



# **UNIVERSIDAD DE GRANMA**

---

***Facultad de Ciencias Técnicas  
Dpto. de Ciencias Técnicas***

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

***Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas***

***Sede Latacunga***

## ***Trabajo de Diploma***

***En opción al título de Ingeniero Electromecánico***

**DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE HORNO DESHIDRATADOR DE  
SPIRULINA UTILIZANDO ENERGÍA RENOVABLE**

**DARWIN FERNANDO COFRE CHANGO**



**BAYAMO. M.N.**

**2011-2012**

**“Año de 54 de la Revolución”**

**LATACUNGA-ECUADOR**

**2011-2012**

**“Por la vinculación de la Universidad con el Pueblo”**



# **UNIVERSIDAD DE GRANMA**

***Facultad de Ciencias Técnicas***

***Dpto. de Ciencias Técnicas***

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

***Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas***

***Sede Latacunga***

## ***Trabajo de Diploma***

***En opción al título de Ingeniero Electromecánico***

**DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE HORNO DESHIDRATADOR DE  
SPIRULINA UTILIZANDO ENERGÍA RENOVABLE**

**Diplomante:** Darwin Fernando Cofre Chango

**TUTORES:** M.Sc Ing. Roberto Beltrán Reyna  
Ing. Joao Lázaro Barzaga Quesada



**BAYAMO. M.N.**

**2011-2012**

**“Año de 54 de la Revolución”**

**LATACUNGA-ECUADOR**

**2011-2012**

**“Por la vinculación de la Universidad con el Pueblo”**

## *AGRADECIMIENTO*

A la vida que me ha dado la fortaleza, confianza y seguridad para seguir en el duro camino que he enfrentado para alcanzar mis propósitos.

A mi familia que siempre está presente en las ideas y juegan un papel importante en la toma de mis decisiones, su apoyo es de suma importancia en el desarrollo de este proyecto.

A la UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI y la UNIVERSIDAD DE GRANMA, de manera especial a la especialidad de Ingeniería Electromecánica, por brindarme la oportunidad de obtener una profesión.

A mis profesores y amigos que siempre me apoyaron de una u otra manera para no desmayar y culminar con éxito mis estudios superiores.

*DEDICATORIA.*

Este trabajo lo dedico a mis queridos padres: Segundo y Griselda, por todo el esfuerzo realizado, por haber confiado siempre en mí a pesar de mis tropiezos y equivocaciones, por brindarme su apoyo incondicional e incentivarme durante toda mi vida como estudiante, quienes me supieron aconsejar para no desmayar y culminar con éxito lo que siempre anhele; mi Ingeniería.

A mi esposa: Myriam, por el apoyo incondicional en todas las etapas de la vida.

A mis amados hijos: Mercedes Noemí y Fernando Sebastián, por ser el motor que me impulsan a seguir adelante y la razón del éxito alcanzado.

A mis hermanos: David, Vanessa, Diego, Adrian, con quienes crecí, y de quienes recibí respeto y comprensión.

A mis queridos abuelitos: Hortencia, Manuel, Aída por ser la guía y aliciente que me estimula a seguir superándome.

A mi tía: Carmen y su esposo José por los consejos y apoyo incondicional.

A todos aquellos amigos que compartieron mi niñez, juventud y en especial a aquellos con los que compartí mi vida estudiantil de manera especial a mis amigos: Mauro Albarracín y Edwin Moreano.

A todas aquellas personas con quienes compartí gratos momentos, en especial a mis tutores M.Sc Ing. Roberto Beltrán Reyna, Ing. Joao Lázaro Barzaga Quesada, por su amistad e inigualable dedicación en la culminación de mi tesis, a Mayra Caiza y Susana Cabrera con quienes disfrute y pase los mejores momentos de mi estadía, siempre los llevaré en mi corazón.

# *DECLARACIÓN DE AUTORÍA*

Yo, DARWIN FERNANDO COFRE CHANGO, con cédula de ciudadanía No. **050237678-3**, de nacionalidad ecuatoriana, actuando en nombre propio, en calidad de autor de la tesis denominada: **Diseño de un prototipo de horno deshidratador de spirulina utilizando energía renovable**; autorizo a las Universidades Técnica de Cotopaxi y Granma, para que utilicen y usen en todas sus formas el presente trabajo.

Como autor declaro que la obra objeto de la presente autorización es de mi exclusiva autoría y me detento la titularidad sobre la misma.

---

Darwin Fernando Cofre Chango

---

M.Sc Ing. Roberto Beltrán Reyna

## **RESUMEN**

Este trabajo tiene la finalidad de diseñar el prototipo de horno deshidratador de Spirulina, alga que posee gran cantidad de nutrientes para el cuerpo humano, la cual en la actualidad está siendo investigada por el alto contenido de vitaminas y minerales que en algunos casos ayuda a inhibir el cáncer. El prototipo está formado por diferentes componentes como son: resistencia eléctrica, estructura metálica, bandejas de secado, puerta, aislante térmico. El suministro de energía del horno se concibe a través de energía producida por centrales hidroeléctricas, sin embargo en caso de que existan fallas en el suministro de energía se ha diseñado y dimensionado un sistema alternativo de suministro de energía, siendo este paneles fotovoltaicos.

Se realizó un análisis de la matriz morfológica donde se evidencian 48 posibles combinaciones, de todas estas combinaciones se decide diseñar la compuesta por perfiles tipo L de alas iguales para las estructuras metálicas, resistencia eléctrica con configuración tipo S, lana de vidrio como aislante térmico a emplear, caucho resistente a altas temperaturas para lograr la hermeticidad del horno y como ya se menciono paneles fotovoltaicos.

**Palabras claves:** horno, deshidratación, Spirulina.

## **ABSTRACT**

The aim of this work was to design the prototype dehydrator oven Spirulina algae that have lots of nutrients for the human body, which is currently being investigated by the high content of vitamins and minerals in some cases helps to inhibit cancer. The prototype consists of various components such as: electrical resistance, metal, drying trays, door, and thermal insulation. The oven power is conceived through energy produced by hydroelectric plants, but in case there are flaws in the power supply, it is designed and sized for an alternative system of power and these photovoltaic panels.

An analysis of the morphological matrix which show 48 possible combinations of all these combinations is decided to design the L-type profiles composed of wings equal to metal structures, electrical resistance with S-type configuration, glass wool for insulation to used, rubber resistant to high temperatures to achieve sealing of the furnace and as already mentioned photovoltaic panels.

**Keywords:** oven, dehydration, Spirulina.

<b>Contenido</b>	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I: ESTADO DEL ARTE .....	3
1.1 Historia de la spirulina.....	3
1.2 Beneficios de la spirulina para el cuerpo humano.....	5
1.3 Deshidratación de alimentos.....	5
1.4 Teoría de la deshidratación.....	6
1.4.1 Importancia de la deshidratación.....	7
1.4.2 Ventajas de la deshidratación.....	8
1.4.3 Movimiento migratorio del agua en la Spirulina.....	8
1.5 Influencia del secado en la calidad de los alimentos.....	9
1.5.1 Técnicas de secado.....	9
1.6 Tratamientos previos y posteriores al secado de alimentos.....	11
1.7 Clasificación de los equipamientos utilizados para la deshidratación.....	12
1.8 Equipos para el secado de alimentos.....	17
1.9 Energías renovables.....	20
1.9.1 Energía geotérmica.....	20
1.9.2 Energía solar fotovoltaica.....	21
1.9.3 Energía eólica.....	24
1.9.4 Biomasa.....	25
1.9.5 Energía hidráulica.....	25
1.10 Introducción a los softwares CAD.....	25
1.11 Solid Works.....	26
1.12 Propiedades de los materiales.....	28
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS .....	30
2.1 Procedimiento para diseñar el prototipo de horno deshidratador de Spirulina.....	30
2.2 Modelación de las piezas con sus dimensiones en el Software de diseño CAD.....	30
2.3 Ensamble del modelo de horno deshidratador de Spirulina.....	31
2.4 Asignación de los materiales y sus propiedades a cada pieza.....	31
CAPÍTULO III: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DEL PROTOTIPO DE HORNO DESHIDRATADOR DE SPIRULINA.....	32
3.1 Concepción de un principio de solución.....	32
3.2. Evaluación de la factibilidad del principio de solución.....	34



3.3. Concepción final del prototipo.....	36
3.4 Propiedades físicas y mecánicas de los materiales de cada modelo de pieza.42	
3.5 Cálculo de la resistencia eléctrica.....	44
3.6 Cálculo y dimensionado de los paneles fotovoltaicos.....	46
CONCLUSIONES.....	49
RECOMENDACIONES .....	50
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51

## **INTRODUCCIÓN**

La necesidad de preservar los alimentos aptos para el consumo ha obligado a las personas a buscar métodos que contribuyan a mantener los alimentos en buen estado, ya sea de una forma u otra, en la actualidad no se trata solamente de la conservación de los alimentos para los hogares si no que ha llegado a un estado mercantil en donde se trata de conseguir que los productos duren mucho más tiempo sin ningún tipo de congelación u otro método artificial y sean exhibidos sin protección alguna en las estantería de los grandes supermercados del mundo. Todo esto enmarcado en un cuadro de modernización que acarrea consigo la necesidad de diseñar e implementar un elemento que ayude a mantener los productos en un estado apto para el consumo y que se los pueda aprovechar por mucho más tiempo en los hogares en donde la presencia tecnológica es baja y se requiere de otras alternativas para la preservación de alimentos.

Tomando en cuenta los aspectos más significativos de la deshidratación, se considerara como uno de los métodos más importante a implementar para la preservación de alimentos, que a la vez contribuye a la mejora de la productividad y, por consiguiente, al incremento de la rentabilidad de los productos y del valor de los activos invertidos.

La Spirulina no está exenta de todos estos aspectos, la necesidad de preservar sus proteínas y mejorar la nutrición de los consumidores, por lo que se hace necesario lograr un correcto y continuo proceso de deshidratación para de esta manera lograr niveles de calidad aceptables, por lo antes expuesto se define el siguiente problema científico:

### **Problema:**

¿Cómo lograr el proceso continuo de deshidratación de Spirulina?

### **Hipótesis:**

Si se diseña un horno eléctrico que tenga la posibilidad de utilizar energía renovable, se podrá realizar el proceso de deshidratación de Spirulina de manera continua.

### **Objeto de la investigación:**

Proceso de deshidratación de la Spirulina.

### **Campo de acción:**

Prototipo de horno para deshidratar Spirulina utilizando energía alternativa.

**Objetivos:**

• **General:**

Diseñar el prototipo de horno para la deshidratación de Spirulina utilizando energía alternativa.

• **Específicos:**

1. Determinar las características dimensionales del prototipo de horno.
2. Seleccionar el tipo de material aislante del prototipo de horno.
3. Identificar las posibles fuentes de energía alternativa con que puede trabajar el horno.
4. Seleccionar la fuente de energía alternativa con que trabajará el horno.

**Métodos empleados:**

- Método histórico – lógico, se estudiaron los antecedentes en el tema teniendo en cuenta las investigaciones preliminares y sus respectivos resultados obtenidos reflejándolo en la bibliografía.
- Método de inducción – deducción, para hacer referencias oportunas de lo particular a lo general y viceversa, según las circunstancias específicas de cada una de las etapas de trabajo lo requieran.
- Método de análisis y síntesis, se estudiaron, revisaron y analizaron estudios referentes al tema, al igual que el software utilizado.
- Empíricos: Consulta a expertos que permitieron afianzar conocimientos y aclarar dudas acerca del uso de los software y dieron vías de solución al problema planteado.
- Revisión bibliográfica.

**Resultados esperados:**

Obtener el diseño del prototipo de horno para realizar el proceso de deshidratación de Spirulina de manera continua utilizando energía alternativa.

## **CAPÍTULO I: ESTADO DEL ARTE**

### **1.1 Historia de la spirulina.**

Históricamente los Aztecas consumían Spirulina como alimento, la nombraban "tecuitlatl". Esta costumbre desapareció con el tiempo. Biólogos y antropólogos sostienen que en épocas prehispánicas los habitantes de México consumían "tamales" elaborados con algas marinas y agua dulce. (Eliach y Duré, 2004)

La humanidad volvió a saber de la existencia de la Spirulina, cuando en los años 60 los técnicos del Instituto Francés del Petróleo buscaban el preciado combustible en el centro de África. Se trata de una región árida, pobre, donde nada indica que exista algún tipo de alimentación fácil de obtener. (Eliach y Duré, 2004)

Sin embargo, los nativos de Kanem (Chad, África) parecían saludables y robustos, lo cual fue estudiado por etnólogos franceses y belgas que a finales de 1962 descubrieron que los nativos cosechaban y consumían algas desde tiempos inmemoriales. (Ramírez y Olvera, 2006)

Las mujeres de la tribu recolectan la Spirulina en cestas de mimbre, dejan escurrir el agua sobre cántaros de barro y lo que queda en las cestas lo ponen a secar al sol. El producto final es una pasta con la cual se hace una salsa agregándole grasa de res, cebolla frita, pimientos, gramíneas silvestres y lengua de vaca que está destinada a acompañar las albóndigas. (Eliach y Duré, 2004)

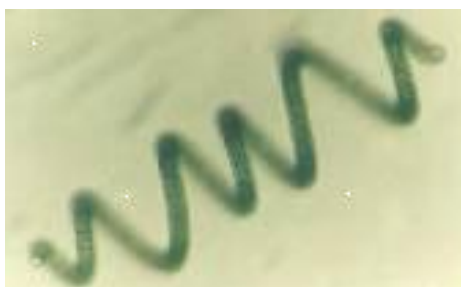
También esta alga ha sido aprovechada en Kenia, Etiopía, Egipto, Zambia y Perú. En México, desde el año de 1967 se inició su cultivo en los cuerpos de agua que quedan del antiguo lago de Texcoco y se han logrado obtener 30 toneladas de alga por hectárea al año. (Jourdan, 1999)

Redescubierta en el Chad en el año 1940, y en particular desde el año 1946, intrigados por las prácticas antiguas que venimos de evocar y preocupados por la búsqueda de recursos alimenticios más baratos, los científicos están descubriendo las notables ventajas de la Spirulina. (Belay, 2002)

En los últimos años se le han atribuido diversos efectos positivos en el tratamiento de algunos tipos de alergias, anemia, cáncer, enfermedades virales y cardiovasculares. Muchas de sus propiedades son consecuencia de la presencia de pigmentos como las ficobiliproteínas y los carotenoides, así como de otros compuestos como polisacáridos, ácidos grasos (destacando el ácido gama linoleico), proteínas, vitaminas y minerales. Las propiedades y aplicaciones de este

organismo hacen de él un alimento “promotor de la salud” o “nutracéutico”. (Jourdan, 1999; <http://www.google.com/spirulina>, 2011)

La microalga spirulina es más rica en proteínas que la carne y actualmente es cultivada en grandes establecimientos en Estados Unidos, India, China y Tailandia. En la naturaleza, la spirulina crece en lagos y lagunas con medio alcalino en clima cálido (Jourdan, 1999). Se presenta en forma de filamentos en forma de espiral (ver figura 1.1) constituidos por células yuxtapuestas, la reproducción es asexual y se realiza por división de filamentos. (Vonshak y Richmond, 1988)



**Fig. 1.1** Representación de la espirulina.

Esta microalga posee unas características muy especiales desde el punto de vista nutricional ya que se trata de una fuente natural de proteínas, con una concentración variable entre el 55 y 70% de sustancias asimilables de alta calidad. (Falquet, 1996)

La digestibilidad está entre el 88 y el 92%, este amplio margen obedece a la composición celular de la misma, ya que su pared celular está formada por mucopolisacáridos que permiten que el organismo pueda extraer los nutrientes presentes con mayor facilidad, sin gasto energético. (Eliach y Duré, 2004)

Entre las vitaminas que contiene se encuentran la A, B1, B2, B3, B6 y B12, ácido fólico, biotina, inositol, ácido pantoténico, beta caroteno y vitamina E, junto con minerales que actúan como potentes antioxidantes que permiten la neutralización de los radicales libres. (Ramírez y Olvera, 2006)

Presentes están también los siguientes minerales: Calcio, Fósforo, Hierro, Sodio, Potasio, Zinc, Cobre, Manganeso, Germanio, todos en concentraciones apreciables. Conviene señalar también que la biodisponibilidad del hierro es un 60% más elevada que en las maneras habituales de suministro de este metal en las diferentes formas dietéticas. (Eliach y Duré, 2004)

Puede utilizarse como suplemento en la alimentación de diversos animales:

rumiantes, cerdos, aves, peces y crustáceos, como una fuente proteica o como complemento de proteínas en dietas balanceadas. Aumenta el valor comercial de ciertas especies, por ejemplo; mejora la coloración de la piel y de la yema de huevos en aves y también aumenta la vitalidad, el peso y la coloración en peces. (Vonshak y Richmond, 1988)

### **1.2 Beneficios de la spirulina para el cuerpo humano.**

La Spirulina contiene todos los nutrientes que el cuerpo necesita. Una deficiencia de cualquiera de estos nutrientes podría comprometer el buen funcionamiento de nuestro cuerpo. Hay varios estudios científicos sobre la capacidad de la Spirulina para inhibir la reproducción viral, fortalecer tanto el sistema celular como el inmunológico y causa la regresión y la inhibición de los cánceres en ocasiones. (<http://www.google.com/spirulina>, 2011)

Spirulina es un poderoso tónico para el sistema inmunológico. Los fitonutrientes, responsable de fortalecer el sistema inmunológico son el beta caroteno, ficocianina y polisacáridos. Los estudios publicados en todo el mundo de la alimentación de los ratones, hámsteres, pollos, pavos, gatos, peces y hasta los seres humanos, confirman que la spirulina mejora la función del sistema inmunológico. Los científicos médicos descubrieron que no sólo estimula el sistema inmunológico, sino que también mejora la capacidad del cuerpo para generar nuevas células sanguíneas. (Belay, 2002; <http://www.google.com/spirulina>, 2011)

### **1.3 Deshidratación de alimentos.**

La deshidratación, secado o desecación, es uno de los métodos más antiguos y más importantes de conservación de alimentos. La deshidratación se define como la remoción o extracción del agua contenida dentro de un producto por medios térmicos. Esta remoción de agua o humedad se da por evaporación o sublimación, y permite reducir el contenido de humedad de un producto hasta niveles de humedad en los que se puede impedir el desarrollo y daño causado por microorganismos en los alimentos.

(Beltrán, 2005; [http://orbita.starmedia.com/tecnologiaalimentos/analisis\\_grasas.htm](http://orbita.starmedia.com/tecnologiaalimentos/analisis_grasas.htm), 2008).

La tecnología del secado ha sufrido nuevas transformaciones en cuanto a calidad y velocidad de producción se refiere durante el inicio de la revolución industrial en los años 1790, con el fin de satisfacer nuevos requerimientos compatibles con un mejor uso de la energía y una reducción de la contaminación ambiental. En este aspecto, la introducción de nuevas tecnologías y el uso de diferentes modos de secado han significado el reemplazo gradual del secado al ambiente. En este sentido, el uso de equipos de secado ha mostrado ser una excelente opción, indicando la importancia de este método de secado.

(Cheftel *et al.*, 1983; <http://www.Fundamentosytecnolog/355adelsecado>, 2008)

La conservación de alimentos comprende un conjunto de medidas y procedimientos que se dirigen a evitar la descomposición y el daño causado por microorganismos en los alimentos. En este sentido, se distinguen desde la antigüedad dos métodos fundamentales:

1. Métodos físicos.
2. Métodos químicos.

El primero, consisten en someter al alimento a algún tratamiento físico que actúe en contra del crecimiento bacteriano. Los métodos físicos más conocidos son la esterilización y la pasteurización (aplicación de altas y medianas temperaturas), la refrigeración y la congelación (aplicación de bajas temperaturas), la deshidratación (extracción del agua) y la irradiación.

(Brennan *et al.*, 1980;

[http://www.industriaalimenticia.com/Archives\\_Davinci?article=1031](http://www.industriaalimenticia.com/Archives_Davinci?article=1031), 2008).

Mientras que los métodos químicos, en cambio, se basan en la adición de una sustancia química para frenar el desarrollo de microorganismos, o destruirlos en casos ideales. Ejemplos de estas sustancias químicas o también llamadas sustancias conservadoras son la sal común, vinagre, ácido sórbico, anhídrido sulfuroso, ácido láctico, ácido bórico, óxido de etileno, ácido fórmico, ácido acético, ácido propiónicos, ácido benzoico, ácido salicílico, ácido sódico, fosfatos, fluoruros y bromatos.(Luck, 1981)

#### **1.4 Teoría de la deshidratación.**

El propósito principal de la deshidratación de alimentos es reducir el contenido de humedad de un producto hasta niveles en los cuales la cantidad de agua libre sea lo

suficientemente baja como para participar en reacciones deterioradoras o ser utilizada por microorganismos.

(Saltos, 1985; <http://www.Fundamentosytecnolog/355adelsecado>, 2008; [http://www.technology\\_operaciones-basicas.ec](http://www.technology_operaciones-basicas.ec), 2008)

La deshidratación es un fenómeno complejo en el que intervienen varios mecanismos de transferencia de calor y masa de manera simultánea. Durante el proceso de secado de un alimento, existe una transferencia de calor externa hasta la superficie del alimento, la misma que puede ocurrir por convección, conducción y/o radiación; luego el calor se transfiere desde la superficie hacia el interior del producto, por conducción y/o radiación. La transferencia de calor aporta la energía necesaria (principalmente calor latente de vaporización) para transformar el agua del producto en vapor. Como consecuencia, existe una transferencia de masa (agua) desde el interior hacia la superficie del alimento por diferentes mecanismos, difusión de vapor, difusión del líquido, capilaridad; y finalmente una transferencia de masa externa desde la superficie hacia el medio circundante, que ocurre principalmente por convección másica y difusión.(Cheftel *et al.*, 1983; [http://www.technology\\_operaciones-basicas.ec](http://www.technology_operaciones-basicas.ec), 2008)

#### **1.4.1 Importancia de la deshidratación.**

La presencia de agentes que producen alteraciones en los alimentos cuando existen condiciones favorables de vida tales como: alto contenido de humedad en el producto, temperatura adecuada, pH mayor a 3.5, etc. Cuando estas condiciones son poco favorables, no existe desarrollo microbiano y se puede, por lo tanto, preservar los alimentos. Mediante la deshidratación es posible alcanzar estos objetivos al crear un ambiente adverso al que requieren los microorganismos para su desarrollo. Así, debido a la mínima actividad de agua y bajo contenido de humedad en el producto, los microorganismos no pueden proliferar, y quedan detenidas la mayoría de las reacciones químicas y enzimáticas de alteración (reacciones deterioradoras), con lo que se consigue preservar los alimentos por mayores períodos de tiempo.(Beltrán, 2005)



#### **1.4.2 Ventajas de la deshidratación.**

Los modernos métodos de secado buscan además de la conservación de los alimentos otros fines, tales como:(Norman, 1976; Saltos, 1985)

1. Facilitar el manejo de los productos.
2. Reducir los costos de transporte y almacenaje, al reducir el peso y volumen de los alimentos.
3. Permitir el empleo satisfactorio de los productos.
4. Producir materias primas de mayor calidad.
5. Facilitar y favorecer la comercialización.
6. Permitir al productor tomar las ventajas de precio más alto.
7. Permitir al productor vender un bien de calidad y con valor agregado.

#### **1.4.3 Movimiento migratorio del agua en la Spirulina.**

En forma simple, se puede explicar la deshidratación como el resultado del movimiento de la humedad, desde el interior hasta la superficie húmeda del producto, donde se evapora y escapa hacia el medio circundante.(Jara y Orozco, 2004 )

El agua contenida en un alimento puede encontrarse bajo tres formas diferentes:

1. Agua libre o absorbida.
2. Agua de adsorción.
3. Agua de constitución.

1. **Agua libre o absorbida:** Es el agua que se encuentra depositada en las capas superficiales del alimento. No tiene ninguna vinculación con las moléculas de la sustancia absorbente, salvo que las utiliza como estructura de apoyo. El agua libre representa la mayor parte del agua de los alimentos frescos. (Jara y Orozco, 2004 ; León y Gómez, 2005)

2. **Agua de adsorción:** Se encuentra unida más firmemente a la materia seca. Cuando el contenido de humedad es menor, más fuerte es la unión entre la sustancia y el agua, y menor la influencia que ésta ejercerá sobre la atmósfera circundante.(Saltos, 1985)

3. **Agua de constitución:** Es el agua que forma parte de la materia celular del producto, y no es posible removerla sin desnaturalizar el alimento.(Parada, 2007 )

## **1.5 Influencia del secado en la calidad de los alimentos.**

Durante el proceso de secado de alimentos, se producen alteraciones físico - químicas que modifican la calidad y características del producto.(Brennan *et al.*, 1980)

Entre los cambios irreversibles que acompañan al secado se encuentran la pérdida de sustancias nutritivas, cambio de la densidad aparente, migración de sólidos solubles hacia la superficie, empardeamiento no enzimático, desnaturalización de las proteínas, pérdida de sustancias volátiles deseables, y otros.

(<http://www.Fundamentosytecnolog/355adelsecado>, 2008)

Las características de estas alteraciones depende de los parámetros del proceso de secado (velocidad, temperatura y humedad relativa del aire) y de las propiedades del alimento que está siendo deshidratado.(Pinilla y Silva, 2008)

Así por ejemplo, el calentamiento excesivo de un alimento debido a altas temperaturas de operación disminuye considerablemente el valor biológico de las proteínas.

Por lo tanto, se deben conocer y manejar únicamente los parámetros apropiados de secado de un alimento, tal que los cambios producidos por la deshidratación sea mínimos y no se alteren las características organolépticas ni se provoque un descenso del nivel nutritivo del alimento.(Norman, 1976)

### **1.5.1 Técnicas de secado.**

Un alimento puede ser deshidratado en forma natural o mediante el uso de sistemas artificiales.

**1. Secado natural:** El secado natural o al aire libre consiste en exponer los alimentos a la acción de los factores climáticos de un lugar.

(<http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/283/cap1.html>, 2008a; b)

Este sistema de secado ha sido ampliamente utilizado desde la antigüedad. Sin embargo, por estar sujeto a los cambios climáticos, no es posible ejercer un control sobre su desarrollo.

(Saltos, 1985;

[http://www.processheating.com/CDA/ArticleInformation/Drying\\_Files\\_Item/0](http://www.processheating.com/CDA/ArticleInformation/Drying_Files_Item/0), 2008)

La principal ventaja del secado natural sobre otros métodos de secado es que no se requiere de grandes inversiones y el costo de secado es prácticamente cero. (Brennan *et al.*, 1980)

Por otro lado, en cambio, sus principales desventajas son el largo tiempo de secado, dependencia de las condiciones ambientales (temperatura, humedad relativa, velocidad del aire, radiación solar, etc.), imposibilidad de alcanzar contenidos de humedad menores a los correspondientes a la humedad de equilibrio del lugar, mayor exposición del producto a daños producidos por agentes biológicos, y necesidad de grandes espacios para secar el producto.

(<http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/283/cap1.html>, 2008b)

**2. Secado artificial:** El secado artificial surge como respuesta a las deficiencias del secado natural. Por medio de equipos e instalaciones especiales, se pueden crear en recintos cerrados (cámaras) condiciones climáticas diferentes a las atmosféricas normales, sobre las que se puede ejercer un control total. (Brennan *et al.*, 1980)

El secado artificial permite obtener productos deshidratados de mejor calidad que los obtenidos mediante el secado natural.

Principales ventajas del secado artificial son: (Brennan *et al.*, 1980)

1. Reducción considerable del tiempo de secado de un producto.
2. Producción de materias primas de alta calidad.
3. Necesidad de un área de secado más pequeña.
4. Mediante el establecimiento de condiciones climáticas especiales se pueden alcanzar contenidos de humedad tan bajos como sean requeridos.

Si bien los costos directos del secado artificial son mucho más altos que los del secado natural, las ventajas de espacio, velocidad de secado, independencia de las condiciones ambientales y operación día y noche, lo justifican ampliamente. (Cheftel *et al.*, 1983)

Entre los principales procedimientos de deshidratación artificial se encuentran:

**1. Secado con aire:** El calor es suministrado al alimento por medio de una corriente de aire caliente (convección). (Saltos, 1985)

**2. Secado al vacío:** Presenta la ventaja de que las presiones bajas (inferiores a la atmosférica) facilitan la evaporación del agua. La transferencia de calor se efectúa por conducción o radiación (calentamiento dieléctrico o radiación a partir de una superficie caliente). (Saltos, 1985)

**3. Crío-deseccación (liofilización):** Los alimentos que no pueden calentarse ni siquiera a temperaturas moderadas, son deshidratados mediante este método. El producto que se va a secar generalmente se congela mediante exposición a un aire muy frío y se coloca en una cámara de vacío, en donde la humedad del producto se sublima y se extrae mediante una bomba de vacío. (Saltos, 1985)

### **1.6 Tratamientos previos y posteriores al secado de alimentos.**

Los alimentos antes de ser secados deben ser acondicionados a fin de lograr un secado uniforme y evitar el efecto de factores nocivos. Con éste propósito los alimentos son en muchos casos lavados, pelados o cortados; otras veces también deben ser tratados para evitar el pardeamiento o la proliferación de microorganismos. (Norman, 1976)

Así, en muchos alimentos se realiza el escaldado o blanqueado, que consiste en someter a los alimentos a un baño de agua hirviendo o vapor por un corto tiempo (3 a 6 minutos, o en todo caso hasta que los tejidos del alimento empiezan a ablandarse) con el objeto de: (Norman, 1976)

1. Evitar el pardeamiento no enzimático
2. Fijar y conservar el color
3. Eliminar algunos microorganismos
4. Acelerar el secado por rotura de las células

Para inhibir la auto oxidación puede ser necesario adicionar antioxidantes naturales como los que provienen del romero o de la salvia. Otras veces se adicionan también compuestos especiales para evitar el pardeamiento enzimático o no enzimático. ([http://orbita.starmedia.com/tecnologiaalimentos/analisis\\_grasas.htm](http://orbita.starmedia.com/tecnologiaalimentos/analisis_grasas.htm), 2008; <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/283/cap1.html>, 2008a)

Se deben tener en cuenta las condiciones y el tiempo de almacenamiento a las que será sometido el producto después de secado, ya que se debe evitar la rehidratación y el efecto de factores nocivos, razón por la que se vuelve imprescindible el uso de empaques o recipientes especiales. Es importante además, que la temperatura de almacenamiento sea inferior a los 25 °C, aproximadamente. (Norman, 1976)

## 1.7 Clasificación de los equipamientos utilizados para la deshidratación.

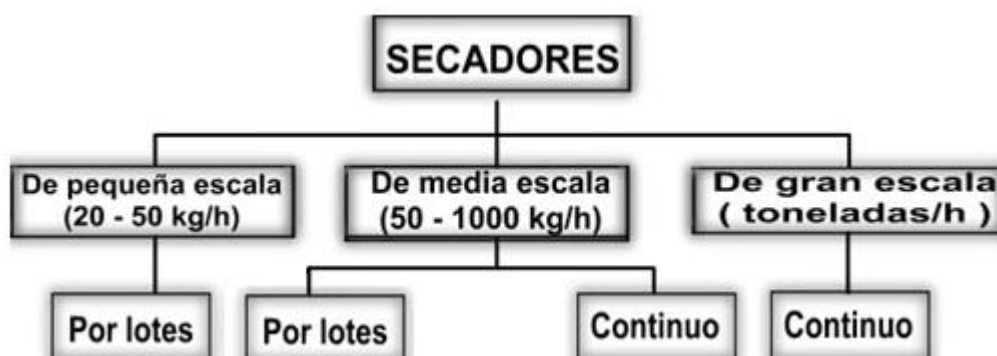
Existen diferentes métodos para realizar la deshidratación de un producto, y por lo tanto, diferentes tipos de secadores; cada uno diseñado para secar un producto en particular, y algunos lo suficientemente versátiles como para secar más de un tipo de producto.

([http://docencia.udea.edu.co/qf/farmacotecnia/06/06\\_referencias.html](http://docencia.udea.edu.co/qf/farmacotecnia/06/06_referencias.html), 2008)

Los equipos de secado pueden ser clasificados de varias maneras; sin embargo, las dos clasificaciones más empleadas se basan en: (Nonhebel y Moss, 1979)

1. El método de operación.
2. El método de transmisión de calor a los sólidos húmedos.

Otras formas comunes de clasificación se basan por ejemplo en el tipo de recipiente de secado: bandejas, tambor rotatorio, lecho fluidificado, neumático o pulverización; o de acuerdo a su escala de producción:



**Fig. 1.2** Clasificación de los secadores de acuerdo a su escala de producción.(Nonhebel y Moss, 1979)

De acuerdo con el método de operación, los secadores pueden dividirse en dos grandes grupos: (Parada, 2007 )

1. Secadores continuos.
2. Secadores discontinuos o por lotes.

**Secadores continuos:** Son equipos que operan en forma continua, sin interrupciones, en tanto se suministre la alimentación húmeda al secador. La desecación se efectúa haciendo pasar el material de manera continua a través del equipo de secado.(Norman, 1976)

Los secadores continuos pueden funcionar en forma intermitente o por lotes, si así se desea. (Norman)

**Secadores discontinuos o por lotes:** Son equipos que operan intermitente o cíclicamente en condiciones de estado no estacionario. El secador se carga con un producto, el mismo que permanece en el equipo hasta que se seca; luego, el secador se descarga y se vuelve a cargar con un nuevo lote. ([http://docencia.udea.edu.co/qf/farmacotecnia/06/06\\_referencias.html](http://docencia.udea.edu.co/qf/farmacotecnia/06/06_referencias.html), 2008)

Los secadores discontinuos se diseñan para operar con un tamaño específico de lote, en ciclos de tiempo dados. En estos secadores, las condiciones de temperatura y contenido de humedad varían continuamente en cualquier punto del equipo.

De acuerdo con el método de transmisión de calor a los sólidos húmedos, los secadores se dividen en tres grupos: (Salvat, 2008)

1. Secadores directos.
2. Secadores indirectos.
3. Secadores infrarrojos.

En la figura 1.3 se indica la clasificación de los secadores basada en la transmisión o transferencia de calor; estipulando subclases de operación continua y por lotes para los secadores directos e indirectos.



**Fig. 1.3** Clasificación de los secadores según la transmisión de calor. [Fuente: Elaboración propia]

**Secadores directos:** Se denominan también secadores por convección y presentan las siguientes características generales de operación:

1. La transferencia de calor para el secado se logra por contacto directo entre los sólidos húmedos y el aire caliente.
2. El líquido vaporizado es evacuado o arrastrado junto con el medio de desecación (aire caliente de secado).

En estos secadores, los sólidos pueden estar en cualquiera de las condiciones siguientes:

**1. Estático:** En esta condición, cada partícula descansa una sobre la otra; es decir, no existe movimiento relativo entre las partículas sólidas, como se muestra en la figura 1.4.



**Fig. 1.4** Lecho de sólidos en condición estática (secador de bandejas). (Norman, 1976)

**2. Móvil:** Las partículas están separadas apenas lo suficiente para fluir o deslizarse unas sobre otras. Por lo común, el flujo es descendente por acción de la fuerza de gravedad; pero también se puede producir un movimiento ascendente debido a la elevación mecánica o a la agitación, generadas dentro del secador, como queda evidenciado en la figura 1.5.



**Fig. 1.5** Lecho de sólidos móviles dentro de un secador rotatorio. (Norman, 1976)

**3. Fluidificado:** Las partículas sólidas se sostienen por medio de fuerzas de arrastre provocadas por la fase gaseosa que pasa por los intersticios de las partículas con una velocidad crítica dada. El movimiento de las partículas en esta condición es repetidamente ascendente y descendente, como se observa en la figura 1.6.



**Fig. 1.6** Lecho de sólidos fluidificados.(Norman, 1976)

**4. Flujo paralelo:** En este caso, la dirección del flujo de aire es paralela a la superficie de la fase sólida. El contacto se registra primordialmente en la entrecara comprendida entre las fases sólida y gaseosa, ver figura 1.7.



**Fig. 1.7** Flujo paralelo de aire sobre un lecho estático de sólidos.(Norman, 1976)

El flujo paralelo puede presentar a su vez tres variaciones: (Norman, 1976)

1. Flujo de gas en corriente paralela; en el cual la fase gaseosa y las partículas sólidas se desplazan en la misma dirección.
2. Flujo de gas a contracorriente; donde el sentido del flujo de gas es exactamente opuesto al que sigue el movimiento de los sólidos.
3. Flujo transversal de gas; en el que la dirección de la corriente de gas se realiza en ángulos rectos en relación con el movimiento de los sólidos.

#### **Secadores indirectos.**

Se denominan también secadores por conducción o de contacto, y difieren de los secadores directos en la forma de transferencia de calor y separación del vapor.(Saravia *et al.*, 2007)



Estos equipos presentan las siguientes características generales de operación: (Norman, 1976)

1. El calor de desecación se transfiere al sólido húmedo por conducción a través de una superficie de retención, casi siempre de índole metálica.
2. El líquido vaporizado se separa independientemente del medio de calentamiento.
3. La velocidad de secado depende del contacto que se establezca entre el material húmedo y las superficies calientes.
4. Las temperaturas de superficie pueden variar desde niveles inferiores al de congelación en el caso de los secadores de congelación, hasta temperaturas mayores a los 500 °C en el caso de los secadores indirectos calentados por medio de productos de combustión.
5. Los secadores indirectos son apropiados para secar sólidos a presiones reducidas (secadores al vacío) y en atmósferas inertes, para poder recuperar los disolventes y evitar la formación de mezclas explosivas o la oxidación de materiales que se descomponen con facilidad.

Los secadores indirectos pueden ser divididos en dos categorías: (Perry, 2001)

1. Secadores indirectos atmosféricos
2. Secadores indirectos al vacío

**Los secadores indirectos atmosféricos:** son equipos que trabajan a presión atmosférica; y necesitan la circulación de una pequeña corriente de aire para evacuar de la cámara de secado el vapor que se genera. (Perry, 2001)

**Los secadores indirectos al vacío:**, son equipos que operan a presiones inferiores a la atmosférica (presiones de vacío). No precisan de ningún flujo de aire para eliminar el vapor que se produce durante el secado, ya que trabajan con otros dispositivos tales como bombas de vacío y condensadores.

(<http://www.monografias.com/trabajos15/operaciones-secado/operacion-secado.shtml>, 2007; Brito, 2008)

### **Secadores infrarrojos o de calor radiante.**

Son equipos que dependen de la transmisión de energía radiante (radiación infrarroja) para evaporar la humedad de un producto. (Perry, 2001)

La radiación infrarroja es radiación electromagnética con longitudes de onda comprendidas en la banda de 0.76  $\mu\text{m}$  a 400  $\mu\text{m}$ . La energía radiante se

suministra eléctricamente por medio de lámparas infrarrojas, resistencias eléctricas o refractarios incandescentes calentados por gas.(Perry, 2001)

La radiación infrarroja provee un mecanismo de transferencia de calor entre dos cuerpos, y este calor puede ser utilizado para secar diferentes productos. No obstante, la aplicación principal de estos equipos es en el horneado o secado de capas de pintura y en el calentamiento de capas delgadas de materiales.(Perry, 2001)

### **1.8 Equipos para el secado de alimentos.**

Entre los equipos de secado más ampliamente utilizados en la industria alimenticia se encuentran los siguientes:

([http://orbita.starmedia.com/tecnologiaalimentos/analisis\\_grasas.htm](http://orbita.starmedia.com/tecnologiaalimentos/analisis_grasas.htm), 2008)

**1. Secadores de bandejas y compartimientos por lotes:** Los secadores de bandejas o compartimientos son equipos totalmente cerrados y aislados, en los que los alimentos se colocan en grupos de bandejas al interior de una cámara de secado.

([http://orbita.starmedia.com/tecnologiaalimentos/analisis\\_grasas.htm](http://orbita.starmedia.com/tecnologiaalimentos/analisis_grasas.htm),2008;

<http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/283/cap1.html>, 2008a)

En estos secadores, la transmisión de calor puede ser directa, desde el aire caliente a los alimentos, o indirecta, utilizando bases calientes, serpentines o paredes refractarias.

([http://orbita.starmedia.com/tecnologiaalimentos/analisis\\_grasas.htm](http://orbita.starmedia.com/tecnologiaalimentos/analisis_grasas.htm),2008;

<http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/283/cap1.html>, 2008a)

**2. Secadores de bandejas con calor directo:** el funcionamiento satisfactorio de estos secadores depende del mantenimiento de una temperatura constante y una velocidad de aire uniforme sobre todo el producto que se está secando.(Perry, 2001)

Los secadores de bandejas pueden ser del tipo de carretillas de bandejas o de bandejas estacionarias. En el primer caso, las bandejas se cargan sobre carretillas que se empujan hasta el interior del secador y, en el segundo, las bandejas se cargan directamente en bastidores fijos dentro del secador.(Perry, 2001)

Las bandejas se fabrican de cualquier material que sea compatible con las condiciones de corrosión y temperatura prevalecientes. Deben presentar por lo menos 4 cm de separación entre el producto que contienen y la base de la que está inmediatamente encima; y cuando las características del alimento y el manejo lo permitan, las bandejas deben tener fondos perforados para proporcionar una mayor superficie de secado. (Encarta, 2008)

El medio de calentamiento del aire que circula por la cámara de secado es usualmente vapor; sin embargo, cuando no se dispone de vapor o la carga de secado es pequeña, se puede utilizar calor generado eléctricamente. (Perry, 2001)

En la figura 1.8 se indica un secador estándar de dos carretillas con sus componentes principales:

- A. Ducto de admisión del aire
- B. Ducto de salida del aire con amortiguador
- C. Ventilador de espaciamiento ajustable
- D. Motor del ventilador
- E. Calentadores de aletas
- F. Cámara plena
- G. Boquillas ajustables de chorro de aire
- H. Carretillas y bandejas
- I. Paletas giratorias

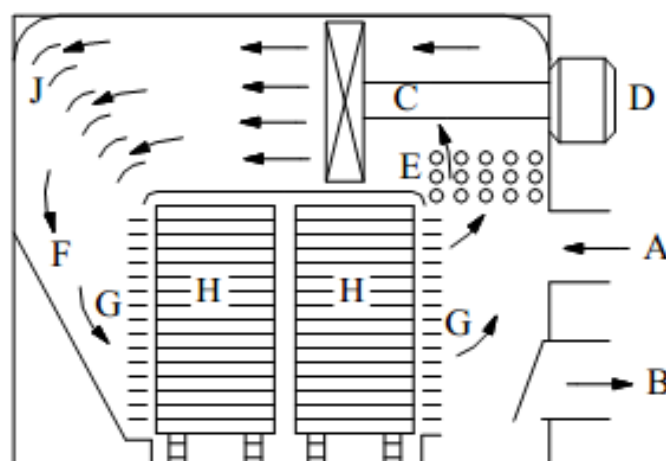


Fig. 1.8 Secador de carretilla doble. (Perry, 2001)

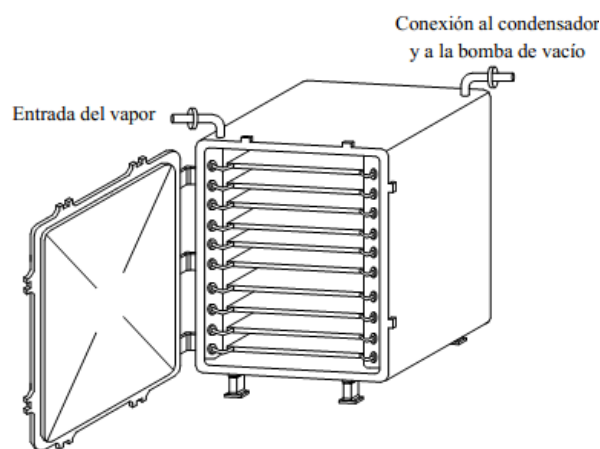
**3. Secadores de parrillas al vacío:** son secadores del tipo por lotes con calentamiento indirecto, que constan de una cámara hermética al vacío construida casi siempre de hierro colado o placas de acero con parrillas de soporte calentadas dentro de la cámara, una fuente de vacío y por lo común un condensador.(Pinilla y Silva, 2008)

Las parrillas huecas hechas con placas de acero se sujetan en el interior de la cámara de vacío y se conectan en paralelo a los cabezales de entrada y salida. El medio de calentamiento que entra por un cabezal y pasa por las parrillas huecas hasta llegar al cabezal de salida es generalmente vapor; en tanto que, en los secadores pequeños se puede utilizar parrillas con calentamiento eléctrico.(Pinilla y Silva, 2008)

El producto que se va a secar se coloca en bandejas metálicas que descansan sobre las parrillas huecas calentadas. El calor se conduce hasta el producto a través del metal de las parrillas y bandejas.(Encarta, 2008)

Luego de cargar el equipo y cerrarlo herméticamente, el aire contenido en el interior del secador es evacuado mediante una bomba de vacío mecánica o un eyector de vapor. Los vapores que se obtienen de la deshidratación del producto pasan hasta un condensador, en donde se licuan y se recolectan; en tanto que, los gases no condensables se eliminan mediante la bomba de vacío.(Perry, 2001; Encarta, 2008)

En estos secadores, los alimentos se desecan por completo a temperaturas menores a las requeridas en los secadores a presión atmosférica, razón por la que son adecuados para secar alimentos termos sensibles.



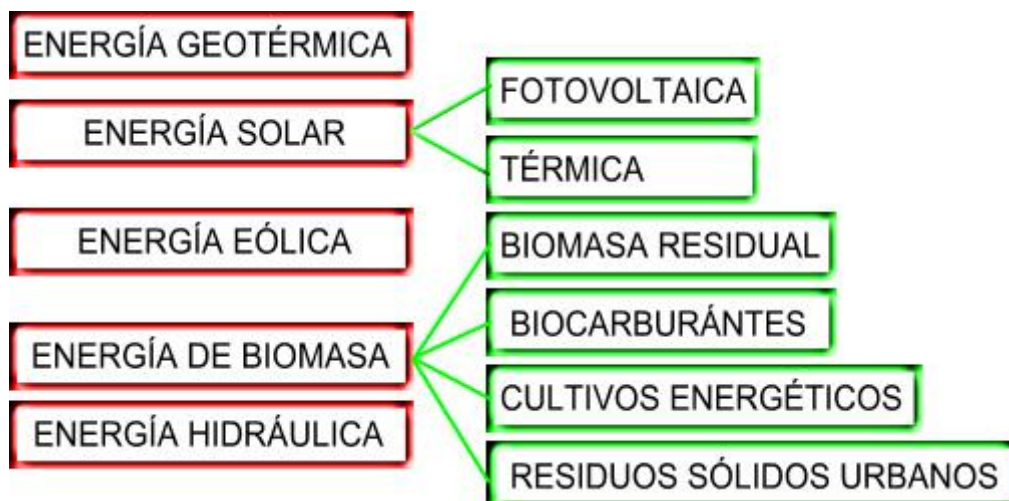
**Fig.1.9** Secador de parrillas al vacío(Perry, 2001)

## 1.9 Energías renovables.

Entiéndase como energía renovable aquella cuya fuente de obtención se renueva constantemente, frente a las energías no renovables que no se renuevan o que tienen unos períodos de renovación muy largos.(Vargas, 2006)

La energía que recibe la tierra del sol es enorme, la cual está presente de manera cotidiana. La energía solar recibida por la tierra en un año es unas 10 000 veces superior al consumo total de energía de la humanidad en un año, si bien se registran grandes variaciones, desde menos de 1 500 kcal por metro cuadrado al día en la zona norte de Europa, mientras que en los trópicos está en el rango de las 7 000 kcal. También existen grandes variaciones diarias por los días claros o nublados o estacionales, tal es el caso del verano e invierno.(Vargas, 2006)

Existen diversos tipos de energías renovables las principales de estas se relacionan en la figura 1.10.



**Fig. 1.10** Clasificación de las energías renovables

### 1.9.1 Energía geotérmica.

La geotermia es una fuente de energía renovable ligada a volcanes, géiseres, aguas termales y zonas tectónicas geológicamente recientes, es decir, con actividad en los últimos diez o veinte mil años en la corteza terrestre.(Burton *et al.*, 2001)

Para obtener esta energía se necesitan yacimientos de agua caliente. El suelo se perfora y se extrae el líquido, que saldrá en forma de vapor si su temperatura es suficientemente alta y se podrá aprovechar para accionar una

turbina que con su rotación mueve un generador que produce energía eléctrica.(Burton *et al.*, 2001; IEA, 2004)

El agua geotérmica utilizada se devuelve posteriormente al pozo, mediante un proceso de inyección, para ser recalentada, mantener la presión y sustentar la reserva. Entre 1995 y 2002 la potencia geotérmica instalada en el mundo creció de manera continuada, pasando de casi 6.840 a más de 8.350 megavatios, lo que representa un aumento de un 22,3% en ese periodo.(IEA, 2004)

### **1.9.1.1 Ventajas de la energía geotérmica.**

1. La utilización de este tipo de energía ofrece un flujo constante de producción de energía a lo largo del año, no dependiente de variaciones estacionales como lluvias, caudales de ríos, etc.
2. Es un complemento excelente para las plantas hidroeléctricas.
3. Sirve como alternativa a la energía que se obtiene por quemado de materia fósil, fisión nuclear u otros medios.
4. Con el menor uso de los combustibles fósiles, se reducen las emisiones que contaminan la atmósfera.
5. El aire que rodea las plantas geotérmicas está libre de humos.
6. Algunas estaciones se ubican en medio de granjas de cereales o bosques y comparten tierra con ganado y vida silvestre local.
7. El área de terreno requerido por las plantas geotérmicas para generar un megavatio de potencia es menor que el que necesitan otros tipos de estaciones energéticas.

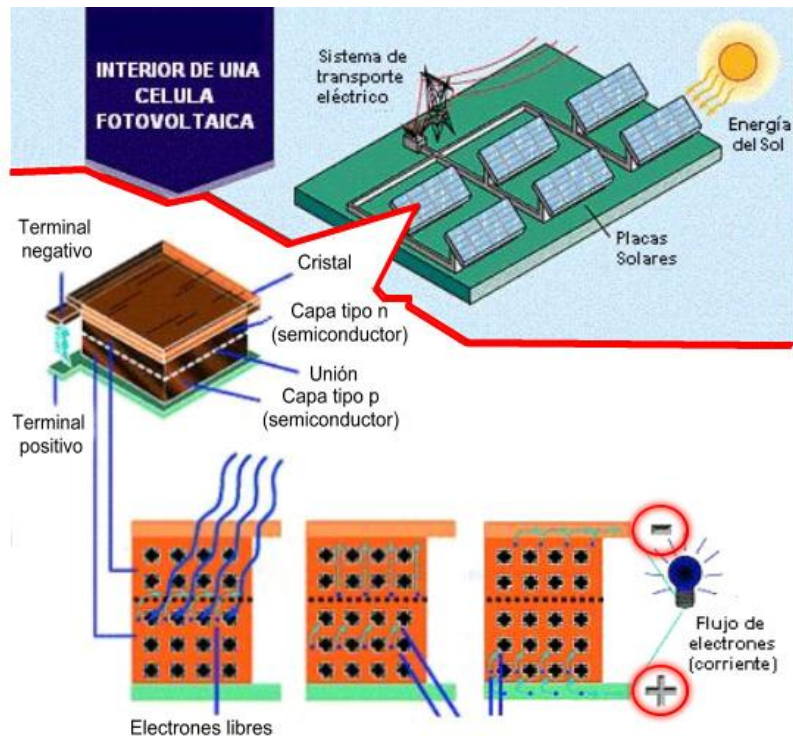
### **1.9.2 Energía solar fotovoltaica.**

El Sol emite una radiación compuesta fundamentalmente por un 46 % de infrarrojos un 47 % de luz visible y un 7 % de ultravioletas.(IEA, 2004)

Por otra parte el 70 % de la radiación recibida, es absorbida y el 30 % reflejada otra vez al espacio.(Energy, 2006)

La energía solar fotovoltaica está basada en la aplicación del efecto fotovoltaico que se produce al incidir la luz sobre materiales semiconductores (captación fotónica), generando una corriente eléctrica.(Energy, 2006)

La figura 1.11 esquematiza el principio de funcionamiento de una célula solar fotovoltaica.



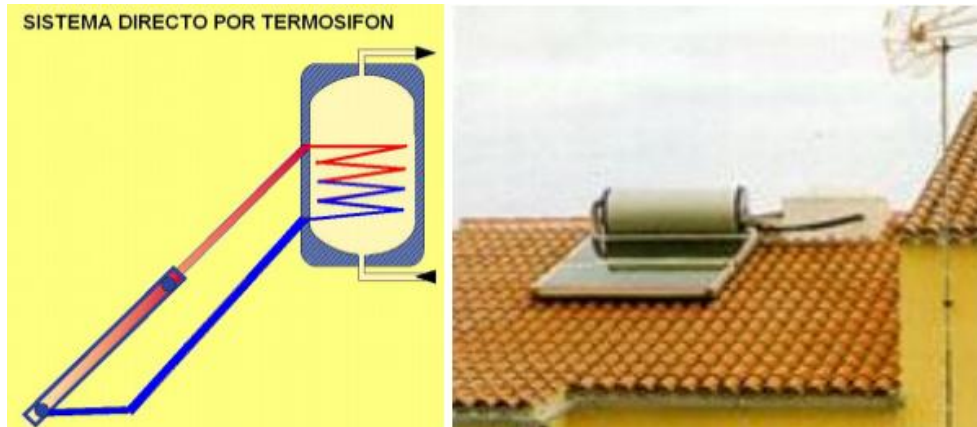
**Fig. 1.11** Principio de funcionamiento de una célula solar fotovoltaica

### 1.9.2.1 Energía solar térmica.

Existen varias formas de aprovechar la energía solar térmica:

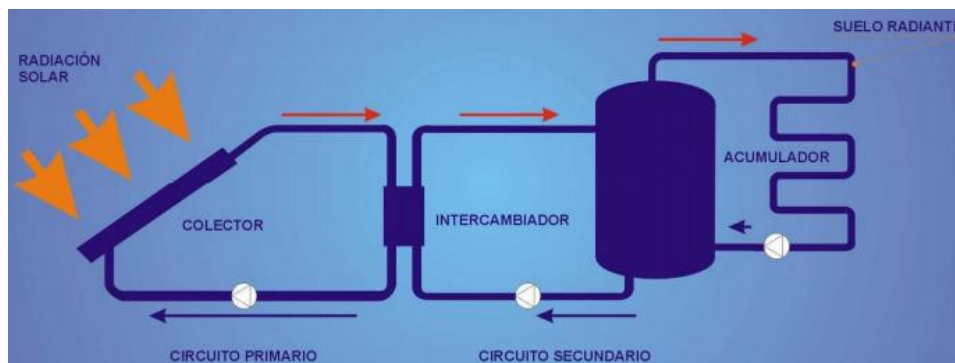
1. Térmica de baja temperatura.
2. Termosifón directo.
3. Intercambiador interior.
4. Intercambiador exterior.
5. Térmica de concentración.
6. Térmica alta temperatura.

Las diferencias consisten en la forma de aprovechar la energía capturada por estos paneles, que pueden ser, como se mencionó anteriormente:



**Fig. 1.12** Sistema directo por termosifón.(González, 2009)

El intercambiador exterior es un sistema más sofisticado y por lo tanto de mayor rendimiento que el anterior, un sistema de bombas fuerzan la circulación del agua tanto en los paneles solares, como en el intercambiador, como en el circuito de utilización como se muestra en la figura 1.12.



**Fig. 1.12** Representación del sistema de intercambiador exterior(González, 2009)

En el intercambiador interior, se acumula el agua caliente en un depósito y de él se abastece otro que es el de consumo y generalmente lleva, además, otro sistema de apoyo como puede ser caldera de gas, gasoil o eléctrica, como queda evidenciado en la figura 1.13. (González, 2009)



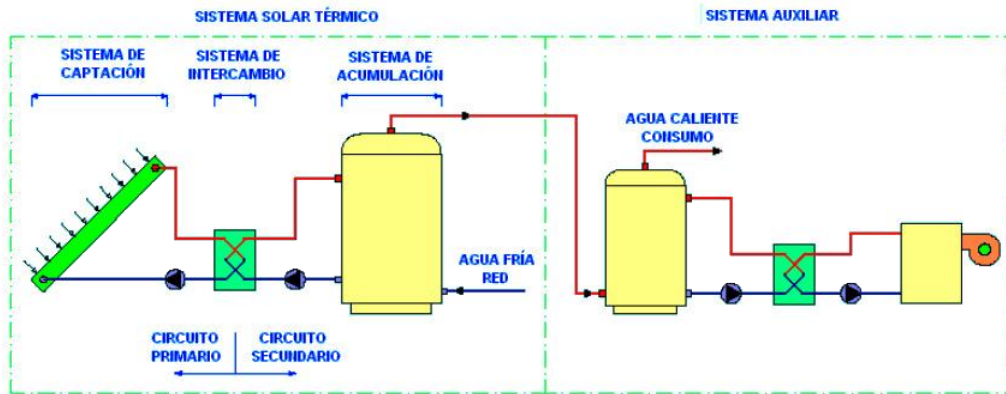


Fig. 1.13 Representación del sistema de intercambiador interior(González, 2009)

### 1.9.3 Energía eólica.

El viento es una fuente de energía natural producido por el desplazamiento de las masa de aire al calentarse por la acción del Sol. Estas corrientes de aire pueden aprovecharse con un sistema de aspas que producirán un movimiento de rotación el cual a su vez es aprovechado para mover un generador eléctrico, como se puede observar en la figura 1.14.(IEA, 2004)

Los aerogeneradores dañan menos el medio ambiente que otras fuentes, aunque requieren una velocidad media del viento de al menos 21 km/h. (Burton *et al.*, 2001)



Fig. 1.14 Representación de un campo de aerogeneradores(Burton *et al.*, 2001)

#### **1.9.4 Biomasa.**

En la fotosíntesis, las plantas verdes transforman productos minerales, como son el dióxido de carbono y el agua, en sustancias orgánicas y oxígeno por la acción de la radiación solar.(González, 2009)

#### **1.9.5 Energía hidráulica.**

La energía hidráulica se utiliza desde hace mucho tiempo y en principio se hizo para mover molinos y alguna otra aplicación elemental, pero con el desarrollo industrial, se utiliza principalmente para la producción de energía eléctrica. (Energy, 2006)

En principio el agua se embalsa y posteriormente se la hace pasar a través de unos conductos que desembocan en una turbina acoplada a un generador eléctrico que produce dicha energía.(González, 2009)

Entre otras ventajas tiene la de poder utilizarse en el momento que se precisa y generalmente su puesta en funcionamiento es muy rápida, a diferencia de las centrales térmicas, por lo que se pueden utilizar estas centrales como elementos de regulación de la red, aportando rápidamente energía en momentos puntuales.(González, 2009)

Es una energía muy limpia ya que no produce residuos contaminantes, pero tiene un considerable impacto ambiental ya que modifica la estructura de los ríos y el normal desarrollo de los ecosistemas como, por ejemplo, la remontada de los salmones para desovar.(IEA, 2004)

En los últimos años han proliferado las centrales hidráulicas de pequeña potencia, llamadas minicentrales hidráulicas o genéricamente producción minihidráulica. (IEA, 2004)

#### **1.10 Introducción a los softwares CAD.**

El diseño ha sido a lo largo de la historia el cálculo y análisis a la solución de un determinado problema teniendo como producto final una imagen gráfica. Esta imagen gráfica o dibujo por métodos tradicionales se elabora mediante papel y lápiz; con la informatización ascendente que se viene experimentando desde la década de los 70 surge una ciencia llamada gráfica por computadora agrupando en

ella varias ramas de los efectos gráficos aplicados a la computación los cuales han ido expandiéndose en la actualidad. Una de estas ramas viene ligada al diseño y tiene por nombre diseño asistido por computadora o CAD. Para ello se han creado softwares encargados de modelar los diseños teniendo un amplio campo en la actualidad tanto en dos como en tres dimensiones. Son muchos los softwares especializados en el mundo del diseño mecánico cada uno con ciertas ventajas y desventajas como son compatibilidad y transferencias de datos, personalización, velocidad y comodidad para el diseñador, etc. Teniendo como aplicaciones fundamentales:

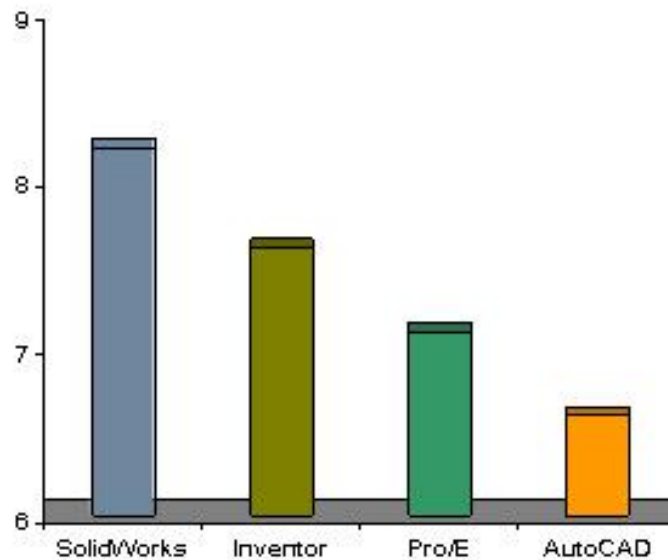
- Diseño conceptual y de detalle.
- Generación de planos.
- Ensamblajes.
- Catálogo de piezas normalizadas.
- Definición de tolerancias.
- Representación realista (texturas).
- Diseño de superficies.
- Creación de matrices.
- Piezas laminadas.
- Conjuntos soldados.
- Animaciones.

Las tendencias actuales de los sistemas CAD es que existen en el siglo XXI más de dos millones de usuarios en el mundo que utilizan CAD 2D conociéndose como los más relevantes calificados entre los software CAD de bajo rango están el AutoCAD y el MicroStation Modeler. Existen otros tres millones de usuarios que utilizan CAD 3D cumpliendo con las exigencias de la ingeniería moderna. Algunos de estos softwares son el Solid Edge, Mechanical Desktop, Solid Works, Catia (P1), ProEngineer Foundation, I-DEAS Artisan Package e Inventor calificándose todos ellos entre los de rango medio. Entre los softwares CAD 3D de alto rango se encuentran el ProEngineer, Catia (P2), I-DEAS, y Unigraphics.(Lastre, 2010)

### **1.11 Solid Works.**

El Solid Works, es el paquete de modelado geométrico más popular en el diseño mecánico hoy en día, además de ser uno de los más completos aplicado en la rama

de la mecánica. Reconocidas firmas en el mundo lo utilizan. De ahí el hecho de ser una potente herramienta para el diseño paramétrico. Se considera que este software paramétrico junto a los otros es capaz de aumentar el rendimiento de diseño (comparado con el AutoCAD) hasta en un 40% (Calzadilla, 2005). En encuesta realizada a más de 21,000 usuarios CAD se puede apreciar la aceptación del software (ver figura 1.15).



**Fig. 1.15** Clasificación de aceptación de los usuarios CAD.(Simon Management Group, 2005).

El diseño del prototipo de horno deshidratador se realizó por medio del software Solid Works. El software utiliza el método de elementos finitos. Este método es aceptado como el método de análisis estándar debido a su generalidad y la idoneidad para la aplicación informática. El método de elementos finitos divide el modelo en muchos pedazos pequeños de formas simple llamados elementos efectivos, sustituyendo un problema complejo por muchos problemas sencillos que se deben resolver simultáneamente. Los elementos comparten puntos comunes llamados nodos. El software divide al modelo en partes pequeñas este proceso se llama mallado.

Cada nodo está completamente descrito por una serie de parámetros en función del tipo de análisis y el elemento utilizado. Para el análisis estructural, la respuesta de un nodo se describe, en general, por tres traslaciones y tres rotaciones, llamados grados de libertad. El software formula las ecuaciones que rigen el comportamiento

de cada elemento teniendo en cuenta la conectividad con otros elementos. Estas ecuaciones refieren su respuesta a las propiedades del material conocido, las restricciones y cargas. A continuación el programa organiza las ecuaciones en un gran conjunto de sistemas de ecuaciones algebraicas y resuelve las incógnitas. En el análisis de esfuerzo, por ejemplo, el solver encuentra los desplazamientos en cada nodo y a continuación el programa calcula la deformación y el esfuerzo final. (<http://www3.espe.edu.ec:8700/bitstream/21000/300/8/T-ESPE-026443-4.pdf>)

### **1.12 Propiedades de los materiales.**

Al seleccionar los materiales para los productos, primero se consideran sus propiedades mecánicas, físicas y químicas.

**Propiedades mecánicas:** Son aquellas que expresan el comportamiento de los metales frente a esfuerzos o cargas que tienden a alterar su forma como son:

**Resistencia:** Capacidad de soportar una carga externa si el metal debe soportarla sin romperse se denomina carga de rotura y puede producirse por tracción, por compresión, por torsión o por cizallamiento, habrá una resistencia a la rotura ( $\text{kg/mm}^2$ ) para cada uno de estos esfuerzos.

**Dureza:** Propiedad que expresa el grado de deformación permanente que sufre un metal bajo la acción directa de una carga determinada. Los ensayos más importantes para designar la dureza de los metales, son los de penetración, en que se aplica un penetrador (de bola, cono o diamante) sobre la superficie del metal, con una presión y un tiempo determinados, a fin de dejar una huella que depende de la dureza del metal, los métodos más utilizados son los de Brinell, Rockwell y Vickers.

**Elasticidad:** Capacidad de un material elástico para recobrar su forma al cesar la carga que lo ha deformado. Se llama límite elástico a la carga máxima que puede soportar un metal sin sufrir una deformación permanente. Su determinación tiene gran importancia en el diseño de toda clase de elementos mecánicos, ya que se debe tener en cuenta que las piezas deben trabajar siempre por debajo del límite elástico, se expresa en  $\text{kg/mm}^2$ .

**Tenacidad:** Resistencia a la rotura por esfuerzos de impacto que deforman el metal. La tenacidad requiere la existencia de resistencia y plasticidad.

**Plasticidad:** Capacidad de deformación permanente de un metal sin que llegue a romperse.

**Fatiga:** Si se somete una pieza a la acción de cargas periódicas (alternativas o intermitentes), se puede llegar a producir su rotura con cargas menores a las que producirían deformaciones.

**Fluencia:** Propiedad de algunos metales de deformarse lenta y espontáneamente bajo la acción de su propio peso o de cargas muy pequeñas. Esta deformación lenta, se denomina también creep.

A continuación debe tenerse en cuenta las propiedades físicas de los materiales como son:

**Calor específico:** Es la cantidad de calor necesaria para elevar en 1°C la temperatura de 1 kg de determinada sustancia. El calor específico varía con la temperatura. En la práctica se considera el calor específico medio en un intervalo de temperaturas.

**Dilatación:** aumento de tamaño de los materiales, a menudo por efecto del aumento de temperatura.

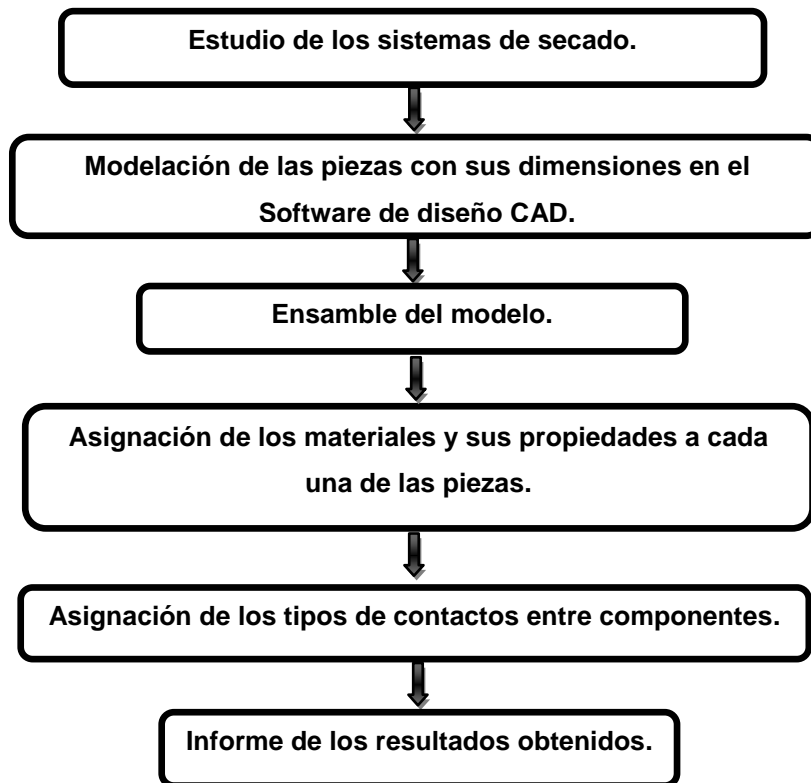
**Punto de fusión:** Es la temperatura a la cual un material pasa del estado sólido al líquido, transformación que se produce con absorción de calor.

**Peso específico:** El peso específico puede ser absoluto o relativo: el primero es el peso de la unidad de volumen de un cuerpo homogéneo. El peso específico relativo es la relación entre el peso de un cuerpo y el peso de igual volumen de una sustancia tomada como referencia; para los sólidos y líquidos se toma como referencia el agua destilada a 4°C.

(<http://www.utp.edu.co/~publio17/propiedades.htm#inicio>, 2009)

## CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Procedimiento para diseñar el prototipo de horno deshidratador de Spirulina.



**Fig. 2.1** Diagrama de flujo para el diseño del prototipo de horno deshidratador de Spirulina.

### 2.2 Modelación de las piezas con sus dimensiones en el Software de diseño CAD.

Para modelar el prototipo se utilizó el software de diseño asistido por computadora Solid Works Premium en su versión 2010, siendo este una potente herramienta de diseño utilizada a nivel mundial. En dicho software se modelaron en 3D (3 Dimensiones) cada una de las piezas con que cuenta el prototipo. Las piezas que conformaron definitivamente el prototipo son las siguientes:

Estructura metálica, Bandejas de secado, Chapas metálicas, Vidrio de la puerta, Junta, Aislante térmico.

### **2.3 Ensamble del modelo de horno deshidratador de Spirulina.**

Para el ensamble de las piezas que conforman el modelo del prototipo se utilizó el módulo de ensamble del software Solid Works Premium 2010 aplicando relaciones de posición entre cada una de las superficies que tienen relación entre sí, de manera tal que quedase el ensamble general.

### **2.4 Asignación de los materiales y sus propiedades a cada pieza.**

Luego de lograr el ensamble completo del prototipo, se le asignaron los materiales con sus respectivas propiedades mecánicas a cada una de las piezas que conforman el prototipo de horno después de un estudio previo de cada material. Todas estas designaciones bajo las condiciones de la norma AISI (*American Iron and Steel Institute*) como se muestra en la tabla 2.1.

**Tabla 2.1** Materiales empleados en cada componente.(AISI)

<b>Componentes</b>	<b>Material empleado</b>
Estructura metálica	AISI 1020
Bandejas de secado	AISI 316
Chapas metálicas	AISI 321
Vidrio de la puerta	Vidrio templado 10 mm
Junta de la puerta	Caucho de alta temperatura
Aislante térmico	Lana de vidrio




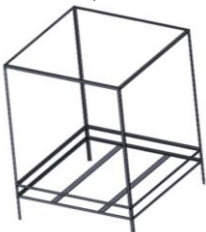




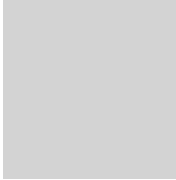
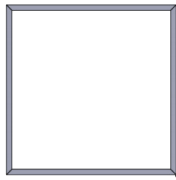
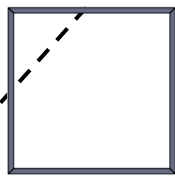

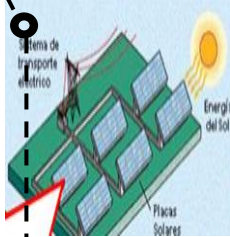

### **CAPÍTULO III: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DEL PROTOTIPO DE HORNO DESHIDRATADOR DE SPIRULINA.**

En este capítulo se exponen los aspectos fundamentales que se tuvieron en cuenta en el diseño del prototipo de horno deshidratador de Spirulina. Los resultados se han obtenido al modelar los componentes de dicho horno en el software SolidWorks 2010, comentado en los materiales y métodos definidos en el capítulo anterior.

#### **3.1 Concepción de un principio de solución.**

La búsqueda de los principios de solución para obtener un prototipo de hornos se realizó a través de una matriz morfológica (Tabla 3.1), la cual permite la obtención de la solución por la combinación sistemática de un conjunto de conceptos posibles. Para la estructura se tuvieron en cuenta dos principios de solución, una utilizando perfiles L de alas iguales y otra con tubos de diámetro 30 mm. Para la resistencia eléctrica a utilizar se analizaron dos configuraciones consistentes en: tipo "S" y "Espiral". En el caso de los aislantes térmicos se tuvo en cuenta tres posibles soluciones, las cuales son: poliuretano, lana de vidrio y espuma flex. El caucho de alta y baja resistencia a la temperatura son las variantes analizadas en cuanto a las juntas de hermeticidad de la puerta. Mientras que como sistemas alternativos de suministro de energía eléctrica se valoró las variantes de generadores eólicos y fotovoltaicos respectivamente. Quedando lo anteriormente mencionado, expuesto en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Matriz morfológica desarrollada para el prototipo de horno deshidratador.

	Soluciones			
	1	2	3	4
Estructura	<p>Perfil L</p> 	<p>Tubos <math>\phi</math> 30 mm</p> 		
Resistencia eléctrica	 <p>Resistencia con configuración S</p>	<p>Resistencia en espiral</p> 		
Aislante térmico	<p>Poliuretano</p> 	<p>Lana de vidrio</p> 	<p>Espuma Flex</p> 	
Junta de puerta	<p>Caucho alta temp.</p> 	<p>Caucho de baja temp.</p> 		
Sistema alternativo de alimentación de energía eléctrica	<p>Eólico</p> 	<p>Fotovoltaico</p> 		
Combinaciones de los principios de solución				

Se evaluaron dos tipos de material para la estructura del prototipo de horno, estos son: Perfil L y Tubos  $\phi$  30 mm. La configuración para la resistencia eléctrica fue: Resistencia en S y Resistencia en espiral. Como aislante térmico se consideraron los siguientes: Poliuretano, Lana de vidrio y Espuma Flex. Para el sistema alternativo de energía eléctrica se consideraron los sistemas: Eólicos y Fotovoltaicos.

Una vez establecidos los diferentes principios de solución para desarrollar el horno deshidratador de Spirulina, se calculó el número total de combinaciones posibles de conceptos, a partir de la ecuación (3.1)

$$TCS = \prod_{p=1}^{P_{MAX}} NúnSol \quad (3.1)$$

$$TCS = 2*2*3*2*2$$

$$TCS = 48 \text{ posibles conceptos}$$

Se obtienen 48 posibles conceptos, como soluciones teóricas para el caso que se analiza del prototipo de horno deshidratador de Spirulina.

### **3.2. Evaluación de la factibilidad del principio de solución.**

En la Tabla 3.2 se muestran los conceptos factibles para realizar el diseño básico y de detalle del prototipo de horno deshidratador.

**Tabla 3.2** Soluciones factibles del prototipo de horno deshidratador.

	Soluciones			
	1	2	3	4
Estructura	Perfil L	Tubo $\phi$ 30 mm		
Resistencia eléctrica	Resistencia con configuración S	Resistencia en espiral		
Aislante térmico	Poliuretano	Lana de vidrio	Espuma Flex	
Junta de puerta	Caucho alta temperatura.	Caucho de baja temperatura.		
Sistema alternativo de alimentación de energía eléctrica	Eólico	Fotovoltaico		
Combinaciones de los principios de solución		↓		

Leyenda: ○ Variantes de solución.

● Variante de solución adoptada para la construcción.

Para demostrar las posibles variantes a desarrollar en la investigación, se mostrarán dos conceptos, de los 48 posibles conceptos.

Variante de Concepto 1 = Perfil L + Resistencia con configuración S + Lana de vidrio + Caucho alta temperatura + Fotovoltaico

Variante de Concepto 2 = Tubos  $\phi$  30 mm + Resistencia en espiral + Poliuretano + Caucho alta temperatura + Fotovoltaico

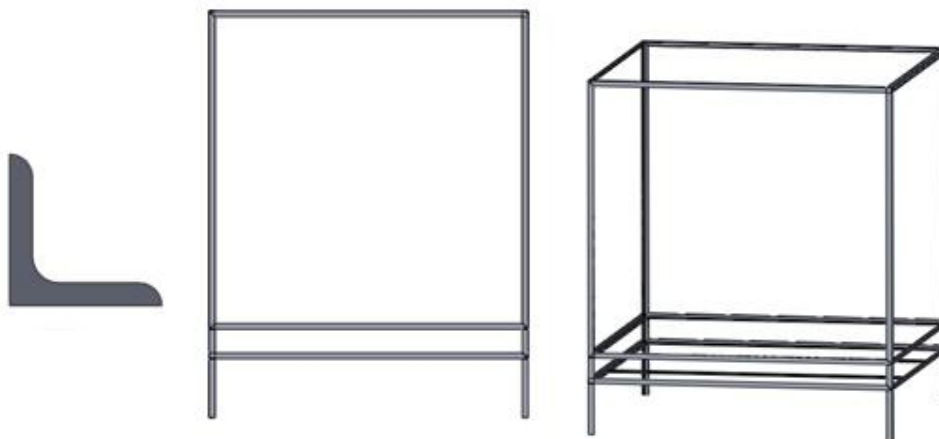
De esta forma se puede disponer de variantes de elementos para el diseño de un horno deshidratador para spirulina, como referencia para someter a la evaluación conceptual de soluciones y determinar cuál de ellas cumple con los requerimientos funcionales que satisfacen las necesidades del producto a deshidratar.

### **3.3. Concepción final del prototipo.**

Una vez que se ha probado la factibilidad del principio de solución, la concepción final consiste en la integración de los diversos elementos componentes. En el caso estudiado se tuvo en cuenta la correcta integración física entre cada uno de los componentes del principio de solución seleccionado para el diseño del prototipo de horno deshidratador.

### **3.4. Descripción dimensional de las piezas que componen el horno deshidratador.**

Las piezas pertenecientes al prototipo de Horno deshidratador se modelaron en software de diseño SolidWorks Premium 2010. Para el diseño de este prototipo se emplearon elementos de la biblioteca de diseño que se encuentran en el Toolbox, como es el caso de la estructura exterior donde se emplearon perfiles L de alas iguales de 20 x 20 x 3 mm, la estructura cuenta con dimensiones de 1082 x 1082 mm de largo y ancho respectivamente, como se muestra en la figura 3.1.



**Fig. 3.1** Representación del modelo 3D, perfil L de la estructura exterior del prototipo de horno.

La estructura interior se diseño utilizando perfiles L 20 x 20 x 3 mm misma que cuenta con dimensiones de 1000x1000 mm de largo y ancho respectivamente, en la figura 3.2 se muestra el ensamble de la estructura interna.



**Fig. 3.2** Representación del modelo 3D de la estructura interior del prototipo de horno.

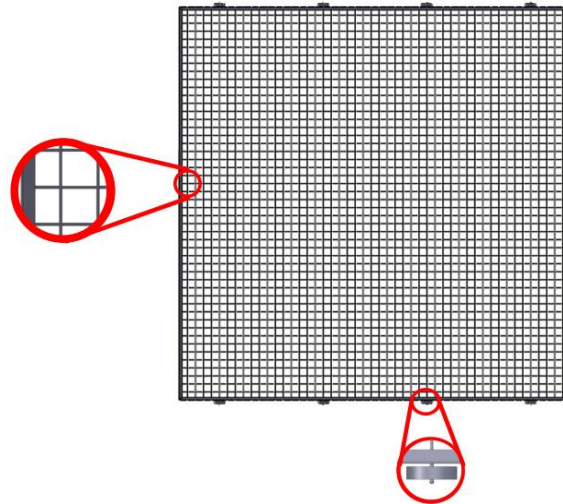
La estructura interna del diseño de prototipo tendrá ensamblado perfiles de guías tipo C con una longitud de 1000 x 26 mm de largo y ancho respectivamente que servirán de soporte para las bandeja, en la figura 3.12 se muestra el diseño de las correderas.



**Fig. 3.3** Representación del modelo 3D del diseño de las correderas del prototipo de horno.

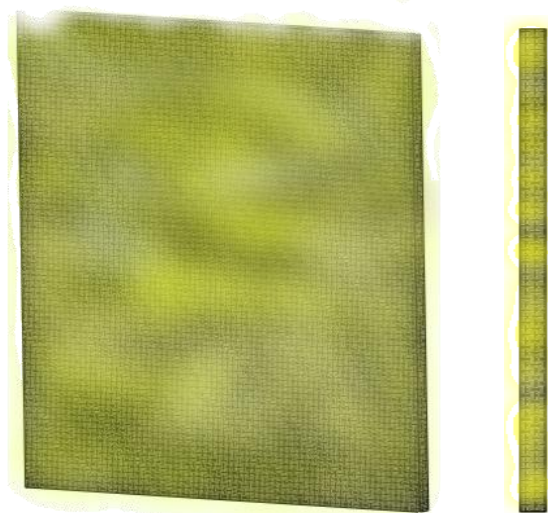
En el modelado de las bandejas de secado donde estará colocada la spirulina dentro del horno deshidratador se utilizó acero inoxidable AISI 316 con una

separación de 20 mm entre cada elemento, en la figura 3.4 se muestra la bandeja y sus elemento de desplazamiento.



**Fig. 3.4** Representación del modelo 3D de la bandeja utilizada en el prototipo de horno.

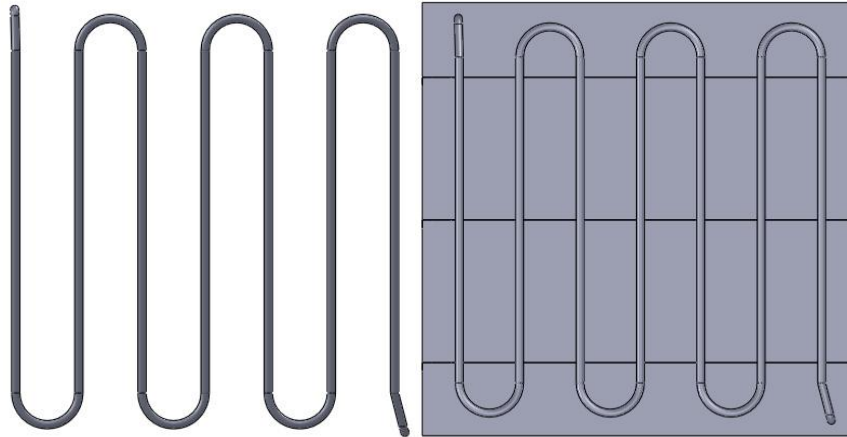
En el aislamiento térmico del prototipo de horno deshidratador se utilizará lana de vidrio la cual presenta buenas propiedades en cuanto a resistencia a la inflamabilidad de hasta 1200 °C, en la figura 3.5 se evidencia la representación gráfica de este tipo de aislante térmico.



**Fig. 3.5** Representación del modelo 3D de la lana de vidrio utilizada en el aislamiento térmico del prototipo de horno.

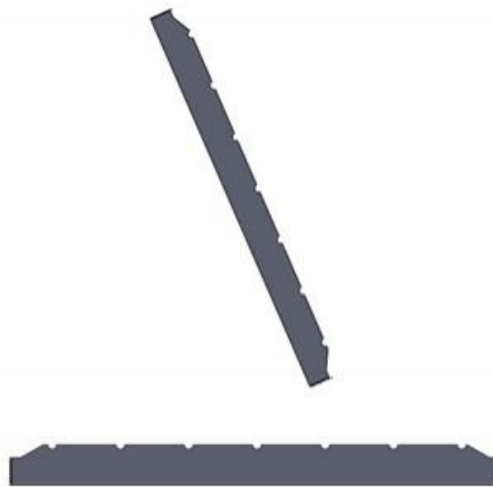
El material de la resistencia eléctrica es Nicromo 80-20, de (0,5 mm) de diámetro, con una longitud de 22.4 m. y una configuración en S, la cual está aislada con yeso

para evitar pérdidas de calor por convección, garantizando una temperatura de 65 a 70 °C, que es la temperatura requerida para la deshidratación de la Spirulina, en la figura 3.6 se muestra la resistencia eléctrica con un aislante de yeso.



**Fig. 3.6** Representación del modelo 3D de la resistencia y el aislamiento utilizado en el prototipo de horno.

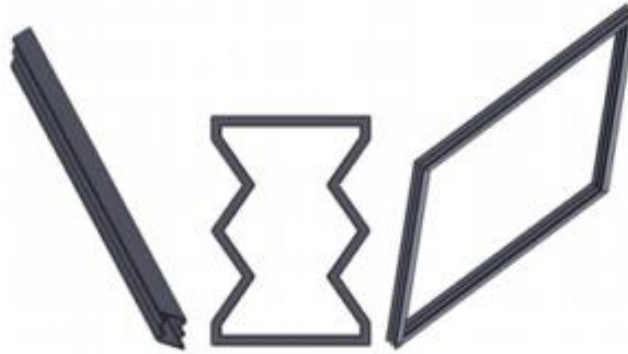
Las dimensiones para la base de la resistencia son 1074 x 88, 86 mm y espesor de 1 mm para la sujeción de la resistencia eléctrica de configuración tipo S, como se muestra en la figura 3.7.



**Fig. 3.7** Representación del modelo 3D de la base de la resistencia eléctrica utilizada en el prototipo de horno.

Para el elemento que garantizará la hermeticidad del prototipo de horno deshidratador y logrará que se alcance la temperatura requerida se propone como material para su fabricación caucho de alta temperatura, en la figura 3.8 se grafica la junta de caucho de alta temperatura.





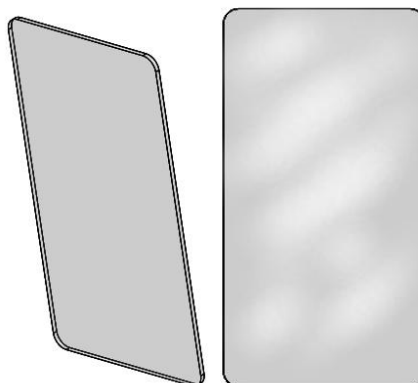
**Fig. 3.8** Representación del modelo 3D de la junta de la puerta utilizada en el prototipo de horno.

Los soportes inferior y superior que tendrán la función de bisagra de la puerta del prototipo, son chapas metálicas de 3 mm de espesor como se puede observar en la figura 3.9 a y b.



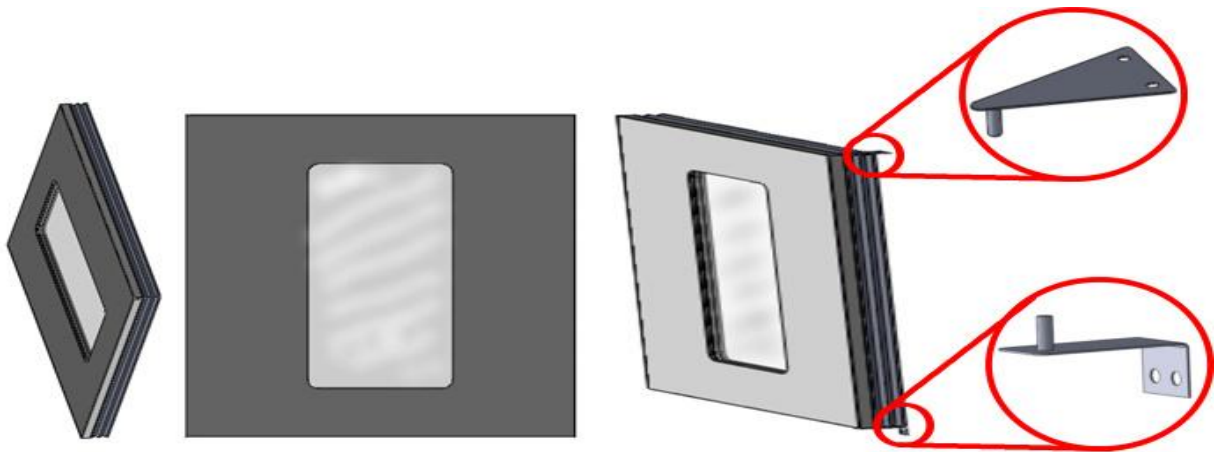
**Fig. 3.9** Representación del modelo 3D de la base inferior y superior utilizada en el prototipo de horno.

Para el diseño del prototipo se utiliza vidrio templado de 740 x 400 mm de largo y ancho respectivamente, con un espesor de 10 mm que será ensamblado en la puerta del prototipo del horno. En la figura 3.10 se grafica el vidrio templado.



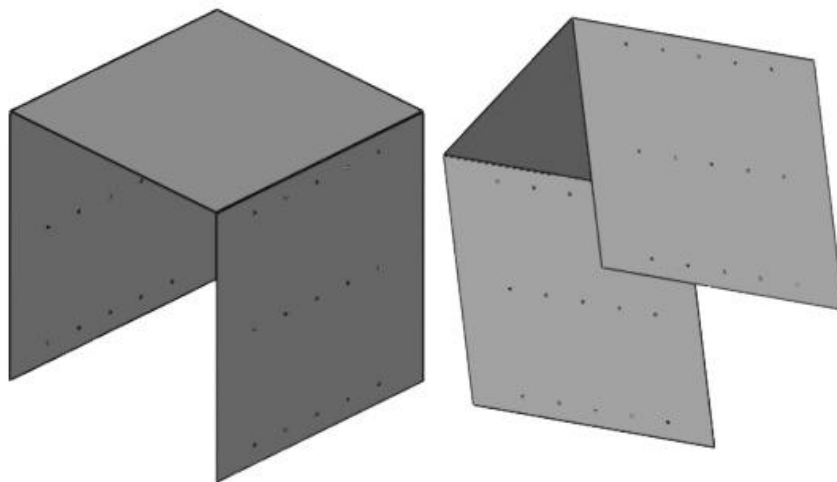
**Fig. 3.10** Representación del modelo 3D de la placa de vidrio templado.

Para el diseño de la puerta del prototipo de deshidratador se utilizó acero inoxidable AISI 321 con dimensiones de 1080 x 1080 mm de largo y ancho respectivamente, en donde se utilizan los elementos descritos en las figuras 3.8, 3.9 y 3.10 respectivamente los cuales son ensamblados como se muestra en la figura 3.11 donde se grafica la puerta, la junta de caucho, los soportes inferior-superior y el vidrio templado de alta temperatura.



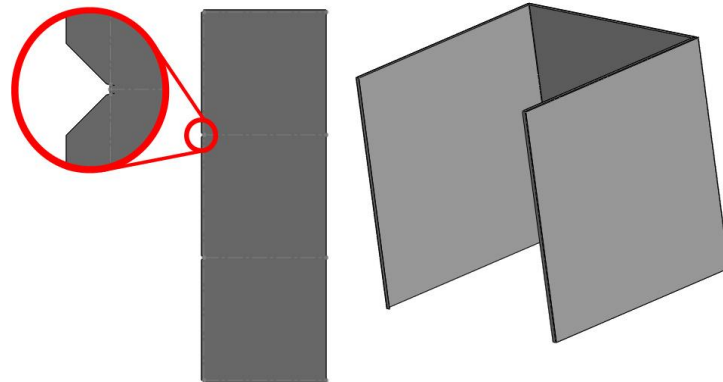
**Fig. 3.11** Representación del modelo 3D de la puerta utilizada en el ensamble del prototipo de horno.

Las chapas metálicas de acero inoxidable AISI 321 empleadas para el diseño del prototipo de horno deshidratador se muestran en la figura 3.12 el diseño de la chapa interior la cual presenta perforaciones para el acople de las guías que facilitan el libre movimiento de las bandejas.



**Fig. 3.12** Representación del modelo 3D de la chapa de acero inoxidable utilizada en el ensamble del prototipo de horno.

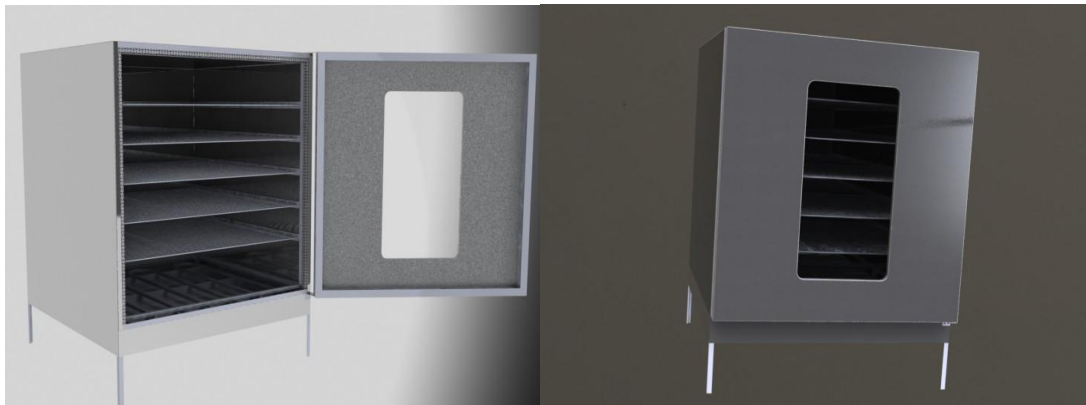
Las chapas metálicas de acero inoxidable AISI 321 empleadas en el exterior del prototipo de horno deshidratador se muestra en la figura 3.13.



**Fig. 3.13.** Representación del modelo 3D de la chapa de acero inoxidable utilizada en el ensamblaje del prototipo de horno.

Análisis del ensamblaje del prototipo de horno deshidratador de Spirulina.

Para el ensamblaje del prototipo se utilizaron todas las piezas modeladas y se establecieron las relaciones de posición de concentricidad, distancia, coincidencia, paralelismo, entre otras quedando de esta manera cada una de las piezas en el lugar correcto en el ensamblaje, lo antes planteado se puede observar en el modelo en 3D del prototipo en la figura 3.14



**Fig. 3.14** Representación del modelo 3D donde se muestra el ensamblaje del prototipo de horno deshidratador para Spirulina.

### **3.4 Propiedades físicas y mecánicas de los materiales de cada modelo de pieza.**

Se tuvo en cuenta las propiedades físico-mecánicas de los materiales utilizados en el prototipo de horno deshidratador para Spirulina, valorando el valor del módulo elástico, coeficiente de Poisson, módulo a la cortante, densidad del material, el límite a la tracción y el límite elástico. Las propiedades mecánicas del acero al carbono AISI 316 (American Iron and Steel Institute) se pueden observar en la tabla 3.1 correspondiente al material de las bandejas de secado.

**Tabla 3.1** Propiedades mecánicas del acero AISI 316 (AISI; Shackelford y Güemes, 2000; <http://www.utp.edu.co>, 2009)

Módulo de elasticidad en X	193000	<b>N/mm<sup>2</sup></b>
Límite de tracción en X	580	N/mm <sup>2</sup>
Límite elástico	172.37	N/mm <sup>2</sup>
Coeficiente de expansión térmica en X	1.6e-005	/K
Conductividad térmica en X	16.3	W/(m·K)
Calor específico	500	J/(kg·K)

En el caso de todas las chapas metálicas utilizadas, el material empleado corresponde a un acero AISI 321 las propiedades de este material quedan evidenciadas en la tabla 3.2, mientras que en el caso de la estructura metálica las propiedades del material empleado pertenecen al acero AISI 1020 las cuales se muestran en la tabla 3.3.

**Tabla 3.2** Propiedades mecánicas del acero AISI 321 (AISI; Shackelford y Güemes, 2000; <http://www.utp.edu.co>, 2009)

<b>Módulo de elasticidad en X</b>	<b>193000</b>	<b>N/mm<sup>2</sup></b>
<b>Coeficiente de Poisson en XY</b>	0.27	N/D
<b>Densidad de masa</b>	8000	kg/m <sup>3</sup>
<b>Límite de tracción en X</b>	580	N/mm <sup>2</sup>
<b>Límite elástico</b>	172.37	N/mm <sup>2</sup>
<b>Coeficiente de expansión térmica en X</b>	1.6e-005	/K
<b>Conductividad térmica en X</b>	16.3	W/(m·K)

**Tabla 3.3** Propiedades mecánicas del acero AISI 1020 (AISI; Shackelford y Güemes, 2000; <http://www.utp.edu.co>, 2009)

<b>Módulo de elasticidad en X</b>	<b>200000</b>	<b>N/mm<sup>2</sup></b>
<b>Coefficiente de Poisson en XY</b>	0.29	N/D
<b>Módulo cortante en XY</b>	77000	N/mm <sup>2</sup>
<b>Densidad de masa</b>	7900	kg/m <sup>3</sup>
<b>Límite de tracción en X</b>	420.51	N/mm <sup>2</sup>
<b>Límite elástico</b>	351.57	N/mm <sup>2</sup>
<b>Coefficiente de expansión térmica en X</b>	1.5e-005	/K
<b>Conductividad térmica en X</b>	47	W/(m·K)
<b>Calor específico</b>	420	J/(kg·K)

En el caso de las juntas utilizadas para lograr la hermeticidad del horno, el material empleado corresponde a caucho resistente a alta temperatura, las propiedades de este material quedan evidenciadas en la tabla 3.4

**Tabla 3.4** Propiedades mecánicas del caucho de alta temperatura(Shackelford y Güemes, 2000)

<b>Módulo de elasticidad en X</b>	<b>210000</b>	<b>N/mm<sup>2</sup></b>
<b>Coefficiente de Poisson en XY</b>	0.28	N/D
<b>Módulo cortante en XY</b>	79000	N/mm <sup>2</sup>
<b>Densidad de masa</b>	7700	kg/m <sup>3</sup>
<b>Límite de tracción en X</b>	723.83	N/mm <sup>2</sup>
<b>Límite elástico</b>	620.42	N/mm <sup>2</sup>
<b>Coefficiente de expansión térmica en X</b>	1.3e-005	/K
<b>Conductividad térmica en X</b>	50	W/(m·K)
<b>Calor específico</b>	460	J/(kg·K)

### 3.5 Cálculo de la resistencia eléctrica.

Para el cálculo de la resistencia eléctrica se tuvo en cuenta un conductor de diámetro 0,5 mm y una longitud de 22,4 m, teniendo estas dimensiones se puede afirmar que la resistencia contará con un diámetro de 20 mm mientras que la distancia entre cresta y cresta de la misma será de 20 mm, de manera tal que se

logre la temperatura de deshidratación que para el caso de la Spirulina se encuentra en el intervalo de 65 a 70 °C.

La resistencia de un conductor puede calcularse mediante la siguiente expresión:

$$R_{conductor} = \rho \frac{l}{S} \quad (3.2)$$

donde:

$R_{conductor}$ : expresada en ohm ( $\Omega$ ).

$l$ : longitud del conductor expresada en metros (m).

$S$ : sección del conductor expresada en ( $mm^2$ ).

$\rho$ : coeficiente de resistividad del material empleado en la construcción del conductor.

Los valores del coeficiente de resistividad de distintos materiales se encuentran reflejados en la tabla 3.5.

**Tabla 3.5** Coeficiente de resistividad de algunos materiales.

<b>MATERIAL</b>	<b><math>\rho</math> en <math>\Omega \cdot mm^2/m</math></b>
<b>Aluminio</b>	0,026
<b>Bronce</b>	0,13 - 0,29
<b>Carbón</b>	100 - 1000
<b>Cobre</b>	0,0175
<b>Hierro</b>	0,10 - 0,14
<b>Mercurio</b>	0,95
<b>Niquelina</b>	0,44
<b>Nichrom</b>	1,10
<b>Oro</b>	0,022
<b>Plata</b>	0,016
<b>Platino</b>	0,094

Determinación de la resistencia de un conductor de Niquelina cuyo diámetro es 0,5 mm. y su longitud de 22,4 metros.

1. La sección transversal del conductor es calculada por la fórmula 3.3.

$$S = \frac{\pi D^2}{4} \quad (3.3)$$

$$S = \frac{3,14 * 0,5^2}{4} = 0,1963 mm^2$$

2. Luego empleando la ecuación 3.2 y sustituyendo los valores se obtiene que:

$$R_{conductor} = 0,44 \frac{22,4}{0,1963} = 50,2\Omega$$

La resistencia de un conductor a una temperatura dada puede calcularse empleando la ecuación 3.4.

$$R_T = R_i [1 + \alpha(t_2 - t_1)] \tag{3.4}$$

donde:

$R_T$ : resistencia que tendrá el componente a la temperatura que se desea determinar.

$R_i$ : resistencia inicial a la que se encontraba el componente.

$\alpha$ : coeficiente de temperatura correspondiente al material del componente.

$t_1$ : temperatura inicial del componente.

$t_2$ : temperatura final del componente.

**Tabla 3.6** Coeficiente de Temperatura de algunos sólidos.

MATERIAL	$\alpha$
Aluminio	0,0037
Bronce	0,0010
Carbón	- 0,005
Cobre	0,004
Hierro	0,0045
Mercurio	0,00087
Niquelina	0
Nichrom	0
Oro	0,00365
Plata	0,0036
Platino	0,0024

Asumiendo la temperatura de 70°C, se sustituye en la ecuación 3.4 quedando,

$$R_T = 50[1 + 0(70 - 20)] = 50\Omega$$

### 3.6 Cálculo y dimensionado de los paneles fotovoltaicos.

Para poder realizar un correcto dimensionado de los paneles fotovoltaico se hace necesario aplicar una serie de pasos que se desarrollan a continuación:

### 1. Consumo de energía durante los 90 días de utilización.

Distribución	Unidad	Potencia	Horas	Días	Consumo
Horno deshidratador	1	44W	6	90	23760 Wh/90 días
Fluorescente	1	18W	1	90	1620 Wh/90 días
Ventilador	1	20W	2	90	3600 Wh/90 días
Sistema de control	1	5W	6	90	2700 Wh/90 días
<b>TOTAL (Et)</b>					<b>31680 Wh/90 días</b>

Este consumo en 90 días, es además el gasto anual del prototipo de horno.

### 2. Cálculo de la potencia del generador.

Para desarrollar el cálculo del generador se hace necesario el empleo de la ecuación 3.5.

$$Potencia_{GENERADOR} = \frac{Consumo_{anual}}{365 * HPS} \quad (3.5)$$

donde:

HPS: horas por sombra (h)

### 3. La potencia generada durante los 90 días, que se va a utilizar en la vivienda.

Se considero que el valor promedio de HPS en Ecuador durante todo el año es equivalente a 5 H.P.S. por tanto al aplicar la ecuación 3.6 se deriva que:

$$Potencia_{GENERADA} = Potencia_{panel} * HPS * Núm_{días} \quad (3.6)$$

$$Potencia_{GENERADA} = 60 * 5 * 90 = 27000W / 90días = 27kW / 90días$$

### 4. La energía que debe acumularse.

La energía que debe de acumularse para que el prototipo pueda trabajar durante los 90 días se calcula a través de la ecuación 3.7.

$$Almacenamiento_{Batería} = W_{consumo} - W_{generado90días} \quad (3.7)$$

$$Almacenamiento_{Batería} = 31680Wh - 27000Wh = 4680Wh = 4,68kWh$$



### **5. Cálculo de la capacidad de la batería.**

Estos 4,68 kWh que se almacenan a lo largo del año, se acumulan en una batería de 12 V, por tanto la capacidad de la batería se calcula empleando la ecuación 3.8.

$$Capacidad_{Batería} = Almacenamiento_{Batería} / 12 \quad (3.8)$$

$$Capacidad_{Batería} = 4,68kW / 12 = 390Ah$$

### **6. Autodescarga de la batería.**

Debido a la resistencia interna de la batería, la cual sufre una descarga lenta, que llega a vaciarla si no se repone la energía perdida.

El coeficiente de autodescarga de cada batería viene fijado por el fabricante. Para una batería de Pb-Ca de bajo mantenimiento, se toma el mantenimiento de la carga del orden de 0,5 mAh por cada amperio de capacidad de la batería referida a 10 horas.

Al cabo de un año, esta autodescarga supone:

$$Autodescarga = 0,0005 * Ah * 24 * 365días * 12v \quad (3.9)$$

donde:

Ah: Ampere horas.

$$Autodescarga = 0,0005 * 390 * 24 * 365días * 12v = 2,04kW$$

### **7. Potencia generada en un año por 6 paneles de 10 W**

$$Potencia_{Generada} = Potencia_{Panel} * HPS * 365 \quad (3.10)$$

$$Potencia_{Generada} = 6 * 10 * 5 * 365 = 109,5kW / año$$

Se aprecia que se generan 109,5 kWh/año, y en la autodescarga de la batería se consumen 20,49 kWh/año; por tanto esta instalación cumple con los requerimientos funcionales.

## **CONCLUSIONES**

1. Se determinaron las características dimensionales del prototipo de horno.
2. Se seleccionó el tipo de material aislante del prototipo de horno siendo lana de vidrio.
3. Se seleccionaron y dimensionaron los paneles fotovoltaicos.

## **RECOMENDACIONES**

Se propone:

1. Diseñar un sistema de control automático para el prototipo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BELAY, A.: "The Potential Application of Spirulina (Arthrospira) as a Nutritional and Therapeutic Supplement in Health Management", *JANA*, 5: 27 - 48, 2002.
2. BELTRÁN, G. M.: *Diseño de un deshidratador de hongos comestibles (boletus luteus) de 900 kg de capacidad para la fundación grupo juvenil Salinas*, Escuela Superior Politécnica del Ejército, Ecuador, 2005.
3. BRENNAN, J.; J. BUTTERS; N. COWELL y A. LILLY: *Las operaciones de la Ingeniería de los Alimentos*, pp Ed. Acribia, Zaragoza, 1980.
4. BRITO, H.: *Operaciones unitarias*, Ed. Riobamba, Ecuador, 2008.
5. BURTON, T.; D. SHARPE; N. JENKINS y E. BOSANYI: *WIND ENERGY HANDBOOK*, England, 2001.
6. CALZADILLA, H.: *Optimización del bastidor principal de un Alisador agrícola para el cultivo del arroz*, **Tesis para optar por el título de máster en CAD-CAM**, Universidad de Holguín, CE: CAD/CAM, 2005.
7. CHEFTEL, J. C.; H. CHEFTEL y P. BESANCON: *Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos*, Ed. Acribia, Zaragoza, 1983.
8. ELIACH, J. y L. DURÉ: *Incidencia de la agitación en el crecimiento microalgal en biorreactores.*, 45pp., Universidad Nacional de Rosario, Argentina, 2004.
9. ENCARTA: 2008. Microsoft Encarta *In: Corporation*, M. (ed.).
10. ENERGY, A. E. I. T. E. U.-E. E. A.: "Energy and Environment in the European Union- European Environment Agency": 2006.
11. FALQUET, J.: "Spiruline, Aspects nutritionnels", *Antenna Technologie*, 25: 1996.
12. GONZÁLEZ, B.: Curso de experto en energía solar fotovoltaica. En, pp., Universidad de castilla la mancha. 2009.
13. [HTTP://DOCENCIA.UDEA.EDU.CO/QF/FARMACOTECNIA/06/06\\_REFERENCIAS.HTML](http://DOCENCIA.UDEA.EDU.CO/QF/FARMACOTECNIA/06/06_REFERENCIAS.HTML). *Tipos de secadores* [en línea] [Consulta: 17 de abril 2012].
14. [HTTP://ORBITA.STARMEDIA.COM/TECNOLOGIALIMENTOS/ANALISIS\\_GRASAS.HTM](http://ORBITA.STARMEDIA.COM/TECNOLOGIALIMENTOS/ANALISIS_GRASAS.HTM). *Conservación de los alimentos* [en línea] [Consulta: 5 de mayo 2012].
15. [HTTP://WWW3.ESPE.EDU.EC:8700/BITSTREAM/21000/300/8/T-ESPE-026443-4.PDF](http://WWW3.ESPE.EDU.EC:8700/BITSTREAM/21000/300/8/T-ESPE-026443-4.PDF). *CAPITULO 4. Solid Works* [en línea] [Consulta: 15 Octubre 2011].
16. [HTTP://WWW.FUNDAMENTOSYTECNOLOG/355ADELSECADO](http://WWW.FUNDAMENTOSYTECNOLOG/355ADELSECADO). *Secado de sólidos* [en línea] [Consulta: 5 de mayo 2012].

17. [HTTP://WWW.GOOGLE.COM/SPIRULINA](http://www.google.com/spirulina). *Spirulina* [en línea] [Consulta: 23 de abril 2012].
18. [HTTP://WWW.INDUSTRIAALIMENTICIA.COM/ARCHIVES\\_DAVINCI?ARTICLE=1031](http://www.industriaalimenticia.com/archives_davinci?article=1031). *Secado de sólidos* [en línea] [Consulta: 22 de abril 2012].
19. [HTTP://WWW.INE.GOB.MX/UEAJEI/PUBLICACIONES/LIBROS/283/CAP1.HTM](http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/283/cap1.html)  
[L](#). *Secado* [en línea] [Consulta: 20 de abril 2012].---. *Tipos de secado* [en línea] [Consulta: 4 de mayo 2012].
20. [HTTP://WWW.MONOGRAFIAS.COM/TRABAJOS15/OPERACIONES-SECADO/OPERACION-SECADO.SHTLM](http://www.monografias.com/trabajos15/operaciones-secado/operacion-secado.shtml). *Operaciones de secado* [en línea] [Consulta: 10 de abril 2012].
21. [HTTP://WWW.PROCESSHEATING.COM/CDA/ARTICLEINFORMATION/DRYING\\_FILES\\_ITEM/0\\_82862,00.HTML](http://www.processheating.com/cda/articleinformation/drying_files_item/0_8286200.html) *Tipos de secado* [en línea] [Consulta: 4 de mayo 2012].
22. [HTTP://WWW.TECNOLOGY\\_OPERACIONES-BASICAS.EC](http://www.technology-operaciones-basicas.ec). *Secado de sólidos* [en línea] [Consulta: 2 de mayo 2012].
23. [HTTP://WWW.UTP.EDU.CO](http://www.utp.edu.co). *PROPIEDADES DE LOS METALES Propiedades físicas y mecánicas* [en línea] [Consulta: 07 Noviembre 2011].
24. [HTTP://WWW.UTP.EDU.CO/~PUBLIO17/PROPIEDADES.HTM#INICIO](http://www.utp.edu.co/~publio17/proiedades.htm#inicio). *PROPIEDADES DE LOS METALES. "Propiedades físicas y mecánicas"*. [en línea] [Consulta: 7 Noviembre 2011].
25. IEA: 2004. International Energy Agency. *Energy Statistics* [Online].
26. JARA, R. y F. OROZCO: *Diseño y Construcción de un Deshidratador (Equipo piloto) para sangre de Bovinos*, **Tesis. Ing. Químico**, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, 2004
27. JOURDAN, J. P.: "Cultivez votre spiruline", *Antenna Technology*, 32: 1999.
28. LASTRE, A. M.: Proyección de los procesos tecnológicos. En: [Conferencia Maestría CAD/CAM], pp., Centro de Estudios CAD/CAM, Universidad de Holguín., 2010.
29. LEÓN, D. y J. D. GÓMEZ: *Diseño y Construcción de un Secador de Bandejas para Germen de Trigo*, **Tesis. Ing. Químico**, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, 2005.
30. LUCK, E.: *Conservación química de los alimentos*, pp Ed. Acribia, Zaragoza, 1981.

31. NONHEBEL, M. A. y B. MOSS: *El secado de sólidos en la Industria Química*, pp, Barcelona: Reverté S.A.,1979.
32. NORMAN, W.: *Conservación de Alimentos*, Ed. Continental, México, 1976.
33. PARADA, M.: *Diseño de un Secador de Bandejas para la Deshidratación del Hongo Trichoderma harzianum*, **Tesis. Ing. Químico**, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, 2007
34. PERRY, R.: *Manual del Ingeniero Químico*, Ed. McGraw-Hill, Sexta Edición ed, México., 2001.
35. PINILLA, M. J. y J. R. SILVA: "Diseño de un deshidratador para el curado de cebolla cabezona", *desarrollo sostenible y tecnología*, 9: 58 - 65, 2008.
36. RAMÍREZ, L. y R. OLVERA: "USO TRADICIONAL Y ACTUAL DE SPIRULINA SP. (ARTHROSPIRA SP.)", *Interciencia*, 31: 657- 663, 2006.
37. SALTOS, H.: "Deshidratación", *Fundamentos de Ingeniería de Procesos en Alimentos pp Ed. UTA*, Ambato,1985.
38. SALVAT, E.: 2008. Enciclopedia Salvat de la Ciencia y de la Tecnología. In: Barcelona (ed.) *Antenna Technology*.
39. SARAVIDA, L.; B. SÁNCHEZ y D. SARAVIDA: " EL DISEÑO DE SECADORES SOLARES USANDO LAS CURVAS DE SECADO DEL PRODUCTO ", *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 11: 1 - 7, 2007.
40. SHACKELFORD, J. F. y A. GÜEMES: *Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros*, Ed. Prentice-Hall ed, 2000.
41. SIMON MANAGEMENT GROUP: <http://www.simonmanagement.com> "Encuesta a más de 20 000 usuarios CAD" [en línea] [Consulta: [consulta Octubre 2011]].
42. VARGAS, M.: Introducción a las ENERGÍAS ALTERNATIVAS con experimentos sencillos. En: ENERGÍAS ALTERNATIVAS, pp., Bolivia. 2006.
43. VONSHAK, A. y A. RICHMOND: "Mass production of the blue-green alga Spirulina: an overview, Biomass", 15 233, 1988.