



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA
GUTIÉRREZ**

TRABAJO RECEPCIONAL EN LA MODALIDAD DE:

INFORME TÉCNICO

**“DISEÑO, INSTALACIÓN Y PUESTA EN
MARCHA DE UN DESHIDRATADOR DE
ALIMENTOS UTILIZANDO ENERGÍA
RENOVABLE”**

PRESENTA:

ENRIQUE GÓMEZ RINCÓN

NO. DE CONTROL:

13270787

LICENCIATURA:

INGENIERÍA QUÍMICA

ASESOR INTERNO: **ING. JOSÉ LUIS ESCOBAR VILLAGRÁN**

ASESOR EXTERNO: **ING. FRANCISCO JAVIER PÉREZ MARTÍNEZ**

TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS; 15 DE ENERO DEL 2018

ÍNDICE

ÍNDICE.....	2
JUSTIFICACIÓN.....	3
OBJETIVOS.....	6
Objetivo General:	6
Objetivos Específicos	6
PROBLEMAS A RESOLVER.....	7
MARCO TEÓRICO	8
Deshidratación de alimentos.....	8
Definición de la operación.....	8
Objetivos de la deshidratación de alimentos	9
El consumo de energía en la deshidratación de alimentos y productos agrícolas	11
Energía solar como energía utilizada en deshidratación de alimentos	12
Secador de bandejas o de armario	13
Sistemas de ecuaciones a implementar.....	15
Patente “Deshidratador de alimentos utilizando energía renovable”	16
PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS	27
CÁLCULOS	43
RESULTADOS	48
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	50
Conclusiones.....	50
Recomendaciones	51
COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS.....	52
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y VIRTUALES	54

JUSTIFICACIÓN

El diseño y construcción de un deshidratador de alimentos se relaciona con los campos del procesamiento de alimentos, el uso de energía renovable proporciona un equipo para la deshidratación de alimentos que usa la radiación solar como fuente de energía.

El proceso de deshidratación de alimentos es una técnica fundamental en la preservación de los alimentos y se lleva a cabo mediante secado con aire caliente, la cual es una operación altamente demandante de energía calorífica. Dado que los combustibles fósiles son los más utilizados como fuente de energía para los deshidratadores, este proceso tiene implicaciones ambientales importantes. En los países desarrollados se estima que entre un 10% a 25% del consumo de energía industrial es atribuido al secado de productos. Aunado a esto, los rendimientos energéticos de los equipos deshidratadores son bajos, desde 30% hasta 70% (Mujumdar, 2011).

Es importante mencionar que por cada tonelada de agua evaporada de los productos deshidratados, se consumen de 90 a 160 Kg de combustibles fósiles, lo que provoca una huella de carbono de 270 a 470 Kg de bióxido de carbono equivalente.

Para el caso de la deshidratación de alimentos, la evaporación de su contenido de agua se lleva a cabo a temperaturas relativamente bajas, ya que temperaturas mayores pueden ocasionar deterioro de la calidad del producto, debido a la sensibilidad que tienen muchos de los componentes de los alimentos a la temperatura. Esta característica hace viable el aprovechamiento de la radiación solar como fuente de energía calorífica para el proceso de secado. Muchos productos deshidratados se producen exponiéndolos al aire ambiente y recibiendo la radiación solar directa, pero esta técnica, aunque muy sencilla, no permite un control adecuado de la calidad del producto, principalmente en los aspectos de

inocuidad por el hecho de que el producto está expuesto a la intemperie y es susceptible de contaminación con materia extraña y al deterioro de los componentes del producto por recibir la radiación solar directa.

El uso de sistemas de calentamiento mediante el quemado de combustibles, ha simplificado el proceso de secado y facilitado el control de la temperatura. Los sistemas de calentamiento directo mezclan los gases de combustión de los materiales combustibles con el aire de secado, aprovechándose de esa manera el total del calor generado. Sin embargo esta técnica tiene el inconveniente de que el producto es susceptible de contaminación por residuos de la combustión.

Durante mucho tiempo se han desarrollado deshidratadores de alimentos utilizando la energía solar, con el fin de reducir los costos por concepto de consumo energético. La mayoría de los diseños de deshidratadores solares cuentan con una cámara de calentamiento del aire de secado mediante la captación de la radiación solar directa, pero tienen el inconveniente de que no se puede controlar la temperatura y durante los periodos de nubosidad o durante la noche, el proceso de secado prácticamente se detiene.

El deshidratador de alimentos utilizando energía renovable que esta invención propone consiste en una cámara de secado con recuperación de calor para el alojamiento del material a deshidratar, a la cual se le suministra un flujo de aire mediante un ventilador a la entrada de la cámara, con recirculación de una parte de la corriente de aire exhausto a la salida del deshidratador, mediante el mezclado del aire exhausto con una corriente aire fresco del ambiente, de manera que el contenido de humedad de la mezcla resulta menor que el del aire exhausto. Una parte del aire mezclado se desaloja del sistema y la otra parte se recircula a la cámara de secado, pasando antes por un intercambiador de calor de tubos aletados que ofrece mayor superficie de transferencia de calor que un simple intercambiador de tubos y en el cual se utiliza como medio calentante un fluido térmico que ha sido calentado mediante energía solar y que se almacena en un tanque reservorio aislado para abastecer al intercambiador en forma continua,

reduciendo el efecto de la disminución de captación solar durante los periodos de nubosidad.

Durante periodos prolongados de nubosidad y durante la noche, el fluido térmico puede ser calentado mediante un calentador auxiliar de operación a base de combustibles, preferentemente producidos de fuentes renovables como biogás, bioetanol, biodiesel, etc., o mediante resistencia eléctrica alimentada con un sistema eléctrico asistido con paneles fotovoltaicos que aprovechan también la radiación solar. El sistema eléctrico puede operar de dos maneras: un sistema autónomo mediante almacenamiento de energía eléctrica en baterías o un sistema interconectado a la red urbana de suministro eléctrico mediante un dispositivo bidireccional que envía a la red la corriente eléctrica generada y consume de la red la energía eléctrica necesaria; haciendo un balance entre lo entregado a la red y lo consumido de la red, pagando al proveedor de electricidad solo la diferencia a su favor en su caso. Se puede observar que la invención resuelve las diversas problemáticas que enfrentan los deshidratadores de alimentos convencionales, justificando su elaboración en base al cumplimiento de diversas necesidades que otros deshidratadores de alimentos existentes en el mercado no pueden cumplir.

OBJETIVOS

Objetivo General:

Diseñar la estructura metálica del deshidratador de alimentos mencionado en la patente llamada “Deshidratador de alimentos utilizando energía renovable” (localizada en la sección de Marco Teórico) y a su vez realizar la respectiva instrumentación de dicho equipo.

Objetivos Específicos

- Revisar la patente con intención de comprender los conceptos generales y su principio de funcionamiento.
- Elaborar diagramas del proceso con su respectiva instrumentación.
- Diseñar el plano estructural 3D del equipo, en el software SolidWorks.
- Dibujar en 3D los bocetos básicos de la instrumentación, en el software SolidWorks.
- Aplicar método de ensambles en el programa SolidWorks para observar las dimensiones reales y el gasto de materiales para la fabricación de la estructura metálica del deshidratador.
- Realizar los planos necesarios en el programa SolidWorks para llevar a cabo la fabricación de la estructura de la estructura metálica mencionada.
- Aplicar método de ensambles en el programa SolidWorks haciendo ubicaciones virtuales de la instrumentación para designarles su respectivo lugar en la estructura metálica fabricada.
- Instalar la instrumentación y dispositivos de controles necesarios para el deshidratador.

PROBLEMAS A RESOLVER

- Diseñar el plano estructural 3D en el software SolidWorks del deshidratador de alimentos e ir realizando las modificaciones necesarias de acuerdo a la instrumentación que se vaya adquiriendo.
- Adquirir la instrumentación necesaria de acuerdo a los recursos económicos proporcionados por el centro de investigación.
- Dimensionar los bocetos de la instrumentación y equipos de control adquiridos en 3D usando el software SolidWorks.
- Llevar acabo el método de ensambles en el software SolidWorks con la finalidad de realizar la instalación virtual de la instrumentación y equipos de control adquiridos, para observar el espacio que ocupará cada uno de ellos y así mismo analizar su respectiva ubicación.
- Realizar los planos necesarios en el Software SolidWorks para la fabricación de la estructura metálica.
- Soldar con el técnico las piezas necesarias para la fabricación de la estructura metálica de acuerdo a su respectivo plano.
- Instalar la instrumentación adecuada para el deshidratador de alimentos.

MARCO TEÓRICO

Deshidratación de alimentos

Definición de la operación

La deshidratación es una de las técnicas más antiguamente utilizada para la conservación de alimentos. El secado al sol de frutas, granos, vegetales, carnes y pescados ha sido ampliamente utilizado desde los albores de la humanidad proporcionando al hombre una posibilidad de subsistencia en épocas de carencia. Hoy en día la industria de alimentos deshidratado constituye un sector muy importante dentro de la industria alimentaria extendido por todo el mundo. El tamaño de las instalaciones varía desde simples secadores solares hasta grandes y sofisticadas instalaciones de secado.

Generalmente, se entiende por deshidratación la operación mediante la cual se elimina total o parcialmente el agua de la sustancia que la contiene. Esta definición puede ser aplicada a sólidos, líquidos o gases y tal como está expresada puede servir para describir varias operaciones unitarias como la evaporación, la adsorción, etc. Sin embargo, su tratamiento teórico y la tecnología empleada las diferencian completamente.

La mayoría de productos agroalimentarios son sólidos por lo que se define mejor la deshidratación como la operación básica por la que el agua que contiene un sólido o una disolución (generalmente concentrada) se transfiere a la fase fluida que lo rodea debido a los gradientes de actividad de agua (a_w) entre ambas fases (**Imagen 1**).

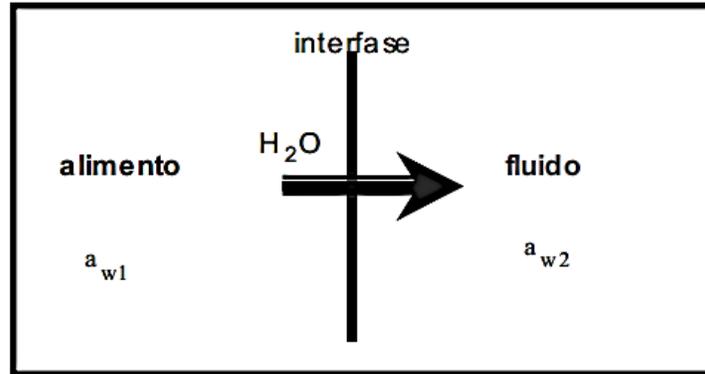


Imagen 1. Esquema de las fases alimento-fluido entre las que se produce el transporte de agua durante la deshidratación debido a un gradiente de a_w .

Objetivos de la deshidratación de alimentos

Desde la antigüedad se ha reconocido que los alimentos con mayor contenido en humedad son los más perecederos, de tal manera que el control en el contenido en humedad son los más perecederos, de tal manera que el control en el contenido en humedad de un producto es una herramienta para su conservación. Es común pensar que la mayor estabilidad de productos naturales está asociada con contenidos totales de humedad mínimos. Aunque esto puede ser cierto para una gran cantidad de productos, en muchos otros se ha observado que hay un intervalo óptimo de humedad no necesariamente asociado con niveles mínimos.

Aunque el contenido en humedad de un alimento puede ser un factor indicativo de su propensión al deterioro, también se ha observado que diferentes alimentos con el mismo contenido de humedad pueden ser muy diferentes en su estabilidad por el concepto de contenido en humedad es suficiente para indicar lo perecedero que es un alimento, al no tener en cuenta las interacciones del agua con otros componentes del mismo. Por esta razón, el primer objetivo de la operación de secado en cuanto a aumentar la estabilidad del producto se define en términos de depresión de la actividad de agua (a_w) y no en términos de disminución del contenido en humedad, pues que la a_w puede ser considerada una medida indirecta del agua que está disponible en un producto para participar en las reacciones de deterioro. Ajustando la a_w y eligiendo el envase adecuado puede

alargarse la vida útil de un alimento sin necesidad de refrigeración durante el almacenamiento.

La operación de deshidratación conlleva además una apreciable reducción del peso y volumen de los alimentos que se deshidratan, consiguiéndose así una importante reducción de los costes de transporte y almacenamiento de estos productos. La máxima reducción de volumen es la que se consigue al convertir alimentos líquidos en alimentos en polvo, sobre todo si el polvo obtenido se prensa en bloques o tabletas. El extremo contrario lo constituyen los alimentos sólidos liofilizados, en los que la reducción de volumen es prácticamente despreciable o muy pequeña. Entre estos dos extremos se encuentran la mayoría de los alimentos con distintos niveles de encogimiento dependiendo del tipo de producto, del método y de las condiciones de secado.

Otro de los objetivos que se persiguen con la deshidratación de alimentos es la transformación de estos en materias primas adecuadas para el mezclado y formulación de nuevos productos, como es el caso de las sopas deshidratadas, frutas y cereales para desayuno, etc.

Sin embargo, el secado también puede provocar cambios indeseables en los alimentos. El tamaño y la forma pueden cambiar considerablemente tal y como se ha expuesto anteriormente, de manera que cuando se reconstituye el alimento, este no recupera su forma y tamaño originales. Los cambios de color también pueden darse debido a la exposición durante el secado a altas temperaturas, cambios que perduran después de la reconstitución. Otro aspecto importante es el cambio en la textura debido al encogimiento celular provocado por la pérdida de agua y las altas temperaturas así como al posible cambio de estado gomoso a vítreo. Estos cambios pueden limitar la capacidad de los productos secos para absorber agua durante la rehidratación. En el caso de los alimentos en polvo, lo deseable es que se reconstituyan de forma instantánea y completa, tanto en

líquidos calientes como en fríos, y la medida en la que esto se logra depende del método y de las condiciones de secado.

Los cambios en el sabor y aroma de los productos de los productos deshidratados se deben fundamentalmente a la pérdida de componentes volátiles durante el proceso así como al desarrollo de sabores y aromas típicos de productos cocidos provocados por las altas temperaturas. Estos cambios son tanto mayores cuando más altas son las temperaturas utilizadas y/o cuanto mayor es el tiempo de secado, pudiendo minimizarse utilizando métodos de secado que impliquen temperaturas moderadas o bajas.

Las pérdidas de valor nutritivo tienen lugar en los tratamientos de preparación (lavado, pelado, troceado, etc.) siendo por tanto similares a las de los productos congelados o en conserva que sufran pretratamientos similares.

El consumo de energía en la deshidratación de alimentos y productos agrícolas

Frente a otros procedimientos de preservación de alimentos, la deshidratación presenta algunas ventajas importantes tal y como se ha comentado anteriormente (fácil embalaje y almacenamiento; ahorros considerables en el transporte, facilidad de utilización con otros métodos combinados en la producción de alimentos de humedad intermedia). Estas ventajas son especialmente interesantes en países en vías desarrollo. Sin embargo, los consumos de energía utilizada en los actuales procesos de deshidratación son muy importantes

Existen varias soluciones posibles:

Modificación de los procesos y las técnicas de deshidratación actualmente utilizadas. En este sentido, la “eficacia” de los deshidratadores industriales deberá ser modificada con objeto de buscar un máximo rendimiento energético en los mismos. Esta es la tendencia de los ensayos que actualmente se realizan para el secado de productos a temperatura ambiente.

Utilización de energías alternativas. De todas las energías alternativas, la utilización de subproductos agrícolas directamente como combustibles y de energía solar parece ser las que más posibilidades presentan. Los subproductos agrícolas pueden dividirse en general en dos grandes grupos: restos de plantas que tras la recolección quedan habitualmente en el campo y subproductos de industrialización de los productos agrícolas. La valoración de residuos sólidos orgánicos es una tendencia muy actual.

Dado la importancia que tienen los aspectos energéticos en las operaciones de deshidratación se aborda la energía solar como energía alternativa

Energía solar como energía utilizada en deshidratación de alimentos

El secado solar al aire libre ha sido utilizado desde tiempos inmemorables para el secado de carne, pescado, madera y otros productos agrícolas como medio de conservación. Sin embargo, para la producción elevada a escala industrial el secado solar presenta ciertas limitaciones, entre las cuales pueden destacarse el elevado costo de mano de obra, equipos de grandes superficies, dificultades en el control del proceso de secado, posibles degradaciones debido a reacciones bioquímicas o microbiológicas, infección por insectos, etc. Con objeto de aprovechar los beneficios de la fuente de energía limpia y renovable proporcionada por el sol, se han realizado numerosos intentos en los últimos años para desarrollar el secado solar principalmente para la conservación de productos agrícolas y forestales.

Entre las ventajas que presenta el secado solar, lo más destacable es la energía que utiliza (limpia, renovable y que no puede ser monopolizada). Sin embargo no puede olvidarse la dificultad que entraña al carácter periódico de radiación solar, dificultad que por otra parte puede solucionarse utilizando acumuladores de calor o utilizando una fuente de energía auxiliar. Incluso durante los periodos de radiación existentes existen ciertas dificultades, como por ejemplo que la intensidad de la radiación incidente es función del tiempo. Esta es una circunstancia que requiere una estrategia de control adecuado a los medios

necesarios de control. Otro problema que es el originado por la baja densidad de radiación solar, que requiere el uso de grandes superficies colectoras.

Un aspecto importante para la utilización de la energía solar es el coste y la rentabilidad. La energía solar puede ser utilizada de manera rentable para el secado solo si el objetivo del proceso puede coordinarse con las características específicas de la radiación solar. Por tanto, las circunstancias geográficas que determinan el número de días soleados al año y la intensidad de radiación incidente diferencian varias zonas de la tierra.

La relativamente pequeña densidad de flujo de energía solar implica que este tipo de energía es más adecuado para procesos de secado que presenten pequeñas demandas de energía.

Secador de bandejas o de armario

Normalmente funciona en régimen intermitente. Está formado por una cámara metálica rectangular que contiene unos soportes móviles sobre los que se apoyan los bastidores. Cada bastidor lleva un cierto número de bandejas poco profundas, montadas unas sobre otras con una separación conveniente que se cargan con el material a secar.

Se hace circular aire caliente entre las bandejas por medio del ventilador acoplado al motor haciéndole pasar previamente por el calentador constituido por un haz de tubos por cuyo interior circula normalmente vapor de agua. Los tabiques distribuyen uniformemente el aire sobre las pilas de bandejas.

Por medio del conducto de salida se evacua continuamente aire húmedo y a través de la abertura de entrada penetra aire fresco. Al final del ciclo de secado, normalmente largo, se saca de la cámara al conjunto de los bastidores para proceder a la descarga del producto seco y a una nueva carga.

Cuando las características del material y su manejo lo permiten, se utilizan bandejas perforadas en las que el aire circula a través de la capa de sólidos, con

los que se consigue aumentar la superficie de sólido expuesta a la acción del aire y disminuyendo consiguientemente la duración del ciclo de secado.

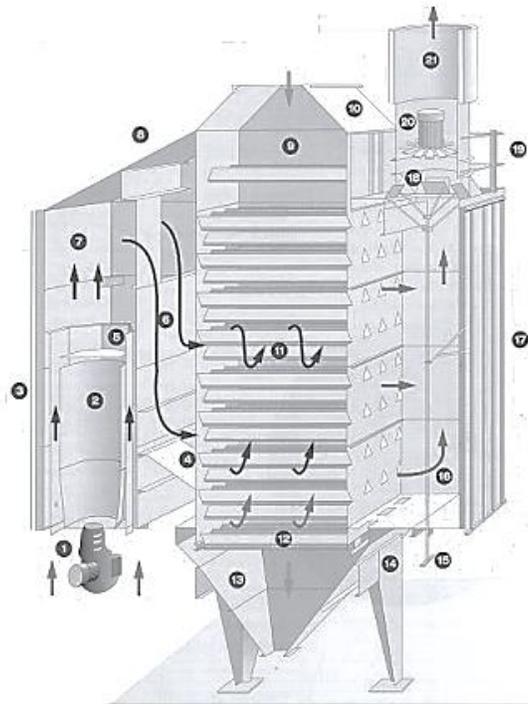


Imagen 2. *Secador de bandejas*

El secado de este equipo puede ser:

De flujo horizontal, si el aire circula paralelamente al lecho a secar

De flujo transversal, si el aire circula perpendicularmente al lecho a secar.

Los rendimientos térmicos de este tipo de secador suelen estar comprendidos entre el 20 y el 59%, pudiendo ser más bajos.

Los secadores de bandeja son útiles para secar pequeñas cargas de productos valiosos. En general se aplican cuando la capacidad necesaria no excede de 25 a 50 kg/h de producto seco.

En ellos se puede secar prácticamente cualquier material, pero a causa de la mano de obra requerida para la carga y descarga, su operación resulta costosa

para su baja capacidad de producción. Sin embargo, su polivalencia y la buena calidad comercial de los productos obtenidos los hace utilizables en la deshidratación de productos agrícolas. Los secadores de bandejas pueden funcionar en régimen semicontinuo.

Sistemas de ecuaciones a implementar

En el diseño de equipos para la deshidratación es necesario considerar varios aspectos. Los parámetros que influyen directamente en su capacidad son la cantidad y características del aire de que se dispone junto con el tiempo necesario para secar las partículas del producto que se desea procesar. El análisis de estos parámetros requiere diferentes tratamientos.

Balance de materia

$$m_a W_2 + m_p w_1 = m_a W_1 + m_p w_2$$

Dónde:

$$m_a = \text{El caudal másico de aire } \left(\frac{\text{kg aires eco}}{h} \right)$$

$$m_p = \text{El caudal másico de producto } \left(\frac{\text{kg sólido seco}}{h} \right)$$

$$W = \text{La humedad del aire } \left(\frac{\text{kg agua}}{\text{kg aire seco}} \right)$$

$$w = \text{La humedad del producto } \left(\frac{\text{kg agua}}{\text{kg sólidos secos}} \right)$$

Balance de energía

Mediante el balance de energía se obtiene:

$$m_a H_{a2} + m_p H_{p1} = m_a H_{a1} + m_p H_{p2} + q$$

Siendo

q = Las pérdidas de calor del sistema

$$H_a = \text{La entalpía del aire } \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg aire seco}} \right)$$

$$H_p = \text{La entalpía del producto } \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg sólidos secos}} \right)$$

Las entalpías del aire y del producto, respectivamente, se obtienen mediante:

$$H_a = C_s(T_a - T_0) + WH_L$$

Siendo

$$C_s = \text{El calor húmedo} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg aire seco}^\circ\text{K}} \right) = 1.005 + 1.88W$$

$$T_a = \text{La temperatura del aire } (^\circ\text{C})$$

$$T_0 = \text{La temperatura de referencia} = 0^\circ\text{C}$$

$$H_L = \text{El calor latente de vaporización del agua} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg agua}} \right)$$

Además

$$H_p = C_{pp}(T_p - T_0) + wC_{pw}(T_p - T_0)$$

$$C_{pp} = \text{Calor específico del sólido} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{Kg}^\circ\text{K}} \right)$$

$$T_p = \text{Temperatura del producto } (^\circ\text{C})$$

$$C_{pw} = \text{Calor específico del agua} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{Kgagua}^\circ\text{K}} \right)$$

Patente “Deshidratador de alimentos utilizando energía renovable”

En esta sección se describirá la patente que se tomará como referencia para realizar diferentes actividades. La invención descrita consiste en un deshidratador de alimentos que utiliza principalmente energía renovable para su operación y está constituido por una cámara de secado con circuito de aire caliente que contempla recuperación de calor del aire exhausto.

Descripción de la patente

Con el propósito de facilitar una mayor comprensión de las características que distinguen al invento objeto de esta solicitud, se adjuntan las figuras referidas a continuación, en las que con carácter ilustrativo más no limitativo se ha representado el innovador deshidratador de alimentos de conformidad con la invención.

Posteriormente se presentan los ejemplos no limitativos de la realización de la invención, haciendo alusión a las referencias numéricas que se incluyen en las figuras y que se enlistan a continuación.

- (1) Cámara de deshidratación de alimentos
- (2) Flujo de aire de secado

- (3) Intercambiador de calor de tubos aletados
- (4) Corriente de aire exhausto
- (5) Corriente de aire fresco
- (6) Ventilador
- (7) Flujo de aire desechado
- (8) Fluido térmico
- (9) Bomba de recirculación-1
- (10) Tanque reservorio
- (11) Banco de tubos de vidrio de doble pared evacuados
- (12) Control de temperatura
- (13) Bomba de recirculación-2
- (14) Control de encendido y apagado
- (15) Calentador de combustión
- (16) Válvula
- (17) Depósito de fluido térmico adicional
- (18) Tubo de venteo
- (19) Sistema de paneles fotovoltaicos
- (20) Inversor
- (21) Controlador bidireccional
- (22) Red urbana de suministro eléctrico
- (23) Controlador de carga
- (24) Batería
- (25) Resistencia eléctrica

Ejemplo 1

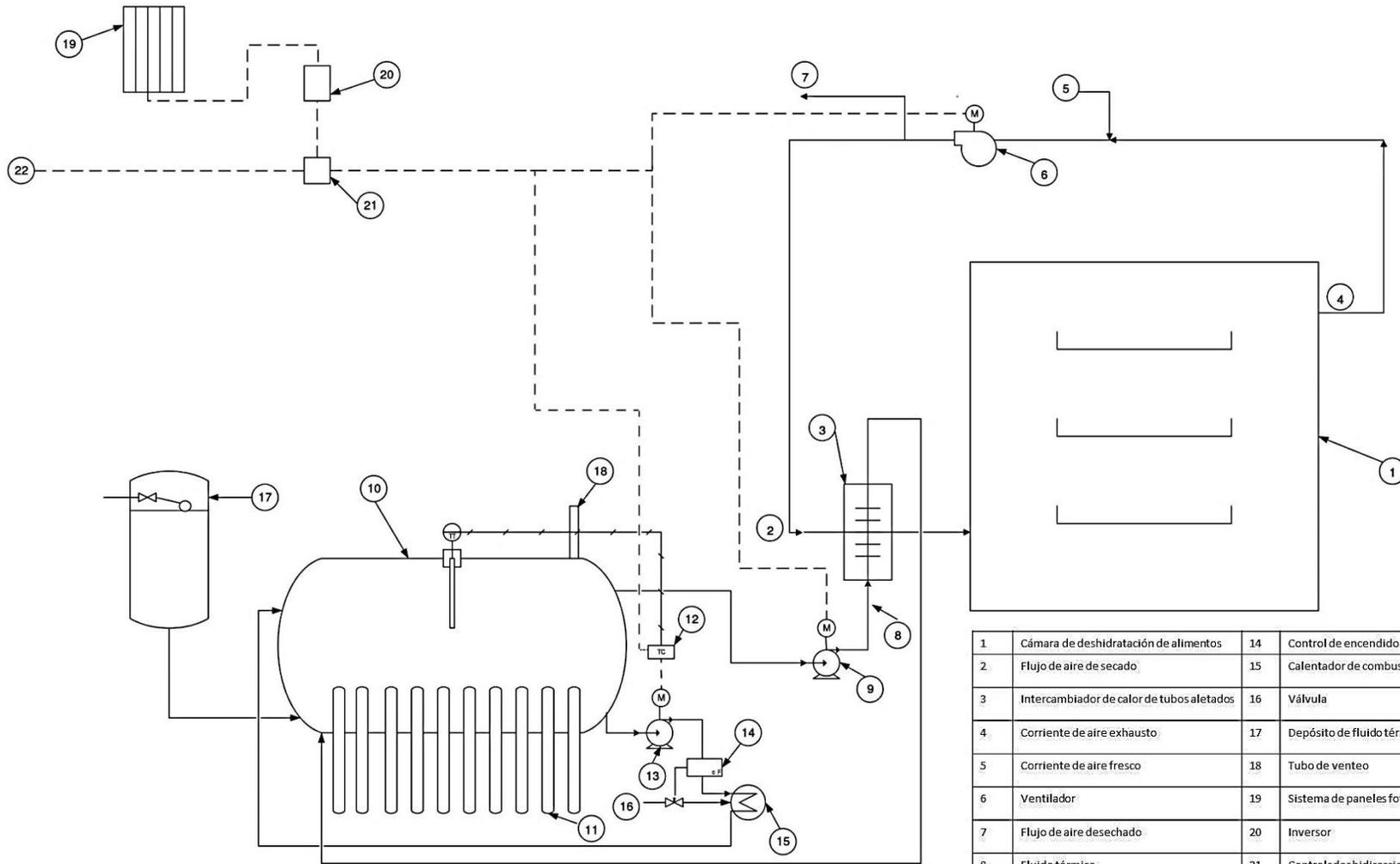
En el diagrama de la **figura 1**, se representa la cámara de deshidratación de alimentos (1) en donde se colocan los productos a deshidratar, a la cual se le suministra un flujo de aire de secado (2) que es calentado en su paso a través del intercambiador de calor de tubos aletados (3), a través del cual la bomba de recirculación-1 (9) hace pasar un fluido térmico (8), que es por ejemplo agua. El fluido térmico (8) transfiere calor al flujo de aire de secado (2) para incrementar su temperatura y acondicionarlo para realizar el proceso de secado. Posteriormente

una parte del flujo de aire de secado (2) se desaloja de la cámara de deshidratación de alimentos (1) como la corriente de aire exhausto (4), y se conduce mediante ductos hacia el ventilador (6) para ser recirculado hacia la cámara de deshidratación de alimentos (1), siendo previamente mezclado con una corriente de aire fresco (5) del ambiente. Después de pasar por el ventilador (6), una fracción del aire mezclado se desaloja del sistema como el flujo de aire desechado (7), y la otra fracción es recirculada hacia la cámara de deshidratación de alimentos (1), pasando nuevamente por el intercambiador de calor de tubos aletados (3), cerrando así el circuito del aire de secado para la cámara de deshidratación de alimentos (1).

El flujo del fluido térmico (8) que pasa por el interior del intercambiador de calor de tubos aletados (3) para calentar el flujo de aire de secado (2), forma un circuito cerrado en el cual recupera calor mediante un sistema de captación de energía solar constituido por un banco de tubos de vidrio de doble pared evacuados (11) que operan por la convección natural del fluido térmico (8) contenido en el tanque reservorio (10), el cual está aislado térmicamente y provisto de un sensor de temperatura que envía la señal al control de temperatura (12) el cual acciona la bomba de recirculación-2 (13) que hace pasar al fluido térmico (8) a través de un sistema de calentamiento auxiliar, que de acuerdo con la modalidad ilustrada en este ejemplo, consiste en un calentador de combustible (15). Este calentador de combustible (15) se pone en funcionamiento en caso de que la temperatura del fluido térmico (8) contenido en el tanque reservorio (10) sea menor a la temperatura establecida en el control de temperatura (12). El calentador de combustible (15), se enciende automáticamente mediante el control de encendido y apagado (14), que al registrar el flujo del fluido térmico (8) desplazado por la bomba de recirculación-2 (13), acciona la válvula (16) de entrada de combustible al calentador auxiliar (15). Un depósito de fluido térmico adicional (17) se encarga de reponer la posible pérdida de fluido térmico del reservorio por evaporación a través del tubo de venteo (18), el cual mantiene la presión atmosférica en el tanque reservorio (10).

El sistema deshidratador de alimentos utilizando energía renovable requiere un suministro de electricidad para la operación de los motores eléctricos del ventilador del aire y de las bombas de recirculación del fluido térmico, así como para la operación de los sistemas de control. La electricidad es generada mediante un sistema de paneles fotovoltaicos (19), al menos un inversor (20) y al menos un controlador bidireccional (21) que envía la electricidad generada a la red urbana de suministro eléctrico (22), misma que a su vez suministra la electricidad requerida para el funcionamiento de los motores y controles del sistema deshidratador de alimentos utilizando energía renovable. De esta manera se dispone de un suministro eléctrico continuo en las proporciones requeridas sin depender de las fluctuaciones en la generación de electricidad que se obtiene del sistema de paneles fotovoltaicos (19).

La **figura 1** muestra un diagrama del sistema deshidratador de alimentos utilizando energía renovable, asistido con calentamiento auxiliar de combustión y con sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica urbana con control bidireccional.



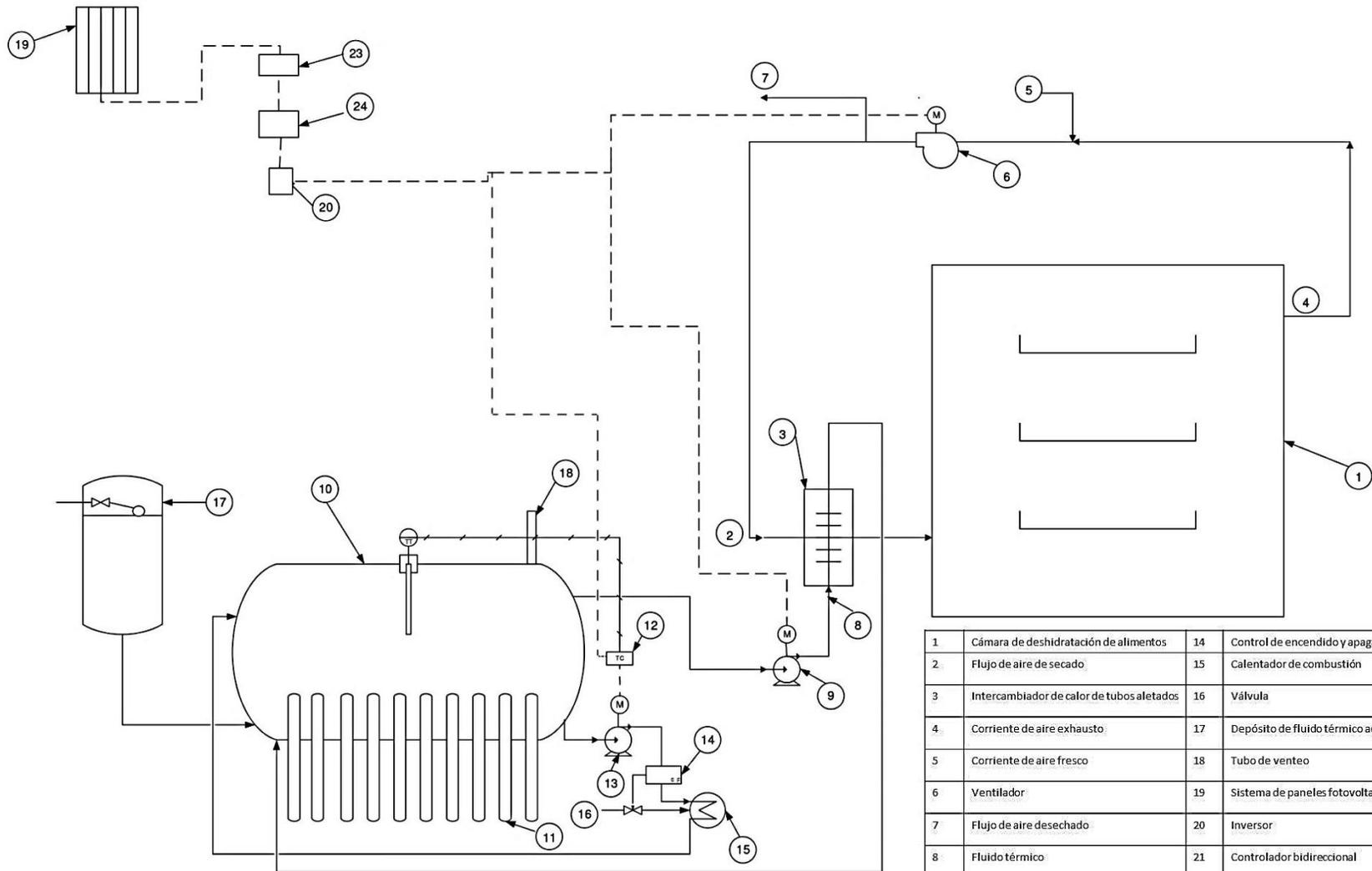
1	Cámara de deshidratación de alimentos	14	Control de encendido y apagado
2	Flujo de aire de secado	15	Calentador de combustión
3	Intercambiador de calor de tubos aletados	16	Válvula
4	Corriente de aire exhausto	17	Depósito de fluido térmico adicional
5	Corriente de aire fresco	18	Tubo de venteo
6	Ventilador	19	Sistema de paneles fotovoltaicos
7	Flujo de aire desechado	20	Inversor
8	Fluido térmico	21	Controlador bidireccional
9	Bomba de recirculación-1	22	Red urbana de suministro eléctrico
10	Tanque reservorio	23	Controlador de carga
11	Banco de tubos de vidrio de doble pared evacuados	24	Batería
12	Control de temperatura	25	Resistencia eléctrica
13	Bomba de recirculación-2		

Ejemplo 2

En la **figura 2**, se muestra una segunda modalidad de la invención, en la cual el circuito del flujo de aire de secado (2) que pasa por la cámara de deshidratación de alimentos (1), es similar al establecido de acuerdo con la descripción del ejemplo 1.

Y, es asimismo semejante al ejemplo 1, la descripción del circuito mediante el cual el fluido térmico (8) que está contenido en el tanque reservorio (10) habrá de recuperar calor mediante el sistema de captación de energía solar constituido por el banco de tubos de vidrio de doble pared evacuados (11). La variante en esta modalidad de la invención, consiste en que el sistema de suministro de electricidad es autónomo, es decir, no depende de la red urbana de suministro eléctrico (22). Como se muestra en el diagrama de la figura 2, la electricidad generada mediante el sistema de paneles fotovoltaicos (19), pasa por al menos un controlador de carga (23) y se almacena en al menos una batería (24) para luego, mediante al menos un inversor (20) se convierte la energía eléctrica directa en alterna para ser suministrada a los motores y controles para su operación.

La **figura 2** es un diagrama del sistema deshidratador de alimentos utilizando energía renovable, asistido con calentamiento auxiliar de combustión y con sistema fotovoltaico autónomo.

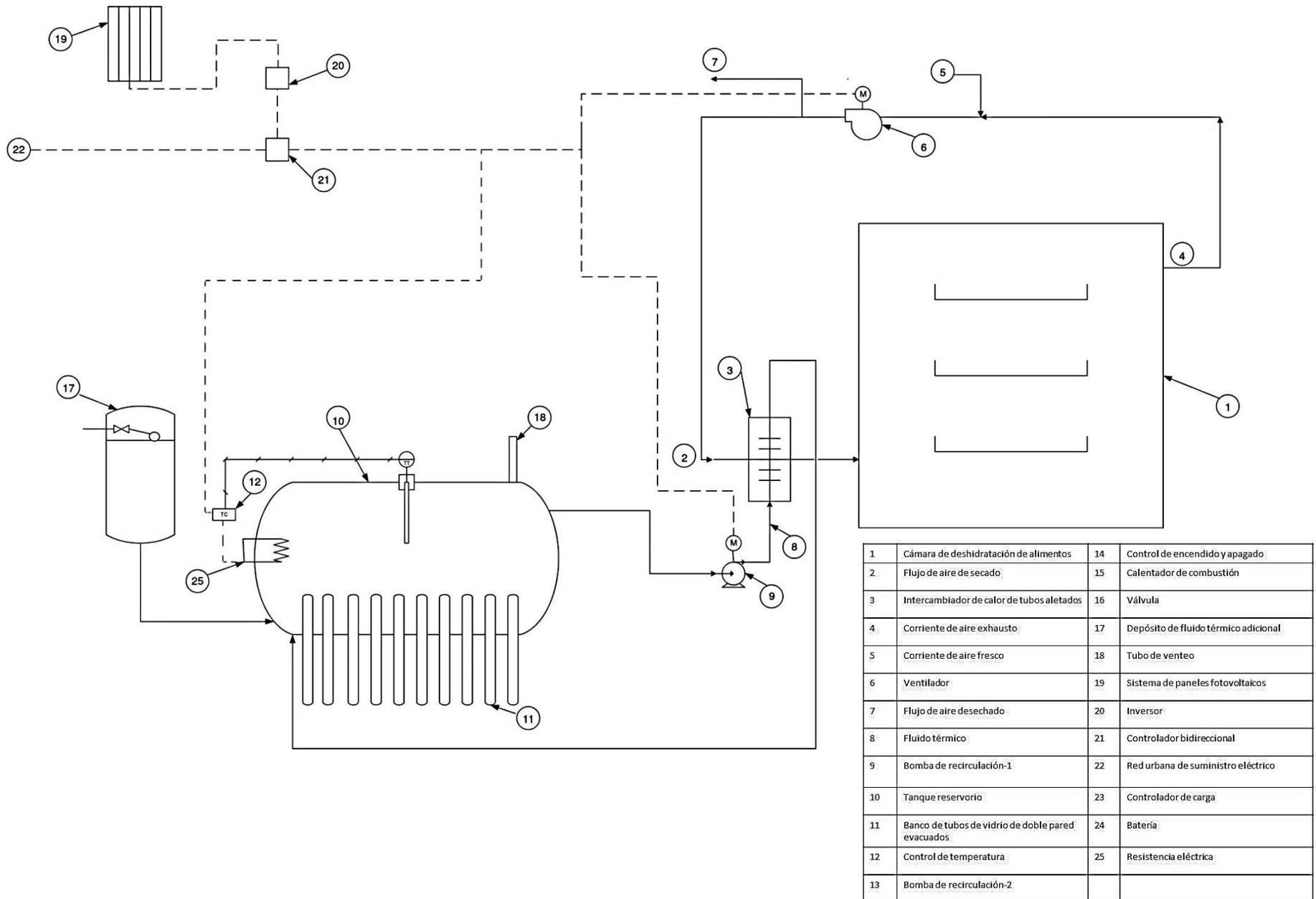


1	Cámara de deshidratación de alimentos	14	Control de encendido y apagado
2	Flujo de aire de secado	15	Calentador de combustión
3	Intercambiador de calor de tubos aletados	16	Válvula
4	Corriente de aire exhausto	17	Depósito de fluido térmico adicional
5	Corriente de aire fresco	18	Tubo de venteo
6	Ventilador	19	Sistema de paneles fotovoltaicos
7	Flujo de aire desechado	20	Inversor
8	Fluido térmico	21	Controlador bidireccional
9	Bomba de recirculación-1	22	Red urbana de suministro eléctrico
10	Tanque reservorio	23	Controlador de carga
11	Banco de tubos de vidrio de doble pared evacuados	24	Batería
12	Control de temperatura	25	Resistencia eléctrica
13	Bomba de recirculación-2		

Ejemplo 3

Otra modalidad de la invención se ilustra en el diagrama de la **figura 3**. En este caso, el circuito del flujo de aire de secado (2) que pasa por la cámara de deshidratación de alimentos (1), es similar al descrito en el ejemplo 1. Y, es también similar a lo descrito en el ejemplo 1 el suministro de energía para la operación de los motores eléctricos del ventilador del aire y de las bombas de recirculación del fluido térmico, y para los sistemas de control. La variación de esta modalidad se presenta en relación al sistema de calentamiento auxiliar, que en este caso consiste en al menos una resistencia eléctrica (25), sumergida en el fluido térmico (8) contenido en el tanque reservorio (10). El sistema de control de temperatura (12) acciona un interruptor que permite el paso de la corriente eléctrica a través de al menos una resistencia eléctrica (25), calentando así el fluido térmico (8) del tanque reservorio (10) hasta la temperatura establecida.

La **figura 3** muestra un diagrama del sistema deshidratador de alimentos utilizando energía renovable, asistido con calentamiento eléctrico y con sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica urbana con control bidireccional.



Ejemplo 4

Otra modalidad más de la invención se ilustra en el diagrama de la **figura 4**. Para este caso, el circuito del flujo de aire de secado (2) que pasa por la cámara de deshidratación de alimentos (1), es similar al descrito en el ejemplo 1. Pero aquí, la variación radica en que el suministro eléctrico es autónomo tal y como se describe para la modalidad ilustrada en la figura 2 y definida en el ejemplo 2; y el sistema de calentamiento auxiliar es a base de al menos una resistencia eléctrica (25) tal y como se ilustra en la figura 3, y se define en el ejemplo 3.

PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

1. Consulta de fuentes bibliográficas

La primera actividad asignada fue la consulta de información en diferentes fuentes bibliográficas con la finalidad de ampliar los conocimientos en los temas inmersos en el proyecto a trabajar, esta actividad se centró en leer sobre la deshidratación de alimentos, los avances tecnológicos existentes en el área, procesos de deshidratación con secadores solares y sobre los pasos necesarios para llevar a cabo la realización y tramitación de una patente.

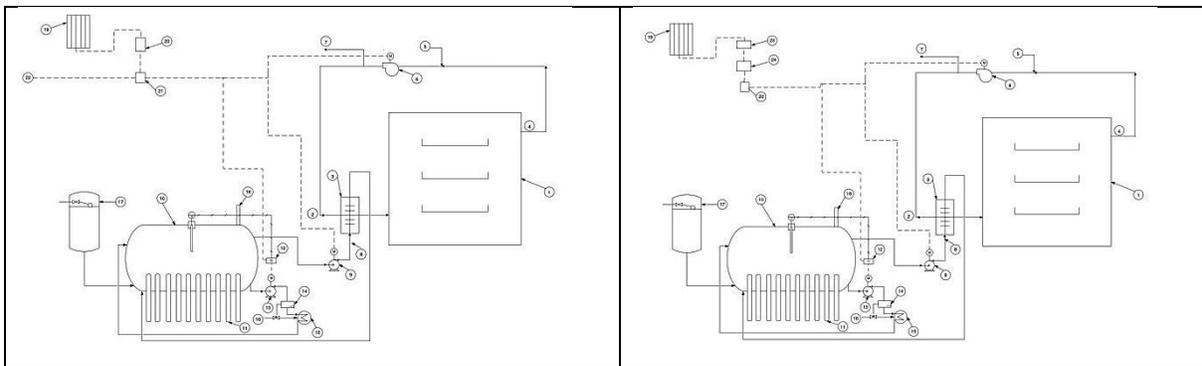
2. Revisión de la patente

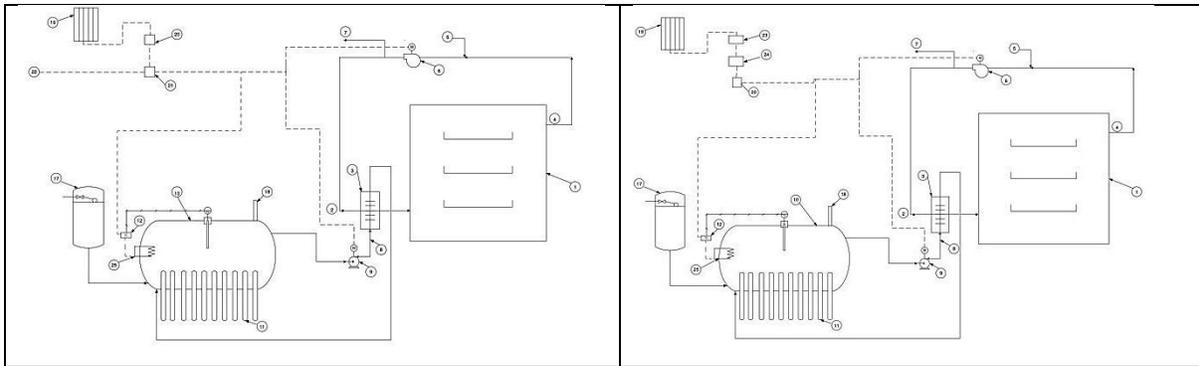
Dicha actividad tenía la finalidad de tener una mejor comprensión sobre la patente en la que se estaba trabajando para el diseño del deshidratador de alimentos, comprender sus principios de funcionamiento para poder realizar sus respectivos diagramas y al mismo tiempo buscar en la base de datos de los sistemas correspondientes, patentes similares sobre la cual se está trabajando, esto con la intención de no replicar algo ya existente.

3. Elaboración de los diagramas del proceso

En esta parte se elaboraron los diagramas del proceso con el software Visio 2013, esto con la finalidad de dar a entender cómo será el principio de funcionamiento y dar a conocer la instrumentación con la que contará el equipo.

Tabla 1. *Diagramas del proceso de deshidratación*





Nota: Los planos dentro de las tabla los podemos encontrar en la sección de "Marco teórico" como parte de la patente

4. Requerimiento de cálculos

Muchos cálculos y variables de diseños del proceso de deshidratación fueron elaborados previamente por el Ingeniero Francisco Javier Pérez Martínez y la Ingeniero Ofelia Fernández Flores (ingenieros a cargo de la patente), con ciertas variables predeterminadas decidieron aplicar los cálculos necesarios para secar hojas de maíz, preparadas, para el uso en la fabricación de tamal, dichos cálculos eran con la finalidad de realizar los balances de materia y energía en el proceso de secado, esto para determinar los requerimientos energéticos del secador y calcular el flujo de aire requerido suponiendo un tiempo de secado de 8 horas. Se plantea secar hojas de maíz debido a que la intención es vender el prototipo a una empresa que se dedica a este giro comercial.

5. Curso de capacitación de SolidWorks

Estos cursos y asesorías fueron impartidos por la Ingeniero Ofelia Fernández Flores, dicho curso consistió en la introducción al manejo de este software, también se llevó a cabo una documentación bibliográfica enfocada en diferentes técnicas y herramientas de dibujo, cabe mencionar que para la adquisición del software se tuvo que hacer una gestión con el Departamento de Ingeniería Electromecánica del Instituto Tecnológico Superior de Zapopan.

6. Seminarios de TECALIM

Actividad semanal que formaba parte del centro de investigación, todos los jueves, se tenía que asistir a los seminarios en la sala de juntas, dichos seminarios eran impartidos por diferentes Investigadores, la finalidad de esta actividad era para dar a conocer los avances científicos en el área de la Industria Alimentaria y

mantenerse actualizado en las diferentes problemáticas que está enfrentando este sector industrial.

7. Diseño de tanque reservorio en plano 3D y 2D en el software SolidWorks

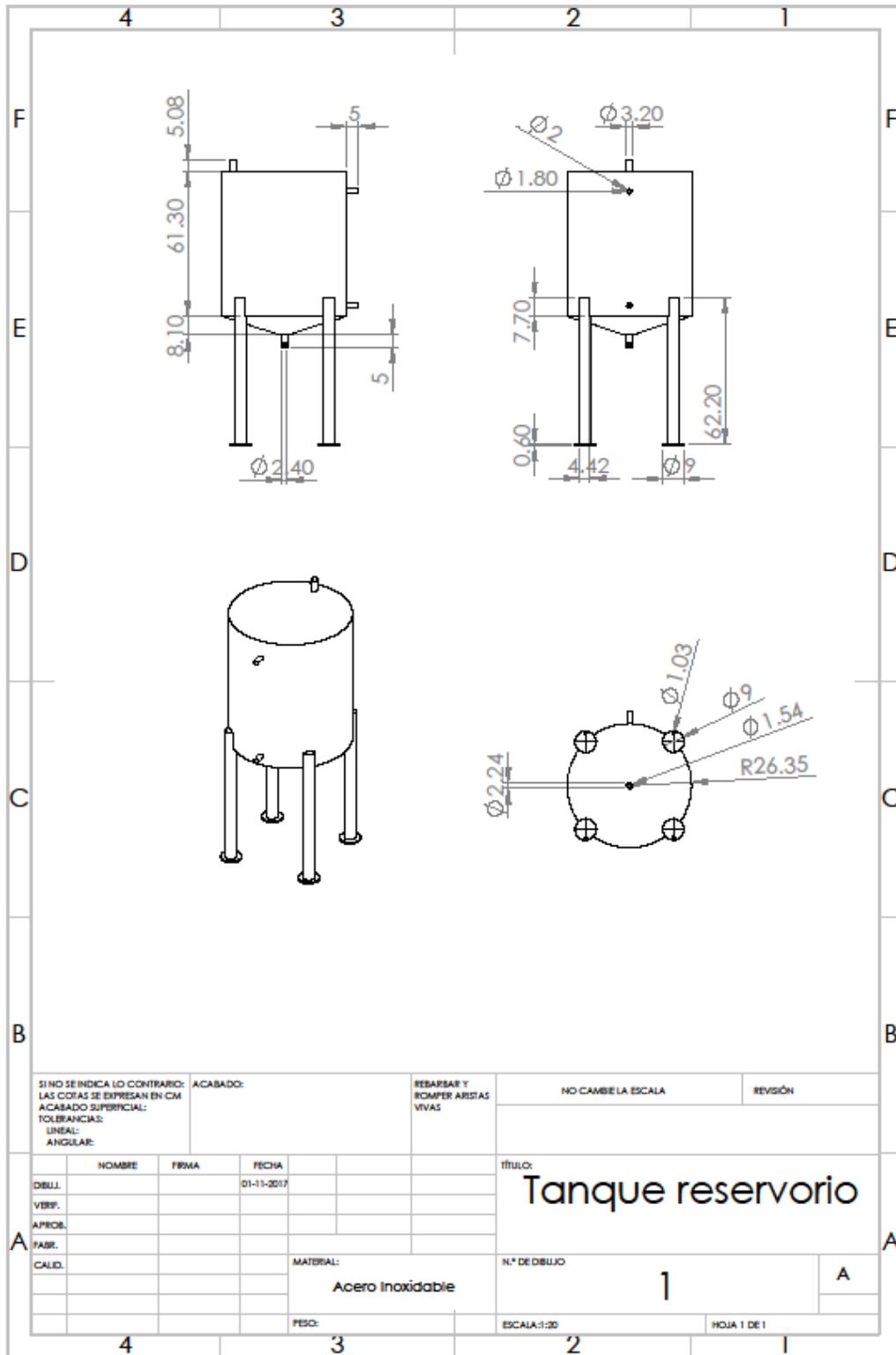
Se llevó a cabo el diseño en 3D del Tanque reservorio, tal como se presenta en la imagen 1., para que a partir de él, se elabore su respectivo plano, las operaciones de dibujo con las cuales se realizó el tanque fueron las siguientes: Saliente extruir, matriz lineal, Cortar extruir, geometría de referencia, revolución de saliente, curvas y corte barrido.



Imagen 3. Tanque Reservorio

El tanque tiene una capacidad total de 100 litros, con un peso de 105.9572 Kg, su material está diseñado en acero inoxidable de grado alimenticio, el peso total del tanque con su máxima capacidad de agua es de 215.8138 Kg.

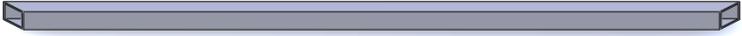
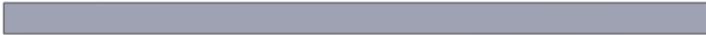
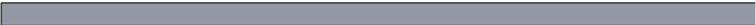
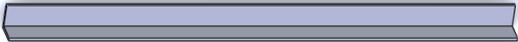
Plano 1. Diseño de tanque reservorio (Plano 3D y 2D)

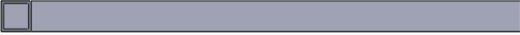
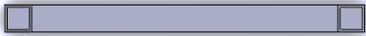
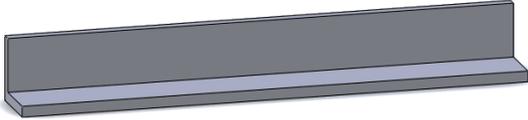
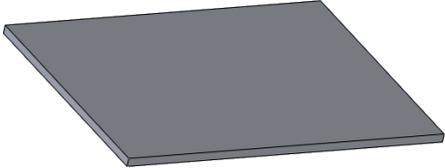


8. Dibujo de piezas individuales en plano 3D en el software SolidWorks.

Se dibujaron los componentes individuales en 3D que van a formar la estructura metálica, esto con la finalidad de conocer la cantidad de material a emplear en dicha estructura, las operaciones de dibujo con las cuáles se realizaron las siguientes piezas, fueron: Saliente extruir, cortar extruir y ángulo de salida.

Tabla 2. *Conjunto de materiales a utilizar para la fabricación de la estructura metálica*

Imagen	Medida (mm)	Característica
	1381.2	PTR de 1 ½ pulgadas con terminación en ángulo de 45° por ambos lados
	1851.6	PTR de 1 ½ pulgadas con terminación en ángulo de 45° por ambos lados
	873	PTR de 1 ½ pulgadas
	1305	PTR de 1 ½ pulgadas
	704	Ángulo de 1 ½ pulgadas
	424.26	PTR de 1 ½ pulgadas con terminación en 45° por ambos lados
	300	PTR de 1 ½ pulgadas con terminación en 45° por ambos lados
	949.20	PTR de 1 ½ pulgadas con terminación en 45° por ambos

		lados
	338.10	PTR de 1 ½ pulgadas con terminación en 45° por la izquierda
	610.96	PTR de 1 ½ pulgadas con terminación en 45° por la izquierda
	512.6	PTR de 1 ½ pulgadas con terminación en 45° por ambos lados
	376.2	PTR de 1 ½ pulgadas con terminación en 45° por ambos lados
	125	Ángulo de 1/8 pulgadas, con perforación por la izquierda de 1.10 cm (Diámetro)
	150	Ángulo de 1/8 pulgadas
		Placa metálica de 1/8 de pulgadas con dimensión de 12.5x9.3 cm
		Placa metálica de 1/8 de pulgadas con dimensión de 9x9 cm y perforación de 1 cm (Diámetro)

	Placa metálica de 1/8 de pulgadas con dimensión de 949.20x300 mm
---	---

9. Ensamble virtual de estructura metálica y realización de plano en 2D.

Se elaboró un nuevo dibujo de ensamblaje en el programa SolidWorks donde se unen los componentes individuales para formar la estructura metálica y se realiza su plano en 2D para su revisión de dimensionamiento

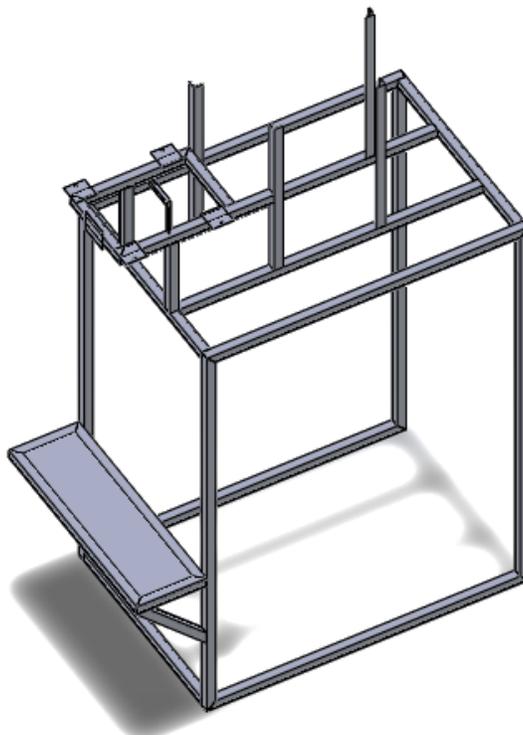
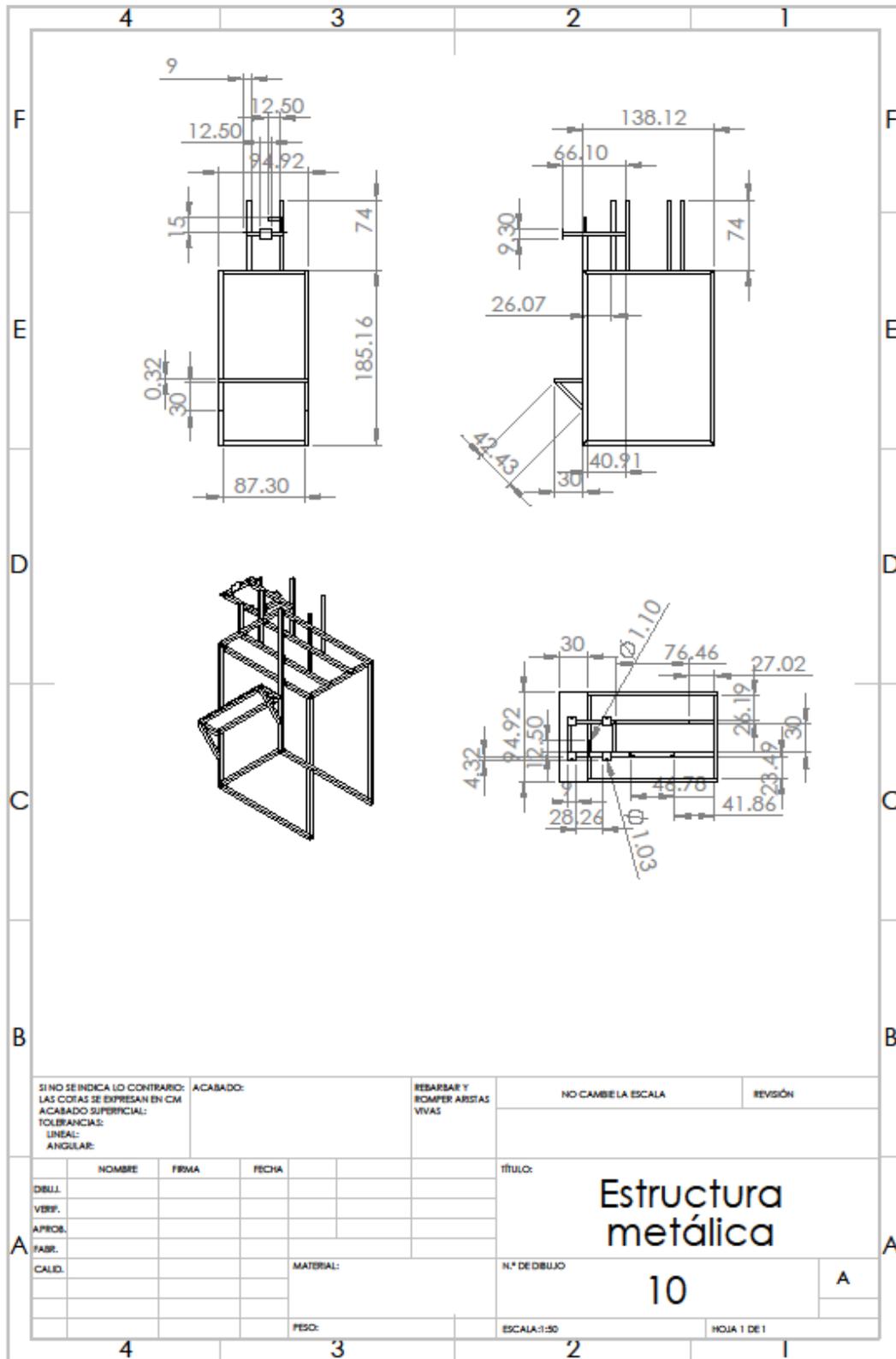


Imagen 4. Ensamble de la estructura metálica

Se hicieron las correcciones de los planos 3D, se les modificó lo necesario y se repitió el proceso de revisión y corrección, hasta obtener el plano deseado, cabe mencionar que para lograr el Ensamble de la estructura metálica (Imagen 4) se tuvieron que hacer 14 modificaciones y revisiones en total, las modificaciones generalmente eran debido a la ubicación de los PTR estructurales y redimensionamiento de la estructura metálica.

Plano 2. Diseño de estructura metálica (Plano 3D y 2D)



10. Fabricación de estructura metálica

Se cortaron todas las piezas individuales que conforman la estructura metálica a partir de las barras de PTR respetando las medidas que se indican en la **tabla 2**, después se hace un ensamble aplicando soldaduras metálicas, se le aplica un cordón de soldadura en cada unión con la finalidad de reforzar la estructura metálica, debido a que esto es el esqueleto principal del deshidratador de alimentos que se está diseñando y será el soporte de muchos equipos que conformarán la ingeniería de detalle.

11. Adquisición de los equipos de control para la ingeniería de detalle

El centro de investigación hizo la compra de los equipos de control necesarios para poder desarrollar el prototipo, compra equipos existentes con la finalidad de ahorrar en recursos económicos y el proyecto se adapta de acuerdo a esta adquisición.

Bomba

Cantidad: 2

Modelo: LOOP3V32-9/1115

Caballaje (Hp): 0.09/0.13/0.18

Fases de alimentación: 1

Voltajes de alimentación: 115 Volts

Amperaje (A): 0.6, 0.9, 1.3

Succión (pulg.): 1.5

Diámetro mínimo para tubería de succión (pulg): 1.5

Descarga: 1.5 pulg

Tipo de conexión: Bridada

Rango de flujo: 5-25 lpm

Incluye: Selector de tres velocidades, bridas con tornillos y tuercas, O-rings y 1.3 metros de cable toma corriente con caja

Material del impulsor: Polipropileno

Peso (Kg.): 3.8

Termostato

Cantidad: 1

Código: TP3-10/115-5A

Fases de alimentación: 115 volts

Amperaje: 5 A

Accesorios: Sensor de temperatura con cable y tomacorriente con clavija, Termostato con termopar magnético para controlar bomba recirculadora de agua caliente modelo LOOP3V32-9/1115. Incluye Leds indicadores de funcionamiento (on/off) 1.3 metros de cable con sensor y 1.3 metros de cable tomacorriente con clavija.

Marca: AQUA PAK

Serie: Termostato Loop

Frecuencia de alimentación (Hz): 60

Tolerancia de voltaje (%): +/- 10%

Garantía: 1 año

Aplicaciones: Agricultura y hogar

Calentador Solar

Cantidad: 1

Modelo: SPC-30-1800/58

Número de tubos: 30

Capacidad total (L): 340

Dimensiones (ancho-largo-alto): 2.53x1.985x1.092 mts.

Área de instalación: 5.02 m²

Peso de operación (Kg): 380

Funcionamiento: Gravedad

Estructura de acero inoxidable, Incluye Varilla de magnesio de 20 cm, conexiones de ¾ de pulgadas de diámetro de acero inoxidable en los puertos de circulación con una vida útil de 30 años con mantenimiento mínimo.

Termotanque del calentador solar

Material del tanque interno: Acero Inoxidable

Grado de acero de tanque interno: SUS304 2B Alimenticio

Calibre de lámina de tanque externo: 0.4 mm

Aislante: Poliuretano

Grosor del aislante: 55 mm

Tubos del calentador solar

Material: Cristal de Borosilicato

Longitud: 1800 mm

Diámetro: 58 mm

Coefficiente de absorción: $\geq 95\%$

Emisividad térmica: $\leq 6\%$

Resistencia al granizo: 25 mm

Calentador de doble paso

Cantidad: 1

Marca: Calorex de paso

Modelo: COXDP-06

Dimensiones (altura-ancho-profundo): 63x30x30

Cuenta con las siguientes especificaciones

Tipo de gas: Lp o Natural

Capacidad: 6 L/min

Peso: 22 kg

Presión de gas requerida: Gas Lp a 2.74 Kpa (27 g/cm^2) para Gas Natural 1.76 Kpa (18 g/cm^2)

Presión Hidráulica máxima de trabajo: 6.5 Kg/cm^2

Eficiencia Promedio: 0.85

Quemador: Silencioso de Acero Inoxidable

Encendido electrónico al tacto

Aislante térmico: Fibra de vidrio

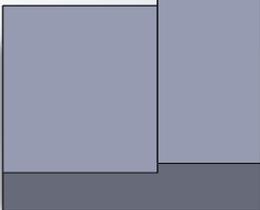
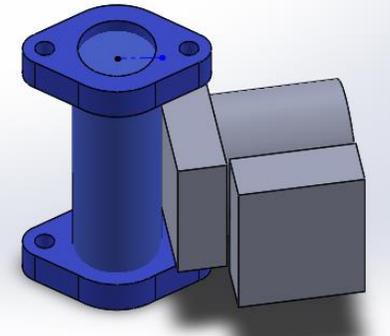
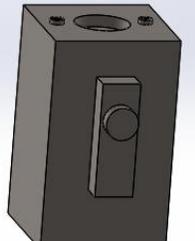
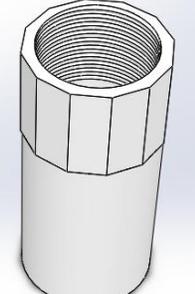
Recubrimiento interior del tanque: Porcelanizado dura gas

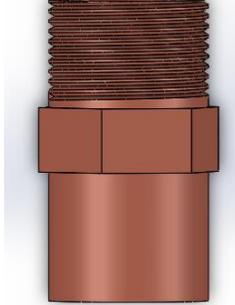
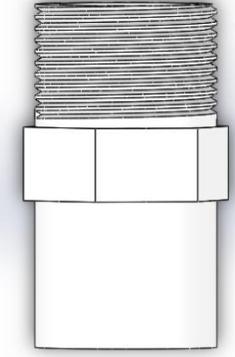
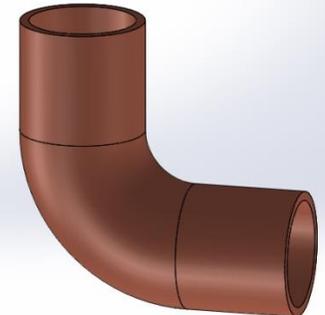
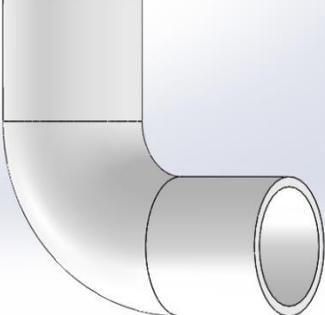
Periodo de vida: 6 años

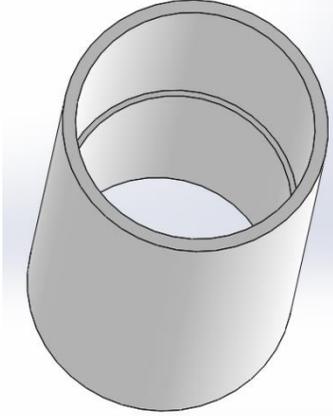
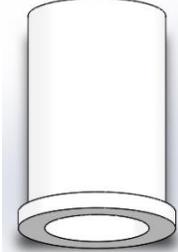
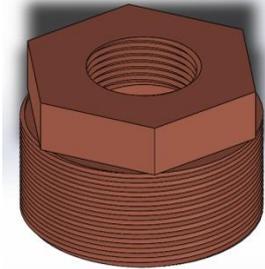
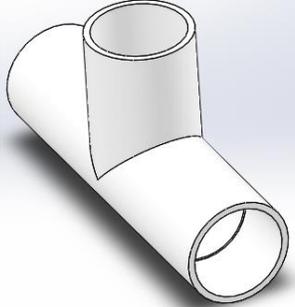
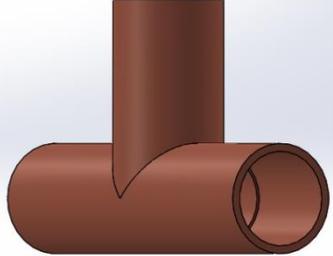
12. Dibujos en 3D de los bocetos básicos para la ingeniería de detalle

Se dibujaron los instrumentos de control con sus dimensiones básicas, las tuberías y accesorios de tuberías; esto con la finalidad de conocer su dimensionamiento y poder aplicar la ingeniería de detalle de una mejor manera.

Tabla 3. Accesorios necesarios para la ingeniería de detalle

Equipo (Bocetos)	Imagen
Termostato	
Bomba	
Calentador de doble paso	
Tuberías	Imágenes
Adaptador hembra 1 ½ a 1 pulg. De material CPVC	

<p>Adaptador macho ¾ pulg. De material cobre</p>	
<p>Adaptador macho ¾ pulg. De material CPVC</p>	
<p>Codo de 90° ¾ de pulg. De material cobre</p>	
<p>Codo de 90° ¾ de pulg. De material CPVC</p>	

<p>Cople de $\frac{3}{4}$ pulg. De material CPVC</p>	
<p>Reducción de material CPVC</p>	
<p>Reducción metalica</p>	
<p>Te de 1 pulg. De material CPVC</p>	
<p>Te de $\frac{3}{4}$ de pulgadas de material cobre</p>	

13. Ensamble virtual para la instrumentación

Se ensamblaron virtualmente todos los instrumentos de control y accesorios de tuberías, para observar cómo será el montaje en la vida real.

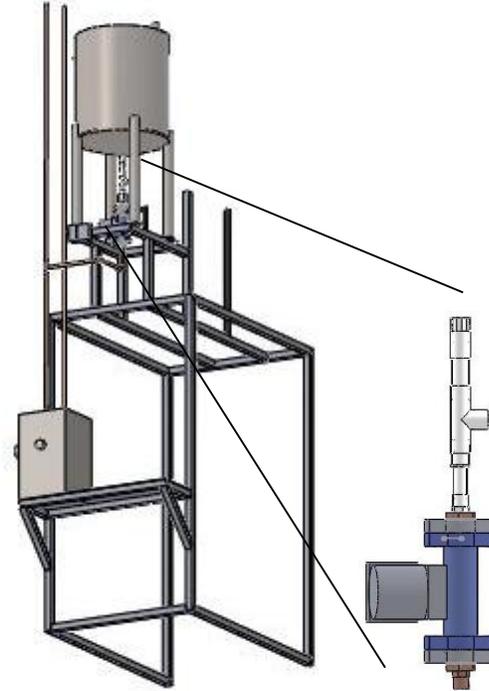


Imagen 5. Ensamble de instrumentación y tuberías.

Se ensamblaron también virtualmente todos los componentes individuales dentro de la estructura metálica para llevar a cabo la ingeniería de detalle. Se llevó a cabo un ensamble virtual de todos los tramos de tuberías con sus respectivos accesorios (Imagen 6), esto para saber la cantidad de accesorios a utilizar.

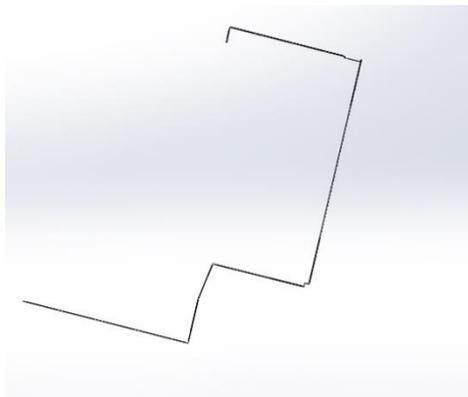


Imagen 6. Trayectoria de tubería a instalar

Tabla 4. *Accesorios de tuberías necesarios para la instalación de tuberías.*

Accesorios	Pulg.	Cantidad	Material
Tramos de tuberías (4 metros c/u)	$\frac{3}{4}$	28	CPVC
Tramo de tubería (6 metros c/u)	$\frac{3}{4}$	1	Cobre
Codo	$\frac{3}{4}$	3	Cobre
Codo	$\frac{3}{4}$	26	CPVC
Te	$\frac{3}{4}$	2	Cobre
Cople	$\frac{3}{4}$	30	CPVC
Tuerca Unión	$\frac{3}{4}$	2	Cobre
Adaptador macho	$\frac{3}{4}$	2	CPVC
Adaptador macho	$\frac{3}{4}$	4	Cobre
Reducción	$\frac{3}{4}$ a $1 \frac{1}{4}$	4	Aleación
Adaptador macho	$1 \frac{1}{2}$ a 1	1	CPVC
Te	1	1	CPVC
Reducción	1 a $\frac{3}{4}$	1	CPVC
Adaptador Hembra	$1 \frac{1}{2}$ a 1	1	Aleación
Válvula de globo	$\frac{3}{4}$	2	CPVC

CÁLCULOS

El objetivo de esta sección es mostrar los cálculos para determinar los requerimientos energéticos del secador y calcular el flujo de aire requerido suponiendo un tiempo de secado de 8 horas, basándose en los requerimientos solicitados por la empresa que desea adquirir la patente.

Producto a deshidratar: hojas de maíz preparadas para uso en la fabricación de tamal.

Descripción del proceso: Las hojas de maíz se cosechan de la planta en su estado seco, cuando la mazorca ha alcanzado su máximo desarrollo. Las hojas son lavadas, seleccionadas y envasadas en una malla plástica formando paquetes de hojas que pesan 400 g c/u.

El contenido de humedad de las hojas que forman el paquete es en promedio 18.1% base húmeda.

Los paquetes formados y envasados en la malla plástica se someten a deshidratación para eliminar la humedad hasta un contenido de humedad residual del 3%.

Los paquetes de hojas a secar se tienden sobre charolas plásticas de 57 cm de largo x 37.5 cm de ancho y 18.5 cm de alto. En cada charola se pretende colocar 4 paquetes de hojas.

Las charolas se estiban en un carrito para ser introducido al secador. El carrito puede contener 36 charolas acomodadas en 9 niveles, es decir, 4 charolas por nivel, formando una base de 80 cm x 120 cm.

Por tanto el total de paquetes de hojas cargados en el carrito es de 144.

El aire de secado es calentado mediante un intercambiador de calor aletados (radiador automotriz) que utiliza como medio de calefacción agua calentada mediante un calentador solar comercial del tipo de tubos de vidrio evacuados con capacidad de almacenamiento de 300 litros de agua. La temperatura alcanzada en el agua calentada es de aprox. 80°C.

Se desea que aire de secado tenga una temperatura de 60°C aprox.

Realizar el Balance de materia y energía para determinar los requerimientos energéticos del secador y calcular el flujo de aire requerido suponiendo un tiempo de secado de 8 horas.

DATOS

$$\text{Humedad inicial del producto: } w_1 = \frac{0.181}{1-0.018} = 0.221 \frac{\text{KgH}_2\text{O}}{\text{Kg Sólidos}}$$

$$\text{Humedad final del producto: } w_2 = \frac{0.03}{1-0.03} = 0.0309 \frac{\text{KgH}_2\text{O}}{\text{Kg Sólidos}}$$

Temperatura de entrada del producto: 20.6 °C (Dato obtenido en el Anexo 1.)

Temperatura del aire de secado: 60° C

Tiempo de secado: 8 horas

Materia prima: 57.6 Kg de hojas

$T_{\text{final del producto}} = T_{\text{de bulbo húmedo del aire}}$

Cantidad de agua a eliminar

$$0.221 \frac{\text{KgH}_2\text{O}}{\text{Kg Sólidos}} - 0.0309 \frac{\text{KgH}_2\text{O}}{\text{Kg Sólidos}} = 0.1901 \frac{\text{KgH}_2\text{O}}{\text{Kg Sólidos}}$$

$$\text{Kg de Sólidos} = (57.6 \text{ Kg de hojas})(1 - 0.181) \frac{\text{Kg Sólido}}{\text{Kg Producto}} = 47.1744 \text{ Kg Sólido}$$

$$(47.1744 \text{ Kg Sólido}) \left(0.1901 \frac{\text{KgH}_2\text{O}}{\text{Kg Sólidos}} \right) = 8.9679 \text{ KgH}_2\text{O}$$

Velocidad de secado

$$\frac{8.9678 \text{ KgH}_2\text{O}}{8 \text{ h}} = 1.1210 \frac{\text{KgH}_2\text{O}}{\text{h}}$$

Balance de materia:

$$m_{a2}W_2 + m_{p1}w_1 = m_{a1}W_1 + m_{p2}w_2$$

$$\begin{aligned} m_{a2}W_2 + \left(\frac{47.1744 \text{ Kg Sólido}}{8 \text{ h}} \right) \left(0.221 \frac{\text{KgH}_2\text{O}}{\text{Kg Sólidos}} \right) \\ = m_{a1}W_1 + \left(\frac{47.1744 \text{ Kg Sólido}}{8 \text{ h}} \right) \left(0.0309 \frac{\text{KgH}_2\text{O}}{\text{Kg Sólidos}} \right) \end{aligned}$$

$$m_{a2}W_2 + 1.3032 \frac{KgH_2O}{h} = m_{a1}W_1 + 0.1822 \frac{KgH_2O}{h}$$

$$m_{a2}W_2 - m_{a1}W_1 = +0.1822 \frac{KgH_2O}{h} - 1.3032 \frac{KgH_2O}{h}$$

Si $m_{a2}=m_{a1}$

$$m_a(W_2 - W_1) = -1.121 \frac{KgH_2O}{h}$$

Condiciones iniciales del aire: Se usará la temperatura media de referencia (20.6°C) para tomar como relación la humedad relativa del aire a esa temperatura (Anexo 2.)

Supongamos que W_2 se determina con la siguiente humedad relativa $H_R = 50.6 \%$

$$W_2 = 0.0075 \frac{kgH_2O}{Kg aire seco}$$

$$m_a(0.0075 - W_1) = -1.121 \frac{KgH_2O}{h}$$

Para el aire

$$H_{a2} = C_{s2}(T_a - T_C) + H_{L2}$$

$$H_{a2} = C_{s2}(60 - 0) + 0.0075H_{L2}$$

Siendo

$$C_{s2} = 1.005 + 1.88(0.0075) = 1.0191 \frac{kJ}{kg aire seco^\circ K}$$

$$H_{L2} = H_V - H_C$$

Se localiza la entalpía a 60°C en la tabla A.4.2 (Anexo 3)

$$H_{L2} = (2609.6 - 251.13) \frac{kJ}{kg} = 2358.47 \frac{kJ}{kg}$$

Por lo tanto

$$H_{a2} = \left(1.0191 \frac{kJ}{kg \text{aire seco}^\circ K}\right) (60 - 0) + 0.0075 \left(2358.47 \frac{kJ}{kg}\right)$$

$$= 78.8345 \frac{kJ}{kg \text{aire seco}}$$

Suponemos que:

$$T_{p2} = 26^\circ C = T_{a1} (\text{Temperatura de bulbo húmedo del aire})$$

Entonces

$$H_{a1} = C_{s1}(T_{a1} - 0) + W_1 H_{L1}$$

Donde

$$C_{s1} = 1.005 + 1.88W_1$$

Se localiza la entalpía a 26°C en la tabla A.4.2 (Anexo 3), datos obtenidos por interpolación entre 24°C y 27°C

$$H_{L1} = 2549 - 109.0667 = 2439.9333 \text{ kJ/kgH}_2\text{O}$$

Por lo tanto

$$H_{a1} = (1.005 + 1.88W_1)(26 - 0) + 2439.9333W_1$$

$$H_{a1} = 26.13 + 48.88W_1 + 2439.9333W_1$$

$$H_{a1} = 26.13 + 2488.8133W_1$$

Para el producto

Supondremos un Cpp cercano a 1

Los valores del calor específico del agua se obtienen a partir de la tabla A.4.1 (Anexo 4).

$$H_{P1} = \left(0.90 \frac{kJ}{kgH_2O^\circ K}\right) (20.6 - 0) + \left(0.221 \frac{KgH_2O}{Kg \text{ Sólidos}}\right) \left(4.182 \frac{kJ}{kgH_2O^\circ K}\right) (20.6 - 0)$$

$$H_{P1} = 37.5790 \frac{kJ}{Kg \text{ sólidos}}$$

$$H_{P2} = \left(0.90 \frac{kJ}{kgH_2O^\circ K}\right) (26 - 0) + \left(0.0309 \frac{KgH_2O}{Kg \text{ Sólidos}}\right) \left(4.178 \frac{kJ}{kgH_2O^\circ K}\right) (26 - 0)$$

$$H_{P2} = 26.7566 \frac{kJ}{Kg \text{ sólidos}}$$

Balance de energía

$$\begin{aligned}
m_a H_{a2} + m_p H_{p1} &= m_a H_{a1} + m_p H_{p2} + q \\
m_a(78.8345) + (5.8968)(37.579) & \\
&= m_a(26.13 + 2488.8133W_1) + (5.8968)(26.7566) + 0 \\
78.8345m_a + 221.5958 &= (26.13m_a + 2488.8133m_aW_1) + 157.7783 \\
78.8345m_a - 26.13m_a - 2488.8133m_aW_1 &= 157.7783 - 221.5958 \\
(52.7045m_a - 2488.8133m_aW_1) &= -63.8175
\end{aligned}$$

Balance de materia

$$\begin{aligned}
m_a(0.0075 - W_1) &= -1.121 \\
(0.0075m_a - m_aW_1) &= -1.121 \\
m_aW_1 &= 0.0075m_a + 1.121
\end{aligned}$$

Resolución de ecuaciones

$$\begin{aligned}
(52.7045m_a - 2488.8133(0.0075m_a + 1.121)) &= -63.8175 \\
(52.7045m_a - 18.666m_a - 2789.9597) &= -63.8175 \\
34.0445m_a &= -63.8175 + 2789.9597 \\
m_a &= \frac{2726.1422}{34.0445} = 80.0758 \frac{\text{Kg aire seco}}{h}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
(0.0075m_a - W_1m_a) &= -1.121 \\
W_1 &= \frac{1.121 + 0.0075m_a}{m_a} \\
W_1 &= \frac{1.121 + 0.0075(80.0758)}{80.0758} = 0.0214 \frac{\text{Kg H}_2\text{O}}{\text{Kg aire seco}}
\end{aligned}$$

Resultados de cálculos:

Flujo del aire: $80.0758 \frac{\text{Kg aire seco}}{h}$

Humedad absoluta del aire que abandona el secador: $0.0214 \frac{\text{Kg H}_2\text{O}}{\text{Kg aire seco}}$,

Humedad relativa del aire que abandona el secador: 100% (Con una T de salida de: 26°)

NOTA:

No se usará recirculación de aire debido a la humedad relativa obtenida, si la temperatura real del secador son 10°C más elevados al de los cálculos, se puede hacer una recirculación de aire debido a que la humedad relativa sería de 58%

RESULTADOS

El resultado final del diseño del deshidratador fue el siguiente:

Fue fabricado para el secado de hojas de maíz, las cuáles se secarán en charolas plásticas de 57 cm de largo x 37.5 cm de ancho y 18.5 cm de alto. En cada charola se colocarán 4 paquetes de hojas.

Las charolas se estibarán en un carrito para ser introducido al secador. El carrito puede contener 36 charolas acomodadas en 9 niveles, es decir, 4 charolas por nivel, formando una base de 80 cm x 120 cm.

Por tanto el total de paquetes de hojas cargados en el carrito es de 144.



Deshidratador de alimentos (Propiedad: CIATEJ Unidad Zapopan)

El aire de secado es calentado mediante un intercambiador de calor aletados (radiador automotriz) que utiliza como medio de calefacción agua calentada mediante un calentador solar comercial del tipo de tubos de vidrio evacuados con capacidad de almacenamiento de 300 litros de agua. La temperatura alcanzada en el agua calentada es de aprox. 80°C y el aire de secado tiene una temperatura de 60°C aprox.

Las actividades pendientes para el 2018 son las siguientes:

- 1) Cortar algunos tramos de PTR faltantes y soldarlos a la estructura metálica
- 2) Hacer los cortes de las placas mencionadas en la tabla 2 y soldarlas después de haber realizado la actividad pendiente número 1.
- 3) La ingeniería de detalle virtual ya fue hecha, lo faltante sería instalar los instrumentos de control en sus respectivos lugares.
- 4) Hacer pruebas las pruebas de arranque necesarias del deshidratador de alimentos.
- 5) Finalmente forrar con un aislante térmico al deshidratador de alimentos y construirle una placa externa para que tenga una forma cuadrada, como los deshidratadores comerciales, también esto con la finalidad de proteger el diseño del deshidratador y así evitar que lo repliquen.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

El proyecto cumple con su objetivo debido a que se logra diseñar la estructura metálica para el deshidratador de alimentos planteado en la patente, con bases de diseño adecuados a los requerimientos de una empresa que demanda el equipo, cabe mencionar que esta empresa se encuentra en el giro agroindustrial, la cual da un aporte esencial en la especialidad de la carrera (Proyectos agroindustriales).

En cuanto a los objetivos específicos planteados también se logran debido a que se comprendieron los conceptos generales de la deshidratación de alimentos y su importancia para la conservación de ellos, se elaboran los diagramas necesarios para llevar a cabo la instrumentación de manera teórica, los diseños se hacen en planos 3D con el software solicitado y se aplican todas las operaciones necesarias dentro del software para poder realizar lo que se planea.

En la sección de resultados podemos ver que si se cumplió con el diseño del deshidratador de alimentos, faltaron hacer ciertas actividades que estaban planteadas en el proyecto inscrito pero por falta de tiempo no se pudieron cumplir todas ellas, para llegar a ese resultado se tuvieron que repartir las actividades debido a que una sola persona consumiría más tiempo y el proyecto avanzaría muy lento.

Finalmente se puede decir que todas las actividades realizadas permiten cumplir con el propósito de una residencia laboral; la cual es lograr la satisfacción de una necesidad dentro de una institución y aportar conocimientos nuevos al alumno relacionados con la carrera de Ingeniería química.

Recomendaciones

- Usar dos o más softwares de dibujo de tipo CAD, con la finalidad de plasmar de manera más apropiada las ideas y debido a que no todos los programas tienen las funciones que demanda el usuario.
- Si se quiere patentar una idea sobre un equipo industrial, patentar el concepto, es más sencillo proteger la idea, debido a que si patentamos el prototipo, en cierto periodo del tiempo el IMPI publicará los planos del equipo que se está diseñando y este estará disponible para el público.
- Mantenerse actualizado en los avances tecnológicos y científicos relacionados con la carrera o especialidad de interés, esto con la intención de facilitar búsquedas futuras de fuentes de información.
- Leer un segundo idioma (inglés, alemán, etc.), la información más reciente y actualizada se encuentra en estos idiomas, por lo cual es importante tener conocimientos básicos del idioma para poder comprender la información.
- Al realizar una investigación de tipo científica, usar el buscador de google académico, esto permite un filtro más rápido de la información que se está buscando, además de ser una fuente confiable.

COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS

En general se cumplió con el diseño y modelado de dibujos en 2 y en 3 dimensiones, con el uso óptimo de la distribución de espacios y dimensiones en proyectos virtuales tridimensionales, con el fin de desarrollar técnicas de estimación y medición, así como de la representación de piezas y modelos reales, como competencias específicas tenemos:

Competencia	Se aplicó
Capacidad de comunicación gráfica y escrita.	Al momento de hacer los reportes de avances y entrega de dibujos en 3D para sus correcciones.
Habilidad en el uso de tecnologías de diseño asistido por computadora (CAD).	Al dibujar todo lo necesario en el software SolidWorks
Habilidad para buscar y analizar información proveniente de fuentes diversas.	Esta competencia se aplicó al momento de hacer investigaciones para tener los conocimientos necesarios para desarrollar las diversas actividades asignadas.
Capacidad para trabajar en equipo.	Se aplicó cuando se tenían que hacer las correcciones de los planos con el asesor externo.
Compromiso ético.	Al trabajar con documentos confidenciales y aceptar la responsabilidad de proteger la información.
Capacidad de aprender	Se aplicó al momento de aprender a dibujar en el Software Solidworks, debido a que no tenía conocimientos

	previos en este.
Creatividad	En todo el diseño debido a que el proyecto se realizó con los recursos que se contaba y se aprendió a trabajar con los materiales que se tenían o eran accesibles de adquirir.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y VIRTUALES

- Arun S. Mujumdar. (2015). Handbook of Industrial Drying. New York: CRC Press.
- IMPI: Guía del usuario de diseños industriales, Dirección divisional de patentes
- IMPI: Guía del usuario de patentes y modelos de utilidad, Dirección divisional de patentes.
- S.V. Jangam, C.L. Law, A.S. Mujumdar. (2010). Drying of foods, vegetables and fruits. Volume 1
- S.V. Jangam, C.L. Law, A.S. Mujumdar. (2011). Drying of foods, vegetables and fruits. Volume 2
- Casp, J. Abril. (2003). Procesos de conservación de alimentos. España: Mundi-Prensa.
- M. Dix, P. Riley. (2013). AutoCad 2013. México: Pearson.
- P. Urban. (1997). Construcción de estructuras metálicas. San Vicente: Club Universitario.
- S. Héctor. (2000). Diseño de estructuras metálicas. México: Soto Rodríguez.
- James D. Bethune. (2009). Engineering Desing and Graphics with SolidWorks. Boston: Boston University.

- R. Paul Singh. (2014). Introduction to food engineering. San Diego, CA: Elsevier.
- William T Segui. (2007). LRFD steel design. Canada: Thomson.
- L. Norton. (2011). Diseño de Máquinas, un enfoque integrado. México: Pearson.
- González A., Loza L.,Gómez H.. (2010). Características climáticas generales en la zona metropolitana de Guadalajara (ZMG). 2017, de Universidad de Guadalajara Sitio web: <http://sincronia.cucsh.udg.mx/gonzalezsalazarspring2010.htm>
- Raúl Raudales. (2005). Vegetable product drying US 6922908 B1. 2017, de Google Patents Sitio web: <http://www.google.tl/patents/US6922908#forward-citations>
- Instituto Mexicano de Propiedad Industrial (IMPI) : <https://www.gob.mx/impi>
- SolidWorks; <http://help.solidworks.com>
- Patentes: <https://patents.google.com/>
- Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco: <http://ciatej.mx/>
- Instituto Tecnológico Superior de Zapopan: <http://www.itszapopan.edu.mx/>
- Servicio meteorológico nacional: <http://smn.cna.gob.mx/es/>