclinación

Inclinación	Horas de exposición	Masa Entrada (g)	Masa Salida (g)	Δ de masa extraída	$e = \frac{\text{masa extraída}}{\text{masa de entrada}}$
5°	5 horas (10:30am-3:30pm)	16	8,45	7.95	49%
10°	5 horas (10:30am-3:30pm)	15.7	8.78	6.92	44%
20°	5 horas (10:30am-3:30pm)	16	9.3	6.7	41%
Masa promedio		15.9	8,84	7.19	44.6%

Fuente: Autor

La inclinación del deshidratador es importante para la eficiencia del equipo, se realizaron tres pruebas en diferentes días, para el resultado de la eficiencia, en la tabla número 14 se puede observar cómo fue la variación respecto al ángulo que dependió de la posición del sol, con el ángulo de 5 grado el sol, a las 12 de medio día tendrá una sombra en el colector de 5.5 centímetros de la cabina deshidratadora a la cabina colector así mismo para los puntos de inclinación de 10 grados la sombra es de 7.6 cm y el de 20 grados de 9 cm.

Es por ello que se pudo constatar que el grado más bajo ayuda a una mejor recolección de la radiación solar, debido a que en las horas de la tarde la temperatura es mayor que en la mañana, y el grado más alto de inclinación, ayudara que haya más sombra y menos radiación en el colector, no obstante, se aclara que la temperatura de las 12 de medio día, en promedio es más elevada que la de la mañana y la de la tarde.

La eficiencia del equipo se encuentra entre valores de 49 % y 41% indicando que el sistema trabaja por encima del 50% de la eficiencia total del equipo, calculo que se realizó según el método de Suleyman, para este tipo de procesos es adecuado un colector con una eficiencia de 0,6 a 0.7.

5. CONCLUSIONES

Por medio del software SolidWorks (diseño asistido por computadora). Utilizado Para modelar piezas y ensamblaje en 3D, se diseñó el prototipo compuesto por un ventilador de 12 voltios, sensores de temperaturas, sensor Hx711, celda de carga, pantalla led, potenciómetro y un Arduino que complementan un sistema de deshidratación empleado con energía solar, para las pruebas de secado o deshidratación del tomate.

Como ejercicio para evaluar los conocimientos a lo largo de la carrera, el diseñar y construir un equipo, es una experiencia enriquecedora, que ayuda a confrontar la teoría con la práctica, favorece al estudiante con la vivencia de enfrentar situaciones reales por ejemplo en la adquisición de materiales, sus costos la adaptabilidad en las situaciones de no encontrarlos, todo esto aporta un valor agregado un trabajo de grado de este tipo.

Se logró el objetivo de diseñar un sistema de secado o deshidratación ya que, Durante el tiempo de secado, la cámara conserva una temperatura mayor que la temperatura ambiente, esto se atribuye al correcto diseño de la cámara de secado de tomate, con la ayuda de la modificación que se implementó al banco de prueba se puede determinar las variables ambientales, fisicoquímicas, operacionales y propiedades térmicas que intervienen en el diseño del módulo de deshidratación de tomate.

La visualización del proceso, su fácil manejo constituye el equipo como una herramienta de investigación para el secado y además como un buen instrumento pedagógico. En la práctica el comportamiento de los materiales puede ser distinto del que se esperaría, de acuerdo con las curvas de deshidratación teórica debido a los cambios en la temperatura.

La temperatura y humedad dentro de la cámara de secado es un factor determinante, el modo de transferencia de calor por convección es la transmisión de calor de un punto a otro en un fluido o de una superficie sólida a un fluido y se debe al movimiento colectivo de las moléculas, tal movimiento, en presencia de un gradiente de temperatura, contribuye a la transferencia de calor. Los procesos de transferencia de calor que comprenden cambio de fase de un fluido es forzado a fluir sobre la superficie mediante medios externos con un ventilador.

6. RECOMENDACIONES

Se sugiere ampliar el desarrollo de pruebas a otros productos con el propósito de efectuar nuevos estudios que permitan evidenciar cómo se comporta al momento de variar la temperatura en el entorno q se encuentre. También, el desarrollo de cálculos analíticos con diferentes parámetros da cabida a la dinamización de resultados y análisis de nuevos casos de secado o deshidratación.

Al utilizar el sistema de deshidratación podemos ver un panorama de cómo está la distribución de temperaturas, sin embargo, para mejorar el diseño se recomienda realizar simulaciones del prototipo mediante el uso de programas de Dinámica Computacional de Fluidos, incluyendo diferentes configuraciones de entrada y salida del aire y añadiendo equipos auxiliares al prototipo como intercambiadores de calor y ventiladores.

Se recomienda disponer de software especializados para el procedimiento de ecuaciones diferenciales simultáneas de los fenómenos de transferencia o software para la simulación de dinámica de fluidos, Con el fin de entender mejor el comportamiento del aire, difusión de humedad, velocidad y etapas de la deshidratación durante el proceso de secado.

7. BIBLIOGRAFÍA

Alonso, M. I. (2014). Diseño, construcción y evaluación de un prototipo de secador solar para el proceso de secado de tomate. Xalapa, Ver.: Universidad Veracruzana.

Buitrago, C. (2014). Estudio preliminar para deshidratación solar de mango (Mangifera Indica L. Var. Común) en Colombia. Bogotá D.C.: Universidad Nacional Abierta y a Distancia, U.N.A.D.

C. Ernesto, A. (2007). Nayarit: reforma y desarrollo. México: Universidad Autónoma de Nayarit.

Castillo, A., Subovsky, M., Rodríguez, S., & Fernández, N. (2002). Deshidratación de hortalizas usando un secadero solar. Argentina: Univ. Nacional del Nordeste.

Díaz, O. A. (2003). Guía para post cosecha y mercadeo de productos agrícolas. Bogotá D.C.: Convenio Andrés Bello.

Galaviz, J. V. (2012). Estrategia Tecnológica sustentable para deshidratar frutas, verduras y legumbres. España: UTC.

Galaviz, J., & Alfaro, J. (2014). Mejora y optimización de procesos de manufactura. México: Universidad Tecnológica de Tlaxcala,.

García, L., Mejía, M., Julieth, D., & Valencia, C. (2012). Diseño y construcción de un deshidratador solar de frutos tropicales. Bogotá D.C.: Universidad Libre.

Ghosh, B. N. (1986). Maquinaria para el procesamiento de cosechas. Costa Rica: IICA.

Lemus, J., & Gómez, J. (2015). diseño y construcción de un sistema cíclico de colección, transporte y descarga de energía solar térmica para un deshidratador solar en el municipio de san juan del río, Qro. México: Universidad Tecnología de San Juan del Río.

Martínez, C. V. (2005). Alimentación y nutrición. España: Ediciones Díaz de Santos.

Mujumdar. (2006). Handbook of industrial Drying. sd: CRC.

NTE INEN 2996. (2015). NTE INEN 2996, Productos deshidratados. zanahoria, zapallo, uvilla. Requisitos. Quito, Ecuador: Servicio Ecuatoriano de Normalización.

Pinzón, L. (2016). Propuesta de un sistema de secado solar térmico para biomasa de café tipo borra en la planta de bugalagrande de Nestlé S.A. Bogotá D.C.: Fundación Universidad de América.

Resolución número 003929. (2013). Resolución número 003929 de 2013, por la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir las frutas y las bebidas con adición de jugo (zumo) o pulpa de fruta. Bogotá D.C.: El Ministerio de Salud y Protección Social.

Resolución número 4506. (2013). Resolución número 4506 de 2013, Por la cual se establecen los niveles máximos de contaminantes en los alimentos destinados al consumo humano y se dictan otras disposiciones. Bogotá D.C.: El Ministerio de Salud y Protección Social.

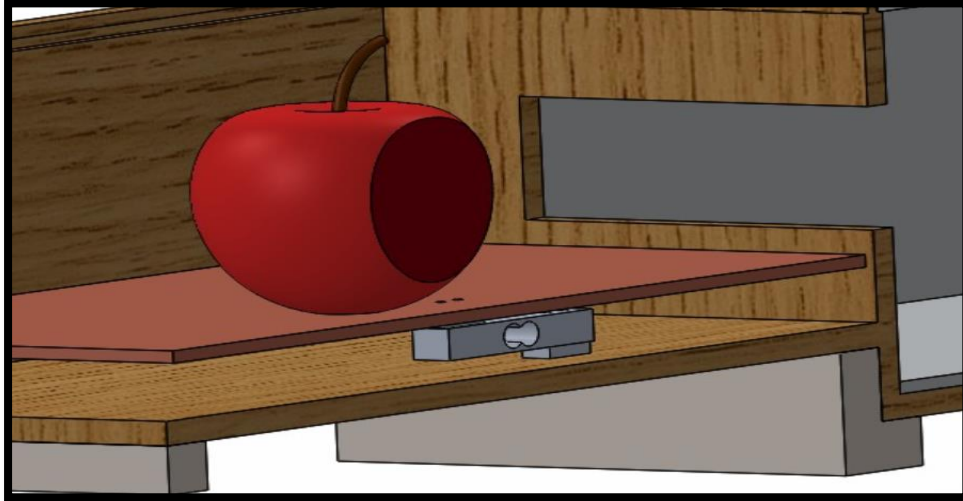
Resolución número 7992. (1991). Resolución número 7992 de 1991, Por la cual se reglamenta parcialmente el Título V de la Ley 09 de 1979, en lo relacionado con la elaboración, conservación y comercialización de Jugos. Bogotá D.C.: El Ministerio de Salud.

Rodríguez, J., & López, C. (2016). UF1356-Control de la conservación de los alimentos para el consumo y. España: Ediciones Paraninfo S.A.

Santamaría, L. D. (2016). Diseño, construcción y análisis energético de paneles solares de aire forzado para un horno de deshidratado de frutas. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.

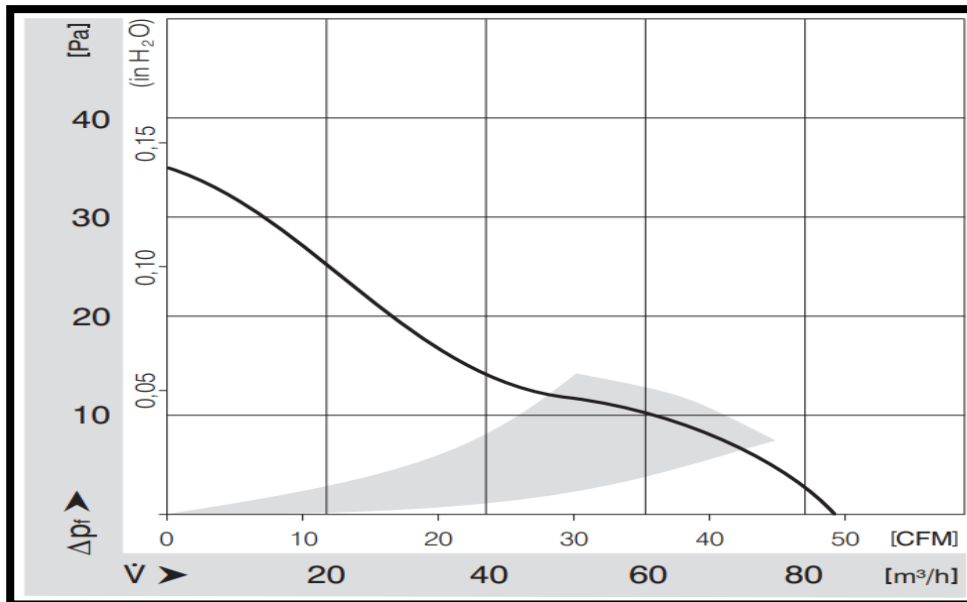
ANEXOS

Anexo 1. Corte transversal de entorno de deshidratación



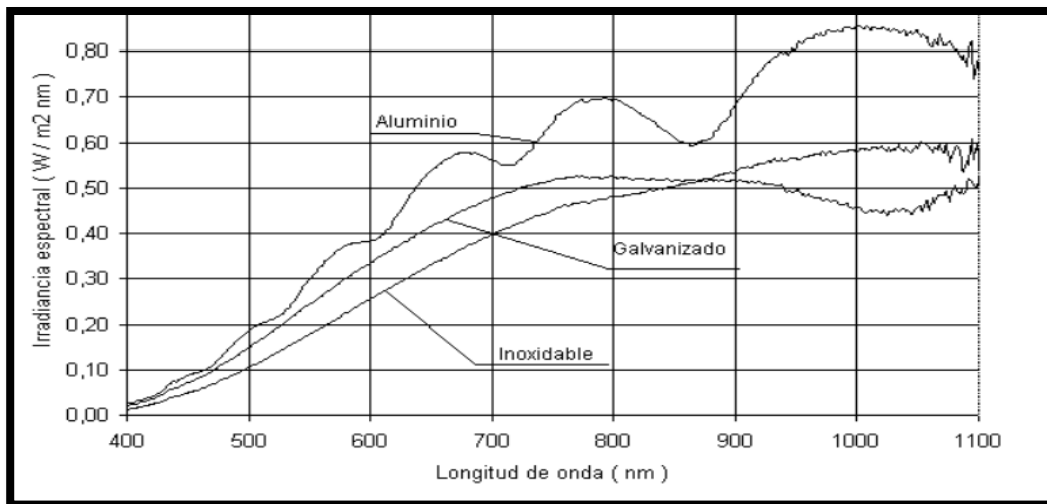
Fuente: Autores

Anexo 2. Curva de flujo de aire vs presión



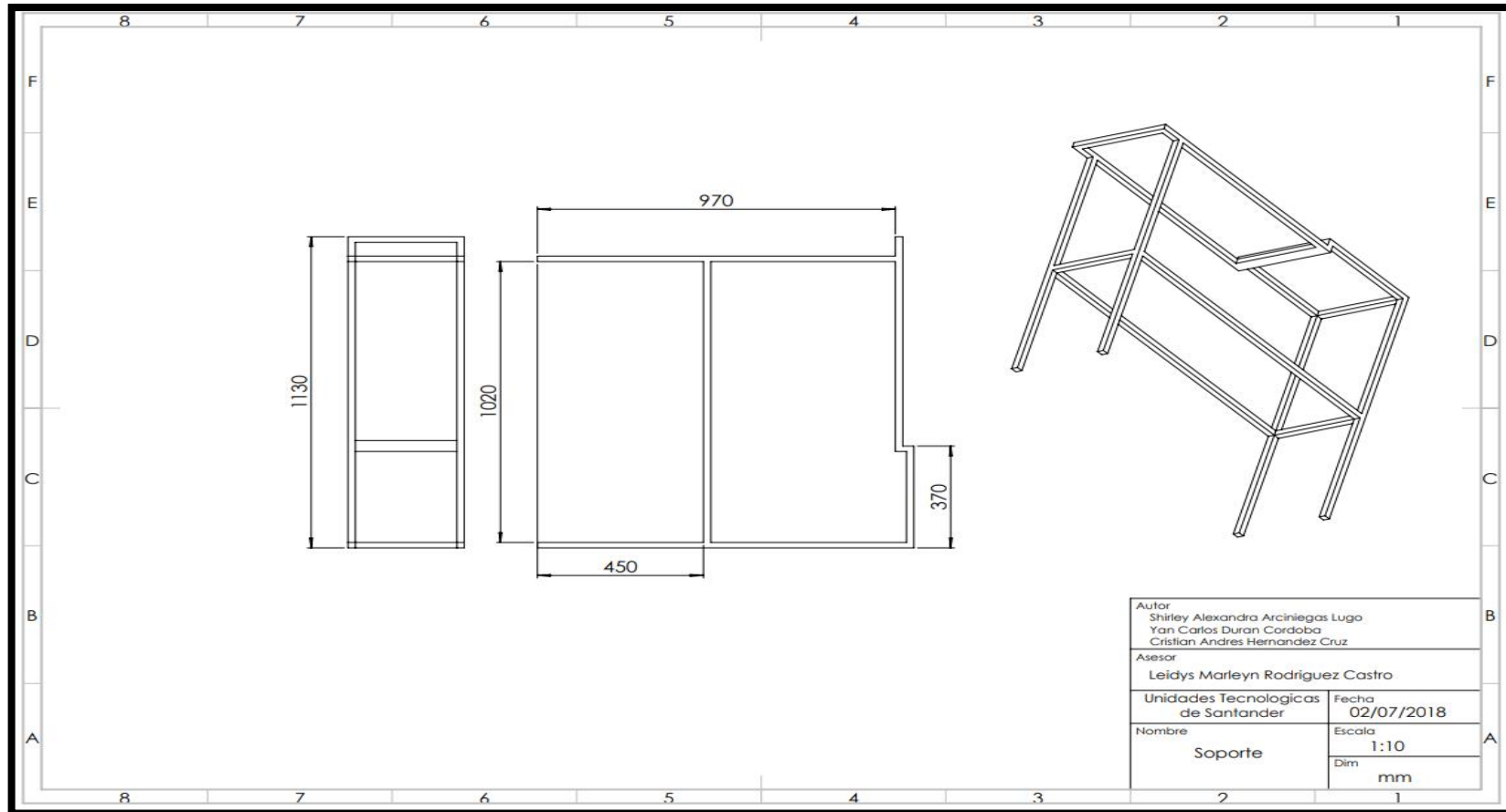
Fuente: <http://descargas.cetronic.es/3412.pdf>

Anexo 3. Curva de longitud de onda vs irradiacia



Fuente: <https://www.mendoza-conicet.gov.ar/asades/modulos/averma/trabajos/2000/2000-t008-a003.pdf>

Anexo 4. Plano soporte



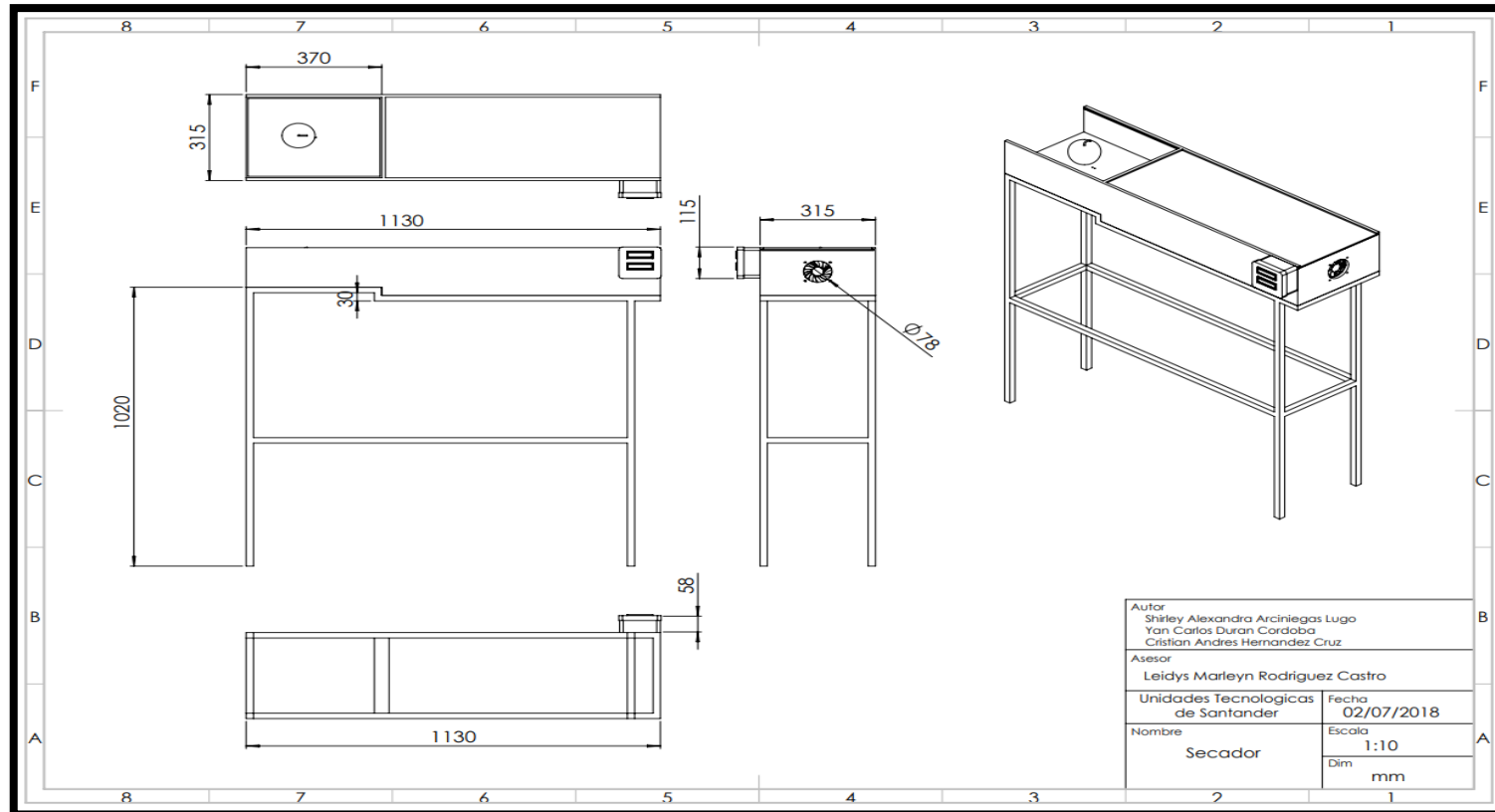
Fuente: Autor

ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación
FECHA APROBACION:

Anexo 5. Plano secador



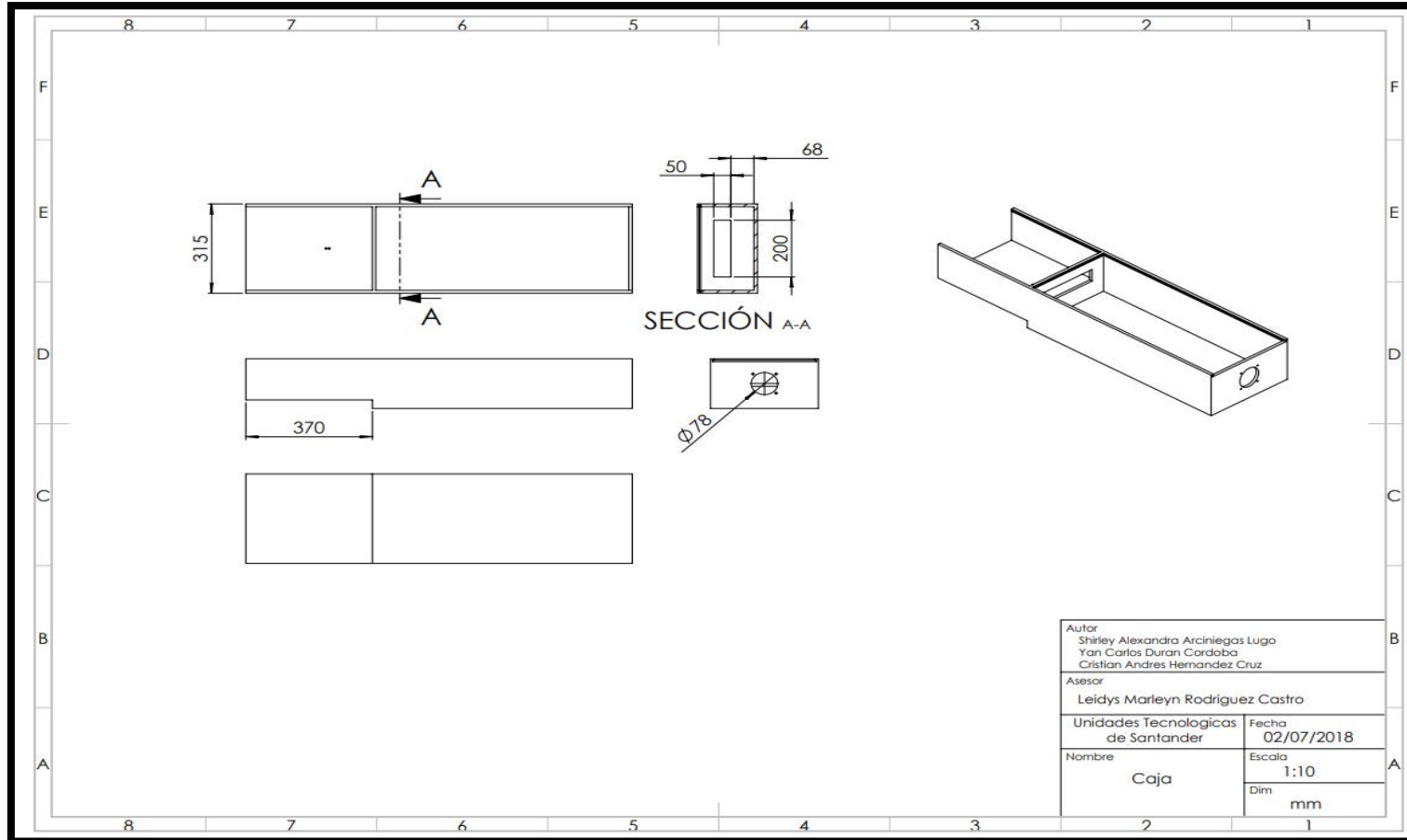
Fuente: Autor

ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación
FECHA APROBACION:

Anexo 6. Plano estructura



Autor Shirley Alexandra Arciniegas Lugo Yan Carlos Duran Cardoba Cristian Andres Hernandez Cruz	
Asesor Leidys Marleyn Rodriguez Castro	
Unidades Tecnológicas de Santander	Fecha 02/07/2018
Nombre Caja	Escala 1:10 Dim mm

Fuente: Autor

ELABORADO POR:
 Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
 soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación
 FECHA APROBACION:

Anexo 7. Ajuste al enchufe.



Fuente: Autor.

Anexo 8. Ajustes ventilador.



Fuente: Autor.

Anexo 9. Medidas del corte de tabla



Fuente: Autor.

Anexo 10. Ajuste de sensores de temperatura



Fuente: Autor.

Anexo 11. Conexión control de velocidad.



Fuente: Autor.

Anexo 12. Ingreso de vidrio.



Fuente: Autor

Anexo 13. Cuadro de registro de pruebas

Pruebas	Masa Entrada (g)	Masa Salida (g)
1. prueba		
2. prueba		
3. prueba		
4. prueba		
5. prueba		
6. prueba		
Masa Promedio		

Fuente: Autor

Anexo 14. Pruebas en el software Arduino

```

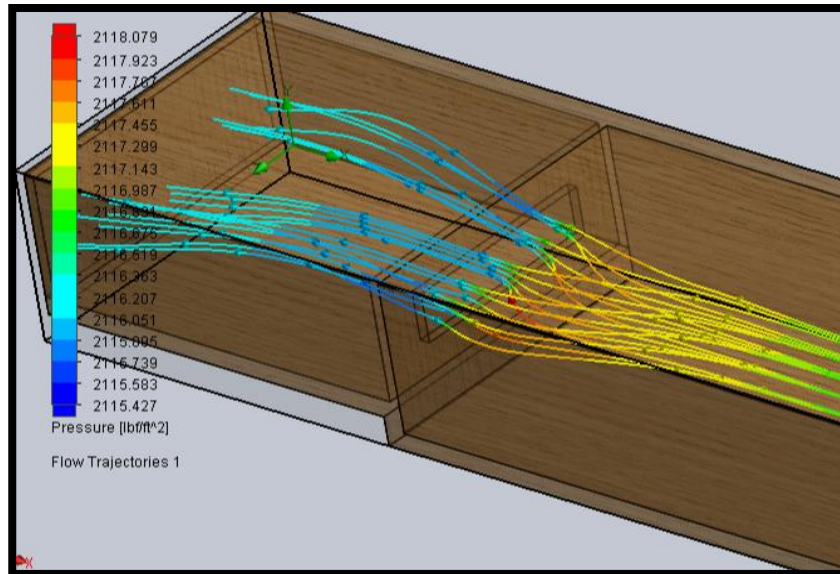
COM4 (Arduino/Genuino Uno)

Peso del tomate (g): 0.00
Peso del tomate (g): 0.00
Peso del tomate (g): 0.00
Peso del tomate (g): 0.00
Peso del tomate (g): 0.00
Peso del tomate (g): 0.00
Peso del tomate (g): 0.00
Peso del tomate (g): 0.16
Peso del tomate (g): 0.16
Peso del tomate (g): 0.16
Peso del tomate (g): 0.16
Peso del tomate (g): 0.16
Peso del tomate (g): 0.16
Peso del tomate (g): 0.16
Peso del tomate (g): 0.16
Peso del tomate (g): 0.16
Peso del tomate (g): 0.16
Peso del tomate (g): 0.16
Peso del tomate (g): 0.16
Peso del tomate (g): 0.16
Peso del tomate (g): 0.16
Peso del tomate (g): 0.16

```

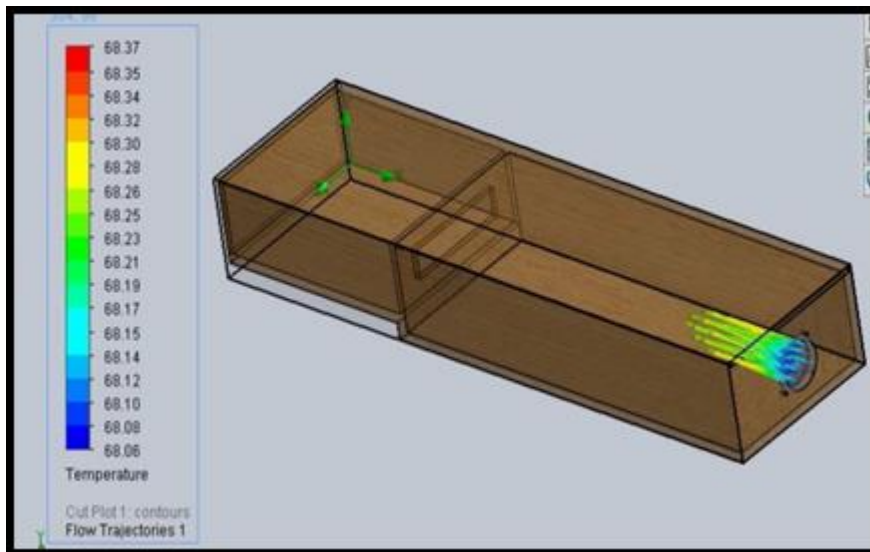
Fuente: Autor

Anexo 15. Presión



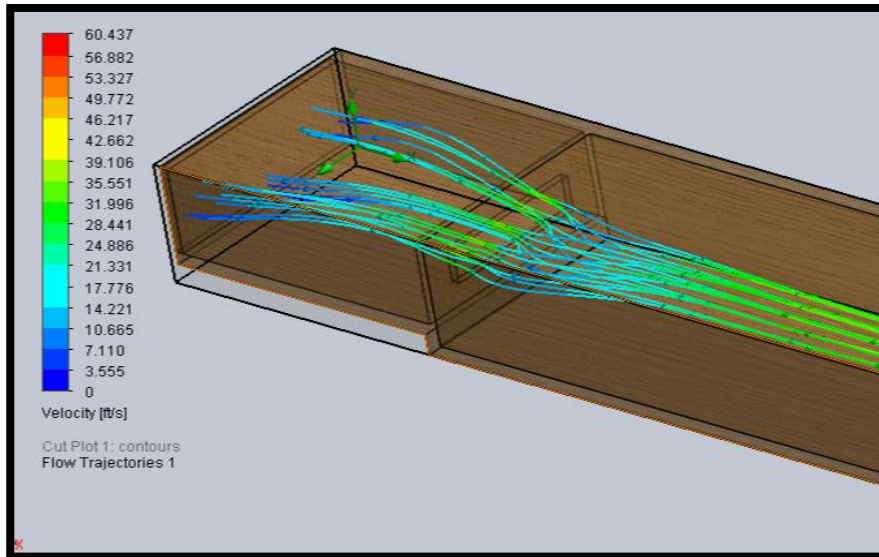
Fuente: Autor

Anexo 16. Temperatura



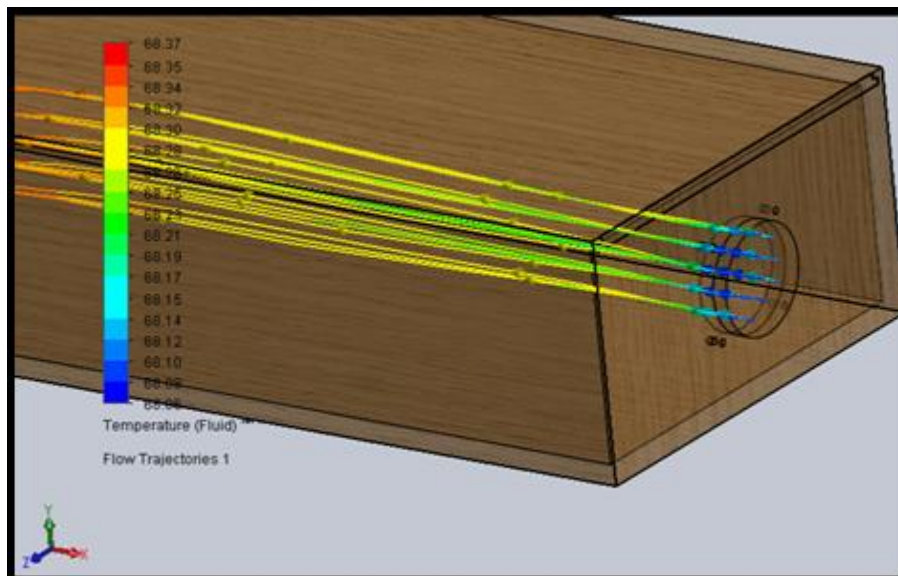
Fuente: Autor

Anexo 17. Paleta de colores del proceso de velocidad



Fuente: Autor

Anexo 18. Comportamiento del cambio de temperatura



Fuente: Autor