

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

FACULTAD DE INGENIERÍAS

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

**TEMA: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DESHIDRATADOR
ATMOSFÉRICO DE BANDEJAS DISCONTINUO CON CIRCULACIÓN
FORZADA DE UNA CAPACIDAD DE 0.05 m³ UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR”**

AUTORES

**CUARÁN PANTOJA SANTIAGO VINICIO
TINILLO CÓRDOVA IVÁN DAVID**

DIRECTOR: ING. LUIS ANDRANGO

QUITO, FEBRERO DE 2013

Certifico que la presente tesis ha sido elaborada en su totalidad por los señores:

Santiago Cuarán Pantoja

Iván Tinillo Córdova

Quito, 9 de Febrero de 2013

(f)-----

Ing. Luis Andrango

Los conceptos desarrollados, análisis realizados y las conclusiones del presente trabajo, son de exclusiva responsabilidad de los autores.

Quito, 9 de Febrero de 2013

(f)-----

(f)-----

DEDICATORIA

A mis queridos hijos Damián y Daniel, por ser la fuente de fortaleza para luchar día a día y alcanzar los ideales de superación.

A mi esposa Angélica que me ha brindado su apoyo para culminar mi carrera con éxito.

A mis padres y hermanos que a pesar de la distancia, siempre estuvieron pendientes para que pueda alcanzar esta meta de mi vida y por lo orgullosos que se sentirán de no haberlos defraudado.

A todos aquellos amigos que me brindaron su apoyo y amistad para culminar esta etapa de estudios superiores.

Santiago Cuarán P.

DEDICATORIA

A mis padres y hermanos (Iván, Rocío, Bryan y Vanessa), por ser el puntal fundamental en el desarrollo de mi vida tanto personal como profesional, además de ser un apoyo constante para el desarrollo de este trabajo.

A mi novia Andrea Mejía que a me ha brindado su apoyo incondicional para culminar mi carrera con éxito.

A mis angelitos (Miguel y Esteban) que desde el cielo me guían para siempre tomar las decisiones con sabiduría, este trabajo es para ustedes.

A todos aquellos amigos que me brindaron su apoyo y amistad para culminar esta etapa de mi vida.

Iván Tinillo C.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme la vida, a mis padres y hermanos por su apoyo incondicional.

A mi esposa Angélica, que durante estos años de carrera me ha sabido comprender y respaldar.

A mis amigos y compañeros de aula que han sabido demostrar que se puede contar con ellos incondicionalmente.

A los profesores de la Universidad Politécnica Salesiana que con sus enseñanzas aportaron a mi formación académica.

Al Ing. Luis Andrango, por los consejos y su valiosa colaboración para la culminación del presente trabajo.

Gracias a todas aquellas personas que ayudaron directa e indirectamente en la culminación de este proyecto.

Santiago Cuarán P.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por la oportunidad de vivir, a mis padres y hermanos (Iván, Rocío, Bryan y Vanessa) por su apoyo incondicional.

A mi novia Andrea Mejía, que durante estos años comparte su vida con la mía y me ha sabido comprender y respaldar.

A los amigos y compañeros de aula que han sabido demostrar que se puede contar con ellos incondicionalmente.

A los profesores de la Universidad Politécnica Salesiana que con sus enseñanzas aportaron a mi formación académica.

Al Director de tesis el Ing. Luis Andrango, por los consejos y su valiosa colaboración para la culminación del presente trabajo.

Gracias a todas aquellas personas que ayudaron directa e indirectamente en la culminación de este proyecto.

Iván Tinillo C.

GLOSARIO.

Carta Psicrométrica: La carta psicrométrica es una gráfica vapor de agua- aire que relacionan la temperatura de bulbo seco del agua líquida con la temperatura de bulbo húmedo, las libras de agua por libras de aire seco, el calor sensible de la mezcla, la entalpia de saturación, la humedad relativa.

Bacterias: Son microorganismos unicelulares que presentan un tamaño de unos pocos micrómetros (entre 0,5 y 5 μm) y diversas formas incluyendo esferas (cocos), barras (bacilos) y hélices (espirilos). Las bacterias son procariotas y, por lo tanto, a diferencia de las células eucariotas (de animales, plantas, hongos, etc.), no tienen el núcleo definido ni presentan, en general, orgánulos membranosos internos.

Microorganismos: También llamado microbio (del griego μικρο, «micro», diminuto, pequeño y βίος, «bio», vida, *ser vivo diminuto*), es un ser vivo que solo puede visualizarse con el microscopio. La ciencia que estudia los microorganismos es la microbiología. Son organismos dotados de individualidad que presentan, a diferencia de las plantas y los animales, una organización biológica elemental. En su mayoría son unicelulares, aunque en algunos casos se trate de organismos cenóticos compuestos por células multinucleadas, o incluso multicelulares.

Liofilización: Es un proceso en el que se congela el producto y posteriormente se introduce en una cámara de vacío para realizar la separación del agua por sublimación. De esta manera se elimina el agua desde el estado sólido al gaseoso del ambiente sin pasar por el estado líquido.

Termo plasticidad: La propiedad de un material a deformarse sin rotura.

Viscosidad: Es la oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales. Un fluido que no tiene viscosidad se llama fluido ideal. En realidad todos los fluidos conocidos presentan algo de viscosidad, siendo el modelo de viscosidad nula una aproximación bastante buena para ciertas aplicaciones. La viscosidad sólo se manifiesta en líquidos en movimiento.

Homogéneo: Es aquel sistema material que está formado por una sola fase, es decir, que tiene igual valor de propiedades intensivas en todos sus puntos o de una mezcla de varias sustancias que da como resultado una sustancia de estructura y composición uniforme.

Soluto: Es la sustancia minoritaria que se encuentra en algunas disoluciones. Esta sustancia se encuentra disuelta en un determinado disolvente.

Densidad: Es una magnitud escalar referida a la cantidad de masa contenida en un determinado volumen de una sustancia.

Efecto invernadero: Es el fenómeno por el cual determinados gases, que son componentes de la atmósfera planetaria, retienen parte de la energía que la superficie planetaria emite por haber sido calentada por la radiación estelar. Afecta a todos los cuerpos planetarios rocosos dotados de atmósfera. Este fenómeno evita que la energía recibida constantemente vuelva inmediatamente al espacio, produciendo a escala planetaria un efecto similar al observado en un invernadero. En el sistema solar, los planetas que presentan efecto invernadero son Venus, la Tierra y Marte.

Módulos Fotovoltaicos: Están formados por un conjunto de celdas (células fotovoltaicas) que producen electricidad a partir de la luz que incide sobre ellos (energía solar fotovoltaica).

Número de Nusselt (Un): Constante adimensional afectada por el número de Reynolds que describe el tipo de fluido

Número de Reynolds (Re): Constante determinante que describe el tipo de fluido dentro de la mecánica de fluidos:

- a) Laminar: El fluido se desplaza en capas o láminas una sobre otra por lo que se dificulta la transferencia de calor por convección desde la placa colectora por la baja conductividad térmica del aire.
- b) Turbulento: El fluido se desplaza de una manera desordenada, facilitando que porciones de fluido se contacten con la placa y se calienten.
- c) Transitorio: Es el punto medio de las dos anteriores y es el que se presenta con mayor frecuencia en los colectores solares para calentamiento de aire.

Número de Prandtl (Pr): Es un número adimensional proporcional al cociente entre la difusividad de momento (viscosidad) y la difusividad térmica. Se llama así en honor a Ludwig Prandtl.

OBJETIVO GENERAL.

- Diseñar y construir un prototipo de un deshidratador atmosférico de bandejas discontinuo, con circulación forzada de una capacidad de 0.05m^3 , utilizando energía solar.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

1. Diseñar un prototipo de deshidratador en donde el producto pierda la menor cantidad de características organolépticas como son: color, olor y sabor.
2. Determinar la eficiencia térmica de la cámara de secado y verificar el rendimiento del colector solar.
3. Determinar el tiempo real de secado necesario para deshidratar la uvilla utilizando el colector solar de la Universidad Politécnica Salesiana.
4. Elaborar los planos general y de detalle.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.

La Universidad Politécnica Salesiana tiene instalado un colector solar plano para calentamiento de aire, el mismo que se encuentra sin ninguna aplicación, por esta razón se propone el diseño y construcción de un prototipo de deshidratador atmosférico para obtener una aplicación real de dicho colector.

Con el desarrollo de este proyecto se proveerá al laboratorio de termodinámica y transferencia de calor de la Universidad Politécnica Salesiana de otra alternativa de estudio y aprendizaje tanto teórico como práctico.

JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.

Con el diseño y la construcción del prototipo de deshidratador se podrá realizar pruebas de secado de productos vegetales orgánicos y que con el uso del aire caliente obtenido mediante el colector solar se bajará los costos de producción ya que se empleará una fuente de energía no convencional.

HIPÓTESIS GENERAL.

1. Demostrar mediante la utilización de aire caliente generado por un colector solar instalado en la Universidad Politécnica Salesiana que se puede obtener energía térmica aplicable en distintos campos de la Ingeniería Mecánica.

HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.

1. El deshidratador nos ayudará a verificar que los alimentos conserven sus propiedades organolépticas, después de haber sido sometidos al proceso de deshidratación mediante la utilización de aire caliente.
2. Cuantificar la eficiencia térmica del prototipo de deshidratador y el rendimiento del colector solar mediante la utilización de los modelos matemáticos de transferencia de calor y termodinámica.
3. El tiempo real de secado para la uvilla utilizando el colector solar de la Universidad Politécnica Salesiana debe estar entre los parámetros establecidos en la parte teórica.
4. Establecer el porcentaje de humedad del producto final.

ALCANCE.

- La presente tesis tiene por objetivo el diseño y la construcción de un prototipo deshidratador para uvilla con el uso de aire caliente obtenido mediante la energía solar absorbida por un colector solar. En el Ecuador se ha incrementado la producción de uvilla y se ha fomentado la deshidratación de la misma para poder conservarla por más tiempo y exportarla a Norteamérica y Europa, siendo considerada como fruta exótica.
- La construcción del sistema de deshidratación tiene por objeto visualizar la variación de temperatura a la entrada y salida del colector y el proceso de deshidratación de los productos vegetales, utilizando un sistema de control digital.

RESUMEN.

En el presente proyecto se tratará temas relacionados con la energía solar y la deshidratación de alimentos, que es la base el desarrollo fundamental para el desarrollo del mismo.

CAPÍTULO I.

Se definen conceptos básicos de deshidratación de alimentos, las propiedades y características de la uvilla, la disponibilidad de agua en los alimentos.

Otro tema fundamental que se estudia es la carta psicrometrica y sus diferentes líneas que la componen.

También se abordará el tema de los colectores solares y se hace énfasis en la deshidratación de alimentos con el uso de energía solar.

CAPÍTULO II.

Se estudia los parámetros necesarios para diseñar el deshidratador, haciendo énfasis en el calor que se requiere para deshidratar la uvilla, el calor que genera el colector, la velocidad del aire circulante y las pérdidas de calor.

CAPÍTULO III.

Se presentan los resultados obtenidos, mediante tablas y gráficas, luego de las pruebas realizadas después del arranque y calibración del equipo.

Para de esta manera realizar una comparación de los resultados teóricos y los resultados reales, y así verificar las hipótesis planteadas.

ÍNDICE GENERAL.

CARÁTULA.....	I
CERTIFICADO DE AUTENTICIDAD.....	II
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD.....	III
DEDICATORIA.....	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
AGRADECIMIENTO.....	VII
GLOSARIO.....	VIII
OBJETIVO GENERAL.....	XI
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	XI
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	XI
JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	XII
HIPÓTESIS GENERAL.....	XII
HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.....	XII
ALCANCE.....	XIII
RESUMEN.....	XIV
ÍNDICE GENERAL.....	XV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	XVI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI

ÍNDICE DE CONTENIDO.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

INTRODUCCIÓN.....	1
1. DESHIDRATACIÓN.....	1
1.1.PROCESO DE DESHIDRATACIÓN.....	4
1.1.1. DESHIDRATACIÓN POR AIRE CALIENTE.....	5
1.1.2. MECANISMO DE LA DESHIDRATACIÓN.....	7
1.1.3. MECANISMOS DE TRANSMISIÓN DE CALOR.....	10
1.1.3.1.CONDUCCIÓN.....	11
1.1.3.2.CONVECCIÓN.....	12
1.1.3.3.RADIACIÓN.....	13
1.1.4. CURVA DE SECADO.....	14
1.1.5. PERIODOS DE DESHIDRATACIÓN.....	15
1.1.6. TIEMPO DE DESHIDRATACIÓN.....	17
1.1.7. CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE UN DESHIDRATADOR.....	19
1.1.8. TEMPERATURA DE DESHIDRATACIÓN.....	20
1.2.DESHIDRATADORES.....	20
1.2.1. DESHIDRATADORES CONTINUOS.....	21
1.2.2. DESHIDRATADORES DISCONTINUOS O POR LOTE (TANDA).....	22
1.2.3. DESHIDRATADORES DIRECTOS.....	22
1.2.4. DESHIDRATADORES INDIRECTOS.....	23
1.2.5. DESHIDRATADORES POR RADIACIÓN.....	23
1.2.6. DESHIDRATADORES SOLARES.....	24
1.2.7. COMPONENTES DEL DESHIDRATADOR SOLAR.....	26
1.2.8. FUNCIONAMIENTO DEL DESHIDRATADOR SOLAR.....	27
1.3.COLECTORES SOLARES.....	27
1.3.1. COLECTOR SOLAR.....	27
1.3.2. FUNCIONAMIENTO.....	29
1.3.3. CLASIFICACIÓN DE LOS COLECTORES.....	31
1.3.4. APLICACIONES.....	33
1.3.5. COLECTOR SOLAR DE PLACAS PLANAS.....	33
1.3.6. COLECTOR DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.....	34
1.3.6.1.DATOS CLIMATOLOGICOS.....	35
1.3.6.2.DATOS DE MATERIALES.....	35
1.3.6.3.DATOS DE DISEÑO O GEOMETRÍA.....	36

1.3.6.4.CONSTANTES.....	37
1.3.6.5.OTROS VALORES.....	37
1.4.LA UVILLA.....	38
1.4.1. CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LA UVILLA.....	38
1.4.2. CULTIVOS DE LA UVILLA EN EL ECUADOR.....	40
1.5.DISPONIBILIDAD DEL AGUA EN LOS ALIMENTOS.....	41
1.5.1. EQUILIBRIO.....	43
1.5.2. FORMAS DE ENLACE DE LA HUMEDAD CON EL MATERIAL.....	43
1.5.3. CONTENIDO DE HUMEDAD EN LAS SUSTANCIAS.....	44
1.5.4. MASA DE HUMEDAD A REMOVER.....	47
1.5.5. HISTÉRESIS.....	48
1.5.6. ASPECTOS DIMENSIONALES.....	50
1.6.LA CARTA PSICROMETRICA.....	53
1.6.1. TEMPERATURA DE BULBO SECO.....	55
1.6.2. TEMPERATURA DE BULBO HUMEDO.....	55
1.6.3. TEMPERATURA DE PUNTO DE ROCIO.....	56
1.6.4. HUMEDAD RELATIVA.....	56
1.6.5. HUMEDAD ABSOLUTA.....	57
1.6.6. ENTALPIA.....	57
1.6.7. VOLUMEN ESPECIFICO.....	58
1.7.CALOR SENSIBLE.....	58
1.8.CALOR LATENTE.....	59

CAPÍTULO II

DISEÑO DEL PROTOTIPO DE DESHIDRATADOR

INTRODUCCIÓN.....	61
2.1.ALTERNATIVAS PARA LA SELECCIÓN DEL TIPO DE DESHIDRATADOR.....	61
2.2.ASPECTOS FUNDAMENTALES PARA EL DISEÑO DEL DESHIDRATADOR.....	62
2.3.CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL A SECAR.....	62
2.4.CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO FINAL.....	64
2.5.VARIABLES DE OPERACION.....	65
2.6.CALOR EN EL DESHIDRATADOR.....	65
2.7. CONDICIONES CLIMÁTICAS.....	66

2.8. CALOR NECESARIO PARA DESHIDRATAR LA UVILLA (Q_u).....	69
2.9.TABLA DE VALORES OBTENIDOS DEL COLECTOR SOLAR.....	70
2.10. VELOCIDAD DEL AIRE CIRCULANTE.....	72
2.11. CALOR GENERADO POR EL COLECTOR (Q_e).....	84
2.12. SELECCION DEL AISLAMIENTO.....	85
2.13. ESPESOR DE PLANCHA PARA BANDEJAS.....	86
2.14. PERDIDAS DE CALOR POR LAS PAREDES (Q_p)	88
2.15. IRREVERSIBILIDADES.....	93
2.16. FACTOR DE SEGURIDAD.....	95
2.17. RESULTADOS TEORICOS.....	96
2.18. NÚMERO DE BANDEJAS.....	97
2.19. SISTEMA DE CONTROL.....	104
2.20. PROCESO DE CONSTRUCCION DEL DESHIDRATADOR....	105

CAPITULO III

ANÁLISIS DE RESULTADOS

INTRODUCCIÓN.....	108
3.1. CÁLCULO DE CALOR REAL RESPECTO AL TIEMPO.....	109
3.2. CALOR REAL PROMEDIO EN EL DESHIDRATADOR.....	113
3.3. EFICIENCIA DEL DESHIDRATADOR.....	114
3.4. TIEMPO REAL DE SECADO.....	114
3.5. PORCENTAJE DE DESHIDRATACIÓN.....	114
CONCLUSIONES.....	117
RECOMENDACIONES.....	119
BIBLIOGRAFÍA.....	121
ANEXOS.....	122

ÍNDICE DE TABLAS.

TABLA 1.1. PORCENTAJE DE AGUA EN LOS ALIMENTOS.....	3
TABLA 1.2. CAPACIDAD DE PRODUCCION DE LOS DESHIDRATADORES.....	20
TABLA 1.3. PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS DE LA UVILLA.....	38
TABLA 1.4. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DE LA UVILLA.....	39
TABLA 1.5. ACTIVIDAD DEL AGUA Y CRECIMIENTO DE MICRORGANISMOS EN ALIMENTO.....	42
TABLA 2.1. CARÁCTERÍSTICAS DEL MATERIAL A SECAR.....	63
TABLA 2.2. CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO A OBTENER.....	64
TABLA 2.3. ELECCIÓN DE VALORES DE LAS VARIABLES DE OPERACIÓN.....	65
TABLA 2.4. PRESIONES ATMOSFÉRICAS RESPECTO A LA ALTURA SOBRE EL NIVEL DEL MAR.....	67
TABLA 2.5. PROPIEDADES PSICROMETRICAS DEL AIRE A TEMPERATURA AMBIENTE.....	68
TABLA 2.6. TEMPERATURAS PARA DESHIDRATAR LA UVILLA.....	70
TABLA 2.7. VALORES DE TEMPERATURA PROMEDIO.....	71
TABLA 2.8. PROPIEDADES PSICROMETRICAS DEL AIRE A TEMPERATURA PROMEDIO DE TRABAJO.....	72
TABLA 2.9. PROPIEDADES DEL AIRE A TEMPERATURA DE TRABAJO.....	80
TABLA 2.10. PROPIEDADES DEL COLECTOR DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.....	84
TABLA 2.11. TABLA DE PROPIEDADES DE LOS MATERIALES A EMPLEAR.....	91
TABLA 2.12. PROPIEDADES DEL FLUIDO INTERNO Y EXTERNO.....	91
TABLA 2.13. ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA UNA MASA DE 1,00 Kg.....	96
TABLA 2.14. ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA UNA MASA DE 1,50 Kg.....	96
TABLA 2.15. ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA UNA MASA DE 2,00 Kg.....	97

TABLA 2.16. PROPIEDADES DE LA UVILLA.....	97
TABLA 2.17. VALORES DE HUMEDAD DE LA UVILLA (CALCULADOS).....	100
TABLA 3.1. VALORES REALES DE TEMPERATURA DURANTE EL PROCESO....	110
TABLA 3.2. DESHIDRATACIÓN DE LA UVILLA RESPECTO AL TIEMPO.....	115

ÍNDICE DE FIGURAS.

FIGURA 1.1. INFLUENCIA DEL SOL Y EL AIRE EN LOS ALIMENTOS.....	6
FIGURA 1.2. UVILLA DESHIDRATADA.....	7
FIGURA 1.3. CAPILARIDAD.....	8
FIGURA 1.4. DIFUSIÓN SIMPLE.....	9
FIGURA 1.5. DIFUSIÓN DE AGUA.....	9
FIGURA 1.6. DIFUSIÓN GASEOSA.....	10
FIGURA 1.7. CONDUCCIÓN.....	12
FIGURA 1.8. CONVECCIÓN.....	13
FIGURA 1.9. RADIACIÓN.....	14
FIGURA 1.10. CURVA DE SECADO.....	14
FIGURA 1.11. VELOCIDAD DE SECADO vs TIEMPO.....	15
FIGURA 1.12. VELOCIDAD DE SECADO vs CONTENIDO DE HUMEDAD.....	15
FIGURA 1.13. PROCESO DE DESHIDRATACIÓN CONTINUO.....	21
FIGURA 1.14. PROCESO DE DESHIDRATACIÓN DISCONTINUO (TANDAS).....	22
FIGURA 1.15. ESQUEMA GENERAL DE UN DESHIDRATADOR DE AIRE ATMOSFÉRICO.....	25
FIGURA 1.16. DESHIDRATADOR SOLAR DE BANDEJAS.....	26
FIGURA 1.17. COLECTOR SOLAR.....	28
FIGURA 1.18. COLECTOR SOLAR TIPO PANEL PLANO.....	30
FIGURA 1.19. COLECTOR TERMOSIFONICO.....	31
FIGURA 1.20. COLECTOR PLACA PLANA.....	31
FIGURA 1.21. COLECTOR TERMOSIFÓN.....	32
FIGURA 1.22. COLECTOR DE POLIPROPILENO.....	32

FIGURA 1.23. COLECTOR CILINDRO PARABÓLICO.....	32
FIGURA 1.24. TIPO DE HUMEDAD.....	46
FIGURA 1.25. DEPENDENCIA ENTRE LA HUMEDAD DE EQUILIBRIO DEL MATERIAL Y LA HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE.....	49
FIGURA 1.26. ESQUEMA REPRESENTATIVO CARTA PSICROMETRICA.....	53
FIGURA 2.1. ESQUEMA REPRESENTATIVO DEL VOLUMEN DE CONTROL.....	66
FIGURA 2.2. ESQUEMA REPRESENTATIVO DEL CALOR TRANSMITIDO AL PRODUCTO.....	69
FIGURA 2.3. ESQUEMA REPRESENTATIVO DEL VOLUMEN DE CONTROL DE FLUJO ESTABLE.....	74
FIGURA 2.4 ESQUEMA DE VIGA SIMPLEMENTE APOYADA... ..	87
FIGURA 2.5. CIRCUITO TERMICO DE UNA PARED PLANA COMPUESTA.....	89
FIGURA 2.6. DIAGRAMA TEMPERATURA vs ENTROPIA.....	93
FIGURA 2.7. DIAGRAMA DE PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DEL DESHIDRATADOR.....	106
FIGURA 3.1. DESHIDRATADOR SOLAR CONSTRUIDO.....	108
FIGURA 3.2 PARTES INTERNAS DEL DESHIDRATADOR.....	109
FIGURA 3.3. TEMPERATURA DE PROCESO vs TIEMPO.....	111
FIGURA 3.4. TEMPERATURA DE SALIDA vs TIEMPO.....	112
FIGURA 3.5. CALOR REAL vs TIEMPO.....	113
FIGURA 3.6. CURVA DE DESHIDRATACION DE LA UVILLA RESPECTO AL TIEMPO.....	115
FIGURA 3.7. DISMINUCION DE MASA vs TIEMPO.....	116

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO.

INTRODUCCIÓN.

En el presente capítulo se definirán los conceptos principales de la deshidratación de alimentos, para el producto seleccionado, la uvilla, se resaltarán las características y propiedades del mismo, se citarán temas como el proceso de deshidratación, en el cual se investigará la disponibilidad de agua en los alimentos, las formas de enlace del agua con el material, el equilibrio, el contenido de humedad en las sustancias, la masa de humedad a remover.

Un tema fundamental que se tratará es la Carta Psicrométrica en la cual se analiza cada una de las curvas que la componen.

Otros aspectos a tratar son los tipos de deshidratadores, dentro de este tema se hablará sobre la deshidratación por aire caliente, mecanismo, la temperatura, los períodos, el tiempo de deshidratación y los tipos de deshidratadores.

Finalmente se abordará el tema de los colectores solares, tratando de explicar todo lo referente a la deshidratación por aire caliente mediante el uso de colectores solares.

Hablar de la deshidratación implica conocer los conceptos básicos para eliminar agua de un producto para impedir el crecimiento de bacterias en los alimentos.

1. DESHIDRATACIÓN.

La deshidratación es una de las formas más antiguas de procesar alimentos (vegetales, frutas y otros). Consiste en eliminar una buena parte de la humedad de los alimentos,

para que no pierdan sus propiedades organolépticas¹. Se considera de mucha importancia la conservación de alimentos pues esto nos permite alargar la vida útil de los mismos y poder tener acceso a mercados más distantes, otra de las importancias de conservar frutas deshidratadas es debido a que se puede contar con frutas en épocas que normalmente no se producen, logrando así mejores precios.

La deshidratación implica el control sobre las condiciones climatológicas dentro de la cámara o el control de un micro medio circulante.

Por medio del calor se elimina el agua que contienen algunos alimentos mediante la evaporación de la misma. Esto impide el crecimiento de las bacterias, que no pueden vivir en un medio seco.

Los alimentos deshidratados mantienen gran proporción de su valor nutritivo original si el proceso se realiza en forma adecuada.

Es muy importante para una perfecta deshidratación que la temperatura sea constante y el aire circule libremente entre los alimentos. Hay que tener en cuenta que dentro de la estructura molecular de cada fruta, verdura, carne, etc. la cantidad de agua (humedad) es distinta. Esto se puede observar en tabla 1.1.

¹ Las propiedades organolépticas de un producto son aquellas que se pueden percibir por los sentidos, como sabor, olor, textura y color. Todas estas sensaciones producen al comer una experiencia agradable o desagradable.

Tabla 1.1. Porcentaje de agua en los alimentos.

CONTENIDO APROXIMADO EN AGUA (%) DE DIFERENTES ALIMENTOS Y BEBIDAS			
BEBIDAS		ALIMENTOS	
Refrescos bajos en calorías	90 - 100	Frutas	75 - 90
Bebidas deportivas	90 - 100	Verduras	70 - 90
Limonada preparada	90 - 100	Yogur	86
Zumos vegetales	90 - 100	Pescado blanco	80
Café preparado	90 - 100	Pescado azul	65
Té preparado	90 - 100	Carne	45 - 65
Zumos de frutas	85 - 90	Patata	75 - 80
Refresco habitual	85 - 90	Pan	35

Fuente: HENUFOOD, Nutrientes parte 2, agua; <http://www.henufood.com/wp-content/uploads/2012/07/agua-19.jpg>

El porcentaje de agua en los alimentos depende del tipo y del grado de madurez de los mismos, y de esto dependerá la temperatura y el periodo de tiempo necesarios, para obtener una perfecta deshidratación de los mismos.

La constante demanda de los mercados norteamericanos y europeos de ciertos productos, ha venido impulsando la diversificación de importaciones mediante la promoción de cultivos no tradicionales, para lo cual se ha identificado una serie de productos llamados exóticos.

Es así que en nuestro país se ha venido impulsando la producción de la uvilla (*Physalis Peruviana*) y a la vez que se están implementando técnicas de deshidratación o secado de esta fruta.

Por esta razón se hará referencia a este producto, que ha sido seleccionado para el presente trabajo, según las características que se detallan más adelante.

1.1. PROCESO DE DESHIDRATACIÓN.

Una alternativa del hombre para aprovechar de mejor manera los alimentos que se producen en época de cosecha, es conservarlos mediante la disminución del contenido de agua.

El principio básico en el cual se fundamenta la deshidratación, es que en niveles bajos de humedad, los microorganismos no puede desarrollarse y tampoco se producen reacciones químicas deteriorantes.

La deshidratación es un método eficaz para evitar la descomposición. Por esta razón la deshidratación o secado de las frutas se define como la operación unitaria mediante la cual se elimina la mayor cantidad de agua de los alimentos, mediante un método mecánico, térmico o químico.

El término deshidratación de alimentos se refiere al secado artificial bajo supervisión, lo que implica el control de las condiciones climatológicas dentro de la cámara. Esta técnica presenta una gran ventaja en la cual los alimentos deshidratados son más concentrados que en cualquier otra forma de productos alimenticios preservados. Estos son menos costosos de producir, el trabajo requerido es mínimo y el equipo para el proceso es pequeño en relación a otros métodos de conservación.

La deshidratación produce cambios físicos, químicos y sensoriales en los alimentos. Entre los cambios físicos están el encogimiento, el endurecimiento y la termo

plasticidad. Los cambios químicos contribuyen a la calidad del producto, tanto en los productos deshidratados como en sus equivalentes reconstituidos, puede ser color, sabor, textura y viscosidad además del valor nutritivo y la estabilidad en el almacenamiento.

El punto crítico del material biológico es otro tópico de vital importancia, pues el alimento nunca es homogéneo y tiende a comportarse de manera diferente debido a la composición inicial, cantidad y característica del agua que posee. Los patrones de encogimiento y migración de solutos cambian sus propiedades a lo largo de la operación de deshidratado.

El agua puede retirarse de los alimentos por una variedad de procesos controlados de deshidratación, empleando diversas técnicas como calor, aire, frío, liofilización y osmosis², aunque el término secado está más bien involucrado en la eliminación del agua por calor.

Por todo lo anterior es definitivo combinar unas buenas condiciones de proceso, equipos adecuados y un buen manejo del producto a deshidratar.

1.1.1. DESHIDRATACIÓN POR AIRE CALIENTE.

En este proceso de deshidratación el alimento es atravesado por un flujo de aire caliente a una velocidad, que puede estar de (2 a 8 m/s) ³ y cuando el aire caliente entra en contacto con un alimento húmedo, su superficie se calienta y el calor transmitido se utiliza como calor latente de evaporación, con lo que el agua que contiene pasa a estado de vapor.

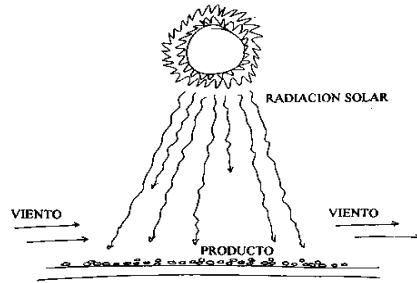
El secado solar al aire libre ha sido utilizado desde tiempos inmemorables para el secado de carne, pescado y otros productos agrícolas. Con el objeto de aprovechar los

² Osmosis: La ósmosis es un fenómeno físico relacionado con el comportamiento de un sólido como soluto de una solución ante una membrana semipermeable para el solvente pero no para los solutos.

³ Referencia: Fito Pedro, Introducción al secado de alimentos por aire caliente, Universidad Politécnica de Valencia, pág.: 99-100

beneficios de la fuente de energía limpia y renovable proporcionada por el sol. Ver figura 1.1

Figura 1.1 Influencia del sol y el aire en los alimentos.



Fuente: CHAVEZ ENRIQUE, Secado solar de alimentos, 2010, http://www.ruralcat.net/c/document_library/get_file?uuid=d65214b8-a03b-428b-8a8d-

No obstante para la producción a elevada escala industrial, el secado solar presenta limitaciones, entre las cuales pueden destacarse el elevado costo de mano de obra, equipos de grandes superficies, etc.

Además que no se puede dejar de lado la dificultad que se genera al no tener todo el tiempo radiación solar, sin embargo esto puede solucionarse utilizando acumuladores de calor o a su vez utilizando una fuente de energía auxiliar.

Otro aspecto que se debe tomar en cuenta 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 costo 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.

La relativamente pequeña densidad de flujo de energía solar, hace que este tipo de energía sea más adecuada para procesos de secado que presenten pequeñas demandas de energía.

Con este tipo de deshidratadores, la eliminación del agua puede ser casi completa y además que se busca prevenir al máximo los cambios en los alimentos y así obtener productos lo más parecidos a los alimentos originarios. Por lo general la deshidratación produce cambios físicos, como el endurecimiento, encogimiento y afecta la termo plasticidad. El peso puede llegar a disminuir ocho veces su peso original. Ver Figura 1.2

Figura 1.2. Uvilla deshidratada



Fuente: ISABELLE FRUITS, Uvilla deshidratada, 2012, <http://www.b2becuador.net/driedfruits/pdf/uvilla.pdf>

1.1.2. MECANISMO DE LA DESHIDRATACIÓN.

La deshidratación es una operación en la que se da en transporte simultáneo de calor y masa. En esta operación debe aportarse el calor sensible y el calor de sublimación necesario para la evaporación.

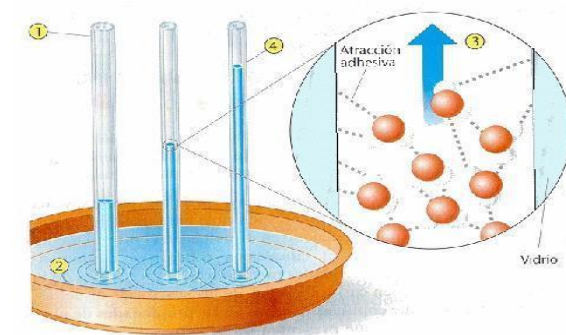
Cuando el aire caliente entra en contacto con un alimento húmedo, su superficie se calienta y el calor transmitido se utiliza como calor latente de evaporación, con lo que el agua que contiene pasa a estado de vapor.

Con respecto a su capacidad para retener el agua, los alimentos se clasifican en higroscópicos y no higroscópicos. Los primeros son aquellos cuya presión parcial de vapor varía de acuerdo a su contenido de agua y los segundos aquellos en los cuales no varía la presión parcial de vapor.

El agua escapa de la superficie de los alimentos hacia la atmosfera circundante por los siguientes mecanismos:

- Por capilaridad. Ver figura 1.3

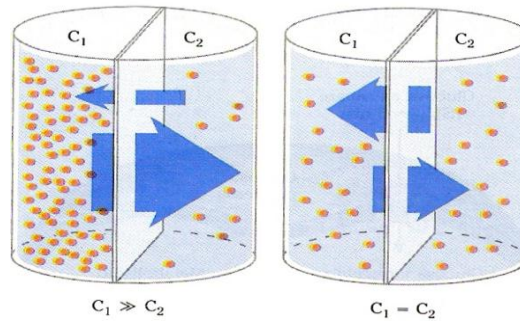
Figura 1.3. Capilaridad



Fuente: DDECORACION, Capilaridad, 2010, http://1.bp.blogspot.com/_xFSvRIm1OXo/TGHJALcpj2I/AAAAAAAAA8/EU4OQMa15j0/s1600/capilaridad.jpg

- Por difusión, provocada por las diferencias en las concentraciones de solutos entre las distintas partes del alimento. Ver figura 1.4

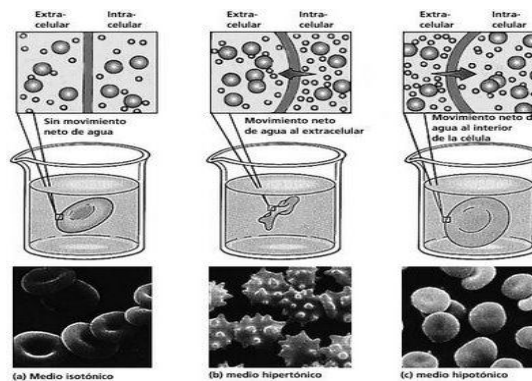
Figura 1.4. Difusión Simple



Fuente: CIENCIASDEJOSELEG, Difusión simple y presión parcial de oxígeno,
http://t2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTJl_j7MVsNr8Z8u5myp9aYgTIGGgQInYLdjy5

- Por difusión de agua, absorbida en diversas capas sobre las superficie de los componentes sólidos del alimento. Ver Figura 1.5

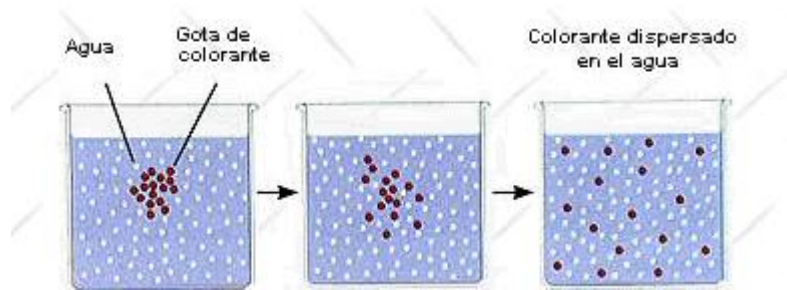
Figura 1.5. Difusión de Agua



Fuente: CERON Hugo, Transporte de sustancias a través de membranas celulares, 2009,
http://4.bp.blogspot.com/_EdiSPJX1jg8/SfjseuJ_wll/AAAAAAABpc/4fjB7mT7Rlw/s400/medios+hipo+iso+hiper.JPG

- Por difusión gaseosa provocada por el gradiente de vapor existente en el interior del alimento. Ver figura 1.6

Figura 1.6. Difusión de Agua



Fuente: RAISMAN JORGE, Transporte de y hacia la célula; 2006, http://www.biologia.edu.ar/cel_euca/transporte.htm#inicio

Los mecanismos por los que el calor se transfiere del alimento al medio circundante, como se ha visto anteriormente proporcionan un criterio de clasificación de los tipos de deshidratadores más utilizados. Por ser los secadores por aire caliente o convectivos los más utilizados en la industria alimenticia se estudiará la operación del secado por aire caliente.

Cuando se requiere diseñar un deshidratador es necesario conocer el mecanismo y la cinética del secado del material a deshidratar, es decir se deben establecer relaciones cuantitativas entre el tiempo que debe durar la operación y las condiciones de secado antes de efectuar cualquier intento de cálculo.

Las variables que determinan el tiempo de secado de un material son:

- Del aire:
Temperatura, velocidad, humedad, características del flujo.
- Del Producto:
Humedad, tamaño, forma, estructura.

1.1.3. MECANISMOS DE TRANSMISIÓN DE CALOR.

El transporte de calor tiene lugar en primer término, hacia la interfase sólido-gas, y en segundo lugar a través del sólido.

La transferencia de calor hacia la interfase puede realizarse por los tres mecanismos conocidos: Conducción, Convección y Radiación.

Algunas ocasiones uno de estos mecanismos es el que predomina, mientras que en otras el calor se transmite por combinación de ellos.

1.1.3.1. CONDUCCIÓN.

Cuando el calor se transmite a través de un cuerpo por transporte molecular, ósea, por movimiento de moléculas individuales sin que exista mezcla, se dice que se transmite por conducción. Ver figura 1.7. La ecuación que interpreta el flujo de calor unidireccional a través de un material cualquiera es la siguiente:

$$q = -K \cdot A \frac{dt}{dl} \quad \text{Ecuación 1.1.}$$

(Con signo – porque el calor se transmite en el sentido de las temperaturas decrecientes)

Y cuando el régimen es estacionario:

$$q = \frac{K}{l} A_m (T_p - T_i) \quad \text{Ecuación 1.2.}$$

Donde:

K: Conductividad térmica del material a través del cual se transmite calor (W/m*°C)

T_p: Temperatura de la placa (°C)

T_i: Temperatura de la interfase (°C)

A_m: Área medida a través de la cual se transmite el calor (m²)

l: Espesor de la placa a través de la que fluye el calor (m²)

El área medida A_m de transmisión es perpendicular al flujo de calor y el espesor l se mide paralelamente a él.

La conductividad térmica de líquidos y gases es muy pequeña en comparación con la de los sólidos.

Figura 1.7. Conducción



Fuente: ANDUJAR ANTONIO, Conducción de calor, 2009, http://1.bp.blogspot.com/_haafdG3gzjw/SxVfvLxPeI/AAAAAAAAAB90/r4-WAUM03nY/s400/conduccion2.jpg

1.1.3.2. CONVECCIÓN.

Cuando el calor se transmite por mezclas de las partes calientes con las frías de un mismo material, es decir por movimiento de porciones macroscópicas o racimos de moléculas, el mecanismo se conoce con el nombre de convección o transporte turbulento de calor. Ver figura 1.8. La convección está restringida al caso de los fluidos. Es muy raro que el calor se transmita a través de los fluidos por conducción pura sin que exista algo de convección, debido a que se forman torbellinos por los cambios de densidad producidos por la temperatura. Por esta razón los términos conducción y convección se utilizan con frecuencia juntos. La ecuación general de la convección para régimen estacionario es:

$$q = h_c \cdot A''(T - T_i) \quad \text{Ecuación 1.3.}$$

h_c : coeficiente individual de transmisión de calor por convección a través de la fase gas.

Esta dado en $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$

A'' : Área de transmisión de calor perpendicular a la dirección del flujo (m^2)

T : Temperatura del gas ($^\circ C$)

T_i : Temperatura de la interface ($^\circ C$)

Figura 1.8. Convección



Fuente: ANDUJAR ANTONIO, Convección de calor, 2009, [http://3.bp.blogspot.com/_haafdG3gzjw/SxVgqCJHoal/AAAAAAAAAB-E/UFpBYoatBrw/s400 / conveccion.jpg](http://3.bp.blogspot.com/_haafdG3gzjw/SxVgqCJHoal/AAAAAAAAAB-E/UFpBYoatBrw/s400/conveccion.jpg)

1.1.3.3. RADIACIÓN.

Radiación es la denominación que se da a la transmisión de energía a través del espacio por medio de ondas electromagnéticas. Ver figura 1.9. Si la radiación atraviesa un espacio vacío, no se transforma en calor ni en ninguna otra forma de energía y no es desviada de su camino. Si encuentra materia en este camino, la radiación será transmitida reflejada o absorbida. Únicamente la energía absorbida es la que aparece en forma de calor y su transformación es cuantitativa.

Figura 1.9. Radiación

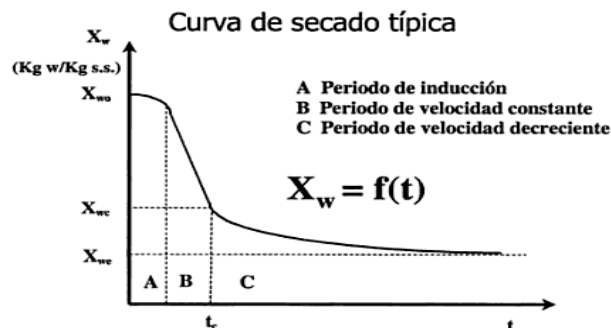


Fuente: ANDUJAR ANTONIO, Radiación de calor, 2009, http://1.bp.blogspot.com/_haafdG3gzjw/SxVgNEgVIII/AAAAAAAAAB98/s8FxC9wLkY/s400/radiacion.jpg

1.1.4. CURVA DE SECADO.

La curva de secado será útil para la determinación directa del tiempo necesario en el secado discontinuo de grandes partidas, bajo las mismas condiciones de secado. Se distinguen tres zonas características, la primera en donde la pendiente de la curva aumenta ligeramente con el tiempo, luego se puede ver una zona de pendiente constante y una tercera zona en donde la pendiente disminuye con el tiempo. Ver Figura 1.10

Figura 1.10. Curva de Secado



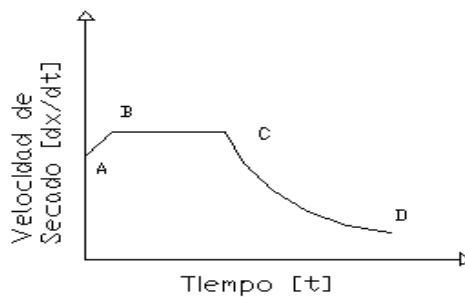
Fuente: MAUPOEY, Fito y otros, Introducción al secado de alimentos, Universidad *Politécnica de Valencia, 2001.Pág. 48.

1.1.5. PERIODOS DE DESHIDRATACIÓN.

En el tiempo total de secado deben de considerarse tres períodos distintos:

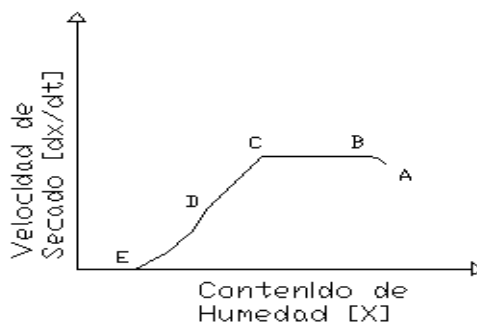
Del gráfico anterior se puede apreciar dos partes notorias de la curva de secado: un período de régimen constante y uno de caída de régimen, aunque teóricamente existen tres etapas ó períodos de secado, como se puede observar con más detalle en las figuras 1.11 y 1.12.

Figura 1.11. Velocidad de secado vs Tiempo



Fuente: GEAN, Koplis, Proceso de transporte y operaciones unitarias, tercera edición, México, 1998, Pág. 598.

Figura 1.12. Velocidad de secado vs Contenido de humedad



Fuente: GEAN, Koplis, Proceso de transporte y operaciones unitarias, tercera edición, México, 1998, Pág. 598.

Curva de estabilización inicial (ETAPA A-B): Es una etapa de calentamiento o enfriamiento inicial del sólido, normalmente de poca duración en la cual la evaporación no es significativa por su intensidad, ni por su cantidad. En esta etapa el sólido se calienta desde la temperatura ambiente hasta que se alcanza el equilibrio, entre el enfriamiento por evaporación y la absorción de calor de los gases. Este equilibrio se alcanza a la temperatura de bulbo húmedo del gas.

Curva de velocidad constante del secado (ETAPA B-C): Es el llamado el primer periodo de secado o periodo de velocidad de secado constante, donde se evapora la humedad libre o no ligada del material y predominan las condiciones externas. En este período el sólido tiene un comportamiento no higroscópico⁴. La velocidad de secado se mantiene constante si el gas tiene un estado estacionario y en general depende solo de las propiedades y velocidad del mismo. Si durante el proceso, el gas se enfría, la velocidad de secado decrece, pero sigue en esta zona dependiendo de factores externos al sólido. Durante este periodo la temperatura del solido se mantiene igual a la del bulbo húmedo del gas, ya que se mantiene el equilibrio al final de la etapa de calentamiento.

Curva de velocidad decreciente (ETAPA C-E): Es el segundo período de secado o periodo de velocidad de secado decreciente, donde se evapora la humedad ligada del material y predominan las condiciones internas o las características internas y externas simultáneamente. En estas condiciones el sólido tiene un comportamiento higroscópico.

Durante el período, la temperatura del material sobrepasa la del bulbo húmedo debido que en el descenso de la velocidad de secado rompe el equilibrio térmico que mantiene estable la temperatura, y una parte considerable del calor se emplea en un calentamiento del sólido.

Entonces la humedad deberá ser extraída del interior del material con el consiguiente incremento de la resistencia a la evaporación.

⁴ **Higroscópico.**- Se aplica al cuerpo o compuesto químico que absorbe la humedad del aire.

Este período de velocidad decreciente puede dividirse en dos partes con diferentes comportamientos de la velocidad de secado, la cual decrece cada vez más al disminuir la humedad del sólido. Esto implica dos modelos de secado diferente en dicha zona.

Un parámetro muy importante a determinar en los materiales a secar, es la humedad a la cual se cambia del primero al segundo periodo, llamada humedad crítica. Esta depende del tipo de material y de la relación de secado en el primer periodo.

La forma de la curva de secado en el segundo periodo varía con dependencia de las características del material a secar.

En la práctica el comportamiento de los alimentos puede ser distinto del que se esperaría de acuerdo a las curvas de deshidratación teórica. Esto se debe a que en ellos se produce cierto grado de retracción, que provoca cambios en la temperatura y en la velocidad de difusión del vapor en diferentes partes del alimento, así como los cambios en la temperatura y la humedad relativa del aire utilizado para la deshidratación.

1.1.6. TIEMPO DE DESHIDRATACIÓN.

El tiempo del proceso de deshidratación y la humedad del producto final, dependerán de la temperatura aplicada, de la localización del secador, de las condiciones climáticas del lugar, y de las características del producto.

Deshidratándose más rápido los productos trazados en pequeñas porciones y con una mayor superficie de secado.

El método usado para determinar el tiempo de secado se basa en una ecuación cinética, que permite describir todo el proceso de secado hasta obtener el nivel deseado de humedad. Se parte de la definición de velocidad de secado, y en donde se debe aplicar el valor previamente obtenido de la tasa de transferencia de calor de la siguiente ecuación:

$$R_c = \frac{\alpha A_{T_{sec}}}{\Delta h_{fg}} (T - T_{bh}) \quad \text{Ecuación 1.4.}$$

En donde:

R_c = Velocidad de secado. [Kg agua/s]

Δh_{fg} = Calor latente o entalpia de vaporización. [KJ/Kg]

α = Tasa de transferencia de calor. [W/m² oK]

$A_{T_{sec}}$ = Área tola de secado. [m²]

T = Temperatura de flujo de aire. [°K]

T_{bh} = Temperatura de bulbo húmedo. [°K]

El valor del calor latente se obtiene en la tabla de propiedades de agua, entrando con la temperatura superficial del producto que es equivalente a la temperatura de bulbo húmedo, obteniendo 2370.7 [KJ/Kg]

Remplazando se obtiene la velocidad de secado igual a 0.0063 [Kg agua/s]

Entonces el tiempo total de secado es la suma del tiempo de secado en el régimen constante y el tiempo en el régimen decreciente. Así pues:

$$t = t_c + t_D \quad \text{Ecuación 1.5.}$$

En donde:

t = Tiempo total de secado. [h]

t_c = Tiempo de secado en régimen constante. [h]

t_D = Tiempo de secado en régimen decreciente. [h]

El tiempo de secado en el régimen constante se puede determinar a través de la siguiente ecuación:

$$t_c = \left(\frac{X_{do} - X_{dc}}{3600 \cdot R_c} \right) \cdot C_s \quad \text{Ecuación 1.6.}$$

En donde:

t_c = Tiempo de secado en régimen constante. [h]

X_{do} = Humedad inicial del producto en base seca. [Kg. agua/Kg. masa seca]

X_{dc} = Humedad crítica del producto en base seca. [Kg. agua/Kg. masa seca]

C_s = Masa seca de la carga de secado. [Kg. masa seca]

Una vez que ha transcurrido el tiempo necesario en el cual el producto se ha estado deshidratando constantemente, empieza el régimen decreciente en el cual es más lento el secado, zona en la cual el tiempo se determina a través de la ecuación siguiente:

$$t_D = \frac{(X_{dc} - X_{d*}) \cdot C_s}{3600 \cdot R_c} \cdot \ln \left(\frac{X_{dc} - X_{d*}}{X_{df} - X_{d*}} \right) \quad \text{Ecuación 1.7.}$$

En donde:

t_D = Tiempo de secado en régimen decreciente. [h]

X_{d*} = Humedad de equilibrio en base seca. [Kg. agua/Kg. masa seca]

X_{df} = Humedad final del producto en base seca. [Kg. agua/Kg. masa seca]

Estas son las ecuaciones que permiten determinar los periodos (tiempos) de deshidratación, tanto en régimen constante como en caída de régimen.

1.1.7. CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE UN DESHIDRATADOR.

La capacidad de producción es la relación de peso del producto fresco total que se alimenta para ser deshidratado. En general, cada tipo de secador solar tiene un funcionamiento más apropiado en cierto rango de capacidad de producción. A continuación se muestran las características de algunos tipos de secadores más comunes según la capacidad de su producción. Ver tabla 1.2

Tabla 1.2. Capacidad de producción de los deshidratadores.

Capacidad de producción	Modo de calentamiento	Circulación de aire	Forma de operación
Pequeña o baja.	Directo	Convección natural	En tanda
Baja o media	Directo	Acción del viento	En tanda
		Convección natural	En tanda
	Indirecto	Convección Natural	En tanda
Media a alta	Indirecto	Forzada	En tanda
	Mixto o Indirecto	Convección forzada	Continua

Fuente: HBSC, Deshidratación solar, http://www.geocities.ws/leon_df

1.1.8. TEMPERATURA DE DESHIDRATACIÓN.

La temperatura ideal para el secado oscila entre los 38 a 71 °C, asegurando la destrucción de las bacterias y la inactivación de las enzimas. Una temperatura de 43°C es la que recomiendan los expertos en el tema. Ya que demasiado calor, sobre todo al inicio del proceso, impide un deshidratado completo. Una vez que el producto está seco se debe dejar enfriar para almacenar.

1.2. DESHIDRATADORES.

Los deshidratadores se pueden clasificar por el procedimiento de transmitir el calor al sólido húmedo, por el método de operación y por el tipo de producto a deshidratar. Es así que se tiene:

- Por el método de operación:
 - Continuos
 - Discontinuos

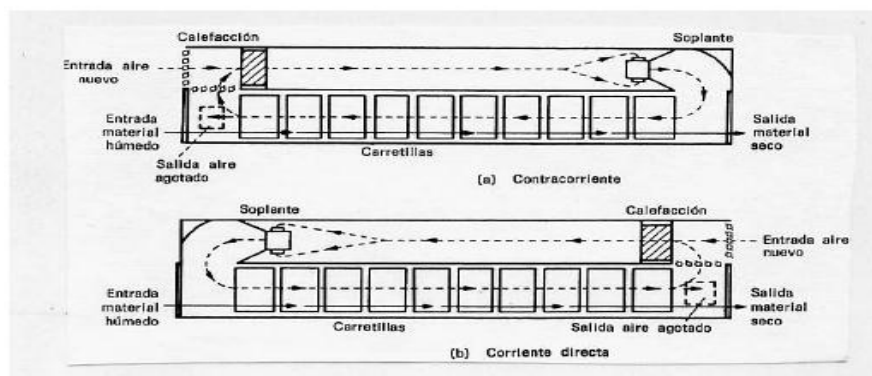
- Por el método de proporcionar calor:
 - Directos (Conducción)
 - Indirectos (Convección)
- Por la naturaleza del producto a deshidratar:
 - Solido rígido
 - Solido granular
 - Otros

1.2.1. DESHIDRATADORES CONTINUOS.

Es proceso de producción a gran escala, ya que permite tener un producto deshidratado de manera constante. El funcionamiento de este tipo de secador es colocar el producto húmedo en un extremo para que se desplace de manera continua, de modo que al terminar su recorrido se encuentre libre de humedad.

En este proceso de deshidratación, el producto húmedo es alimentado continuamente, y el producto terminado se lo retira de igual manera. Ver figura 1.13

Figura 1.13. Proceso de deshidratación continuo

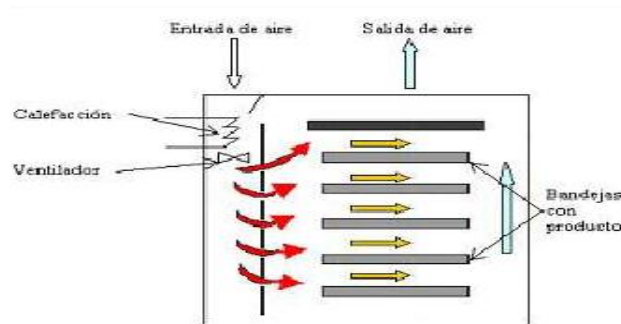


Fuente: HBSC, Deshidratación, <http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r46874.DOC>

1.2.2. DESHIDRATADORES DISCONTINUOS O POR LOTE (TANDA).

Es un proceso cíclico, el producto se coloca en la cámara de deshidratación, se lo deshidrata hasta las condiciones requeridas, y se lo retira del equipo para volver a cargarlo con un nuevo lote, este tipo de proceso se lo usa en procesos de pequeña escala. Ver figura 1.14

Figura 1.14. Proceso de deshidratación discontinuo (por tandas)



Fuente: HBSC, Deshidratación, <http://es.scribd.com/doc/72075806/Secadores-discontinuos>

1.2.3. DESHIDRATADORES DIRECTOS.

Los deshidratadores por convección son usados para secar partículas y alimentos en forma laminar o en pasta. El calor se suministra a través de aire caliente o gas, el cual fluye a través de la superficie del sólido. Estos deshidratadores convectivos o directos pueden a su vez ser:

- **De bandejas o charolas.-** Funciona mediante un ventilador que recircula aire sobre la superficie de las charolas, también puede usar calor por medios eléctricos.
- **De túnel.-** Son compartimentos de bandejas que operan en serie, en donde las bandejas se desplazan continuamente por un túnel con gases calientes que pasan sobre la

superficie de las bandejas y un ventilador extrae cierta cantidad de aire hacia la atmosfera.

- **Rotatorios.-** Consta de un pequeño cilindro que gira sobre su eje con una ligera inclinación y el calentamiento se lleva a cabo por contacto directo de gases calientes mediante un flujo a contra corriente, también puede ser a través de la pared calentada del cilindro.
- **Por aspersion.-** Un líquido se atomiza o rocía en una corriente de gas caliente para obtener una lluvia de gotas finas. El agua se evapora de dichas gotas con rapidez y se obtiene partículas secas de solido que se separan de la corriente de gas.

1.2.4. DESHIDRATADORES INDIRECTOS.

Los deshidratadores por conducción o indirectos son adecuados para productos de poco espesor o con alto grado de humedad. El calor para la eliminación de agua se suministra a través de superficies calientes (estáticas o en movimiento).

Este tipo de deshidratadores pueden ser:

- **De tambor.-** Consta de un tambor de metal calentado que gira, en cuyo interior se evapora una capa delgada de líquido o suspensión hasta secarse, después se raspa el sólido seco de las paredes.
- **Indirectos al vacío con anaqueles.-** Es un gabinete cerrado con bandejas o anaqueles que opera al vacío. El calor se conduce a través de las paredes metálicas y por radiación entre los anaqueles. Se usa principalmente para materiales sensibles a la temperatura o que se oxiden fácilmente.

1.2.5. DESHIDRATADORES POR RADIACIÓN.

Se lleva a cabo mediante radiación electromagnética cuya longitud de onda se encuentra dentro del rango de espectro solar y microondas.

1.2.6. DESHIDRATADORES SOLARES.

Un deshidratador de aire atmosférico no es más que una cámara especial provista de un generador de aire caliente y que está diseñada de tal manera que se permite la circulación del aire a través y alrededor de los alimentos que serán colocados en unas bandejas o depósitos según el tipo de secador. Ver figuras 1.15 y 1.16

Las velocidades utilizadas del flujo del aire en este tipo de deshidratadores están en el rango de 1 a 8 m/s.

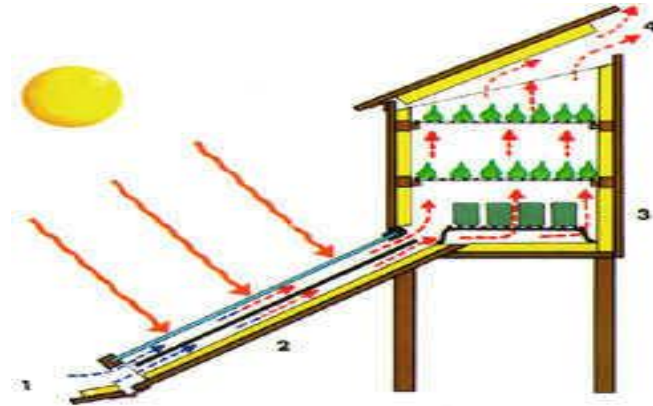
El aire es calentado mientras entra al deshidratador por medio de intercambios de calor, mediante el uso de resistencias eléctricas, combinación directa con gases de combustión o mediante la utilización de colectores solares.

Muchas veces para que la circulación del aire sea la adecuada se colocan ventiladores, pero esto depende de la capacidad de almacenamiento de la cámara. Sin embargo para pequeños prototipos son comunes los deshidratadores sin ventilador ya que las cantidades de producto a deshidratar son menores respecto a los procesos de deshidratación industrializados.

El agua escapa de la superficie de los alimentos por los siguientes mecanismos:

- Capilaridad
- Difusión, provocada por las diferencias en las concentraciones de solutos entre las distintas partes del alimento.
- Por difusión del agua, absorbida en diversas capas sobre la superficie de los componentes sólidos del alimento.
- Por difusión gaseosa provocada por el gradiente de vapor existente en el interior del alimento.

Figura 1.15. Esquema general de un deshidratador de aire atmosférico.



Fuente: HBSC, Deshidratación, <http://www.fao.org/Wairdocs/X5403S/x5403s0d.htm>

La capa superficial de aire que rodea al alimento, dificulta, durante la deshidratación, tanto la transferencia de calor, como la salida de vapor. Su espesor esta principalmente determinado por la velocidad del aire.

Si esta es demasiado baja el vapor que abandona la superficie del alimento, aumenta la humedad relativa del aire circundante, reduciendo el gradiente de presión de vapor y dificultando la deshidratación.

De forma semejante si la temperatura del aire desciende o su humedad relativa aumenta, la velocidad de evaporación disminuye y la deshidratación se hace más lenta.

La temperatura máxima que se puede utilizar es 70°C. Si se inicia la deshidratación con una temperatura elevada, el agua de los tejidos superficiales se evapora demasiado rápido. Esto dificulta la salida del agua de los tejidos internos, dando como resultado productos de baja calidad.

Temperaturas elevadas y una humedad baja, causan la caramelización de los azúcares presentes en las frutas.

El aire que ingresa a la cámara sale por la chimenea para eliminar una parte del aire saturado, y lograr de esta manera que la humedad relativa del aire se mantenga en alrededor del 60%.

Figura 1.16. Deshidratador solar de bandejas



Fuente: HBSC, Deshidratación, <http://4.bp.blogspot.com/-tW4Rvma0bUk/TdKZUAKbbcI/AAAAAA AAADA/jMTSjwy-sjA/s1600/DiagramaDeshidra.png>

La entrada de aire se encuentra en la parte inferior del colector mientras que la salida se sitúa en la parte alta del armario. El tipo circulación del aire es natural por convección. Estos deshidratadores son adecuados para alimentos, hierbas, flores, etc, en cantidades pequeñas a medianas, en función del tamaño y la capacidad del equipo.

1.2.7. COMPONENTES DEL DESHIDRATADOR SOLAR.

Un deshidratador por aire está integrado por tres partes fundamentales: a) colector solar de aire caliente; b) cámara de secado y c) bandejas.

El colector solar.- Tiene como objetivo básico capturar la energía del sol, y transformarla en energía calórica.

La cámara de secado.- Es un sitio cerrado, ubicado en la parte alta del colector solar y debe ser cubierta con un material buen conductor de calor y llevar unos pequeños

orificios usados como chimenea que permita el flujo de aire entre el interior y el exterior.

Las bandejas.- Son el lugar donde va colocado el producto a procesar y estas a su vez van dentro de la cámara de deshidratación.

.La disposición del colector en la parte baja del equipo y con una cierta inclinación, junto con la salida de aire en la parte alta, facilita el movimiento del aire que es más rápido que en el caso del deshidratador de gabinete.

1.2.8. FUNCIONAMIENTO DEL DESHIDRATADOR SOLAR.

En el deshidratador solar, el aire se calienta en el colector solar antes de pasar a la cámara de secado. El producto a secar se coloca sobre una malla en el interior del secador. El aire entra por la abertura inferior del secador, sube por convección natural y pasa por la cámara de secado retirando la humedad del producto. Finalmente el producto se retira manual o automáticamente, pasado el tiempo de secado.

1.3. COLECTORES SOLARES.

1.3.1. COLECTOR SOLAR.

Un colector solar es una especie de intercambiador de calor que transforma la energía radiante en calor. Ver figura 1.17. La transferencia de energía se hace desde una fuente radiante (sol), hacia un fluido (agua o aire generalmente) que circula por los tubos o ductos del colector. El flujo de energía radiante que finalmente intercepta el colector, proviene básicamente del rango visible del espectro solar (longitudes de onda entre 0.29 y 2.5 μm) y es por naturaleza variable con el tiempo. En condiciones óptimas podemos esperar como máximo, flujos de 1100 W/m². De esta forma, un análisis de colectores solares presenta problemas relacionados con radiación y flujos de energía pequeños y variables.

Dentro de los diversos tipos de colectores solares, los colectores solares planos son los más comunes. Estos pueden ser diseñados y utilizados en aplicaciones donde se requiere que la energía sea liberada a bajas temperaturas, debido a que la temperatura de operación de este tipo de colectores, difícilmente pasa los 100 °C.

Las ventajas que podemos obtener de este tipo de colectores con respecto a los colectores de enfoque, que concentran la radiación solar; es que éstos utilizan la energía solar directa y difusa, no requieren movimiento continuo para dar seguimiento al sol, prácticamente no necesitan mantenimiento y son mecánicamente de construcción más simple que los colectores concentradores. Las principales aplicaciones de estos dispositivos son en el campo del calentamiento de agua a nivel doméstico e industrial, acondicionamiento calorífico de edificios y secado de fruta y granos.

En el presente capítulo se analizará detalladamente el funcionamiento térmico teórico de los colectores solares planos, donde se verá qué función juega cada una de sus partes. Aunque en general el análisis se hace para colectores que utilizan un líquido como fluido de trabajo, haciendo pequeños cambios convenientes, este también sirve para colectores que trabajan con gases. En general, cuando se hable de un líquido, se tratará de agua fluyendo a través de un tubo y cuando se hable de un gas, entenderemos que es aire fluyendo por un ducto que puede tener muy diversas formas.

Figura 1.17. Colector Solar



Fuente:KELVIN. Lui, Colector solar;http://www.ecoinnova.com/fileadmin/user_upload/content/images/calefaccion_solar/2.2.2-2.jpg

En muchos climas un calentador solar puede disminuir el consumo energético, si se este es utilizado para calentar agua. Tal disminución puede llegar a ser de hasta 50%-75% o inclusive 100% si se sustituye completamente, eliminando el consumo de gas o electricidad.

Aunque en muchos países, por lo general en vías de desarrollo con climas muy propicios para el uso de estos sistemas, no los utilizan debido al costo inicial que se debe de cubrir para calentar la primera gota de agua.

Se recomienda limpiar el colector cada 4 o 6 meses para aumentar su eficiencia y vida útil. La eficiencia para captar la energía solar es muy elevada en los calentadores solares.

Dependiendo de la tecnología y materiales implementados, puede llegar a tener eficiencias de 70% u 80%. No debemos confundirnos con el panel fotovoltaico, el cual no se utiliza para calentar substancias, sino para generar electricidad a partir de la luz.

1.3.2. FUNCIONAMIENTO.

Los colectores solares planos funcionan aprovechando el efecto invernadero, el mismo principio que se puede experimentar al entrar en un coche aparcado al sol en verano. El vidrio actúa como filtro para ciertas longitudes de onda de la luz solar: deja pasar fundamentalmente la luz visible, y es menos transparente con las ondas infrarrojas de menor energía.

El sol incide sobre el vidrio del colector, que siendo muy transparente a la longitud de onda de la radiación visible, deja pasar la mayor parte de la energía. Ésta calienta entonces la placa colectora que, a su vez, se convierte en emisora de radiación en onda larga o (infrarrojos), menos energética. Pero como el vidrio es muy opaco para esas longitudes de onda, a pesar de las pérdidas por transmisión, (el vidrio es un mal aislante térmico), el recinto de la caja se calienta por encima de la temperatura exterior. Ver figura 1.18

Figura 1.18. Colector Solar



Fuente: MUNDOSOLAR, http://www.ecoinnova.com/fileadmin/user_upload/content/imagenes/calefaccion_solar/2.2.2-2.jpg

Al paso por la caja, el fluido calo portador que circula por los conductos se calienta, y transporta esa energía térmica a donde se desee.

El rendimiento de los colectores mejora cuanto menor sea la temperatura de trabajo, puesto que a mayor temperatura dentro de la caja (en relación con la exterior), mayores serán las pérdidas por transmisión en el vidrio. También, a mayor temperatura de la placa captadora, más energética será su radiación, y más transparencia tendrá el vidrio a ella, disminuyendo por tanto la eficiencia del colector.

1.3.3. CLASIFICACIÓN DE LOS COLECTORES.

Los colectores solares pueden ser:

- **Colector termosifónico:** Su funcionamiento es por convección natural, por lo que no requiere bomba circuladora (sistema de bombeo). Se adquiere ya montado y preparado para ser instalado y producir agua caliente sanitaria (ACS). Tampoco necesita sistema de regulación. Ver figura 1.19.

Figura 1.19. Colector termosifónico



Fuente: CLIMATORRES, Colector solar térmico, <http://www.colectorsolar.com/>

- **Colector de placa plana:** Generalmente se utilizan para tener agua caliente sanitaria (acs) y para calefacción solar. En ocasiones también se utilizan para climatizar piscinas. Ver figura 1.20.

Figura 1.20. Colector placa plana



Fuente: CLIMATORRE, Colector de placa, <http://www.colectorsolar.com/>

- **Colectores de vacío:** Su instalación se aconseja en aquellos casos que los colectores de placa plana presentan dificultades para conseguir las temperaturas de consumo del agua. Ver figura 1.21.

Figura 1.21. Colector termosifón



Fuente: OWOSI, Colector termosifón, <http://www.es.chinasolarwatwergatersheaters.net>

Colectores de polipropileno: Utilizados para calentar el agua de una piscina y alargar unos meses la temporada de baño. Ver figura 1.22.

Figura 1.22. Colector de polipropileno



Fuente: <http://www.colectorsolar.com/>

• **Colectores cilindro parabólicos:** Son utilizados a nivel industrial. Ver figura 1.23.

Figura 1.23. Colector cilindro parabólico



Fuente: <http://www.colectorsolar.com/>

1.3.4. APLICACIONES.

Básicamente, recogiendo de forma adecuada la radiación solar "energía solar", se puede obtener calor y electricidad.

El calor se logra mediante los captadores o colectores térmicos, y la electricidad, a través de los llamados módulos fotovoltaicos. Ambos procesos nada tienen que ver entre sí, ni en cuanto a su tecnología ni en su aplicación.

Al hablar de los sistemas de aprovechamiento térmico. El calor recogido en los colectores puede destinarse a satisfacer numerosas necesidades. Por ejemplo, se puede obtener agua caliente para consumo doméstico o industrial, o bien para dar calefacción a nuestros hogares, hoteles, colegios, fábricas, etc. Incluso se puede climatizar las piscinas y permitir el baño durante gran parte del año.

1.3.5. COLECTOR SOLAR DE PLACAS PLANAS.

En general un colector de placa plana actúa como un receptor que recoge la energía procedente del Sol y calienta una placa. La energía almacenada en la placa es transferida al fluido. Usualmente, estos colectores poseen una cubierta transparente de vidrio o plástico que aprovecha el efecto invernadero, formado por una serie de tubos de cobre, los cuales expuestos al sol absorben la radiación solar y se la transmiten al fluido que atraviesa su interior.

En los procesos térmicos los colectores de placa plana interceptan la radiación solar en una placa de absorción por la que pasa el llamado fluido portador. Éste, en estado líquido o gaseoso, se calienta al atravesar los canales por transferencia de calor desde la placa de absorción.

La energía transferida por el fluido portador, dividida entre la energía solar que incide sobre el colector y expresada en porcentaje, se llama eficiencia instantánea del colector.

Los colectores de placa plana tienen, en general, una o más placas cobertoras transparentes para intentar minimizar las pérdidas de calor de la placa de absorción en un esfuerzo para maximizar la eficiencia. Son capaces de calentar fluidos portadores hasta 82 °C y obtener entre el 40 y el 80% de eficiencia.

Los colectores de placa plana se han usado de forma eficaz para calentar agua y para calefacción. Los sistemas típicos para casa-habitación emplean colectores fijos, montados sobre el tejado. En el hemisferio norte se orientan hacia el Sur y en el hemisferio sur hacia el Norte. El ángulo de inclinación óptimo para montar los colectores depende de la latitud. En general, para sistemas que se usan durante todo el año, como los que producen agua caliente, los colectores se inclinan (respecto al plano horizontal) un ángulo igual a los 15° de latitud y se orientan unos 20° latitud S o 20° de latitud N.

1.3.6. COLECTOR SOLAR DE LA UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA.

El colector solar de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, fue construido con fines didácticos, para la posterior aplicación en algún sistema, es así que en el presente trabajo se plantea un prototipo de deshidratador usando la energía del colector mencionado.

Dicho colector ha sido diseñado considerando los siguientes aspectos:

- Datos climatológicos
- Datos de materiales
- Datos de geometría o diseño
- Constantes
- Otros datos

1.3.6.1. DATOS CLIMATOLÓGICOS.

Cuantifican las energías con las que se desarrolla el fenómeno que se quiere explicar, los datos son:

Presión atmosférica.- Corresponde a la situación del equipo, en este caso para la ciudad de Quito, se deduce este valor interpolando cantidades de tablas termodinámicas.

Temperatura absoluta.- Es la temperatura a la que está expuesto el equipo, este dato se lo encuentra en las tablas de Mahoney.

Temperatura ambiental.- Se necesitan termómetros para su medición.

Velocidad del viento.- Se suele confundir esta cantidad con la proporcionada por el ventilador, lo cual resulta un grave error. Esta variable afecta a la energía del coeficiente de transferencia de calor del aire que está alrededor del colector, y esta a su vez modifica la irradiación por parte del sol.

Esta cantidad está descrita claramente en las tablas de Mahoney, redactadas exclusivamente para el Ecuador.

1.3.6.2 DATOS DE MATERIALES.

Están en función de las propiedades de los materiales generan ciertas condiciones para la captación o desviación de energía. Estas constantes de los materiales son:

Masa de la placa colectora.- es donde se alberga el calor captado que luego será transferido al móvil de generación de calor.

Calor específico de la placa.- Representa la cantidad de calor requerido para elevar un grado a una unidad de masa del material comparado con la cantidad de calor necesario para elevar un grado a una unidad de masa del agua, depende del material escogido.

Transmitancia de la cubierta.- Es una propiedad exclusiva del material, su valor esta dado en tablas propias del material.

Absortancia del colector.- Es una propiedad del material colector, su valor esta descrito en tablas.

Emisividad.- Es una característica propia de cada material y representa la relación de la potencia radiante total de una superficie real a la de una superficie negra, emitancia significa el poder de expedir energía por parte de un cuerpo, su valor se lo encuentra en tablas.

Conductividad térmica de los materiales.- Es la capacidad de un material de transportar energía en función de la temperatura en que el material se encuentre, su valor está definido en tablas.

Coefficientes de transferencia de calor.- Propiedad característica de los gases, esta relacionado con la temperatura a la cual está el gas.

1.3.6.3 DATOS DE DISEÑO O GEOMETRÍA.

Son las longitudes, áreas y volúmenes del equipo, están mandados por el diseño. Estos valores son:

- Longitud de la tobera del ventilador
- Radio del ventilador
- Largo de la placa colectora

- Ancho de la placa colectora
- Longitud del primer ducto
- Longitud del segundo ducto
- Altura del primer ducto
- Altura del segundo ducto
- Ángulo de inclinación
- Distancia placa cubierta
- Espesor del aislante posterior
- Componentes longitudinales de la primera recamara
- Componentes longitudinales de la segunda recamara

1.3.6.4 CONSTANTES.

Estos datos ayudan a los cálculos para esta investigación, pueden ser iteraciones o lineales, no cambian con el tiempo, pero están presentes en este fenómeno, a continuación se describen las constantes:

- Constante universal de gas ideal
- Radiación extraterrestre
- Relación empírica desarrollada por Klein
- Constante de Stefan Boltzman

1.3.6.5 OTROS VALORES.

Son conceptos de diseño, medidas, tiempos, etc.

Estos datos son considerados dentro del modelo matemático, son susceptibles de cambio por necesidad de diseño o toma de datos, estos valores son:

- Revoluciones del ventilador
- Numero de ductos colectores conectados en serie
- Numero de cubiertas

- Temperatura de la placa

1.4. LA UVILLA.

En el Ecuador la uvilla ha sido por tradición una fruta casi silvestre y de producción artesanal, hasta hace unos pocos años en que el mercado nacional vio la necesidad de exportarla a gran escala; actualmente los mercados a los que se exporta son países del hemisferio norte como Francia, Alemania y Suiza.

Este cultivo se ha extendido a casi toda la serranía con buenas posibilidades de convertirse en uno de los productos de mayor exportación, la principal demanda de este producto es de manera deshidratada ya que conserva sus propiedades.

1.4.1. CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES DE LA UVILLA.

Las principales características y propiedades de esta fruta se las presenta en la tabla 1.3.

Tabla 1.3. Propiedades físico químicas de la uvilla

CONCEPTO	MEDIDAS
PESO UVILLA SIN CALIZ	2 - 10 (gr)
DIAMETRO	1.25 - 2.50 (cm)
PH	3.50
ACIDEZ	1.66
^a BRIX ⁵	14.43
COLOR	Amarillo quemado
CALORIAS	62 cal
VITAMINA A	1730 UI

⁵ La escala Brix se utiliza en el sector de alimentos, para medir la cantidad aproximada de azúcares en zumos de fruta, vino o bebidas suaves, y en la industria azucarera

Fuente: FrutiGargener, California RareFrutiGrowers, Inc

Contenido de 100g de la parte comestible

Tabla 1.4. Composición Nutricional de la Uvilla

HUMEDAD	80%	CALCIO	8 mg
CARBOHIDRATOS	16 g	FOSFORO	55.30 mg
CENIZAS	1.01 g	HIERRO	1.23 mg
PROTEINAS	0.05 g	CAROTENO	1.61 mg
GRASAS	0.16 g	ROBOFLAMINA	0.03 mg
FIBRA	4.90 g	NIACINA	1.72 mg
ACIDO ASCORBICO	43 mg	TIAMINA	0.01 mg

Fuente: Manejo Pos cosecha de productos hortofrutícolas, EPN.

La uvilla a ser tratada tiene un peso promedio de 3 gramos, un diámetro de 1.4 centímetros, disponibilidad de agua de 0.953%, el calor específico un valor promedio para frutas de características similares 3.3 KJ/Kg•K ⁶

El fruto de la uvilla es una baya carnosa de forma esférica cubierta por un Cádiz que la protege de los insectos, microorganismos patógenos y condiciones climáticas. El principal problema que tiene el fruto, por ser una baya jugosa es el rajado por que posee una epidermis muy delgada y un parénquima con numerosas lagunas, lo que constituye una pérdida importante en la producción.

La uvilla se puede rajar por crecimiento rápido del fruto o por sobre madurez.

⁶ Fuente: Frank Inkropera, Fundamentos de transferencia de calor, Tabla A.3

La uvilla al ser un producto de alto contenido de humedad, es un producto altamente perecible, permite un rápido desarrollo de microorganismos. Un manejo inadecuado o un avanzado grado de madurez en las fruta permiten la contaminación microbiológica.

Para lograr disminuir estas pérdidas se debe mejorar el manejo en la cosecha y la manipulación de las frutas mediante técnicas apropiadas para la deshidratación.

1.4.2. CULTIVOS DE UVILLA EN EL ECUADOR.

Los cultivos de uvilla en el Ecuador atraviesan por diferentes situaciones, podemos resaltar las siguientes:

- La mayoría de cultivos son de pequeños productores
- Bajo nivel de técnica de cultivo: diversas prácticas
- Alto uso de agroquímicos
- Alto uso de mano de obra

También se han realizado estudios de los cultivos y se ha determinado los siguientes datos:

- Las pérdidas en el cultivo de uvilla están alrededor del 13%
- se requiere una elevación de los niveles de producción
- Disminuir los costos de producción
- Mejora en la calidad de la fruta
- Más competitividad en los mercados internacionales.

Es así que se tiene varias alternativas con esta fruta, ya que se puede utilizarla para puré, mermeladas, conservas y deshidratadas como pasas.

1.5. DISPONIBILIDAD DEL AGUA EN LOS ALIMENTOS.

Los alimentos deshidratados debido a que la actividad del agua presente, se disminuye a un nivel tal que una acción microbiana puede ocurrir y donde además las reacciones deteriorativas, químicas y bioquímicas son reducidas al mínimo.

Cuando se deshidrata un alimento, no solo se disminuye su contenido de agua si no que se disminuye la disponibilidad de esta.

La disponibilidad se refiere a que un alimento posee una cantidad de agua y esta no puede estar disponible para reacciones químicas o microbiológicas.

Una forma de expresar esta disponibilidad es mediante el término actividad de agua.

Por analogía, así como el pH es un término que indica el grado de acidez de un alimento, la actividad de agua (a_w), es un término que se emplea para indicar la disponibilidad del agua.

La a_w se representa como la relación de presiones del vapor de agua disponible en el alimento, sobre la presión del vapor de agua pura, ambos permaneciendo a la misma temperatura.

$$a_w = \left(\frac{P_{\text{alimento}}}{P_{\text{agua pura}}} \right) \text{temperatura} \quad \text{Ecuación 1.8.}$$

La disponibilidad del agua no es más que la humedad relativa del aire en contacto con el producto, cuando no existen ni ganancias ni pérdidas de agua entre estos dos. La relación entre la humedad del producto y la disponibilidad del agua para materiales higroscópicos viene representada en curvas isotérmicas o llamadas curvas de equilibrio higroscópico, las cuales se pueden obtener experimentalmente para cada material. El máximo valor es 1,0. Cuando en agua pura se disuelven otras sustancias, el valor de la a_w disminuye, o cuando a un alimento se le retira parte del agua su a_w también disminuye. Si esta disminución es en un porcentaje elevado, el alimento adquiere un

valor de a_w relativamente bajo y se le podrá denominar alimento de humedad intermedia, o IMF. Si las características sensoriales del producto lo permiten, la a_w de los IMF debería estar por debajo de 0,85 o el $pH < 5.0$ ya que uno de estos obstáculos protege el producto contra la presencia de enterotoxina del estafilococo. Sin embargo, los IMF con una $a_w < 0.90$, son microbiológicamente estables si estos reciben un tratamiento térmico suficiente para inactivar los microorganismos. La reducción de este, a_w , a niveles inferiores de 0.7 prevendría un daño microbiológico y conforme se alcanzan valores más bajos, se frenan además ciertas reacciones deteriorarías en el producto, en especial aquellas catalizadas por enzimas. En la tabla 1.5 se puede apreciar cómo la actividad del agua se relaciona con la inhibición bacteriana.

Tabla 1.5. Actividad del agua y crecimiento de microorganismos en alimentos.

Rango de a_w	Microrganismos Generales Inhibidos en este Rango
1.00 – 0.95	Pseudomonas, Escherichia Proteus y algunas levaduras.
0.95 – 0.91	Salmonella, Serratia, algunos mohos y levaduras.
0.91 – 0.87	Muchas levaduras
0.87 – 0.80	Muchos mohos
0.80 – 0.75	Bacterias
0.75 – 0.65	Sacharomyces bisporus
0.65 – 0.60	Levaduras osmofílicas
0.50 – 0.20	No proliferación bacteriana.

Fuente: Cereal Foods World, Larry R. Beuchat, Dep. Food Sc. U Georgia

1.5.1. EQUILIBRIO.

La humedad contenida en un sólido húmedo o en un líquido ejerce una presión de vapor en un grado que depende de la naturaleza de la humedad, de la naturaleza del sólido y de la temperatura. Luego, si se expone un sólido húmedo a una corriente continua de nuevo gas que contiene una presión parcial dada de vapor p_v , podrá el sólido perder humedad por evaporación o ganarla el gas, hasta que la presión de vapor de la humedad del sólido iguale a p_v . Entonces, el sólido y el gas se hallarán en equilibrio, denominándose al contenido de humedad del sólido, el contenido de humedad de equilibrio en condiciones reinantes.

1.5.2. FORMAS DE ENLACE DE LA HUMEDAD CON EL MATERIAL.

El mecanismo del proceso de secado depende considerablemente de la forma de enlace, de la humedad con el material: cuanto más sólido es dicho enlace tanto más difícil transcurre el secado. Durante el secado el enlace de la humedad con el material se altera. Las formas de enlace de la humedad con el material se clasifican en: químico, físico-químico y físico- mecánico. La humedad ligada químicamente es la que se une con mayor solidez al material en determinadas proporciones (estequiométricas) y puede eliminarse sólo calentando el material hasta altas temperaturas o como resultado de una reacción química. Esta humedad no puede ser eliminada del material por secado.

Durante el secado se elimina sólo la humedad enlazada con el material en forma físico-química y mecánica. La más fácil de eliminar resulta la enlazada mecánicamente que a su vez se subdivide en: humedad de los macrocapilares y microcapilares (capilares con el radio medio mayor y menor de 10-5 micras) de longitud. Los macrocapilares se llenan de humedad durante el contacto directo de ésta con el material, mientras que en los microcapilares la humedad penetra tanto por contacto directo, como mediante la

adsorción de la misma en el medio ambiente. La humedad de los macrocapilares se elimina con facilidad no sólo por secado, sino también empleando métodos mecánicos⁷.

1.5.3. CONTENIDO DE HUMEDAD EN LAS SUSTANCIAS.

La humedad es la cantidad de agua presente en un producto que se lo representa en porcentajes, ya sea en base húmeda o en base seca:

Contenido De Humedad, Base Seca: (Xd).

Es la relación que existe entre la masa húmeda del producto, sobre la masa seca del sólido.

$$x_d = \left(\frac{\text{Kg humedad}}{\text{Kg sólido seco}} \right) \text{ Ecuación 1.9.}$$

$$x_d = \left(\frac{w}{s_d} \right) * 100 \quad \text{Ecuación 1.10.}$$

$$W = S_w - S_d \quad \text{Ecuación 1.11.}$$

Donde:

W = Masa de agua [Kg]

S_w = Masa de sólido húmedo [Kg]

S_d = Masa de sólido [Kg]

⁷ Referencia: <http://www.monografias.com/trabajos15/operacion-secado/operacion-secado.shtml>

Contenido De Humedad, Base Húmeda: (X_w).

Se describe como el contenido de humedad en un sólido o en una solución en función del porcentaje en peso de la humedad y, a menos que se aclare, se entiende generalmente que está expresado en base húmeda.

$$\frac{K_{\text{Humedad}}}{K_{\text{Sólido húmedo}}} = \frac{K_{\text{Humedad}}}{K_{\text{Humedad}} + K_{\text{Sólido seco}}} \quad \text{Ecuación 1.12.}$$

$$W_x = \frac{W}{S_w} \times 100 \quad \text{Ecuación 1.13.}$$

El contenido de humedad varía durante el proceso de secado, mientras que la masa del sólido seco es constante, por lo cual es recomendable expresar a la humedad en contenido en base seca, y se debe relacionar las dos formas:

$$X_d = \frac{100 \times X_w}{100 - X_w} \quad \text{Ecuación 1.14.}$$

Humedad De Equilibrio: X^* .

Humedad del sólido cuando su presión de vapor se iguala a la presión de vapor del gas. Es decir, humedad del sólido cuando está en equilibrio con el gas. Por lo tanto ninguno de los dos absorbe ni rechaza humedad.

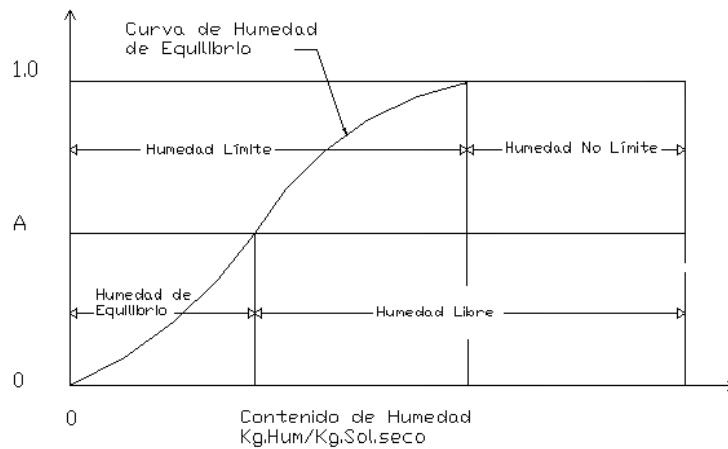
Humedad libre: $X - X^*$.

Es la humedad del sólido que está en exceso con relación a la humedad de equilibrio. Esta es la humedad que se puede evaporar y depende de la concentración de vapor en la corriente gaseosa. Es decir, es la diferencia entre humedad total y humedad de equilibrio.

Humedad límite: Es la humedad del sólido que ejerce una presión de vapor de equilibrio menor que la ejercida por el líquido puro a la misma temperatura.

Humedad no límite: Es la humedad del sólido que ejerce una presión de vapor igual a la del líquido puro a la misma temperatura. En la siguiente figura se muestran representadas dichas humedades.

Figura 1.24. Tipos de humedad.



Fuente: <http://reflow.scribd.com/6ekzjnoa68wfw0x/images/image-15.jpg>

Movimiento de la humedad dentro del sólido.

Cuando se produce la evaporación superficial, debe haber un movimiento de humedad desde las profundidades del sólido hacia la superficie. La naturaleza del movimiento influye en el secado de los periodos de caída del régimen. A continuación se explicarán brevemente algunas de las teorías que se adelantaron para explicar el movimiento de la humedad, y la relación de ésta con las curvas de régimen.

1. Difusión líquida: Se puede producir la difusión de la humedad líquida debido a los gradientes de concentración entre las profundidades del sólido, donde la concentración es alta y la superficie donde ésta es baja.

2. Movimiento capilar: La humedad no límite en sólidos granulares y porosos tales como arcillas, pigmentos de pinturas y otros semejantes, se traslada a través de capilares e intersticios de los sólidos mediante un mecanismo que implica tensión superficial. Los capilares se extienden desde pequeños receptáculos de humedad dentro del sólido hasta la superficie de secado. A medida que se lleva a cabo el secado, al principio la humedad se traslada por capilaridad hacia la superficie con suficiente rapidez, siendo constante el régimen de secado.

3. Difusión de vapor: Especialmente si se suministra calor a una superficie de un sólido, mientras en otra el secado continúa, se puede evaporar la humedad debajo de la superficie, difundiéndola hacia afuera como vapor. También se puede evaporar debajo de la superficie las partículas de humedad existentes en sólidos granulares, en forma aislada de la porción mayor de humedad que fluye a través de los capilares.

4. Presión: Durante el secado, debido a la concentración de las capas externas de un sólido, se puede compeler la humedad hacia la superficie. Usualmente solo podemos conjeturar sobre cual de los mecanismos es el apropiado para cada sólido en particular, debiendo apoyarnos en el trabajo más o menos empírico de los regímenes experimentales de secado.

1.5.4. MASA DE HUMEDAD A REMOVER.

Un elemento fundamental en el proceso de secado es el estudio de la intensidad de la transferencia de masa en el mismo. Para esto es necesario conocer los elementos más útiles de la transferencia de calor y masa que funcionen en los secaderos de contacto directo; éstos dependen de una serie de factores que incluyen condiciones internas y externas. Las condiciones externas están definidas por la resistencia a la transferencia de

calor y por la masa de la capa límite del gas, y en el caso que estas predominen, el secado no dependerá de las características del sólido sino de las condiciones del gas, y estará controlado por la transferencia de masa y calor entre el gas y la superficie del sólido, empleándose en la evaporación todo el calor que se recibe del gas. Aquí la superficie se comporta como una superficie libre de agua. Las condiciones internas están definidas por la transferencia de calor y de masa a través del sólido. En el caso de que predominen, es decir, que la resistencia a la transferencia de masa a través del material sea muy superior a la de la capa límite del gas, la difusión interna controlará el proceso y lo más importante será las propiedades del sólido.

Cuando se seca un sólido se producen dos procesos fundamentales y simultáneos:

- Transmisión del calor para evaporar el líquido.
- Transferencia de masa en humedad interna y líquido evaporado.

Independientemente del mecanismo de transmisión de calor, el mismo que puede ser por conducción, convección, radiación o una combinación de cualquiera de estos, el calor tiene que pasar primero a la superficie exterior, y desde ésta al interior del sólido. En el secado por convección, el calor necesario para la evaporación del líquido se transmite por un agente gaseoso, o un vapor que pasa por encima del sólido o que lo atraviesa. En el secado por conducción el producto que debe secarse se encuentra en recipientes calientes o se desplaza por encima de estos. El calor también se difunde en el sólido a través de la conductividad del propio sólido. En el secado por radiación el calor se transmite por las superficies radiantes próximas.

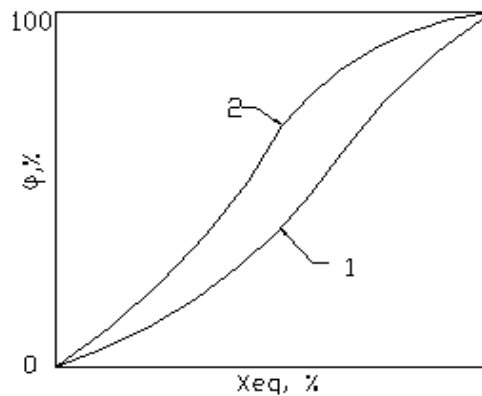
1.5.5. HISTÉRESIS.

Si el material a secar se pone en contacto con el aire húmedo, entonces, en principio, son posibles dos procedimientos:

1.- Secado (desorción de la humedad del material) siendo la presión parcial del vapor (p_m) sobre la superficie del material, superior a su presión parcial en el aire o el gas (p_v), es decir para $p_m > p_v$

2.- Humectación (adsorción de la humedad del material) para $p_m < p_v$. En el proceso de secado, la magnitud p_m disminuye y se aproxima a su límite, $p_m = p_v$. En este caso se da el estado de equilibrio dinámico, al que corresponde la humedad límite del material, llamada humedad de equilibrio (X^*). La humedad de equilibrio depende de la presión parcial del vapor sobre el material (p_v) o de la magnitud de la humedad relativa del aire (hra), que es proporcional a dicha presión y se determina por vía experimental. Para este fin, una muestra del material a secar se coloca en un medio ambiente con distinta humedad relativa (hr); y se pesa periódicamente a intervalos constantes de tiempo. La humedad del material alcanza el equilibrio al lograr que su masa no varíe. Ver figura 1.25

Figura 1.25. Dependencia entre la humedad de equilibrio del material y la humedad relativa del aire



Fuente: <http://reflow.scribd.com/6ekzjnoa68wfw0x/images/image-20.jpg>

Habitualmente el peso constante para las muestras se logra en una desecadora, empleando soluciones de ácido sulfúrico en diferentes concentraciones y así se obtiene

la dependencia entre la humedad de equilibrio del material y la humedad relativa del aire. La dependencia de la humedad de equilibrio del material en función de la humedad relativa del aire se determina manteniendo constante la temperatura, y por tanto, es una isoterma.

La curva 1 de la figura 1.25 fue obtenida al evaporar (desorber) la humedad del material, o sea, al secarlo y se denomina isoterma de desorción.

La curva 2 dispuesta por encima, se obtuvo para el proceso inverso, es decir, humectación del material ya secado, y se llama isoterma de sorción.

La divergencia de las curvas 1 y 2 (histéresis) indica que para lograr una misma humedad de equilibrio del aire, la magnitud (ϕ) durante la humectación del material debe ser mayor, que durante el secado mismo. La causa de la histéresis probablemente se deba a la entrada del aire en los capilares del material secado y su sorción por las paredes de los capilares.

Se concluye que la curva de velocidad de secado consta de un período de velocidad constante y de un período decreciente curvo desde la humedad crítica hasta la de equilibrio, que por ser la curva cóncava hacia arriba, indica que la humedad se elimina por difusión desde las partes internas del material hasta la superficie, y es este el período que se controla en el secado.

1.5.6. ASPECTOS DIMENSIONALES.

Para poder determinar los principales parámetros que intervienen en el aspecto dimensional, se debe considerar en primer lugar a la humedad del producto, por ser la uvilla una fruta que contiene un grado de humedad alto; razón por cual se deben establecer los principales parámetros que afectaran de forma directa a la cámara de secado, como lo son el número de bandejas, y sus correspondientes dimensiones como se verá más adelante. Para el diseño térmico y el análisis dimensional se requiere también; la velocidad del aire, el flujo de aire necesario para retirar el grado de humedad

planteado, así como otros factores necesarios para el diseño de las bandejas como lo son el diámetro de la fruta, la capacidad de carga por cada bandeja, el número de filas de producto que se podrán apilar por bandeja así como la ergonomía propia de estas para poder brindar al operario la máxima facilidad de carga y descarga antes y después de proceso.

Humedad Relativa Y Específica Del Aire.

Se denomina humedad absoluta o específica a la cantidad de vapor de agua que contiene el aire, es decir la cantidad real de vapor de agua en 1 Kg. de aire seco. Esta puede ser establecida de varias maneras, siendo la más lógica, el precisar directamente la masa de vapor de agua contenida en una masa unitaria de aire seco, se representa así:

$$W = \frac{m_v}{m_a} \left(\frac{\text{Kg vapor de agua}}{\text{Kg aire seco}} \right) \text{ Ecuación 1.15.}$$

Esta humedad puede ser también representada de la siguiente manera:

$$W = \frac{m_v}{m_a} = \frac{P_v V / (R_v T)}{P_a V / (R_a T)} = \frac{P_v / R_v}{P_a / R_a} = 0.622 \frac{P_v}{P_a} = \frac{0.622 P_v}{P - P_v} \text{ Ecuación 1.16.}$$

Cuando se añade vapor al aire seco la humedad específica aumentará hasta que el aire ya no pueda contener esta humedad; en este punto se denomina aire saturado. Cualquier humedad que se agregue a partir de este punto se condensará. Se puede emplear la ecuación 1.15. Para determinar la cantidad de vapor de agua en el aire saturado a una temperatura y presión específica, sustituyendo P_v por P_g , presión de saturación a esta temperatura.

La humedad relativa es la proporción entre la cantidad real de humedad en el aire y la cantidad máxima de aire húmedo que puede contenerse a esa temperatura (m_g):

$$\phi = \frac{m_v}{m_g} = \frac{p_v}{p_g} \quad \text{Ecuación 1.17.}$$

Dónde:
$$p_g = p_{\text{sat}@T} \quad \text{Ecuación 1.18.}$$

La humedad relativa puede variar entre 0 para aire seco a 1 para aire saturado. La humedad relativa del aire varía con la temperatura aunque su humedad específica permanezca constante.

La relación existente entre la temperatura y la humedad del aire se puede establecer mediante los llamados diagramas psicrométricos.

La temperatura del aire que fluye se mide a través de dos tipos de sensores. El bulbo seco que es un simple termómetro y el bulbo húmedo que es un termómetro rodeado de una tela húmeda por estar sobre un receptáculo que incluye agua. La evaporación de esta agua enfría este bulbo húmedo y su temperatura siempre será menor que la del bulbo seco. Conociendo la temperatura del bulbo húmedo de un aire determinado, puede hallarse, en un diagrama psicrométrico, su humedad relativa.

En la mayor parte de las aplicaciones, la cantidad de aire seco en la mezcla aire – agua – vapor permanece constante, mientras que la cantidad de vapor de agua puede variar; en consecuencia, la entalpía del aire atmosférico se expresa por unidad de masa del aire seco y no por unidad de la masa de la mezcla aire – agua – vapor⁸

La entalpía total del aire atmosférico es la suma de las entalpías del aire seco y del vapor del agua:

$$H = H_a + H_v = m_a h_a + m_v h_v \quad \text{Ecuación 1.19.}$$

Dividendo para m_a :

⁸ Referencia: YUNUS CENGEL, Termodinámica tomo II Capítulo 13

$$h = \frac{H}{m_a} = h_a + \frac{m_v}{m_a} h_v = h_a + w h_v \left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg aire seco}} \right) \quad \text{Ecuación 1.20.}$$

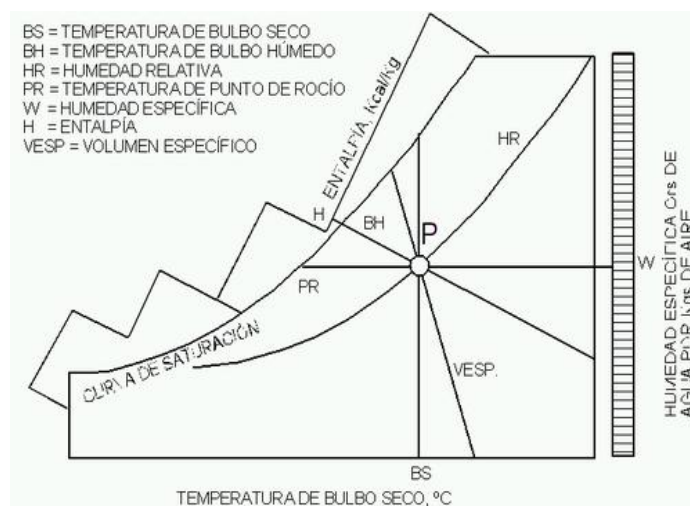
Donde h = Entalpía específica del aire

1.6. LA CARTA PSICROMETRICA.

Una carta psicrométrica es una gráfica de las propiedades del aire, tales como la temperatura, humedad relativa, volumen, presión, etc.

En una carta psicrométrica se muestra la temperatura del bulbo seco en la horizontal y la humedad específica en la vertical. En el extremo izquierdo existe una curva de saturación; las líneas de temperatura de bulbo húmedo tienen una apariencia descendente hacia la derecha; con mayor inclinación aparecen las líneas de volumen específico constante (m^3 / Kg aire seco). Las líneas de entalpía constante se encuentran casi paralelas a las líneas de temperatura del bulbo húmedo (en KJ / Kg de aire seco), como se muestra en la figura 1.26

Figura 1.26. Esquema Representativo Carta Psicométrica



Fuente:http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/ca/Abaco_psicrometrico_conceptual.png/500px

Aunque las tablas psicométricas son más precisas, el uso de la carta psicométrica puede ahorrarnos mucho tiempo y cálculos, en la mayoría de los casos donde no se requiere una extremada precisión.

Existen muchos tipos de cartas psicométricas, cada una con sus propias ventajas. Algunas se hacen para el rango de bajas temperaturas, algunas para el rango de media temperatura y otras para el rango de alta temperatura.

A algunas de las cartas psicométricas se les amplía su longitud y se recorta su altura; mientras que otras son más altas que anchas y otras tienen forma de triángulo, todas tienen básicamente la misma función; y la carta a usar, deberá seleccionarse para el rango de temperaturas y el tipo de aplicación.

En la figura 1.26 se muestra una carta psicométrica básica, contiene datos basados a la presión atmosférica normal de 101.325 Kpa y las unidades son las del Sistema Internacional.

Las temperaturas están en grados centígrados; el volumen en $\frac{m^3}{Kg}$; humedad relativa en porcentajes, el contenido de humedad en $\frac{g}{kg}$ aire seco; la entalpía están en kilo Joules (KJ) por Kg de aire seco.

$$\frac{KJ}{Kg} = 0.239 \frac{kcal}{Kg} = 0.430 \frac{btu}{lb}$$

En una carta psicométrica se encuentran todas las propiedades del aire, de las cuales las de mayor importancia son las siguientes:

- Temperatura de bulbo seco (bs)
- Temperatura de bulbo húmedo (bh)

- Temperatura de bulbo de rocío (pr)
- Humedad relativa (hr)
- Humedad absoluta (ha)
- Entalpía (h)
- Volumen específico

Conociendo dos de cualquiera de estas propiedades del aire, las otras pueden determinarse a partir de la carta.

1.6.1. TEMPERATURA DE BULBO SECO (BS).

En primer término, se tiene la temperatura de bulbo seco, que es la temperatura medida con un termómetro ordinario. Esta escala es la horizontal (abscisa), en la parte baja de la carta, según se muestra en la figura 1.26

Las líneas se extienden verticalmente, desde la parte baja hasta la parte alta de la carta, se llaman líneas de temperatura de bulbo seco constantes o simplemente “líneas de bulbo seco”. Son constantes porque cualquier punto a lo largo de una de estas líneas, corresponde a la misma temperatura de bulbo seco indicada en la escala de la parte baja.

1.6.2. TEMPERATURA DE BULBO HÚMEDO (BH).

Es la segunda propiedad del aire de la carta psicométrica. Corresponde a la temperatura medida con un termómetro de bulbo húmedo, que es la temperatura que resulta cuando se evapora el agua de la mecha, que cubre el bulbo de un termómetro ordinario.

La escala de temperaturas de bulbo húmedo, es la que se encuentra del lado superior izquierdo, en la parte curva de la carta psicométrica, como se muestra en la figura 1.26.

Las líneas de temperatura de bulbo húmedo constantes o líneas de bulbo húmedo, corren diagonalmente de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo, en un ángulo de aproximadamente 30° de la horizontal. También se les dice constantes, porque todos los puntos a lo largo de una de estas líneas, están en la misma línea de bulbo húmedo.

1.6.3. TEMPERATURA DE PUNTO DE ROCÍO (PR).

Es otra propiedad del aire incluida en una carta psicrométrica. Esta es la temperatura a la cual se condensará la humedad sobre una superficie. La escala para las temperaturas de punto de rocío es idéntica que la escala para las temperaturas de bulbo húmedo; es decir, es la misma escala para ambas propiedades. Sin embargo, las líneas de la temperatura de punto de rocío, corren horizontalmente de izquierda a derecha, como se ilustra en la figura 1.26. , no en forma diagonal como las de bulbo húmedo.

Cualquier punto sobre una línea de punto de rocío constante corresponde a la temperatura de punto de rocío sobre la escala, en la curva de la carta.

1.6.4. HUMEDAD RELATIVA (HR).

En una carta psicrométrica completa, las líneas de humedad relativa constante, son las líneas curvas que se extienden hacia arriba y hacia la derecha. Se expresan siempre en porcentaje y este valor se indica sobre cada línea.

Como se indicó previamente, la temperatura de bulbo húmedo y la temperatura de punto de rocío, comparten la misma escala en la línea curva a la izquierda de la carta. Puesto que la única condición donde la temperatura de bulbo húmedo y el punto de rocío, son la misma, es en condiciones de saturación; esta línea curva exterior, representa una condición de saturación o del 100% de humedad relativa.

Por lo tanto, la línea de 100% de HR, es la misma que la escala de temperaturas de bulbo húmedo y de punto de rocío.

Las líneas de HR constante, disminuyen en valor al alejarse de la línea de saturación hacia abajo y hacia la derecha.

1.6.5. HUMEDAD ABSOLUTA (W).

La humedad absoluta, es el peso real del vapor de agua en el aire. También se le conoce como humedad específica. La escala de la humedad absoluta, es la escala vertical (ordenada) que se encuentra al lado derecho de la carta psicrométrica, como se muestra en la figura 1.26.

Los valores de esta propiedad se expresan, como ya sabemos, en gramos de humedad por kilogramo de aire seco (g/Kg), en el sistema internacional y en gramos por libra (gr/lb) en el sistema inglés.

Las líneas de humedad absoluta, corren horizontalmente de derecha a izquierda y son paralelas a las líneas de punto de rocío y coinciden con estas. Así pues, podemos ver que la cantidad de humedad en el aire, depende del punto de rocío del aire.

1.6.6. ENTALPÍA (H).

Las líneas de entalpía constantes en una carta psicrométrica, son las que se muestran en la figura 1.26.

Debe notarse que estas líneas, son extensiones de las líneas de bulbo húmedo; puesto que el calor total del aire, depende de la temperatura de bulbo húmedo. La escala del lado izquierdo lejano a la línea curva, da el calor del aire en Kj/Kg (Kilo Joules por Kilogramo) de aire seco, en el sistema internacional o en btu/lb de aire seco en el sistema inglés. Esta escala aumenta de -6 Kj/kg a la temperatura de -10° C de bulbo húmedo hasta aproximadamente 115 Kj/Kg a 33° C de bulbo húmedo.

1.6.7. VOLUMEN ESPECÍFICO (VESP).

En la figura 1.26. Se muestra las líneas de volumen específico constante en una carta psicrométrica. Estas líneas están en un ángulo aproximadamente de 60° con la horizontal y van aumentando de valor de izquierda a derecha. Por lo general, el espacio entre cada línea representa un cambio de volumen específico de $\frac{0.05 m^3}{kg}$.

Cualquier punto que caiga entre dos de estas líneas, naturalmente debe ser un valor estimado. Si se desea saber la densidad del aire a cualquier condición, como ya sabemos, se debe dividir uno entre el volumen específico, puesto que la densidad es la inversa del volumen específico y viceversa.

1.7. CALOR SENSIBLE.

Calor sensible es aquel que recibe un cuerpo o un objeto y hace que aumente su temperatura sin afectar su estructura molecular y por lo tanto su estado.

En general, se ha observado experimentalmente que la cantidad de calor necesaria para calentar o enfriar un cuerpo es directamente proporcional a la masa del cuerpo y a la diferencia de temperaturas.

La constante de proporcionalidad recibe el nombre de calor específico.

La ecuación de calor sensible aplicada al aire húmedo es:

$$Q_s = 0.24M_a \times \Delta T + 0.45 M_w \times \Delta T \quad \text{Ecuación 1.21.}$$

Dónde:

Q_s = Calor Sensible agregado o eliminado del aire, (KJ / h)

M_a = Peso del aire, (KJ / h)

M_w = Peso del vapor de agua, (KJ / h)

$\Delta T = t_2 - t_1$ = Cambio de temperatura

Observación: El primer término de la ecuación 1.21 expresa el cambio de entalpía del aire seco y el segundo término el del vapor de agua. En cálculos aproximados de acondicionamiento de aire el segundo término es lo suficientemente pequeño para despreciarlo. Por esta razón el calor sensible se expresa como:

$$Q_s = M_a \times \Delta T \quad \text{Ecuación 1.22.}$$

1.8. CALOR LATENTE.

El calor latente es la energía requerida por una cantidad de sustancia para cambiar de fase, de sólido a líquido (calor de fusión) o de líquido a gaseoso (calor de vaporización).

Se debe tener en cuenta que esta energía en forma de calor se invierte para el cambio de fase y no para un aumento de la temperatura; por tanto al cambiar de gaseoso a líquido y de líquido a sólido se libera la misma cantidad de energía.

La cantidad de vapor de agua agregado o retirado del aire en un proceso de humidificación o des humidificación es:

$$M_w = M_a (W_2 - W_1) \quad \text{Ecuación 1.23.}$$

Dónde:

M_w = Vapor de agua agregado o eliminado, Kg agua/h

M_a = Flujo de aire, Kg/h

$W_2 - W_1$ = Cambio de relación de humedad, Kg agua/Kg aire seco

Como en el caso del proceso de calentamiento sensible, en general se admite suponer que el aire se expresa en CFM, al sustituir en la ecuación anterior se obtiene:

$$M_w = m^o \times (W_1 - W_2) \quad \text{Ecuación 1.24.}$$

O bien, si se da la relación de humedad en g agua/lb a.s., se divide entre 7000g/lb y se obtiene.

$$M_w = \text{CFM} (W_1 - W_2) / 1556 \quad \text{Ecuación 1.25.}$$

Donde W' es la relación de humedad, g agua/lb aire seco

CAPITULO II.

DISEÑO DEL PROTOTIPO DE DESHIDRATADOR.

INTRODUCCION.

En este capítulo se presentan las alternativas para diseñar y construir un equipo con el objetivo de deshidratar la uvilla.

Se presentará los parámetros necesarios para el diseño, profundizando cada uno de estos.

Diseñar un deshidratador consiste en determinar el tipo, las dimensiones, las características de un equipo en el cual en condiciones definidas se eliminará agua de un material hasta un nivel deseado en un tiempo determinado.

Otro de los temas a tratar es la selección de los materiales a utilizar para la construcción del deshidratador, esto involucra el sistema de control, el aislante térmico, materiales estructurales y las bandejas portantes.

2.1. ALTERNATIVAS PARA LA SELECCIÓN DEL TIPO DE DESHIDRATADOR.

Dentro de las diferentes tecnologías existentes para la deshidratación de alimentos, se tienen las más importantes:

A: Deshidratación solar.

B: Deshidratación por flujo de aire caliente mediante energías convencionales.

C: Deshidratación por ósmosis directa.

D: Deshidratación por liofilización.

De las alternativas mencionadas anteriormente se usará la deshidratación solar, ya que al tener el colector de la Universidad Politécnica Salesiana, se usará el mismo como fuente de energía, es así que el deshidratador para la presente tesis es el solar y el mismo será el objeto de estudio del presente capítulo.

2.2. ASPECTOS FUNDAMENTALES PARA EL DISEÑO DEL DESHIDRATADOR.

Analizar un deshidratador consiste en determinar el tipo, las dimensiones, las características de un equipo en el cual, en condiciones definidas, se eliminará agua de un material, hasta un nivel deseado, en un periodo de tiempo.

Para el deshidratador es necesario conocer el mecanismo y la cinética de deshidratación del material, es decir, se debe establecer relaciones cuantitativas (gráficas o analíticas) entre el tiempo que debe durar la operación y las condiciones de secado antes de efectuar cualquier intento de cálculo.

Las variables que determinan el tiempo de secado son:

Del aire: temperatura, flujo másico, humedad, características del flujo (dirección), transferencia de calor.

Del producto: humedad, tamaño, forma, estructura.

2.3. CARACTERISTICAS DEL MATERIAL A SECAR.

El primer paso que se debe considerar al analizar un deshidratador, es definir las características del material a secar y los atributos que se desean obtener en el producto final.

De la naturaleza del material a secar se deben conocer las siguientes características:

Propiedades físicas.- las propiedades físicas más importantes del producto que se deben conocer son: las dimensiones y forma, la presencia o no de cascara, estado del material (sólido ó líquido). Ver tabla 2.1

Las dimensiones y forma son imprescindibles para calcular el tiempo de secado del producto, ya que cuanto menor sea la dimensión del producto menor será el tiempo de secado durante el periodo de velocidad de secado decreciente.

La existencia o no de la cascara (frutas y hortalizas) o algún otro recubrimiento (grasa en el caso de la carne) hace que el proceso de secado quede afectado en gran medida.

Propiedades químicas y bioquímicas.- La propiedad química más importante a conocer es la composición del producto, y el conocimiento de las características de los elementos constitutivos del producto. Por otro lado las propiedades bioquímicas son importantes en lo que se refiere a los cambios del material durante el secado. Ver tabla 2.1

El principal elemento constitutivo del material en el proceso de secado es el agua, su cantidad y forma en la que se encuentra en el producto a deshidratar.

Tabla 2.1. Características del material a secar

CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL A SECAR
- Propiedades físicas: <ul style="list-style-type: none">o Las dimensiones y formao Presencia o no de pielo Naturaleza del material<ul style="list-style-type: none">▪ Sólido▪ Líquidoo Propiedades mecánicas<ul style="list-style-type: none">▪ Dureza▪ Adhesividad▪ ...
- Propiedades químicas y bioquímicas <ul style="list-style-type: none">o Composicióno Características de los elementos constitutivos del materialo Comportamiento bioquímico del producto en función de las variables de proceso (T^a, a_w,...)

Fuente: MAUPOEY, Fito, *Introducción al secado de alimentos por aire caliente*, Valencia, 2001, Pág.93

2.4. CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO FINAL.

Las características que se quieren obtener en el producto final es uno de los requisitos para el diseño del deshidratador. Ver tabla 2.2

De hecho las características organolépticas y nutricionales deseadas en el producto final, son determinantes para la correcta definición de las condiciones del aire de secado. Una excesiva velocidad de secado puede producir encostramientos indeseables que además motiven la existencia de zonas del interior del producto difíciles de secar y con una elevada humedad.

Una elevada temperatura del aire de secado, puede producir el deterioro de las vitaminas del producto y la aparición de colores y aromas extraños.

Tabla 2.2. Características del producto a obtener

CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO FINAL A OBTENER
- Aspectos Organolépticos <ul style="list-style-type: none">o Coloro Saboro Aromao Texturao ...
- Aspectos nutricionales <ul style="list-style-type: none">o Valor vitamínicoo Valor biológico de las proteínaso ...
- Características Físicas <ul style="list-style-type: none">o Tamañoo Formao Porosidado Texturao ...
- Conservación del producto <ul style="list-style-type: none">o Deterioro físicoo Deterioro químicoo Deterioro bioquímicoo Deterioro microbiológico

Fuente: MAUPOEY, Fito, *Introducción al secado de alimentos por aire caliente*, Valencia, 2001, Pág. 95

2.5. VARIABLES DE OPERACIÓN.

Una vez que se ha definido las características iniciales y finales del producto que se quiere obtener se debe definir las condiciones de funcionamiento del deshidratador.

De esta manera se debe tomar en cuenta las condiciones del aire de secado, la velocidad, temperatura, humedad relativa y forma de circulación del aire. Ver tabla 2.3.

Tabla 2.3. Elección de valores de las variables de operación

ELECCIÓN DE LOS VALORES DE LAS VARIABLES DE OPERACIÓN	
-	Condiciones de funcionamiento del secador:
o	Condiciones del aire de secado
▪	Velocidad
▪	Temperatura y Humedad Relativa (u otros dos valores de las propiedades termodinámicas del aire)
o	Forma de circulación del aire en relación con la circulación del alimento
▪	Paralelo
▪	Contracorriente
▪	A través
▪	...
o	Recirculación del aire

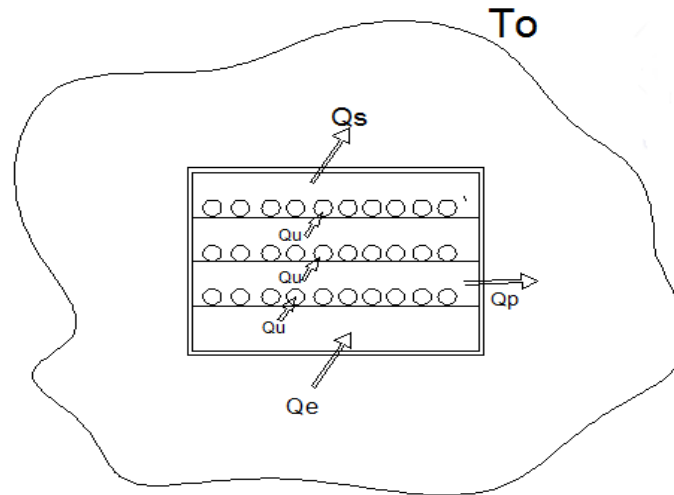
Fuente: MAUPOEY, Fito, *Introducción al secado de alimentos por aire caliente*, Valencia, 2001, Pág.100

2.6. CALOR EN EL DESHIDRATADOR.

Si se considera el deshidratador como un volumen de control se tiene que el flujo másico que entra es igual al flujo másico que sale. Ver figura 2.1.

Es decir se tiene un proceso de flujo estable, en donde el aire fluye permanentemente a través del volumen de control, o sea las propiedades del fluido pueden cambiar de un punto a otro dentro del volumen de control, pero en cualquier punto fijo permanecen iguales durante el proceso completo.

Figura 2.1. Esquema representativo del volumen de control.



Fuente: Los autores

Con estas consideraciones puede deducirse que las necesidades de calor son las siguientes:

- Calor necesario para deshidratar las uvillas (Q_u)
- Velocidad del aire circulante
- Calor generado por el colector (Q_e)
- Pérdidas de calor (Q_p)

2.7. CONDICIONES CLIMATICAS.

La deshidratación es un proceso psicrométrico, por lo cual es indispensable conocer en primer lugar las condiciones ambientales del lugar en el que operará el equipo. El deshidratador operará dentro de la ciudad de Quito a 2850 msnm, provincia de Pichincha.

La presión atmosférica varía respecto a la altura sobre el nivel del mar. Es así que se tiene valores establecidos de la variación. Ver tabla 2.4

Tabla 2.4. Presiones atmosféricas respecto a la altura sobre el nivel del mar.

PRESION ATMOSFERICA (Kpa)	ALTURA (msnm)
101.325	0
89,88	1.000
79,50	2.000
54,05	5.000
26,50	10.000
5,53	20.000

Fuente: YUNUS Cengel, Termodinámica, Cuarta Edición, pág. 36

Por lo tanto la presión atmosférica para Quito, considerando que la altura es de 2850 msnm, se determina realizando una interpolación lineal de los valores de la tabla 2.4.

Entonces la presión atmosférica es de 72,29 Kpa a 2859 msnm.

Con el valor de la presión atmosférica se determinó la densidad del aire con la siguiente expresión:

$$\rho_a = \frac{P_{atm}}{R_A T_A} \quad \text{Ecuación 2.1.}$$

En donde:

ρ_a = Densidad del aire (Kg/m³)

R_A = Constante de los gases ideales (0.2870 KPa m³/Kg°K)

T_A = Temperatura ambiente del aire (°K)

Entonces:

$$\rho_a = 0.8716 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

También es necesario saber la humedad relativa y la temperatura promedio de la ciudad de Quito, para ello se tienen datos estadísticos proporcionados por el INAMHI (Instituto Nacional de Metrología e Hidrología), estación Iñaquito como se muestra en la tabla del Anexo 12.

Además se deben conocer las propiedades psicrométricas del aire a la temperatura seleccionada, así se tiene estos valores en la tabla 2.5.

Tabla 2.5. Propiedades Psicrométricas del aire a temperatura ambiente.

TEMPERATURA AMBIENTE	16	°C
PRESION AIRE SECO	72,29	Kpa
HUMEDAD RELATIVA	70,06	%
DENSIDAD	0,8716	Kg/m ³
HUMEDAD ESPECIFICA	0,01615	Kgagua/Kgaireseco
VOLUMEN ESPECIFICO	1,1473	m ³ /Kg
ENTALPIA	2530,74	Kj/Kg
TEMPERATURA DE BULBO HÚMEDO	15,93	°C
TEMPERATURA DE ROCIO	10,51	°C

Fuente: ORTEGA, Miguel, Cartas psicrométricas, Escuela Politécnica Nacional, Editorial Imprima, 1996.

2.8. CALOR NECESARIO PARA DESHIDRATAR LA UVILLA (Qu).

Dado que en el proceso de deshidratación de la uvilla más del 90% de calor que recibe el producto se da por convección. Ver figura 2.2, los otros tipos se los considera despreciables, y se determina la tasa de transferencia de calor bajo esta consideración mediante el uso de la siguiente ecuación:

$$q_a = \alpha (T - T_s) \quad \text{Ecuación 2.2.}$$

En donde:

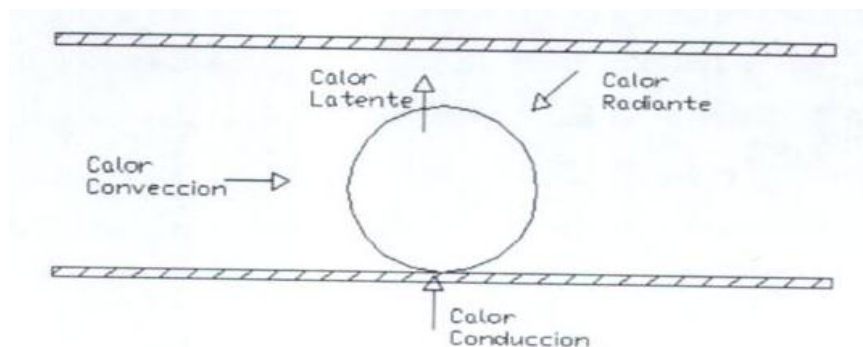
q_a : Calor transferido al producto [W]

α : Tasa de transferencia de calor [$\text{W}/\text{m}^2\text{°K}$]

T : Temperatura de bulbo seco [°K]

T_s : Temperatura del producto [°K]

Figura 2.2. Esquema representativo del calor transmitido al producto.



Fuente: CERDA, Byron y PROAÑO, Daniel; Diseño y construcción de un deshidratador rectangular de inducción para la obtención de pas de uvilla con capacidad de 300 Kg/día para la empresa Equinox Business Limited, Pág. 52, Sangolquí, 2005

Lo primero que se debe conocer son las propiedades del aire a la temperatura de trabajo para el secado del producto.

La temperatura en el proceso de deshidratación varía dependiendo de la fruta, es así que para la uvilla se tiene. Ver tabla 2.6

Tabla 2.6. Temperaturas para deshidratar la uvilla

FRUTA	TEMPERATURA MINIMA (°C)	TEMPERATURA MAXIMA (°C)	TEMPERATURA UTILIZADA (°C)
UVILLA	40	70	45

Fuente: JOSLYN, M.A, 1963, Food processing by drying and dehydration, volume 2
AVI, publishing co, Westport, conn

2.9. TABLA DE VALORES OBTENIDOS DEL COLECTOR SOLAR.

En esta tabla se indican las temperaturas obtenidas del colector solar en un período de tiempo determinado (16 de Junio de 2012), la toma de estos datos ayudan a tener una panorámica del funcionamiento real del mismo. Ver tabla 2.7.

Tabla 2.7. Valores de temperatura promedio.

INSTRUMENTO	TERMOCUPLA (TEMP. SALIDA °C)	TEMPERATURA DEL COLECTOR (TEMP. PLACA POSTERIOR °C)	TERMOMETRO DIGITAL 1 (TEMP. DE ENTRADA °C)
HORA			
10:08	53	80	34,80
10:10	50	72	34,30
10:12	46	69	31,60
10:14	43	64	30,00
10:16	41	60	30,30
10:18	40	58	29,30
10:20	39	56	28,30
10:22	37	54	28,30
10:24	36	50	27,50
10:26	36	50	27,40
10:28	34	48	26,80
10:30	33	48	26,80
10:32	33	46	26,30
10:34	33	45	25,90
PROMEDIO	39,57	57,14	29,11

Fuente: Los Autores

La temperatura de salida del colector es la temperatura promedio que se tendrá dentro del deshidratador.

Considerando las pérdidas que se presentan en el ingreso del aire caliente al deshidratador y dentro del mismo, se considera la temperatura promedio de trabajo de 45° C.

Para esta temperatura se tiene las siguiente propiedades psicrométricas del aire. Ver tabla 2.8.

Tabla 2.8. Tabla propiedades psicrométricas del aire a temperatura promedio de trabajo

TEMPERATURA DE TRABAJO	45	°C
HUMEDAD RELATIVA	60	%
DENSIDAD	0,792	Kg/m ³
HUMEDAD ESPECIFICA	0,173	Kgagua/Kgaireseco
VOLUMEN ESPECIFICO	1,262	m ³ /Kg
ENTALPIA	2.394,80	Kj/Kg
TEMPERATURA DE BULBO HÚMEDO	44,9	°C
TEMPERATURA DE ROCIO	37,24	°C

Fuente: ORTEGA, Miguel, Cartas psicrométricas, Escuela Politécnica Nacional, Editorial Imprima, 1996.

2.10. VELOCIDAD DEL AIRE CIRCULANTE.

El ventilador proporciona la diferencia de presión necesaria para obligar al aire a que circule por las bandejas.

El ventilador seleccionado para producir una corriente de aire en el colector es el modelo 4C442 de la marca DAYTON cuyas características son:

Potencia: 1/30HP

Revoluciones: 3020 rpm

Amperaje: 1,16 A

Caudal: 140 cfm = 0.0666m³/s

Con el dato del caudal generado por el ventilador y el área de incidencia del ventilador se puede determinar la velocidad del aire que ingresa al colector, con la siguiente ecuación:

$$Q = v \times A \quad \text{Ecuación 2.3.}$$

Dónde:

$$Q = \text{Caudal del fluido} = 0,066 \text{ m}^3 / \text{s} = 237,60 \text{ m}^3 / \text{h}$$

v = Velocidad de flujo

$$A = \text{área de incidencia} = 4,225 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$v = Q/A$$

$$v = 15,62 \text{ m/s (velocidad del aire que ingresa al colector).}$$

A medida que el fluido circula por el interior de un ducto ocurren pérdidas de energía debido a la fricción interna en el fluido, restricciones en los ductos por cambios de sección, etc. Esta pérdida de energía da como resultado la pérdida de presión entre dos puntos del sistema, la magnitud de las pérdidas de energía están en función de la velocidad del fluido, las propiedades del fluido, el tamaño del ducto y la rugosidad.

Las pérdidas de fricción pueden determinarse por cálculos ó utilizando nomogramas en los que se encuentran tabuladas las pérdidas en base a condiciones experimentales⁹. Ver Anexo 9.

Para lo cual se debe conocer los diámetros en los cambios de sección y la velocidad inicial del fluido.

Para determinar las velocidades de flujo se analiza al colector como un sistema de flujo estable, en el cual el flujo másico de entrada es igual al flujo másico de salida. La salida del ventilador, el colector y la salida del colector tienen geometría cuadrangular,

⁹ Referencia: MOTT; Robert, Mecánica de fluidos, Pág. 283

rectangular y cuadrangular respectivamente, por lo que se determina los diámetros equivalentes respectivos, utilizando el nomograma del Anexo 4.

Las dimensiones de cada sección antes mencionada se detallan a continuación:

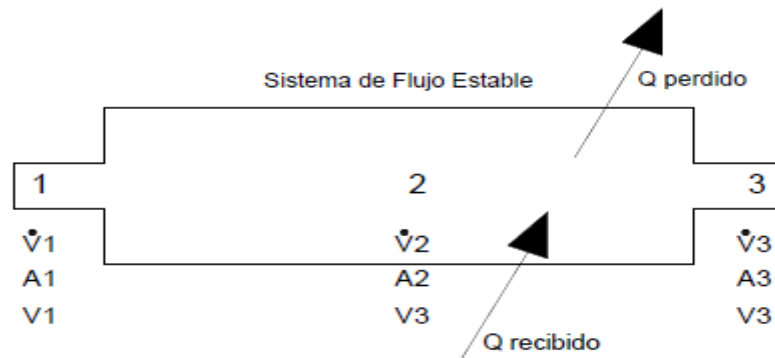
En el punto 1 de la figura 2.3: 65x65 mm.

En el punto 2 de la figura 2.3: 788x103 mm.

En el punto 3 de la figura 2.3: 11 cm.

Así se tiene. Ver figura 2.3.

Figura 2.3. Esquema representativo del volumen de control de flujo estable.



Fuente: Autores

En el punto 1 de la figura 2.3, el diámetro equivalente = 7 cm.

En el punto 2 de la figura 2.3, el diámetro equivalente = 26 cm.

En el punto 3 de la figura 2.3, el diámetro equivalente = 11 cm.

Al ser un sistema de flujo estable, el flujo másico se mantiene constante, pero la velocidad por el cambio de sección varía de un punto a otro.

De esta manera se tiene que:

$$\phi_{eq1} = 7 \text{ cm}$$

$$\phi_{eq2} = 26 \text{ cm}$$

$$\phi_{eq3} = 11 \text{ cm}$$

$$\frac{D_2}{D_1} = \frac{26}{7} = 3,71$$

Como $V_1 = 15,62 \text{ m/seg}$

$K = 0,72$ Ver Anexo 9.

Con el valor de k se puede determinar las pérdidas en el ducto con la siguiente ecuación:

$$h_L = k \times \frac{V_1^2}{2g} \quad \text{Ecuación 2.4.}$$

Dónde:

h_L = pérdidas en un ducto (8,95 m)

V_1 = velocidad del fluido (15,62 m/s)

g = aceleración de la gravedad (9,81 m/s²)

Entonces:

$$h_L = 8,95 \text{ m}$$

Usando la ecuación de la caída de presión se tiene que:

$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot h_L \quad \text{Ecuación 2.5.}$$

Dónde:

ΔP = caída de presión en ductos

ρ = densidad del fluido (0,8716 Kg/m³)

h_L = perdidas en un ducto (8,95 m)

Así se obtiene:

$$\Delta P = 76,35 \frac{N}{m^2} = 0,07636 \text{ Kpa}$$

Obtenida la caída de presión se puede obtener la presión dinámica (P_d) en el colector analizando como un ducto, con la siguiente ecuación:

$$\Delta P = n \cdot P_d \quad \text{Ecuación 2.6.}$$

El valor de n se lo obtienen las tablas considerando el cambio de sección, entonces:

$n = 0,7$ con las tablas del Anexo 6.

Entonces:

$$P_d = 0,1090 \text{ Kpa}$$

$$P_{atm} = 72,29 \text{ Kpa}$$

Como el valor de la presión dinámica está determinada dentro del ducto se debe sumar el valor de la presión dinámica, entonces:

$$P_{abs1} = P_{atm} + P_d \quad \text{Ecuación 2.7.}$$

Así pues:

$$P_{abs1} = 72,399 \text{ (Kpa)}$$

Con el valor de la presión absoluta se puede calcular el volumen específico en el primer punto aplicando la siguiente ecuación:

$$v_1 = \frac{R \cdot T_1}{P_1} \quad \text{Ecuación 2.8.}$$

Dónde:

R= Constante del gas aire (0,287 KJ/Kg °K)

T₁= Temperatura de ingreso (289 °K)

P₁= Presión absoluta en el punto 1 (P_{abs1}=72,399 Kpa)

Así se tiene que:

$$v_1 = 1,15 \frac{\text{m}^3}{\text{Kg}}$$

Ahora se determina el flujo másico con la siguiente ecuación:

$$\dot{m} = \frac{V_1 A_1}{v_1} \quad \text{Ecuación 2.9.}$$

Dónde:

V₁= Velocidad del aire al ingreso (15,62 m/seg)

A₁= Área de incidencia en el punto 1 (0,01539 m²)

V₁ = volumen específico en el punto 1 (V₁=1,15 m³/kg)

Entonces:

$$\dot{m} = 0,052 \frac{\text{Kg}}{\text{seg}}$$

Al tratarse de un sistema de flujo estable se tiene lo siguiente:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

$$\frac{V_1}{v_1} = \frac{V_2}{v_2}$$

$$\frac{V_1 A_1}{v_1} = \frac{V_2 A_2}{v_2}$$

$$V_2 = V_1 \frac{A_1}{A_2} \cdot \frac{v_2}{v_1}$$

$$V_2 = V_1 \frac{A_1}{A_2} \cdot \frac{R \cdot T_2 \cdot P_1}{R \cdot P_2 \cdot T_1}$$

$$V_2 = V_1 \frac{A_1}{A_2} \cdot \frac{T_2}{T_1} \cdot \frac{P_1}{P_2}$$

$$V_2 = 1,2673 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

Realizando el mismo análisis en el punto 3; tenemos:

$$\frac{D_2}{D_3} = \frac{26}{11} = 2,36$$

Como $V_2 = 1,2673 \text{ m/seg}$

$K = 0,42$ Ver Anexo 8

Con el valor de k se puede determinar las pérdidas en el ducto con la ecuación 2.4

$$h_L = k \times \frac{V_2^2}{2g}$$

Dónde:

$V_2 =$ Velocidad del aire en el punto 2

$$h_L = 0,034 \text{ m}$$

Remplazando en la ecuación 2.5 se tiene que:

$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot h_L$$

$$\Delta P = 0,29 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 0,0003 \text{ Kpa}$$

Remplazando en la ecuación 2.6 se tiene que:

$$\Delta P = n \cdot P_d$$

Se determina el valor de $n = 0,7$ con las tablas del Anexo 6.

$$P_d = \frac{\Delta P}{0,7}$$

$$P_d = 4,15 \times 10^{-4} \text{ Kpa}$$

Con la ecuación 2.7 se determina la $P_{\text{abs}2}$

$$P_{\text{abs}2} = 72,29 \text{ Kpa}$$

Con el valor de la presión absoluta se puede calcular el volumen específico en el punto tres aplicando la ecuación 2.8

$$v_3 = \frac{R \cdot T_3}{P_3}$$

Dónde:

R = Constante del aire (0.287 Kj/Kg°K)

T_3 = Temperatura en el punto 3

P_3 = Presión absoluta en el punto 3

$$v_3 = 1,28 \frac{\text{m}^3}{\text{Kg}}$$

Utilizando la misma relación que el punto uno se obtiene:

$$V_3 = V_1 \frac{A_1}{A_2} \cdot \frac{T_2}{T_1} \cdot \frac{P_1}{P_2}$$

$$V_3 = 7,09 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

De esta manera la velocidad con la que entra el aire al deshidratador, y que es la que interesa para el análisis, es la velocidad V_3 .

También para el análisis por convección se necesita las propiedades del aire a la temperatura de trabajo seleccionada. Ver tabla 2.9.

Tabla 2.9. Propiedades del aire a temperatura de trabajo.

PROPIEDAD	SIMBOLO	UNIDAD	VALOR
Temperatura	T	°C	45
Velocidad de flujo	V	m/s	7,09
Número de Prandtl	Pr	-	0,7
Viscosidad cinemática	V	m ² /s	1,75X10 ⁻⁵ ¹⁰
Conductividad térmica	K	W/m ² °k	0,0283
Viscosidad dinámica	U	N.s/m ²	1,94X10 ⁻⁵ ¹¹

Fuente: Los Autores

¹⁰ Referencia: Valor obtenido por interpolación tabla Anexo 14

¹¹ Referencia: Ídem.

También es necesario conocer la viscosidad dinámica a la temperatura de bulbo húmedo este valor es de $1,87 \times 10^{-5}$ Kg/ms.¹²

Para determinar el coeficiente de transferencia de calor por convección también se debe determinar el número de Reynolds para la uvilla que tiene forma esférica; así pues:

$$Re = \frac{VD_u}{\nu} \quad \text{Ecuación 2.10.}$$

En donde:

Re = Número de Reynolds

V = Velocidad de flujo [m/s]

D_u = Diámetro de la uvilla [m]

ν = Viscosidad cinemática [m²/s]

Reynolds es:

$$Re = 5672 \text{ (Flujo Turbulento)}$$

Considerando que la uvilla tiene forma esférica primero se determina el número de Nusselt para dicha forma:

$$Nu_e = 2 + [0.4Re^{1/2} + 0.06Re^{2/3}]Pr^{0.4} \left[\frac{u}{u_s} \right]^{1/2} \quad \text{Ecuación 2.11.}$$

Nusselt es:

$$Nu_e = 2170$$

Una vez obtenido el valor del número de Nusselt se determina el coeficiente de transferencia de calor por conducción, con la siguiente ecuación:

¹² Referencia: Ídem.

$$\alpha = h = \frac{Nu_g \cdot k}{D_u} \quad \text{Ecuación 2.12.}$$

$$\alpha = 43.77 \text{ [W/m}^2\text{°K]}.$$

Luego de este proceso se determina el tiempo de secado, para lo cual usando la tasa de transferencia de calor, se calcula primeramente la velocidad de secado con la siguiente ecuación:

$$Rc = \frac{\alpha A_{T \text{ sec}}}{\Delta h_{fg}} (T - T_{bh}) \quad \text{Ecuación 2.13.}$$

En donde:

Rc = Velocidad de secado [$\text{Kg}_{\text{agua}}/\text{S}$]

Δh_{fg} = Calor latente o entalpía de vaporización [KJ/Kg]

α = Tasa de transferencia de calor [$\text{W}/\text{m}^2\text{°K}$]

$A_{T \text{ sec}}$ = Area total de secado [m^2]

T = Temperatura de flujo de aire [$^{\circ}\text{K}$]

T_{bh} = Temperatura de bulbo húmedo [$^{\circ}\text{K}$]

Para determinar el calor latente, se entra a la tabla de propiedades del agua con la temperatura superficial del producto, que es equivalente a la temperatura de bulbo húmedo. Para este caso el valor obtenido de la tabla es 2,346.2 [KJ/Kg].

Remplazando los valores obtenidos en la ecuación anterior se obtiene:

$$Rc = 8,16 \times 10^{-5} \text{ [Kg de agua/s]}.$$

Después de este proceso se debe determinar el tiempo total de secado, que es la suma del tiempo de secado en régimen constante y en el régimen decreciente:

$$t = t_c + t_d \quad \text{Ecuación 2.14.}$$

En donde:

t = tiempo total de secado [h]

t_c = tiempo de secado en régimen constante [h]

t_d = tiempo de secado en régimen decreciente [h]

El tiempo de secado en régimen constante se puede determinar a través de la ecuación 1.6. y se obtiene que:

$$t_c = 1,53 \text{ horas}$$

Para el tiempo de secado en régimen decreciente se usa la ecuación 1.7, aplicando la ecuación se obtuvo el siguiente resultado:

$$t_d = 3,43 \text{ horas}$$

Entonces el tiempo total de secado es:

$$t = 1,53 + 3,43 = 4,96 \text{ horas}$$

Para afinar los resultados de los cálculos realizados anteriormente y determinar de mejor manera las condiciones óptimas del proceso de deshidratación, se realizó un programa en Excel, en el cual se puede determinar la cantidad de kilogramos que se podría deshidratar con el calor generado por el colector. Ver tablas 2.13 – 2.14 – 2.15.

Al comparar los resultados obtenidos en el proceso iterativo realizado en el software se concluye que lo más adecuado es deshidratar una masa de 1.5 Kg, con las condiciones que se tiene en el sistema.

Para esta cantidad de uvilla, el calor útil que se necesita se calcula con la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{útil}} = MCp_m \frac{(T_f - T_i)}{\tau} \quad \text{Ecuación 2.15.}$$

Remplazando los valores se obtiene que:

$$Q_{\text{útil}} = 7,30 \text{ W}$$

2.11. CALOR GENERADO POR EL COLECTOR (Qe).

El colector de la Universidad Politécnica Salesiana entrega a la salida del mismo aire a 45°C, con esta temperatura se determina el calor total que se genera en la fuente. Con los valores siguientes. Ver tabla 2.10.

*Tabla 2.10. Propiedades del colector de la Universidad Politécnica Salesiana*¹³

PROPIEDADES DEL COLECTOR	
Fr	1,14E-02
Ac	1,44
T	0,9
A	0,9
I	1109,7
UI	1,76E+01
Ti	303
Ta	293

¹³ Referencia: VAREA, Andrés, Diseño y construcción de un colector solar plano convencional para calentamiento de aire, para placas intercambiables, Quito, Septiembre del 2007

Fuente: VAREA, Andrés, *Diseño y Construcción de un colector solar plano convencional para calentamiento de aire, para placas intercambiables*, Quito, 2007

Dónde:

Fr = Factor de remoción

Ac = Área neta de colección

τ = Transmitancia de la cubierta

α = Absortancia de la placa

I = Radiación total disponible

UI = Coeficiente de pérdidas totales

Ti = Temperatura del gas de ingreso

Ta = Temperatura ambiental

Para determinar el calor generado por el colector se usa la formula siguiente:

$$Q_u = F_r \cdot A_c \cdot [(\tau \cdot \alpha) \cdot I - U_l \cdot (T_i - T_a)] \quad \text{Ecuación 2.16.}^{14}$$

Obteniendo que:

$$Q_u = 11,86 \text{ W}$$

2.12. SELECCIÓN DEL AISLAMIENTO.

Para evitar las pérdidas de calor dentro del deshidratador y así obtener un sistema adiabático se debe colocar un aislante térmico.

Para determinar el espesor de dicho aislante se ocupa la siguiente ecuación.

$$e = e_{\text{ref}} \frac{\lambda}{\lambda_{\text{ref}}} \quad \text{Ecuación 2.17}$$

¹⁴ Referencia: VAREA, Andrés, *Diseño y construcción de un colector solar plano convencional para calentamiento de aire, para placas intercambiables*, Quito, Septiembre del 2007

Dónde:

e = Espesor mínimo del aislante

λ = Conductividad térmica del material ($4,60 \times 10^{-2} \text{ w/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}$)¹⁵

e_{ref} = Espesor mínimo de aislamiento indicado (30 mm). Ver Anexo 15

λ_{ref} = Conductividad térmica de referencia ($0,040 \text{ w/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}$). Ver Anexo 15

Entonces $e = 34,5 \text{ mm}$

Cuando los componentes están instalados al exterior, el espesor será incrementado, como mínimo, en 10 mm para fluidos calientes y 20 mm para fluidos fríos¹⁶.

Tomando en consideración el párrafo anterior se determina que el espesor mínimo del aislante debe ser de 44,5 mm. En el mercado nacional no se puede adquirir el aislante en este tipo de espesor, por esta razón se selecciona un espesor de aislante térmico de 50,8 mm (2”).

2.13. ESPESOR DE LA PLANCHA PARA BANDEJAS.

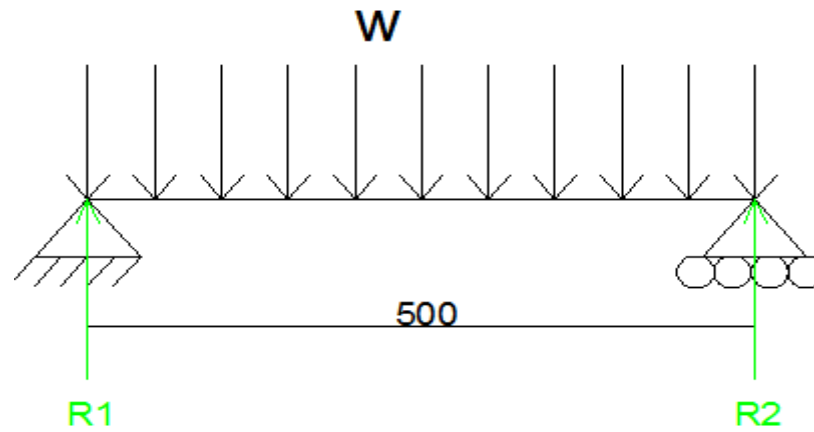
Para determinar el espesor de las planchas de acero se considera que la bandeja que contiene la uvilla actúa como una viga simplemente apoyada con una carga distribuida, en donde la carga es el peso de la uvilla que se colocará sobre las bandejas.

Con esta consideración el cálculo del espesor de la plancha se lo determina por deflexión simple. Así:

¹⁵ Referencia: KUBIEC-CONDUIT, Catálogo de productos, Ecuador, 2012

¹⁶ Referencia: ESTADO ESPAÑOL, Reglamento de instalaciones térmicas en edificios y sus instrucciones complementarias, España, 13 de Julio de 2013, pág.: 613-614

Figura 2.4. Esquema de viga simplemente apoyada.



$$P = m \cdot g \quad \text{Ecuación 2.18}$$

Dónde:

P = Carga (N)

m = masa (1,5 Kg)

g = gravedad (9,8 m/s²)

$$P = 14,715 \text{ N}$$

$$M = P \cdot d \quad \text{Ecuación 2.19}$$

Dónde:

M = Momento (N.m)

P = Carga (14,715N)

d = Distancia (0,25 m)

$$M = 3,678 \text{ N.m}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{b \cdot \frac{h^2}{6}} \quad \text{Ecuación 2.20}$$

Donde

σ_{\max} = Esfuerzo máximo permisible (250 Mpa)

M_{\max} = Momento máximo (3,678 N.m)

h = espesor de bandeja (mm)

b = distancia (m)

$$h = \sqrt{\frac{6 \cdot M_{\max}}{b \cdot \sigma_{\max}}} \quad \text{Ecuación 2.21}$$

h = 0,66 mm (bandeja)

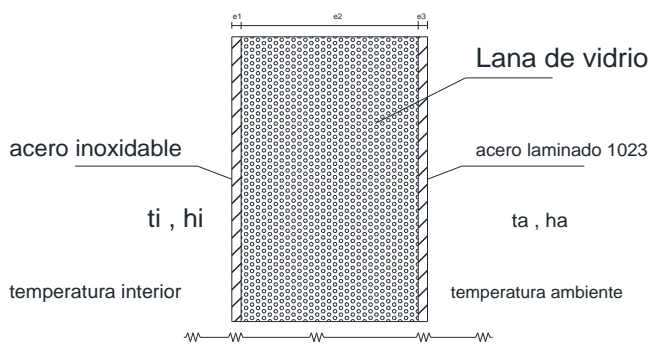
ACERO AISI 304: Este tipo de acero se selecciona para la parte interna de la cámara ya que este tipo de acero es usado en el manejo de alimentos, el espesor seleccionado es 0,70 mm que es el que existe en el mercado nacional.

ACERO AISI 1023: Se selecciona el espesor de 1.1 mm para la parte exterior del deshidratador, en el mercado nacional existe plancha de este espesor y resulta más conveniente que utilizar acero inox 304 también en la parte exterior del deshidratador ya que no hay contacto con la uvilla.

2.14. PÉRDIDAS DE CALOR POR LAS PAREDES (Qp).

Las pérdidas de calor se determinan mediante el análisis de transferencia de calor por paredes planas compuestas, así. Ver figura 2.5.

Figura 2.5. Circuito térmico de una pared plana compuesta.



Fuente: Los autores.

Se usará acero inoxidable AISI 304 para la parte interna de la cámara, debido que el manejo de alimentos así lo exige, evitando de esta manera la contaminación del producto; acero negro 1023 en la parte exterior, y lana de vidrio como aislante térmico a fin de disminuir al máximo las pérdidas de calor en el deshidratador.

De esta manera se realiza el análisis de las perdidas con la ecuación siguiente:

$$Q_p = U \cdot A \cdot \Delta T \quad \text{Ecuación 2.22.}$$

Donde:

Q_p = Calor perdido

U = coeficiente global de transferencia de calor

ΔT = Variación de temperatura

De esta manera se determina primero el coeficiente global de transferencia de calor, aplicando la formula siguiente:

$$U = \frac{1}{R_{\text{tot}} \cdot A} = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2} + \frac{e_3}{k_3} + \frac{1}{h_a}} \quad \text{Ecuación 2.23.}^{17}$$

En donde:

R_{tot} = Resistencia total térmica [$^{\circ}\text{K}/\text{W}$]

h =Coeficiente de transferencia de calor por convección [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{K}$]

k =Conductividad térmica del material [$\text{W}/\text{m} \cdot ^{\circ}\text{K}$]

e =Espesor del material [m]

U =Coeficiente global de transferencia de calor [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{K}$]

En la deshidratación se tiene humedad en el aire utilizado para el proceso, por esta razón el material que se usa en el interior de la cámara debe ser resistente a la corrosión y no debe ser contaminante ya que está en contacto directo con la uvilla.

Este tipo de material tiene un costo elevado en el mercado nacional por lo que se usará plancha de acero inoxidable AISI 304 con un espesor de 0.70 mm, el mismo que cumple con las características para la aplicación.

En la parte externa de la cámara no necesariamente se debe utilizar el mismo material que en el interior del deshidratador, debido a que no existe ningún contacto directo con la uvilla, además que disminuye el costo de la fabricación, es así que se usará acero laminado AISI 1023 con espesor de 1.1 mm para que la carcasa externa del deshidratador tenga más resistencia a deformaciones por golpes.

Como ya se mencionó anteriormente que los materiales a usar son acero inoxidable, lana minera de vidrio y acero negro, se debe conocer las propiedades de estos materiales, así. Ver tabla 2.11.

¹⁷ Referencia: INCROPERA, Frank, Fundamentos de transferencia de calor, Capitulo III

Tabla 2.11. Tabla de propiedades de los materiales a emplear

PAREDES	MATERIAL	K (W/m*K)	espesor (mm)	espesor (m)
Interior	Acero Inox AISI 304	14,9	0,70	0,007
Aislamiento	Lana de vidrio	4,60E-02	50,8	0,0508
Exterior	Acero laminado 1023	14,9	1,1	0,011

Fuente: KUBIEC – CONDUIT, Manual de materiales y aislantes.

Las propiedades del aire del interior y exterior de la cámara de deshidratación son las siguientes. Ver tabla 2.12.

Tabla 2.12. Propiedades del fluido interno y externo.

PROPIEDAD	FLUJO INTERNO	FLUJO EXTERNO	SIMBOLO	UNIDAD
Temperatura	318	289	°T	K
Vel. de flujo	7,29	0,2	V	m/s
Viscosidad cinemática	2,13E-05	1,49E-05	γ	m ² /s
Conduct. Térmica	0,02714	0,02562	K	W/m ² *K
N° Prant	0,6994	0,7099	Pr	
Coef volu exp term	3,14E-03	2,89E+02	B	1/°K

Fuente: Los Autores.

Remplazando los valores correspondientes en la ecuación 2.18, se obtiene que:

$$U=1,30 \times 10^{-2} \text{ [W/m}^2 \cdot \text{°K]}$$

Conocido el valor de U podemos encontrar las pérdidas por cada una de las paredes, multiplicando por el área respectiva de cada una de estas y por la variación de la temperatura.

Considerando que el deshidratador tiene forma rectangular de dimensiones 500x300x250mm, entonces las áreas son:

$$A1=500 \times 250 \text{ mm} \quad A1=0,125 \text{ m}^2$$

$$A2=300 \times 250 \text{ mm} \quad A2=0,075 \text{ m}^2$$

$$A3=500 \times 300 \text{ mm} \quad A1=0,15 \text{ m}^2$$

Con estos valores y con el valor de la variación de temperatura que es de $\Delta T=29^\circ\text{K}$, se determina las pérdidas de calor por las paredes, entonces:

$$Q_{p1}=U \cdot A_1 \cdot \Delta T$$

Al tener una cámara de secado con geometría cúbica, se tiene dos paredes compuestas iguales, por esta razón se debe duplicar el valor.

$$Q_{p1}=0,0471 \text{ W}$$

Considerando dos paredes

$$Q_{p1}=0,0942 \text{ W}$$

$$Q_{p2}=U \cdot A_2 \cdot \Delta T$$

$$Q_{p2}=0,0283 \text{ W}$$

Considerando dos paredes

$$Q_{p2}=0,0566 \text{ W}$$

$$Q_{p3}=U \cdot A_3 \cdot \Delta T$$

$$Q_{p3}=0,0565 \text{ W}$$

Considerando dos paredes

$$Q_{p3}=0,113 \text{ W}$$

Por lo tanto la pérdida de calor total por las paredes es la suma total de las pérdidas.
Entonces:

$$Q_{pt} = Q_{p1} + Q_{p2} + Q_{p3}$$

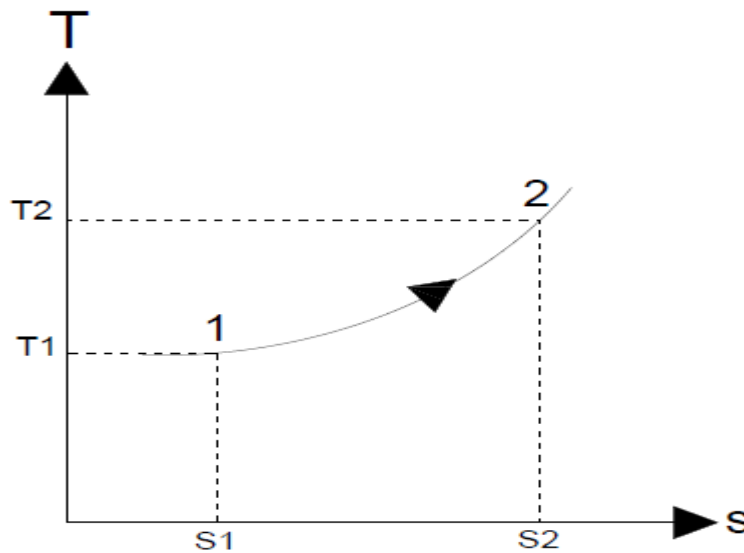
$$Q_{pt} = 0,264 \text{ W}$$

2.15. IRREVERSIBILIDADES.

Las Irreversibilidades se consideran como el potencial desperdiciado de trabajo o la oportunidad de pérdida para realizar trabajo. El desempeño de un sistema puede mejorarse minimizando la irreversibilidad asociada con él.

Las irreversibilidades de un proceso se las puede determinar analizando el diagrama temperatura-entropía.

Figura 2.6. Diagrama Temperatura vs Entropía.



Fuente: Los Autores.

$$\text{Irrev} = m (\Delta s_{\text{sistema}} + \Delta s_{\text{alrededores}})$$

$$\Delta s \text{ sistema} = \frac{q}{T_{\text{sistema}}}$$

$$\Delta s = C_p \cdot \ln \frac{T_3}{T_1} - R \cdot \ln \frac{P_3}{P_1}$$

Dónde:

Δs = Variación entropía del sistema

C_p = Calor específico constante

T_3 = Temperatura de ingreso al deshidratador.

T_1 = Temperatura inicial del proceso

R = Constante universal de los gases

P_3 = Presión absoluta al ingreso del deshidratador.

P_1 = Presión inicial del proceso

$$\Delta s = 0,11 \frac{\text{J}}{\text{Kg}^\circ\text{K}}$$

Entonces calculando las irreversibilidades se tiene que:

$$\text{Irrev} = \dot{m} \Delta s \text{ sistema}$$

\dot{m} = Flujo másico

$$\text{Irrev} = 5,72 \times 10^{-3} \text{ w/}^\circ\text{K}$$

$$\text{Como } \Delta s = \frac{Q_{\text{irreversibilidades}}}{\Delta T}$$

$$Q_{\text{irreversibilidades}} = \Delta s \times \Delta T$$

Dónde:

Q_{irrev} = Calor de irreversibilidades

$\Delta T =$ Variación de la temperatura del sistema

$$Q_{\text{irrev}} = 0,194 \text{ w}$$

Si se suma las pérdidas de calor por las paredes, el calor perdido por efecto de las irreversibilidades, y el calor requerido para deshidratar la uvilla, y se compara este resultado con el calor que genera el colector se concluye que:

$$Q_{\text{pérdidas}} + Q_{\text{útil}} + Q_{\text{irrev}} < Q_{\text{generado}}$$

$$0,264 + 7,30 + 0,194 \text{ (W)} = 7,758 \text{ (W)}$$

$$7,758 < 11,86 \text{ (W)}$$

El calor generado por el colector es óptimo para deshidratar 1,5 Kg de uvilla.

2.16. FACTOR DE SEGURIDAD.

Es el cociente entre el valor calculado de la capacidad máxima de un sistema y el valor del requerimiento esperado real.

Por este motivo es un número mayor que 1, que indica la capacidad en exceso que tiene el sistema por sobre sus requerimientos.

$$F_s = Q_{\text{generado}} / (Q_{\text{útil}} + Q_{\text{perdidas}})$$

$$F_s = 11,86/7,554$$

$$F_s = 1,57$$

2.17. RESULTADOS TEORICOS.

Tabla 2.13. Análisis de Resultados para una masa de 1,00 Kg

TEMPERATURA AMBIENTE PROMEDIO	TEMPERATURA DEL PROCESO	VISCOCIDAD CINEMATICA DEL AIRE	VISCOCIDAD DINAMICA DEL AIRE	NUMERO DE PRANTL	VISCOCIDAD DINAMICA DEL AGUA	ENTALPIA	CALOR UTIL (Kw)	TIEMPO TOTAL DE SECADO (H)
16	40	1,70E-05	1,95E-05	0.70	6,53E-05	2406,70	3,9	5,11
16	45	1,75E-05	1,94E-05	0.70	5,96E-05	2394,80	5,88	4,11
16	50	1,79E-05	1,96E-05	0.70	5,47E-05	2382,70	8,38	3,34
16	55	1,84E-05	1,99E-05	0.70	5,04E-05	2370,70	11,42	2,84
16	60	1,89E-05	2,01E-05	0.70	4,67E-05	2358,50	14,99	2,45

Fuente: Los Autores

Tabla 2.14. Análisis de Resultados para una masa de 1,50 Kg

TEMPERATURA AMBIENTE PROMEDIO	TEMPERATURA DEL PROCESO	VISCOCIDAD CINEMATICA DEL AIRE	VISCOCIDAD DINAMICA DEL AIRE	NUMERO DE PRANTL	VISCOCIDAD DINAMICA DEL AGUA	ENTALPIA	CALOR UTIL (Kw)	TIEMPO TOTAL DE SECADO (H)
16	40	1,70E-05	1,95E-05	0.70	6,53E-05	2406,70	4,85	6,17
16	45	1,75E-05	1,94E-05	0.70	5,96E-05	2394,80	7,3	4,96
16	50	1,79E-05	1,96E-05	0.70	5,47E-05	2382,70	10,42	4,08
16	55	1,84E-05	1,99E-05	0.70	5,04E-05	2370,70	14,2	3,43
16	60	1,89E-05	2,01E-05	0.70	4,67E-05	2358,50	18,64	2,95

Fuente: Los Autores

Tabla 2.15. Análisis de Resultados para una masa de 2,00 Kg

TEMPERATURA AMBIENTE PROMEDIO	TEMPERATURA DEL PROCESO	VISCOCIDAD CINEMATICA DEL AIRE	VISCOCIDAD DINAMICA DEL AIRE	NUMERO DE PRANTL	VISCOCIDAD DINAMICA DEL AGUA	ENTALPIA	CALOR UTIL (Kw)	TIEMPO TOTAL DE SECADO (H)
16	40	1,70E-05	1,95E-05	0.70	6,53E-05	2406,70	5,22	7,65
16	45	1,75E-05	1,94E-05	0.70	5,96E-05	2394,80	7,85	6,15
16	50	1,79E-05	1,96E-05	0.70	5,47E-05	2382,70	11,2	5,06
16	55	1,84E-05	1,99E-05	0.70	5,04E-05	2370,70	15,27	4,26
16	60	1,89E-05	2,01E-05	0.70	4,67E-05	2358,50	20,04	3,66

Fuente: Los Autores

2.18. NÚMERO DE BANDEJAS.

Otro de los parámetros que se debe determinar es el número de bandejas que debe tener el deshidratador, para este cálculo se deben conocer ciertas condiciones del producto a deshidratar para el caso de la uvilla se tiene que. Ver tabla 2.16.

Tabla 2.16. Propiedades de la uvilla

$P_{unit} = 3 \text{ gr.}$	Peso aproximado de la uvilla
$\phi_{prom} = 1,4 \text{ cm}$	Diámetro promedio de la uvilla
$A_s = 1,54 \text{ cm}^2$	Área superficial promedio de la uvilla
$V_u = 1,437 \times 10^{-6} \text{ m}^3$	Volumen promedio de la uvilla
$\rho_u = 2,09 \text{ gr/cm}^3$	Densidad de la uvilla
$X_w = 0,80$	Porcentaje de agua inicial de la uvilla
$X_{wf} = 0,12$	Porcentaje de agua final de la uvilla
$S_w = 0,003 \text{ Kg}$	Masa promedio de la uvilla

Fuente: JOSLYN, M.A, 1963, Food processing by drying and dehydration, volume 2
AVI, publishing co, Westport, conn.

Cálculos para la masa en base húmeda para una uvilla

$$W_o = S_w \cdot X_{wo}$$

Dónde:

W_o = Masa Total del producto en base húmeda (Kg)

S_w = Masa promedio de una uvilla (0,003 Kg)

X_{wo} = Porcentaje inicial del agua (0,80)

$$W_o = 2,4 \times 10^{-3} \text{ Kg}$$

$$S_d = S_w - W_o$$

S_d = Masa de agua evaporable (Kg)

S_w = Masa promedio de una uvilla (0,003 Kg)

W_o = Masa Total del producto en base húmeda ($2,4 \times 10^{-3}$ Kg)

$$S_d = 6 \times 10^{-4} \text{ Kg}$$

Aplicando la ecuación 1.10

$$X_{do} = \frac{W_o}{S_d}$$

X_{do} = Humedad en base seca inicial (Kg agua/Kg seco)

$$X_{do} = 4 \text{ Kg.}$$

$$S_{wf} = \frac{S_d \times 100}{(100 - 12)}$$

S_{wf} = Contenido de humedad en base húmeda respecto a la humedad en base seca (Kg)

$$S_{wf} = 6,81 \times 10^{-4} \text{ Kg.}$$

$$W_f = S_{wf} \cdot X_{wf}$$

W_f = Masa total del producto en base seca

$X_{wf} = \text{Humedad final (0,12)}$

$W_f = 8,172 \times 10^{-5} \text{ Kg.}$

Aplicando la ecuación 1.10

$$X_{df} = \frac{W_f}{S_d}$$

$X_{df} = \text{Humedad en base seca final}$

$X_{df} = 0,136 \text{ Kg.}$

Si la humedad de equilibrio de la uvilla es igual a 0.045 (Kg agua/Kg seco) entonces:

$$S_{eq} = \frac{S_d \times 100}{(100 - 4.5)}$$

$S_{eq} = \text{Masa total de equilibrio}$

$S_{eq} = 6,283 \times 10^{-4} \text{ Kg.}$

$W_{eq} = S_{eq} \cdot X_{eq}$

$W_{eq} = \text{Masa de equilibrio en base húmeda}$

$X_{eq} = \text{Humedad de equilibrio (0,045)}$

$W_{eq} = 2,827 \times 10^{-5} \text{ Kg.}$

$$X_{deq} = \frac{W_{eq}}{S_d}$$

$X_{deq} = \text{Humedad en base seca de equilibrio}$

$X_{deq} = 0,047$

Si la humedad crítica de la uvilla es $X_c = 0,60$ entonces:

$$S_{wc} = \frac{S_d \times 100}{(100 - 60)}$$

$S_{wc} = \text{Masa inicial crítica}$

$S_{wc} = 1,5 \times 10^{-3} \text{ Kg.}$

$W_c = S_{wc} \cdot X_c$

$W_c = \text{Masa en base húmeda crítica}$

$W_c = 9 \times 10^{-4} \text{ Kg.}$

$$X_{dc} = \frac{W_c}{S_d}$$

X_{dc} = Humedad en base seca crítica

$$X_{dc} = 1,5 \text{ Kg.}$$

Luego de realizar los cálculos anteriores para la uvilla, se muestra un resumen de los resultados obtenidos en la tabla 2.17.

Tabla 2.17. Valores de humedad de la uvilla (calculados)

Propiedad	Símbolo	Valor	Unidad
Peso unitario	P_u	3	gr
Diámetro promedio	D_u	1,4	Cm
Área superficial promedio	A_s	1,54	cm ²
Volumen promedio	V_u	1,437x10 ⁻⁶	m ³
Densidad	ρ_u	2,09	gr/cm ³
Humedad inicial	X_{wo}	80	%
Humedad en base seca inicial	X_{do}	4	Kg _{agua} /Kg _{seco}
Humedad final	X_{wf}	12	%
Humedad en base seca final	X_{df}	0,136	Kg _{agua} /Kg _{seco}
Humedad de equilibrio	X_{eq}	4,5	%
Humedad en base seca Equilibrio	X_{edq}	0,045	Kg _{agua} /Kg _{seco}
Humedad crítica	X_c	60	%
Humedad en base seca crítica	X_{dc}	1,5	Kg _{agua} /Kg _{seco}

Fuente: Los Autores.

La cantidad de agua a evaporar de una uvilla se calcula con la siguiente ecuación:

$$Kg_{\text{ agua evap}} = W_o - W_f \quad \text{Ecuación 2.24.}$$

En donde:

$Kg_{\text{ agua evap}}$ = masa de agua a evaporar del producto

W_o = Masa total del producto en base húmeda

W_f = Masa total del producto en base seca.

Remplazando los valores respectivos se obtiene que el valor es:

$$Kg_{\text{agua evap}} = 2,318 \times 10^{-3} \text{ Kg}$$

Considerando que la masa a deshidratar es 1.5 Kg se calcula la cantidad total de agua a evaporar (C_{evap}) con la siguiente ecuación:

$$C_{\text{evap}} = Kg_{\text{agua evap}} \times \frac{C_f}{S_w} \quad \text{Ecuación 2.25.}$$

Dónde

C_f = Carga del producto (1,5 Kg)

S_w = Masa total del producto (0,003 Kg)

Remplazando los valores respectivos se obtiene que el valor es:

$$C_{\text{evap}} = 1,16 \text{ Kg}_{\text{agua}}$$

Posteriormente es necesario calcular la masa del producto final deshidratado, para lo cual se utiliza la siguiente ecuación:

$$C_d = C_f - C_{\text{evap}}$$

Dónde:

C_d = Masa final del producto deshidratado.

Remplazando los valores respectivos se obtiene que el valor es:

$$C_d = 0,34 \text{ Kg}$$

También se debe conocer la masa seca de la carga para lo cual se ocupa la siguiente ecuación:

$$C_s = S_d \times \frac{C_f}{S_w} \quad \text{Ecuación 2.26.}$$

Dónde:

C_s = Masa seca de la carga

S_d = Masa de agua evaporable (6×10^{-4} Kg)

C_f = Carga de secado (1,5 Kg)

S_w = Masa total del producto (0,003 Kg)

Remplazando los respectivos valores tenemos que:

$$C_s = 0,30 \text{ Kg}$$

Otro término que se debe conocer es el índice de reducción del producto, que se basa en la reducción de la actividad del agua presente en los alimentos, los productos obtenidos de la deshidratación son sólidos que deben tener un contenido de agua inferior al 10%¹⁸.

Para lo cual se emplea la siguiente ecuación:

$$I = \frac{C_f}{C_d} \quad \text{Ecuación 2.27.}$$

Remplazando los valores respectivos tenemos que:

$$I = 4.41\%$$

Por lo que se determina que el índice de reducción si es el adecuado, luego del proceso de deshidratación.

Con estos valores se determina el número de bandejas para deshidratar los 1,5 Kg de uvilla.

Utilizando la información calculada anteriormente, primero se debe determinar el área que ocupa la uvilla, por cada Kg de materia seca, entonces:

¹⁸ Referencia: www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r46891.PDF

$$A_{ms} = A_s \times \frac{(1 + X_{do})}{V_u \rho_u} \quad \text{Ecuación 2.28.}$$

En donde:

A_{ms} = Área de superficie por kilogramos de materia seca [$m^2/Kg_{materia\ seca}$]

A_s = Área superficial promedio (1,54 cm^2)

X_{do} = Humedad del producto en base seca (4 $Kg_{\text{agua}}/Kg_{\text{seco}}$)

V_u = Volumen promedio producto ($1,437 \times 10^{-6} m^3$)

ρ_u = Densidad del producto ($2,09 \text{ gr}/cm^3$)

Remplazando los valores respectivos se obtiene que:

$$A_{ms} = 0.2563 \text{ m}^2/Kg_{\text{ materia seca}}$$

A partir del dato calculado, se determina el área de superficie de secado, que viene expresado por la ecuación:

$$A_{sec} = A_{ms} \cdot \frac{C_d}{F_c} \quad \text{Ecuación 2.29.}$$

En donde:

A_{sec} = Área de superficie de secado [m^2]

C_d = Carga de producto final deshidratado (1,5 Kg)

F_c = Factor de carga (1)

Como la uvilla es un producto que se puede apilar, es decir podemos colocar varias filas de producto en la bandeja por lo que se podría considerar un factor de carga mayor a 1, en este caso no se toma un valor muy alto para este factor; y así mejorar la uniformidad en el secado final, por lo que ($F_c = 1$).

Remplazando los datos respectivos se obtiene que:

$$A_{\text{sec}} = 8,74 \times 10^{-2} \text{ m}^2$$

Para determinar el número de bandejas se usa la ecuación siguiente:

$$N_{\text{ban}} = A_{\text{sec}} / A_{\text{bandeja}} \quad \text{Ecuación 2.30.}$$

Considerando que el área de la bandeja es:

$$A_{\text{bandeja}} = 0,50 * 0,40 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{bandeja}} = 0,20 \text{ m}^2$$

Entonces:

$$N_{\text{ban}} = 8,74 \times 10^{-2} / 0,20$$

$$N_{\text{ban}} = 0,44$$

Teóricamente el número de bandejas es menor a uno, pero los expertos recomiendan que en un deshidratador se debe tener un número par de bandejas. Por lo que se toma la decisión de colocar dos bandejas dentro de la cámara, a fin de tener una mejor distribución del producto a deshidratar.

La separación mínima recomendada entre bandejas debe ser de 38 mm a fin de que el aire circule de manera uniforme sobre el producto¹⁹.

2.19. SISTEMA DE CONTROL.

Los procesos industriales o semi industriales deben tener un control de los parámetros que influyen en los mismos, es así que un proceso de deshidratación de alimentos con mayor razón debe tener un control ya que una falencia ocasionaría la obtención de productos de mala calidad.

¹⁹ Referencia: PERRY, Robert, Manual del Ingeniero Químico, Quinta Edición.

Se debe controlar la temperatura al ingreso de la cámara, dentro de la misma y la temperatura en la chimenea, también se debe controlar el tiempo de secado.

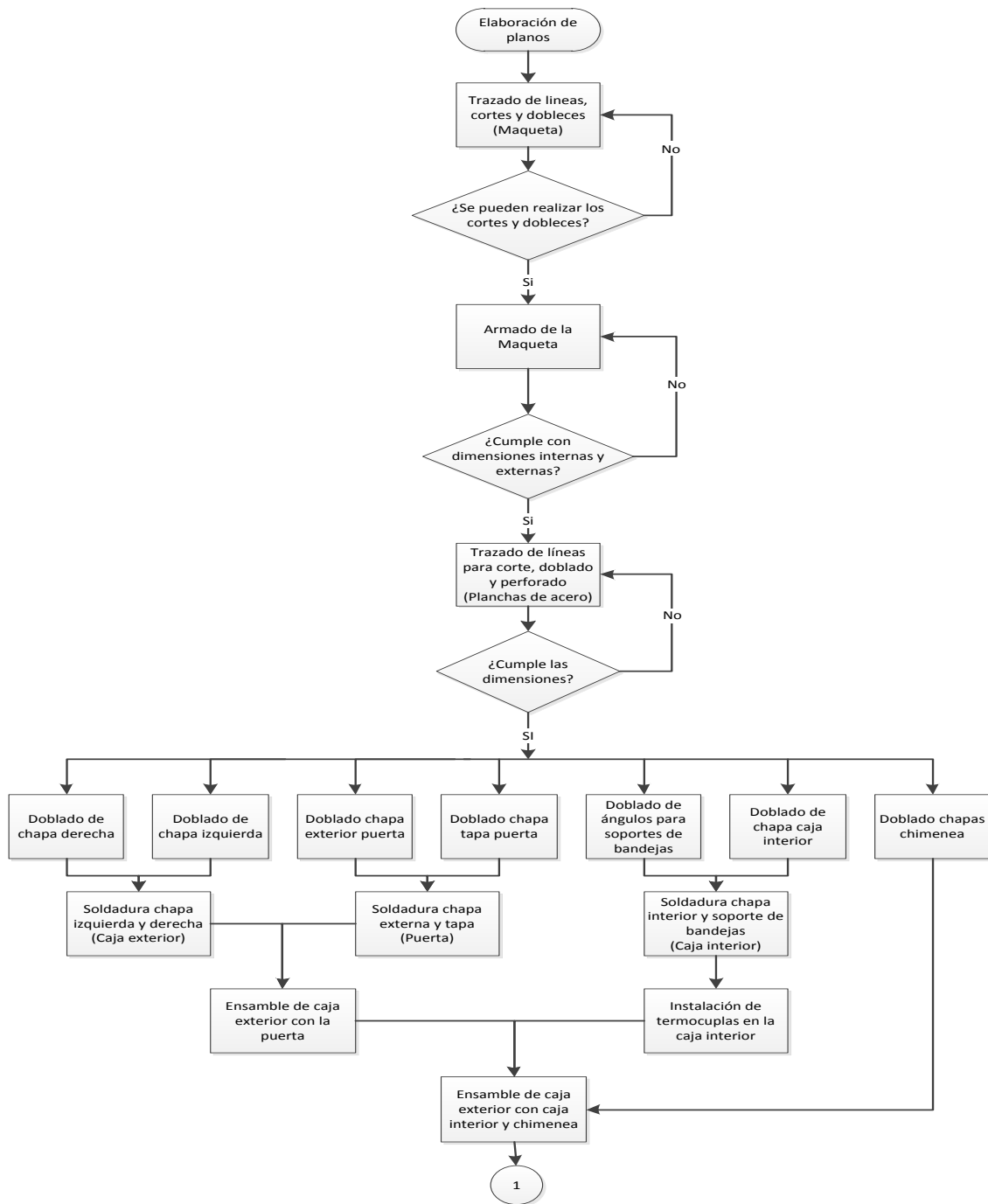
El sistema de control puede ser básico o totalmente automatizado, esto depende del tipo de deshidratador y a donde este se encuentra direccionado.

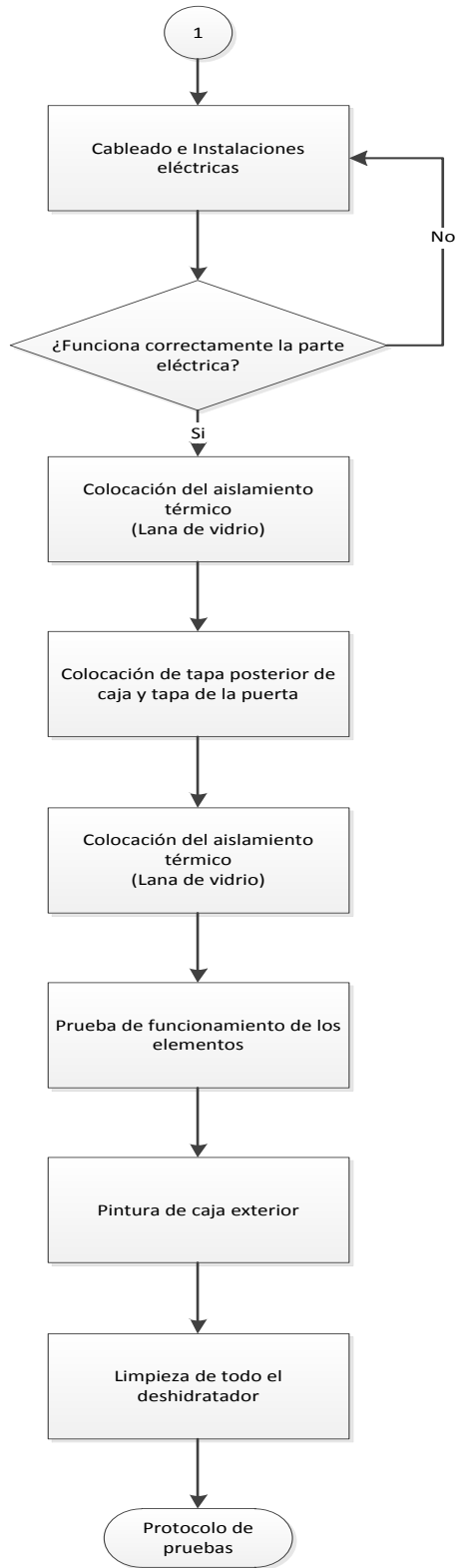
En este caso se tomará mediciones tanto de temperaturas y tiempo de secado para obtener los respectivos resultados y curvas.

2.20. PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DEL DESHIDRATADOR.

Dentro del planteamiento de esta tesis se contempla la construcción del prototipo de deshidratador, a partir de este momento se detalla mediante un diagrama de proceso la construcción del mismo. Ver figura 2.7.

Figura 2.7. Diagrama de proceso de construcción del deshidratador.





CAPITULO III

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

INTRODUCCIÓN.

En este capítulo se presenta los resultados reales obtenidos, después de realizar pruebas de funcionamiento y de tomar datos, luego del arranque y calibración del equipo.

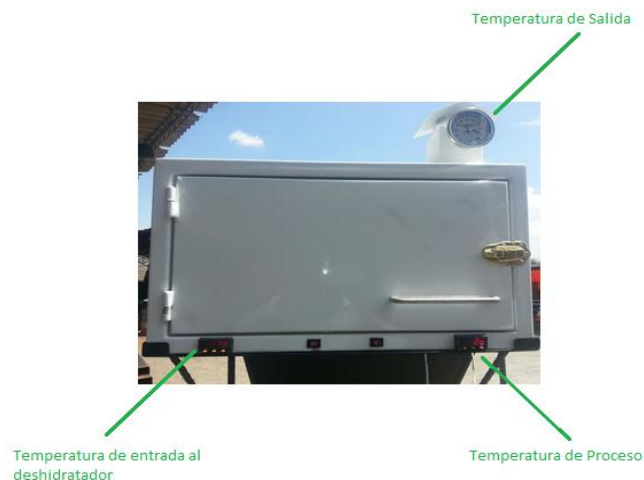
Para poder realizar dicho análisis se toman valores reales de temperatura, tiempo, humedad relativa dentro de la cámara.

Se representará las variables mediante diagramas de resultados con su respectiva tabla de datos.

La toma de datos reales y la operación de los mismos permiten determinar si se cumple o no las hipótesis planteadas.

Además los resultados reales permiten proponer conclusiones importantes y realizar recomendaciones sobre posibles mejoras tanto en el proceso como en el equipo.

Figura 3.1. Deshidratador solar construido



Fuente: Los Autores

Figura 3.2. Partes internas del deshidratador



Fuente: Los Autores

3.1. CÁLCULO DE CALOR REAL DEL COLECTOR RESPECTO AL TIEMPO.

El parámetro principal que se debe analizar es el calor real que se obtiene del colector, ya que de esta manera se puede comparar con el calor teórico, tomado de la tesis del colector en condiciones ideales.

Para dicho cálculo se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q_u = A_c * F_r * [\tau * \alpha - (U_l * T_p - T_a)] \quad \text{Ecuación 3.1}$$

En donde:

F_r = Factor de remoción = 1,14 [m²]

A_c = Área neta de colección = 1,44 [m²]

T = Transmitancia de la cubierta = 0,90 [adimensional]

α = Absortancia del colector = 0,90 [adimensional]

UI = Coeficiente de pérdidas totales = 17,6 [w/m².°K]

T_p = Temperatura de salida del colector (entrada del deshidratador)

T_a = Temperatura ambiente (entrada al colector)

Para determinar el calor real primero se debe conocer las temperaturas de entrada y de proceso obtenidas de los instrumentos de control instalados en el sistema. Ver tabla 3.1.

Tabla 3.1. Valores reales de temperatura durante el proceso

HORA	°T AMBIENTE	°T ENTRADA	°T PROCESO	°T SALIDA	Q REAL
8:30	16	22	20	24	1,7468
8:45	22	40	31	31	5,2139
9:00	22	40	36	34	5,2139
9:15	23	42	39	36	5,7917
10:20	23	47	40	38	7,2362
10:45	23	51	45	40	7,8142
11:00	24	55	46	40	7,8142
11:30	26	57	48	41	8,392
12:00	28	57	48	41	8,392
12:15	28	57	48	41	8,392
12:30	28	57	48	41	8,392
13:00	28	57	48	41	9,25
13:15	28	57	48	41	9,25
13:30	28	60	48	41	9,25

Fuente: Los Autores

En la tabla 3.1 se puede observar valores reales de temperatura obtenidos durante un día de pruebas.

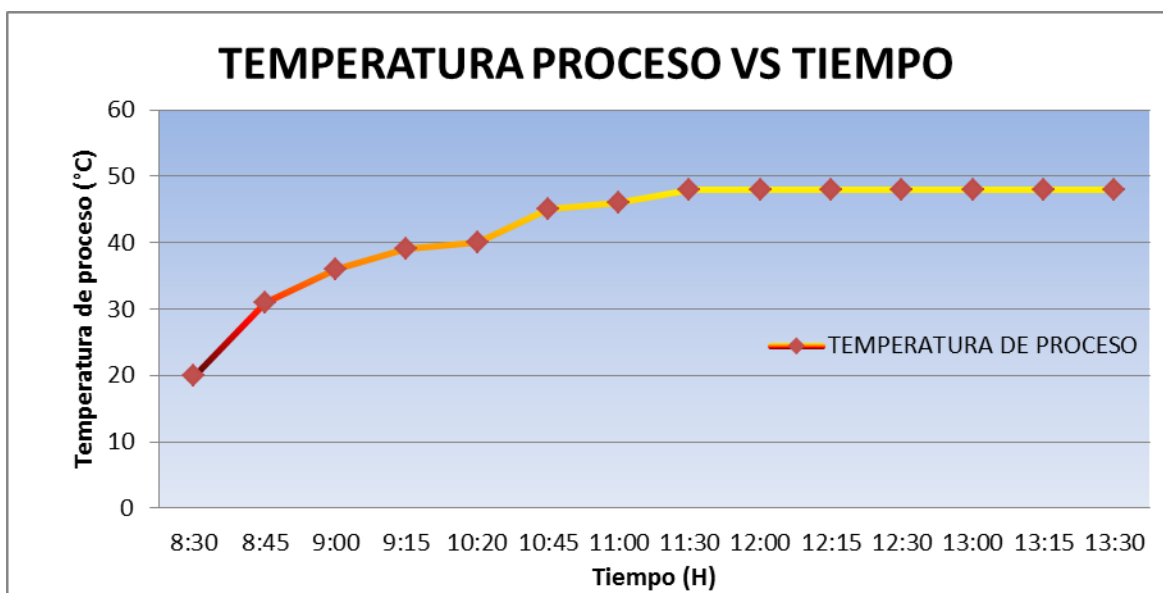
Para efectos de cálculo, el calor real promedio se obtiene en base de algunas mediciones realizadas en diferentes días, por esta razón el calor real promedio es de Q_{real} = 6,30 w.

Este valor difiere del calor teórico que se considera inicialmente para los cálculos del tiempo de deshidratación. De esta manera el tiempo de deshidratación se verá afectado y el mismo será mayor en las pruebas de funcionamiento.

Con los valores de la tabla 3.1 se puede realizar las gráficas de la variación de las temperaturas con respecto al tiempo durante el proceso de deshidratación.

Así se puede interpretar el comportamiento térmico dentro del deshidratador. Ver figura 3.2-3.3-3.4

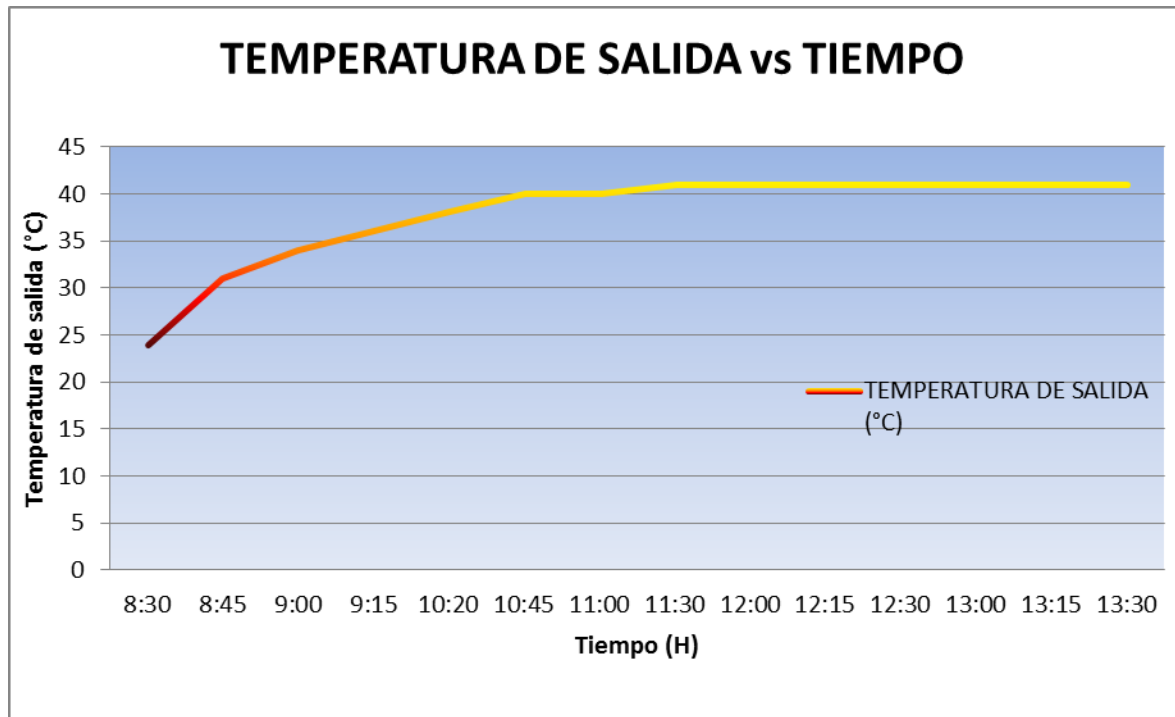
Figura 3.3. Temperatura de proceso vs tiempo.



FUENTE: Los autores

En la figura 3.3. Se observa que conforme pasa el tiempo la temperatura de proceso aumenta debido a la orientación del sol y durante el mediodía tiende a estabilizarse.

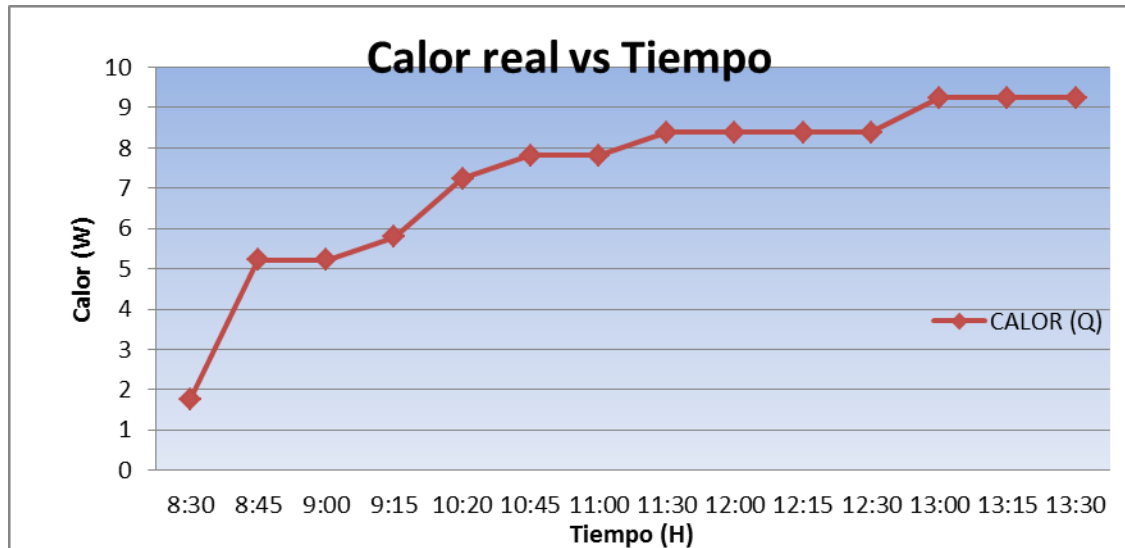
Figura 3.4. Temperatura de salida vs tiempo.



FUENTE: Los autores

Al igual que ocurre con la temperatura de proceso, en la figura 3.4 se observa el comportamiento de la temperatura de salida en función del tiempo, siendo este valor menor que la temperatura de proceso.

Figura 3.5. Calor real vs tiempo.



FUENTE: Los autores

Se puede observar en las figuras (3.3-3.4) que las temperaturas varían respecto al tiempo, de tal manera que va aumentando el calor dentro del deshidratador en el transcurso del día, Ver figura 3.5. Hasta llegar a un punto en que tiende a mantenerse constante y posteriormente tiende a decaer con el avance de las horas pasado el mediodía, de tal manera que las horas adecuadas para aprovechar la energía solar está en el transcurso de la mañana hasta un poco más del medio día.

3.2. CALOR REAL PROMEDIO EN EL DESHIDRATADOR.

El calor real se determina con la ecuación 3.1 para cada instante de tiempo, se encuentra un calor real promedio del proceso calculando una media de los valores tomados, respecto al tiempo de la tabla 3.1. Así se tiene que:

$$Q_{real}=6.30 \text{ W}$$

3.3. EFICIENCIA DEL DESHIDRATADOR.

Para determinar la eficiencia del colector dividimos el calor real para el calor teórico, así:

$$\eta = \frac{Q_{\text{real}}}{Q_{\text{teorico}}} \quad \text{Ecuación 3.2}$$

$$\eta = 53,11 \%$$

3.4. TIEMPO REAL DE SECADO.

Para determinar el tiempo real de secado se usa la ecuación 2.15 y se despeja el tiempo de secado, dando un resultado de:

$$t_s = \frac{(T_{bs} - T_i) * M * C_{pu}}{Q_u * 3600} \quad \text{Ecuación 3.3}$$

$$T_s = 5.75 \text{ h}$$

3.5. PORCETAJE DE DESHIDRATACION.

Para determinar el porcentaje de deshidratación, se han tomado valores del producto deshidratado con respecto al tiempo, para determinar el porcentaje de deshidratación de la uvilla.

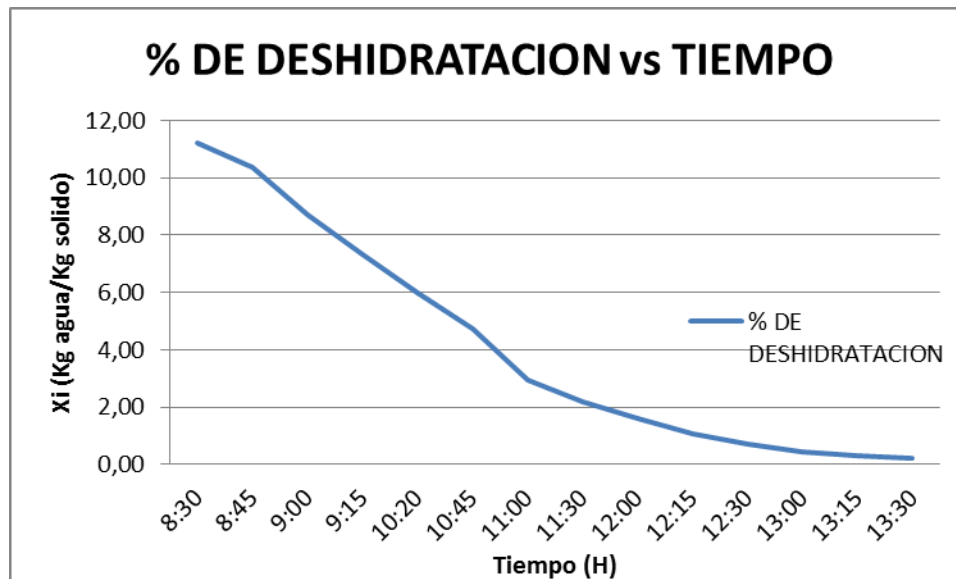
Así se tiene. Ver tabla 3.2

Tabla 3.2 Deshidratación de la uvilla respecto al tiempo

TIEMPO	MASA EN SECO	MASA DE HUMEDO	% DE DESHIDRACION
8:30	1,5	0,1681	11,21
8:45	1,5	0,1553	10,35
9:00	1,5	0,1308	8,72
9:15	1,5	0,1100	7,33
10:20	1,5	0,0895	5,96
10:45	1,5	0,0712	4,75
11:00	1,5	0,0443	2,95
11:30	1,5	0,0325	2,17
12:00	1,5	0,0240	1,60
12:15	1,5	0,0162	1,08
12:30	1,5	0,0106	0,71
13:00	1,5	0,0069	0,46
13:15	1,5	0,0046	0,31
13:30	1,5	0,0033	0,22

Fuente: Los Autores

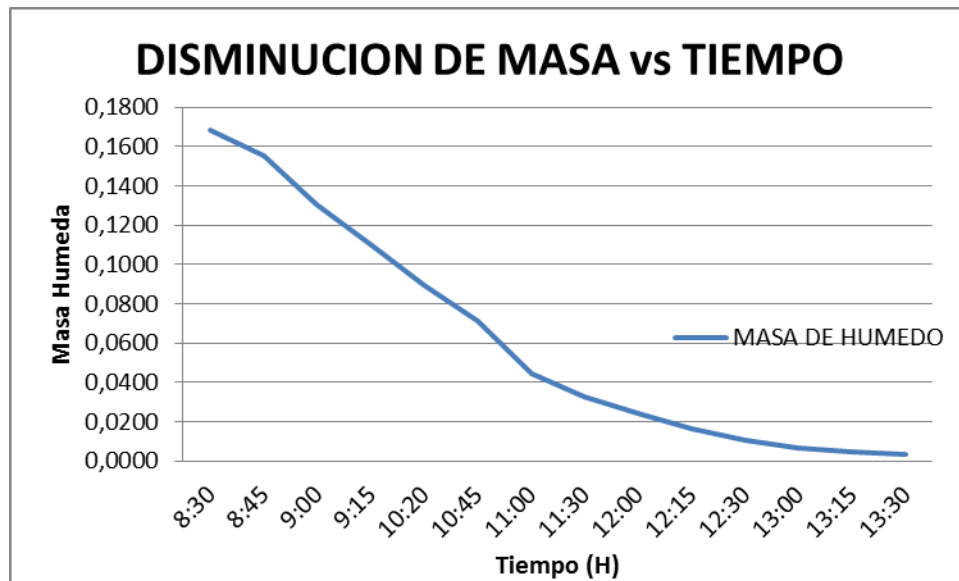
Figura 3.6 Curva de deshidratación de la uvilla respecto al tiempo



Fuente: Los Autores

En la figura 3.6. Se puede verificar que el porcentaje del agua en la uvilla es mayor al inicio del proceso y conforme pasa el tiempo el porcentaje de agua disminuye.

Figura 3.7 Disminución de masa vs Tiempo



Fuente: Los Autores

En las figuras 3.6 y 3.7. Se puede verificar que la disminución del porcentaje del agua y de masa en la uvilla es mayor al inicio del proceso y conforme pasa el tiempo, la disminución del agua y masa es menor, de esta manera se observa que las gráficas obtenidas son similares a la figura 1.10 del capítulo I

CONCLUSIONES.

- El rendimiento del deshidratador en función de la energía recibida por la fuente es aceptable.
- Las propiedades organolépticas del producto no fueron alteradas durante el proceso, manteniendo un color, sabor, textura y aroma agradable para el consumidor final.
- Al estudiar la parte relacionada con los materiales de construcción se determinó que se debe utilizar un acero que pueda tener contacto directo con los alimentos ya que una vez finalizado el proceso de secado la fruta es directamente consumida por las personas. El acero utilizado para el contacto directo con la fruta es acero inoxidable 304 (AISI 304) apto para contacto directo con los alimentos.
- El tiempo total de secado varió aproximadamente en un 14% más del calculado teóricamente, debido a distintos factores que en la práctica no se pueden controlar cuando se trata de energías no convencionales como es el caso.
- Se pudo comprobar que la bandeja ubicada en la parte superior del deshidratador estaba más caliente que la ubicada en la inferior durante el proceso, por lo que la distribución del aire dentro de la cámara no es homogénea, a pesar de que el aire ingresa por la parte inferior del deshidratador.
- Las paredes internas del deshidratador alcanzan una mayor temperatura a la de formación del punto de rocío para evitar condensación de humedad internamente, debido al buen aislamiento térmico en las paredes.
- Se utilizaron instrumentos de medición de temperatura digitales para obtener resultados más precisos tanto a la entrada del deshidratador como durante el proceso de secado.

- En las pruebas de funcionamiento del equipo se observó que se obtuvo valores mayores de temperatura entre las 10:30 a.m. y las 15:00 p.m. respecto a las horas iniciales y finales del día.
- Se determinó que el rendimiento del equipo es bajo, debido a que la fuente utilizada es solar o energía no convencional.
- Al realizar las pruebas se observó que el calor generado por el colector no lo es suficiente para deshidratar la uvilla en el tiempo estimado por que sería conveniente usar un sistema alternativo de suministro de calor al deshidratador.

RECOMENDACIONES.

- Instalar una fuente de energía alterna a la solar ya que si solo se depende del sol ésta ocasiona restricciones para cumplir con el proceso de deshidratación y obtener el producto final deseado.
- Implementar un sistema de control automatizado de temperaturas para garantizar que el proceso de secado cumpla con su objetivo final.
- Se debe realizar una rotación de las bandejas cada determinado tiempo para lograr un secado más uniforme de la fruta, tratando de no tener por mucho tiempo la puerta del horno abierta y así evitar la pérdida de energía.
- Al tratarse de un prototipo se debe tener mucho cuidado con la operatividad del equipo y la toma de datos.
- Instalar en un lugar adecuado y en donde el colector pueda recibir la mayor cantidad de energía solar para que el deshidratador cumpla con su función.
- Controlar la velocidad de flujo de aire que ingresa al deshidratador ya que así se puede obtener mejores resultados.
- Se recomienda el cuidado minucioso del equipo tanto del colector como del deshidratador en su transporte, ubicación y mantenimiento ya que está construido con materiales frágiles.
- Se puede optimizar el rendimiento del equipo instalando concentradores de energía para que cuando no haya energía solar disponible se pueda realizar las prácticas sin ningún problema.
- Clasificar el producto en tamaño y apariencia física, previa a la deshidratación para obtener un secado homogéneo de la fruta.

- Manejar adecuadamente la fruta para evitar golpes y daños en la corteza, lo cual ayudará de cierta manera a obtener un mejor producto y evitar desperdicios finales.

BIBLIOGRAFIA

- CENGEL, Yunus, *Termodinámica*, Tomo I y II, 2da. ed, McGraw-Hill, México, 2000
- ALVARADO, J. *Principios de ingeniería aplicado a alimentos*, 2da ed. Radio comunicaciones. Ecuador. 1985
- INCROPERA, Frank y de Witt, *Fundamentos de transferencia de calor*, 4ta ed, Prentice Hall, México, 1999
- GEAN KOPLIS, C. *Procesos de transporte y operaciones unitarias*, 3era ed, Mexico, 1998.
- MAUPOEY, Pedro, y otros, *Introducción al secado de alimentos por aire caliente*, Universidad Politécnica de Valencia, España, 2001
- CASTELLS, Xavier, *Sistemas de Tratamiento Térmico. Procesos a Baja Temperatura, Secado*, Madrid, 2012
- AVALLONE, Eugene y BAUMEISTER, Theodore, *Manual del Ingeniero Mecánico*, Tomo I y II, 9na ed, McGraw Hill, México, 1995
- DOSSAT, Roy, *Principios de Refrigeración*, 18va ed, Continental, México, 1998
- KUBIEC, *Catalogo y Manual de Productos*, Ecuador, 2011
- MOTT, R. *Mecánica de fluidos aplicados*, 4ta ed. Prentice Hall, México, 1996
- KARLEKAR, B.V. y DESMOND, R. M., *Transferencia de calor*, 2da ed, McGraw-Hill, México, 1995
- PERRY, Robert, *Manual del Ingeniero Químico*, Quinta Edición.
- ORTEGA, Miguel, *Cartas psicrométricas*, Escuela Politécnica Nacional, Editorial Imprima, 1996.
- CERDA, Byron y PROAÑO, Daniel; *Diseño y construcción de un deshidratador rectangular de inducción para la obtención de pas de uvilla con capacidad de 300 Kg/día para la empresa Equinox Business Limited*, Pág. 52, Sangolquí, 2005
- JOSLYN, M.A, 1963, *Food processing by drying and dehydration*, volume 2 AVI, publishing co, Westport, conn
- www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r46891.PDF

ANEXO 1

PLANOS

ANEXO 2

COSTOS

COSTOS.

INTRODUCCIÓN.

Se presenta del costo de los materiales, mano de obra e insumos requeridos para la construcción del prototipo de deshidratador.

COSTOS DIRECTOS.

Se consideran costos directos a todos los rubros referentes a los materiales y mano de obra usados para la construcción del deshidratador.

COSTOS DE MATERIALES.

N°	DETALLE	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL SIN IVA	NUMERO FACTURA	REFERENCIA
1	Tuerca Ac. Inox MM DIN 934 24X3,00	4	\$ 1,72	\$ 6,89	165726	3.1.1
2	Perno HEX 5/16"x1" INOX 304	1	\$ 0,15	\$ 0,15	12316	3.1.2
3	Perno HEX 3/8"x3/4" INOX 304	1	\$ 0,22	\$ 0,22	12316	3.1.2
4	Termocupla tipo J	2	\$ 77,23	\$ 154,46	13159	3.1.3
5	Controlador de temperatura DIN 1/32	2	\$ 150,28	\$ 300,56	13159	3.1.3
6	Termometro 0-100°C	1	\$ 49,01	\$ 49,01	13159	3.1.3
7	Cinta espuma gris 1/2x30	1	\$ 10,38	\$ 10,38	155021	3.1.4
8	Garrucha 3" 55 Kg PU. PF.	2	\$ 3,40	\$ 6,80	155021	3.1.4
9	Garrucha 3" 55 Kg PU. PG.	2	\$ 5,47	\$ 10,95	155021	3.1.4
10	Tiradera A. Inox 160 mm H3008-10	1	\$ 2,43	\$ 2,44	155021	3.1.4
11	Bisagra 1/4"x2"	2	\$ 1,21	\$ 2,42	155021	3.1.4
12	Silicon gris tubo 3 oz. 85 g.	1	\$ 2,50	\$ 2,50	68652	3.1.5
13	Picaporte STANLEY 80-1710	1	\$ 2,85	\$ 2,85	153528	3.1.6
14	Plancha Inox Perforada 73x90 cm.	1	\$ 133,93	\$ 133,92	15958	3.1.7
15	Sikaflex 221 gris cartucho industrial	1	\$ 7,87	\$ 7,87	13116	3.1.8
16	Endurecedor MS 2/1 rapido 0,2 Lt	1	\$ 4,55	\$ 4,55	13116	3.1.8
17	Thinner Poliur 2K	1	\$ 1,34	\$ 1,34	13116	3.1.8
18	Caralz S/M Rojo/Marron/Violeta	1	\$ 12,21	\$ 12,21	13116	3.1.8
19	Cable gemelo 18	6	\$ 0,36	\$ 2,16	68650	3.1.9
20	Cable sucre 3x14	4	\$ 1,43	\$ 5,72	68650	3.1.9
21	Enchufe blindado cooper 2p	2	\$ 1,97	\$ 3,94	68650	3.1.9
22	Interruptor de paso	1	\$ 0,45	\$ 0,45	68650	3.1.9
23	Taipe 3M 20 yardas negro	1	\$ 0,72	\$ 0,72	68650	3.1.9
24	Guante de caucho 9"	2	\$ 1,80	\$ 3,60	68638	3.1.10
25	Mascarilla negra doble	3	\$ 0,65	\$ 1,95	68638	3.1.10
26	Plancha acero Inox (304) mate	2	\$ 120,00	\$ 240,00	5950	3.1.11
27	Plancha de acero L/F AISI 1023	2	\$ 30,58	\$ 61,16	92345	3.1.12
28	Lana de vidrio con aluminio	3	\$ 3,50	\$ 10,50	143124	3.1.13
	TOTAL SIN IVA			\$ 1.039,72		

MANO DE OBRA.

N°	DETALLE	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL	NUMERO FACTURA	REFERENCIA
1	Fabricacion de un horno secador	1	\$ 500,00	\$ 500,00	5952	3.1.11
2	Mantenimiento del colector solar	1	\$ 120,00	\$ 120,00	5952	3.1.11
3	Fabricacion de estructura deshidratador	1	\$ 70,00	\$ 70,00	5952	3.1.11
4	Instalaciones Electricas	1	\$ 60,00	\$ 60,00	5952	3.1.11
	TOTAL SIN IVA			\$ 750,00		

TOTAL COSTOS DIRECTOS

N°	DETALLE	VALOR
1	Costo de materiales	\$ 1.039,72
2	Mano de obra	\$ 750,00
	TOTAL SIN IVA	\$ 1.789,72

COSTOS INDIRECTOS

Los costos indirectos son los gastos que no afectan directamente al valor referencial del equipo, se considera el transporte, pruebas y reajustes del equipo entre otros.

N°	DETALLE	VALOR SIN IVA	TOTAL
1	Transporte	\$ 40,00	\$ 40,00
2	Pruebas y calibración	\$ 80,00	\$ 80,00
3	Varios	\$ 35,00	\$ 35,00
	TOTAL SIN IVA		\$ 155,00

COSTO TOTAL.

N°	DETALLE	VALOR
1	Costos directos	\$ 1.789,72
2	Costos indirectos	\$ 155,00
	TOTAL SIN IVA	\$ 1.944,72

ANEXO 3

INSTRUCTIVO DE FUNCIONAMIENTO

INSTRUCTIVO DE FUNCIONAMIENTO.



DESCRIPCION DEL EQUIPO.

El deshidratador atmosférico es una cámara de secado, compuesta en su interior por láminas de acero inoxidable ya que tiene con tacto directo con la fruta.

Además posee 2 bandejas portantes perforadas en acero inoxidable 304 en donde la uvilla reposará durante el proceso de deshidratación.

Se encuentra aislada con lana de vidrio para evitar pérdidas de calor durante el proceso de deshidratación.

Consta de termocuplas tipo “J” en la parte interior del deshidratador ubicadas en la entrada del deshidratador y en el centro de la cámara para obtener los datos de temperatura de entrada y de proceso respectivamente.

Estas termocuplas están conectadas a sus respectivos displays para tener una mejor apreciación el momento de la toma de datos.

Se ha instalado un termómetro bimetalico en la chimenea del deshidratador para apreciar la temperatura de salida del aire una vez que este ha cumplido su función dentro del deshidratador.

CARACTERISTICAS TECNICAS DEL DESHIDRATADOR

Dimensiones internas de la cámara:

Ancho = 50 cm

Altura = 25 cm

Profundidad = 40 cm

Numero de bandejas portantes: 2 acero inoxidable 304

Voltaje de entrada: 110 V.

Sistema de medición de temperatura:

2 Termocuplas tipo “J” con sus respectivos displays visualizadores digitales

2 pulsadores ON/OFF

Sistema de circulación de aire:

Ventilador DAYTON 4C442, con Potencia = 1/30 HP

Visualizador de Temperatura de salida: Termómetro bimetalico marca WIKA

A continuación se detalla cómo se debe proceder para operar el equipo:

- Verificar el estado de todos los componentes del deshidratador antes de iniciar cualquier trabajo.
- Examinar que no existan elementos extraños dentro del deshidratador, del colector y cerca del ventilador
- Familiarizarse con el equipo y el sistema de medición.
- Seleccionar un área libre en donde el colector reciba la mayor cantidad de energía solar
- Preparar la uvilla para introducirla al deshidratador
- Colocar las uvillas en las bandejas portantes
- Introducir las bandejas con la uvilla lista para brevemente iniciar el proceso de deshidratación
- Conectar los visualizadores de las termocuplas y el ventilador a una red de corriente eléctrica de 110 V.
- Iniciar el proceso de deshidratación de la uvilla
- Empezar a registrar las temperaturas (entrada, proceso y salida) del deshidratador en función del tiempo
- Durante el proceso de deshidratación cambiar de posición las bandejas cada 15 minutos para lograr una uniformidad en el secado de las uvillas.

- Una vez que se haya cumplido el tiempo establecido para el secado apagar el ventilador
- Proceder a retirar las bandejas del deshidratador y verificar el estado de las uvillas
- Pesar las uvillas deshidratadas para poder determinar la humedad del producto.
- Limpiar el deshidratador una vez que se haya terminado la práctica.
- Apagar los visualizadores y desconectar el equipo.

MANTENIMIENTO DEL DESHIDRATADOR.

Como toda máquina, el deshidratador necesita de un mantenimiento preventivo cada vez que se lo vaya a utilizar.

El mantenimiento debe ser cada vez que se utiliza el equipo, debido a que tiene contacto directo con las uvillas y durante el proceso de deshidratación se genera una miel propia de la uvilla.

Seguir los siguientes pasos para un correcto mantenimiento:

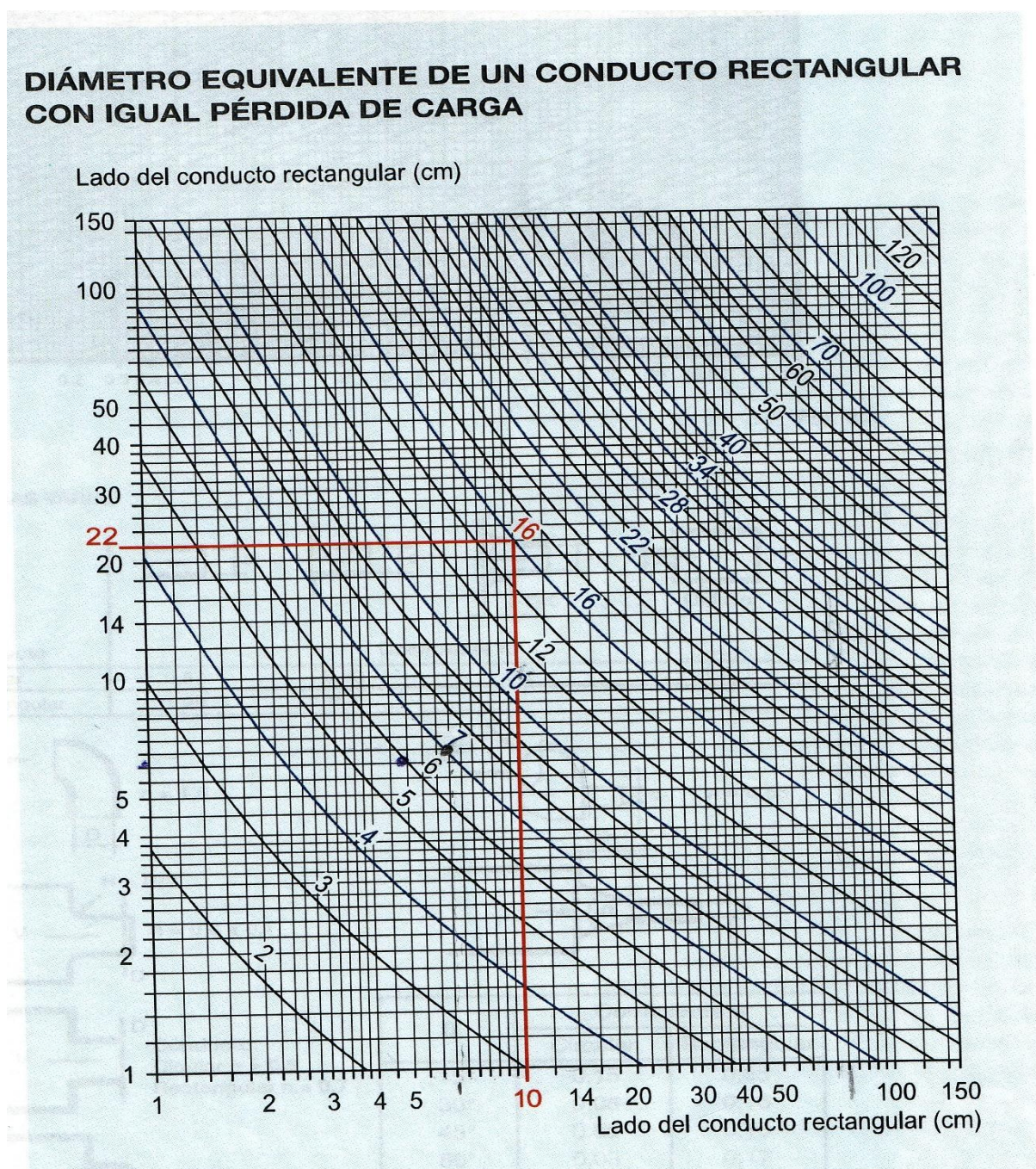
- Se debe lavar las uvillas antes de depositarlas en las bandejas.
- Lavar las bandejas.

- Cerrar bien la puerta antes de iniciar el proceso de secado para evitar pérdidas de calor y así evitar forzar al motor que genera flujo de aire.
- Después de cada proceso se debe realizar una limpieza interna del deshidratador con un mantel limpio.

Repita estos pasos cada vez que se vaya a realizar una práctica.

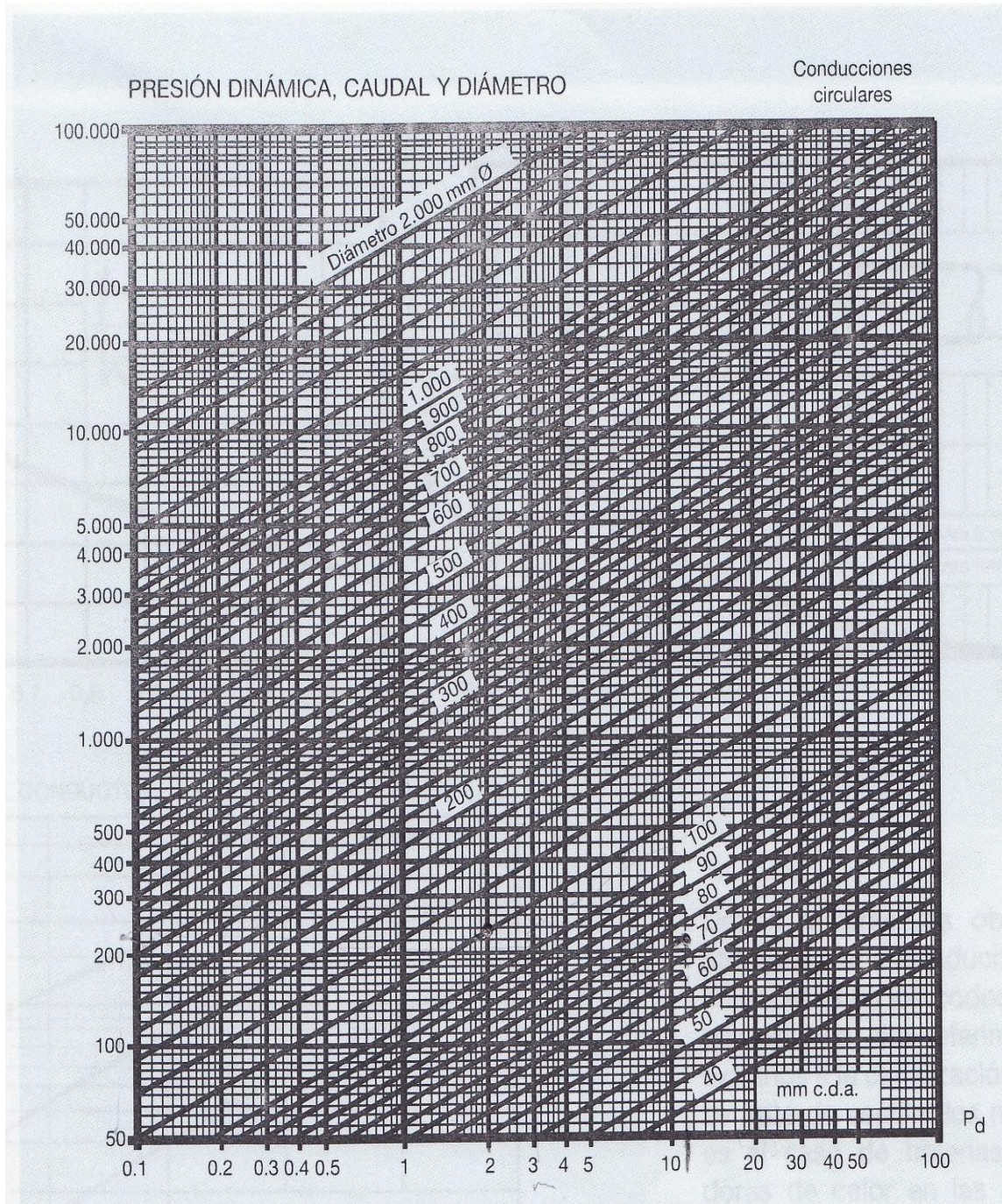
ANEXO 4

DIÁMETROS EQUIVALENTES DE TUBERIAS CUADRADAS Y RECTANGULARES.



ANEXO 5

PRESION DINAMICA EN DUCTOS

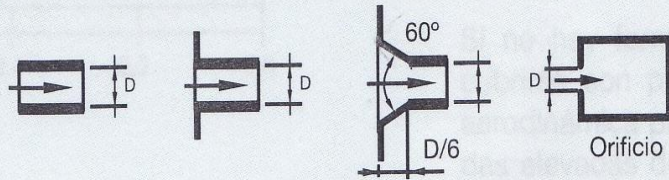


ANEXO 6

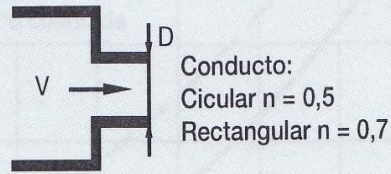
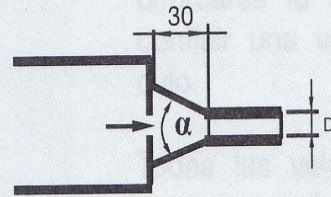
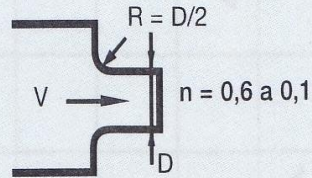
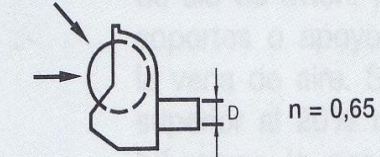
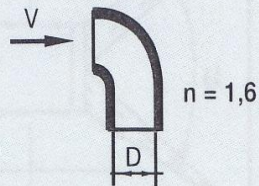
METODO DEL COEFICIENTE "n"

ENTRADAS VARIAS

Figura



Conducto	Coeficiente n			
Circular	0,87	0,49	0,2	1,8
Rectangular	1,25	0,7		



α	Coeficiente n	
	Circular	Rectangular
15°	0,15	0,25
30°	0,08	0,16
45°	0,06	0,15
60°	0,08	0,17
90°	0,15	0,25
120°	0,26	0,35
150°	0,40	0,48



$n = 1,78 P_{d1} + 0,5 P_{d2}$
 P_{d1} y P_{d2} corresponden a V_1 y V_2

ANEXO 7

VISCOSIDAD DINAMICA DEL AGUA A VARIAS TEMPERATURAS

viscosidad dinamica del agua liquida a varias temperaturas

Temperatura °C	Viscosidad dinámica kg / (m·s)	Temperatura °C	Viscosidad dinámica kg / (m·s)	Temperatura °C	Viscosidad dinámica kg / (m·s)
0	0,001792	34	0,000734	68	0,000416
1	0,001731	35	0,000720	69	0,000410
2	0,001674	36	0,000705	70	0,000404
3	0,001620	37	0,000692	71	0,000399
4	0,001569	38	0,000678	72	0,000394
5	0,001520	39	0,000666	73	0,000388
6	0,001473	40	0,000653	74	0,000383
7	0,001429	41	0,000641	75	0,000378
8	0,001386	42	0,000629	76	0,000373
9	0,001346	43	0,000618	77	0,000369
10	0,001308	44	0,000607	78	0,000364
11	0,001271	45	0,000596	79	0,000359
12	0,001236	46	0,000586	80	0,000355
13	0,001202	47	0,000576	81	0,000351
14	0,001170	48	0,000566	82	0,000346
15	0,001139	49	0,000556	83	0,000342
16	0,001109	50	0,000547	84	0,000338
17	0,001081	51	0,000538	85	0,000334
18	0,001054	52	0,000529	86	0,000330
19	0,001028	53	0,000521	87	0,000326
20	0,001003	54	0,000512	88	0,000322
21	0,000979	55	0,000504	89	0,000319
22	0,000955	56	0,000496	90	0,000315
23	0,000933	57	0,000489	91	0,000311
24	0,000911	58	0,000481	92	0,000308
25	0,000891	59	0,000474	93	0,000304
26	0,000871	60	0,000467	94	0,000301
27	0,000852	61	0,000460	95	0,000298
28	0,000833	62	0,000453	96	0,000295
29	0,000815	63	0,000447	97	0,000291
30	0,000798	64	0,000440	98	0,000288
31	0,000781	65	0,000434	99	0,000285
32	0,000765	66	0,000428	100	0,000282
33	0,000749	67	0,000422		

ANEXO 8

COEFICIENTE DE RESISTENCIA CONTRACCION SUBITA

TABLA 10.3 Coeficiente de resistencia-contracción súbita.

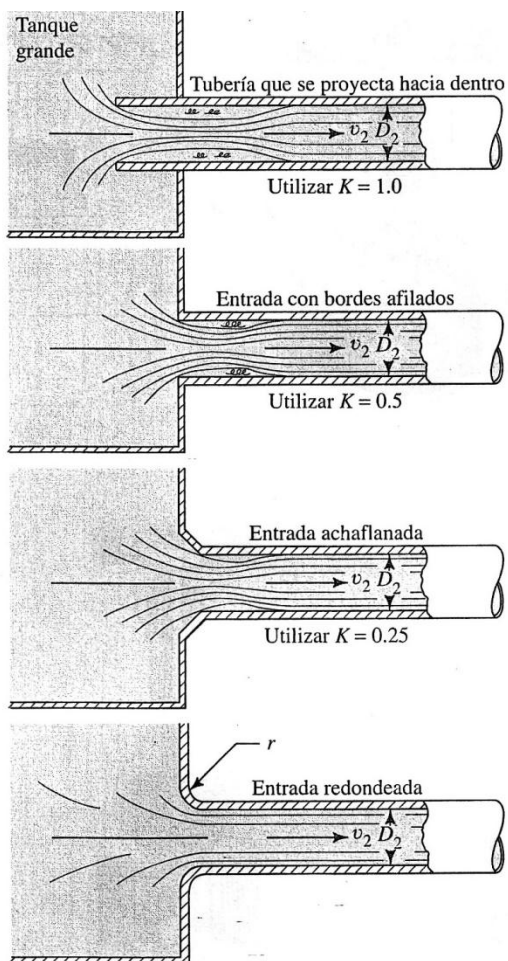
D_1/D_2	Velocidad v_2								
	0.6 m/s 2 pies/s	1.2 m/s 4 pies/s	1.8 m/s 6 pies/s	2.4 m/s 8 pies/s	3 m/s 10 pies/s	4.5 m/s 15 pies/s	6 m/s 20 pies/s	9 m/s 30 pies/s	12 m/s 40 pies/s
1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.1	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06
1.2	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.09	0.10	0.11
1.4	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18	0.19	0.20
1.6	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.25	0.25	0.25	0.24
1.8	0.34	0.34	0.34	0.33	0.33	0.32	0.31	0.29	0.27
2.0	0.38	0.37	0.37	0.36	0.36	0.34	0.33	0.31	0.29
2.2	0.40	0.40	0.39	0.39	0.38	0.37	0.35	0.33	0.30
2.5	0.42	0.42	0.41	0.40	0.40	0.38	0.37	0.34	0.31
3.0	0.44	0.44	0.43	0.42	0.42	0.40	0.39	0.36	0.33
4.0	0.47	0.46	0.45	0.45	0.44	0.42	0.41	0.37	0.34
5.0	0.48	0.47	0.47	0.46	0.45	0.44	0.42	0.38	0.35
10.0	0.49	0.48	0.48	0.47	0.46	0.45	0.43	0.40	0.36
∞	0.49	0.48	0.48	0.47	0.47	0.45	0.44	0.41	0.38

Fuente: King, H. W. y E. F. Brater, 1963. *Handbook of Hydraulics*, 5a. ed., Nueva York: McGraw-Hill, tabla 6-9.

ANEXO 9

COEFICIENTE DE RESISTENCIA PARA VALVULAS Y ACOPLES

Coeficientes
entradas.



r/D_2	K
0	0.50
0.02	0.28
0.04	0.24
0.06	0.15
0.10	0.09
>0.15	0.04 (E)

ANEXO 10

COEFICIENTE DE RESISTENCIA DE EXPANSIÓN GRADUAL

TABLA 10.2 Coeficiente de resistencia-expansión gradual.

D_2/D_1	Ángulo del cono θ											
	2°	6°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	60°
1.1	0.01	0.01	0.03	0.05	0.10	0.13	0.16	0.18	0.19	0.20	0.21	0.23
1.2	0.02	0.02	0.04	0.09	0.16	0.21	0.25	0.29	0.31	0.33	0.35	0.37
1.4	0.02	0.03	0.06	0.12	0.23	0.30	0.36	0.41	0.44	0.47	0.50	0.53
1.6	0.03	0.04	0.07	0.14	0.26	0.35	0.42	0.47	0.51	0.54	0.57	0.61
1.8	0.03	0.04	0.07	0.15	0.28	0.37	0.44	0.50	0.54	0.58	0.61	0.65
2.0	0.03	0.04	0.07	0.16	0.29	0.38	0.46	0.52	0.56	0.60	0.63	0.68
2.5	0.03	0.04	0.08	0.16	0.30	0.39	0.48	0.54	0.58	0.62	0.65	0.70
3.0	0.03	0.04	0.08	0.16	0.31	0.40	0.48	0.55	0.59	0.63	0.66	0.71
∞	0.03	0.05	0.08	0.16	0.31	0.40	0.49	0.56	0.60	0.64	0.67	0.72

Fuente: King, H.W. y E. F. Brater. 1963. *Handbook of Hydraulics*, 5a. ed., Nueva York: McGraw-Hill, tabla 6-8.

ANEXO 11

COEFICIENTE DE RESISTENCIA EXPANSIÓN SUBITA

TABLA 10.1 Coeficiente de resistencia-expansión súbita.

D_2/D_1	Velocidad v_1						
	0.6 m/s	1.2 m/s	3 m/s	4.5 m/s	6 m/s	9 m/s	12 m/s
	2 pies/s	4 pies/s	10 pies/s	15 pies/s	20 pies/s	30 pies/s	40 pies/s
1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.2	0.11	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.08
1.4	0.26	0.25	0.23	0.22	0.22	0.21	0.20
1.6	0.40	0.38	0.35	0.34	0.33	0.32	0.32
1.8	0.51	0.48	0.45	0.43	0.42	0.41	0.40
2.0	0.60	0.56	0.52	0.51	0.50	0.48	0.47
2.5	0.74	0.70	0.65	0.63	0.62	0.60	0.58
3.0	0.83	0.78	0.73	0.70	0.69	0.67	0.65
4.0	0.92	0.87	0.80	0.78	0.76	0.74	0.72
5.0	0.96	0.91	0.84	0.82	0.80	0.77	0.75
10.0	1.00	0.96	0.89	0.86	0.84	0.82	0.80
∞	1.00	0.98	0.91	0.88	0.86	0.83	0.81

Fuente: King, H. W. y E. F. Brater, 1963. *Handbook of Hydraulics*, 5a. ed., Nueva York: McGraw-Hill, tabla 6-7.

ANEXO 13

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE MATERIALES AISLANTES

TABLA 10-4 Conductividad térmica de materiales usados en paredes de almacenes fríos

Material	Descripción	Conductividad Térmica (k)*	Conductancia térmica (C)*
Mampostería	Ladrillo, común	5.0	
	Ladrillo, de fachada	9.0	
	Concreto mortero o mezcla	5.0	
	Concreto, agregado de arena	12.0	
	Bloque de concreto		
	Agregado de arena 4 plg		1.40
	Agregado de arena 8 plg		0.90
	Agregado de arena 12 plg		0.78
	Agregado de escoria 4 plg		0.90
	Agregado de escoria 8 plg		0.58
	Agregado de escoria 12 plg		0.53
	Yeso de estucar 1/2 plg		3.12
	Barro bloque hueco 4 plg		0.90
	Barro bloque hueco 6 plg		0.66
Barro bloque hueco 8 plg		0.54	
Maderas	Arce, roble, maderas duras similares		1.10
	Abeto, pino, maderas suaves similares		0.80
	Madera contrachapada 1/2 plg		1.60
	Madera contrachapada 3/4 plg		1.07
Techado	Techado con rollo de asfalto	6.50	0.15
	Techado armado 3/8 plg	3.00	0.33
Materiales de aislamiento	Bloque o rollos de fibra, mineral o de vidrio	0.27	
	Tabla o placa		
	Vidrio celular	0.40	
	Placa de corcho	0.30	
	Fibra de vidrio	0.25	
	Poliestireno expandido	0.20	
	Poliuretano expandido	0.17	
	Relleno		
	Papel prensado o pulpa de madera	0.27	
	Aserrín o virutas	0.45	
	Lana mineral (roca, vidrio, escoria)	0.27	
	Corteza de pino	0.26	
	Fibra de madera (madera suave)	0.30	
Conductancia en la superficie (coeficiente de convección)	Aire tranquilo		1.65
	Aire en movimiento (7.5 mph)		4.00
	Aire en movimiento (15 mph)		6.00
Vidrio	Una hoja		1.13
	Dos hojas		0.46
	Tres hojas		0.29
	Cuatro hojas		0.21

De *ASHRAE Data Book, Fundamentals Volume*, Edición 1972 con permiso de the American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers.

ANEXO 14

VISCOSIDAD DINAMICA Y DISCOSIDAD CINEMATICA DEL AIRE

PROPIEDADES DEL AIRE SECO

Temperatura t (°C)	Viscosidad Dinámica $\eta \cdot 10^{-6}$ (Ns/m ²)	Viscosidad Cinematica $\nu \cdot 10^{-6}$ (m ² /s)
0	17,16	13,28
10	17,68	14,18
20	18,19	15,10
30	18,67	16,03
40	19,15	16,98
50	19,62	17,94
60	20,08	18,92
80	20,98	20,92
100	21,85	23,04
200	25,87	34,65
300	29,60	48,00
400	33,00	62,90
500	36,20	79,20

ANEXO 15

ESPESOR MÍNIMO DE AISLAMIENTO

ESPESOR DE CONDUCTOS Y ACCESORIOS		ESPESOR DE APARATOS Y DEPÓSITOS	
Aire	Espesor (mm)	Superficie (m ²)	Espesor (mm)
Caliente	20	≤ 1	30
Frío	30	> 2	50

Comentarios:

- Los espesores indicados son válidos cuando los componentes contengan fluidos a temperatura inferior a la del ambiente; o superior a 40 °C cuando están situados en locales no calefactados, entre los que se deben considerar los platinillos, galerías, salas de máquinas y similares.
- Los componentes que vengan aislados de fábrica tendrán el nivel de aislamiento marcado por la respectiva normativa o determinado por el fabricante.
- Los espesores son válidos para materiales con conductividad térmica de referencia " $\lambda_{ref} = 0,040 \text{ W/(m}^\circ\text{K)}$ " a 20 °C. Si se emplean materiales con conductividad térmica distinta a la de referencia, el espesor mínimo de aislamiento se calcula mediante las siguientes fórmulas:

- e: espesor mínimo de aislamiento (mm)
- e_{ref} : espesor mínimo de aislamiento indicado en las [tablas anteriores](#) (mm)
- λ : conductividad térmica del material ($\text{W/(m}^\circ\text{K)}$)
- λ_{ref} : conductividad térmica de referencia ($0,040 \text{ W/(m}^\circ\text{K)}$)
- D: diámetro interno de la superficie de sección circular (mm)

ANEXO 16

FOTOGRAFIAS



Trazado de líneas corte y doblado



Armado de la maqueta.



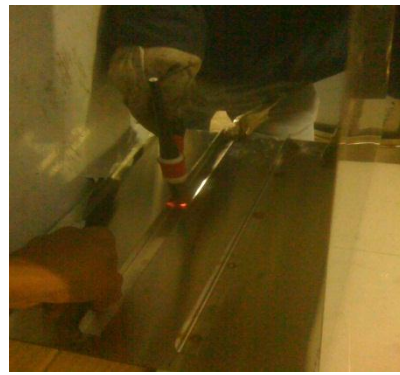
Trazado líneas para corte y doblado de las chapas de acero.



Cuadratura y soldadura de la chapa externa del deshidratador.



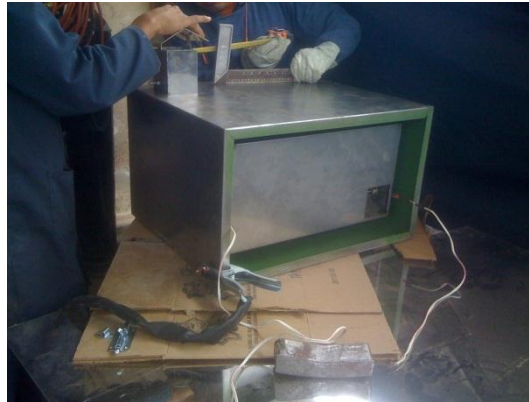
Verificación de medidas externas



Construcción de la parte interna del deshidratador en acero inoxidable



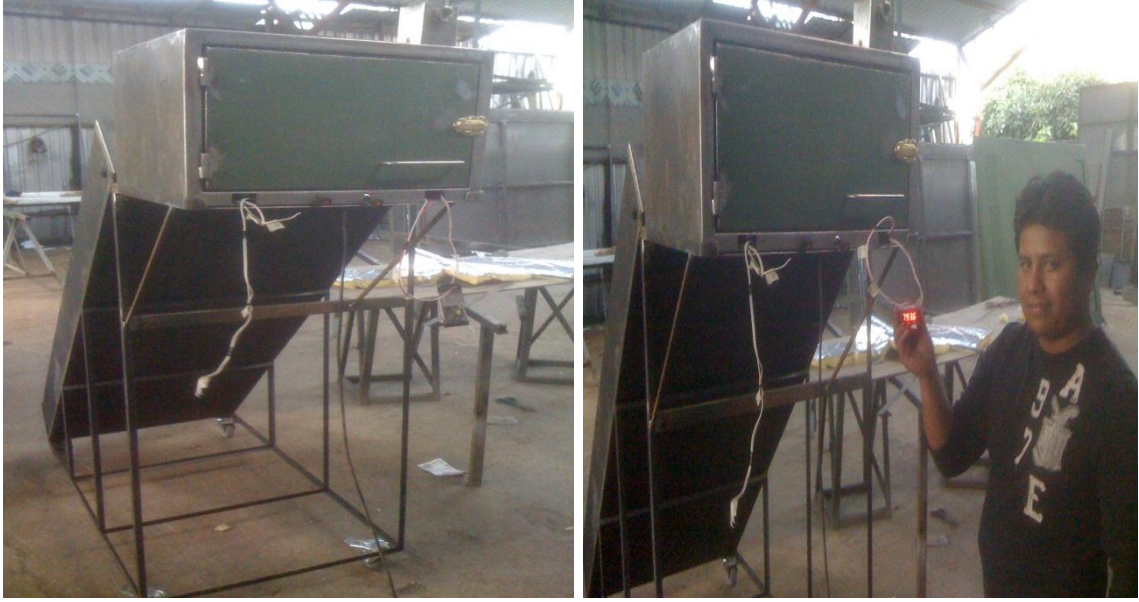
Adecuaciones en estructura del colector solar (colocación de llantas fijas y móviles),
montaje de estructura portante para el deshidratador.



Montaje de la cámara de acero inoxidable dentro de la carcasa de acero laminado e instalación de termocuplas en la parte interna del deshidratador.



Instalación de aislamiento térmico (lana de vidrio) para la cámara de secado.



Prueba de los instrumentos de medición y sus conexiones.

ANEXO 17

FACTURAS

Factura Tuerca Inox 001-001-000165726

CONTRIBUYENTE ESPECIAL

Resolución N° 194 N.E.001-001-1104687

RUC 1790155102001

Autorización: 1111507366

Válido para su emisión hasta 13/AGOSTO/2013

FACTURA S-001-001-00 0165726

Fecha: Quito, Lunes, 7/Ene/2013

Condiciones de Pago: CONTADO

Ciente: CUARAN PANTOJA SANTIAGO
LUCAS MAJANO OE321 Y BRASIL SECTOR LA CONCEPCION(QUITO)
1002675997 2458558/0984586798



castillo
HERMANOS

CASTILLO HERMANOS S.A.

PRINCIPAL

Panam. Norte Km. 5 1/2 #13135 y De los Cerezos
Fono/Fax: 2475-785/6/7 2477-214
Celular: 097-101-208

SUCURSAL 1

Av. América N22-148 y Ramírez Dávalos
Fono/Fax: 2227-270 2523-064 2520-586

SUCURSAL 2

Av. Maldonado #10145 y Casubamba
Fono/Fax: 2684-560 2684-561

SUCURSAL 3

Acuña E1-51 y Juan Ágama
Fono/Fax: 3238-641 3238-643 3238-644

SUCURSAL 4

R Vicente Maldonado 549-163 y Calle C
Fono/Fax: 2695-700 2699-542 2699-706

Email: ventas@castillohermanos.com
Quito-Ecuador

Guía de Remisión	Cantidad	Artículo	% Descto	Precio Unitario	TOTAL
	4.00	(1379600)TUERCA AC.INOX. MM DIN 934 24X3.00	0.00	1.930	7.72
Subtotal		Descuento	V. Imponible	I.V.A.	TOTAL US\$
	7.72	10.7143%	0.83	6.89	12.00%
				0.83	7.72

DECLARO HABER RECIBIDO A ENTERA SATISFACCION Y SIN LUGAR A RECLAMO POSTERIOR TODA LA MERCADERIA DETALLADA EN ESTA FACTURA, LA MISMA QUE COMO COMPRADOR RECONOZCO EXPRESAMENTE, SUJETANDOME YO O MI EMPLEADOR, SEGUN EL CASO, A LAS CONDICIONES Y PLAZOS QUE CONSTAN EN LA MISMA. ACEPTO PAGAR EL MAXIMO DE INTERES CORRESPONDIENTE EN CASO DE RETRASO POR LA MORA, LA QUE EMPEZARA AL VENCERSE EL PLAZO MENCIONADO.

CLIENTE

Formulario: Loja, Hermanos Zubizarri S.A. RUC 1708959303001 - Mod. 1552 - Del 14/03/01 al 14/03/01 - 13/08/2012 - Tel: 3 8763280

ORIGINAL CLIENTE / COPIA EMISOR

Factura Pernos inoxidables 003-003-000012316

IMPORTANTE AL COMPRADOR
 1- IVAN BOHMAN C.A. NO ACEPTA DEVOLUCIONES DE MERCADERIA SIN JUSTIFICACION UNA VEZ QUE ESTA HA SALIDO DEL ALMACEN
 2- LAS MERCADERIAS AMPARADAS EN ESA FACTURA VAJIAN POR CUENTA Y RIESGO DEL COMPRADOR
 3- SOBRE TODA FACTURA QUE NO SEA CANCELADA A SU VENCIMIENTO SE CARGARAN INTERESES LEGALES EN MORA Y COMISIONES DE COBRANZAS.
 4- NO RESPONDEMOS POR PERDIDAS OCURRIDAS EN EL TRANSITO DESPUES QUE LA MERCADERIA HA SALIDO DEL ALMACEN PARA CAMBIOS O DEVOLUCIONES SOLO MERCADERIA EN SU EMPAQUE ORIGINAL Y EN PERFECTO ESTADO.
CANCELE SUS FACTURAS EN CHEQUE O MEDIANTE DEPOSITO A LAS CTAS CTES:
 Produbanco 02006056934 , Pacifico 11135-7, Pichincha 31306954-04


DATOS DEL CLIENTE
 CLIENTE: SANTIAGO CUARAN RUC / C.I.: 1002675997
 DIRECCION: LUCAS MAJANO E321 Y BRASIL
 CIUDAD: QUITO PROVINCIA: PICHINCHA TELEFONO: 2458558 FAX:

DATOS DE FACTURA
 PRELIMINAR: 003-003-000012316 FECHA: 07/01/2013 11:29:17
 CONDICION VTA: CONTADO FECHA VENCIMIENTO: 07/01/2013
 CODIGO CLIENTE: 00070007344 ORDEN DE VENTA: 00112874_047
 CODIGO VENDEDOR: 11034 NOMBRE VENDEDO: AGUILAR LUZURIAGA ORLANDO
 CODIGO FACTURADO: 11034 NOMBRE FACTURADOR: AGUILAR LUZURIAGA ORLANDO
 GUIA DE REMISION: OBSERVACION:
 MULTIVENCIMIENTOS: ORIGINAL-ADQUIRIENTE

IBCA
IVAN BOHMAN C.A.
 Sirviendo al País desde 1935
RUC 0990320810001
 CONTRIBUYENTE ESPECIAL - Resolución 6925 del 04 de Julio de 1995
 MATRIZ GUAYAQUIL: Km. 6 1/2 Vía a Daule Ave. Principal s/n • Contm: (593-4)2254111
 Pbx: 6044000 / 2258666 • Fax: (593-4)2254159
 e-mail: ventas@ivanbohman.com.ec / compras@ivanbohman.com.ec
 QUITO NORTE: Av. Galo Plaza N66-211 - N66-227 y Los Cerezos • Contm: (593-2)2485324
 Fax: (593-2)2485330 • e-mail: ventas@ivanbohman.com.ec
 QUITO SUR: Av. Pedro Vicente Malдонадо 10750 y Ayapamba
 Contm: (593-2)3063002 • Fax: (593-2)2678755
 www.ivanbohman.com.ec

MA GR	REFERENCIA	DESCRIPCIÓN	U	CANT.	PVP	% DESC	TOTAL
CB 35	5/16" X 1"-I	PERNO HEX 5/16" X 1" INOX 304 H.GRUESO H.CORRIDO (250 UND)	UN	1.00	0.1541		0.15
CB 35	3/8" X 3/4"-I	PERNO HEX 3/8" X 3/4" INOX 304 H.GRUESO H.CORRIDO (250 UND)	UN	1.00	0.2204		0.22

SUBTOTAL	0.37	DCTO. ADICIONAL	0.00	BASE IMPONIBLE	0.37	IVA 12%	0.04	BASE TARIFA 0%	0.00	NETO A PAGAR	USD	0.41
----------	------	-----------------	------	----------------	------	---------	------	----------------	------	---------------------	-----	------


 DESPACHADO POR _____ RECIBI CONFORME _____ FIRMA AUTORIZADA _____ C.I. _____

DEBO Y PAGARE A LA ORDEN DE IVAN BOHMAN C.A., EN EL LUGAR Y FECHA QUE SE RECONVENGA, EL VALOR TOTAL EXPRESADO EN ESTE DOCUMENTO MAS LOS IMPUESTOS RESPECTIVOS Y EL MAXIMO INTERES LEGAL POR MORA PERMITIDO DESDE SU VENCIMIENTO SIN PROTESTO, EXIMIEME DE PRESENTACION PARA EL PAGO ASI COMO POR FALTA DE ESTE HECHO, RENUNCIO DOMICILIO Y ME SOMETO A LOS JUECES COMPETENTES DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL O QUITO Y AL TRAMITE EJECUTIVO VERBAL SUMARIO A ELECCION DE IVAN BOHMAN C.A. O SUS CESIONARIOS ACEPTO QUE IVAN BOHMAN C.A. CEDA Y TRANSFERA EN CUALQUIER MOMENTO LOS DERECHOS QUE EMANAN DEL PRESENTE DOCUMENTO SIN QUE SEA NECESARIA NOTIFICACION ALGUNA NI NUEVA ACEPTACION DE MI PARTE ACEPTO LAS CONDICIONES INCORPORADAS A LA PRESENTE FACTURA A LA VISTA Y SIN PROTESTO.

NÚM. AUTORIZACIÓN: 1110867447 FECHA AUTORIZACIÓN: 01/02/2012 FECHA VALIDEZ: 01/02/2013



Factura Termocuplas y controladores de temperatura 001-001-000013159



DISETEC Cía. Ltda.
SOLUCIONES INDUSTRIALES

RUC. 1791863984001

CONTRIBUYENTE ESPECIAL
RESOLUCION No. 815 DEL 18-12-2009

Matriz: Mariano Cardenal Oe1-74 y Vicente Duque (tras IIASA Caterpillar)
Telefs.: (593-2) 280-6222 / 248-3240 / 248-3240 / 247-6535 / 280-0187 Fax: 280-7684
www.disetec-ec.com * E-mail: ventas@disetec-ec.com Quito - Ecuador
Sucursal: Cda. la FAE, Elia Liut V-24 y Manzana 40 Telfs.:042 399-568 / 042 296-649
E-mail: disetecgye@disetec-ec.com / disetec_gye@yahoo.com

FACTURA
N°-001-001-000013159
No. Aut. SRI. 1111917144
Fecha de Autorización: 13 de Noviembre del 2012

CLIENTE : SANTIAGO CLAVAN
RUC : 1002675997
DIRECCION : LUCAS MAJANO OES-21 Y BRASIL
CIUDAD : QUITO
TELEFONO : 2458558
FECHA FACTURA : Quito, 7 de Enero del 2013
VENDEDOR : 00004

CONTRIBUYENTE ESPECIAL
RESOLUCION No. 815
18/12/2009

CODIGO	DESCRIPCION	CANTIDAD	P. UNITARIO	TOTAL
AGW-1-SU-14-R-1-J-25	TERMOCUPLA TIPO J BL2.5"	2.00	90.86	181.72
BC-C21-410000	CONTROLADOR DE TEMPERATURA DIN 1/32	2.00	176.80	353.60
30025D10564	TERM 0/100°C D3"BL2.5 POST	1.00	57.66	57.66

SUMA : 592.98
DESCUENTO : 88.95
SUBTOTAL : 504.03
IVA 12% : 60.48
TOTAL : 564.51

SON : Favor cancelar con cheque cruzado 04VN-24CS

FECHA VENCIMIENTO : 7 de Enero del 2013
ORDEN DE COMPRA :
GUIA DE REMISION : 800000000004524

emitir y enviar Comprobante de Ret.
de los 5 días de emitida la fact.
LRT1: "NO SE RECIBIR
MES PASADO ESE TIEMPO"

LA MENCIONADA SUMA EN ESTE DOCUMENTO ME (NOS) OBLIGA A PAGARLA EN MONEDA EN CURSO LEGAL CON INTERÉS% ANUAL DESDE ESTA FECHA HASTA EL VENCIMIENTO DEL PLAZO SEÑALADO, SIENDO DE MI (NUESTRA) CUENTA TODOS LOS IMPUESTOS Y TASAS QUE CAUSARE ESTE PAGARE; EN CASO DE MORA ME (NOS) OBLIGO (AMOS) ADEMÁS; A PAGAR EL INTERÉS ADICIONAL DEL% ANUAL DESDE EL VENCIMIENTO HASTA SU TOTAL CANCELACION ASI COMO A CUBRIR TODOS LOS GASTOS JUDICIALES Y EXTRANJEROS INCLUSIVE LOS HONORARIOS PROFESIONALES QUE OCASIONARE EL COBRO SIENDO SUFICIENTE PRUEBA PARA ESTABLECER TALES GASTOS LA MERA ASEVERACION DEL ACREEDOR. QUEDO (AMOS) sometido (S) A LOS JUICIOS O TRIBUNALES DE ESTA CIUDAD O A LAS QUE ELIJA EL ACREEDOR Y A LA VIA EJECUTIVA. LUEGO DE HABER LEIDO ESTE DOCUMENTO ESTAMPADO MI FIRMA DE CONFORMIDAD A CONTINUACION.

Firma Autorizada

Recibí Conforme Cliente

Factura Accesorios para deshidratador 007-003-000155021

MOENSA DE COLOMBIA
Sucursal :VIA INTEROCEANICA S/N
Telf: 022893072 022893073 QUITO

ORIGINAL ADQUIRIENTE

FACTURA 007-003-000155021 S-770

Sr(s). IVAN TINILLO
Cliente: 888885-000000
Ruc : 1715003958
Direc : AV. ELOY ALFARO Y DE LAS AVELL
ANAS
Telf. : 2480440 QUITO

Fecha de Emision : 07/ENE/2013
Vend: VENTAS ALMACEN

CINTA ESPUMA GRIS 1/2X30			
33146	\$10,383929	1	\$10,38
GARRUCHA 3" 55KG PU.PF.I			
102423	\$3,401786	2	\$6,80
GARRUCHA 3" 55KG PU.PG.B.I.			
102539	\$5,473214	2	\$10,95
PICAPORTE GALVANIZADO 4"			
210544	\$1,383929	1	\$1,38
TIRADERA A.INOX 160MM H3008-10			
214671	\$2,437500	1	\$2,44
BISAGRA CUAD 2.5" ACERO MATE C/P HE			
220736	\$1,214286	1	\$1,21
PILA ALCALINA AAA 1,5V C/A ENERGIZE			
422800	\$3,178571	1	\$3,18

SUBTOTAL	\$36,34
DESCUENTO Tarifa 12	\$0,00
DESCUENTO Tarifa 0	\$0,00
TOTAL SIN IVA	\$36,34

Vta.tarifa 12	\$36,34
Vta.tarifa 0	\$0,00
Total Vta.Neta	\$36,34
+ IVA Tar. 12	\$4,36
+ IVA Tar. 0	\$0,00
TOTAL A PAGAR	\$40,70

Forma de Pago:
VISA ELECT \$40,70 R: 74548

FIRMA CLIENTE : _____

GUIA DE REMISION : _____

ORDEN: Ident: 1/22/0102/01

Factura Silicon gris 001-001-000068652



FERRETERÍA BURBANO

RIGOBERTO ERASMO
BURBANO MONTENEGRO

Av. INTEROCEÁNICA
Km 9 ½ Av. Interoceánica S/N y Línea Férrea
Cumbayá

TELEFAX: 2892 - 266
E-mail: ferreteriaurbano@yahoo.com
QUITO - ECUADOR



FACTURA
N° 001-001-00 0068652

R.U.C.: 0400793253001

AUTORIZACIÓN SRI N° 1111521431
Obligado a Llevar Contabilidad

5107554

Fecha: 09/01/2013

RUC/CI: 1715003958

Cliente: IVAN TINILLO

Telf: 2460440

Dirección: Av. Eloy Alfaro y de las Avellanas

CANT.	CLASE DE MATERIAL	PRECIO UNITARIO	TOTAL
1	Silicon gris tubo 3 oz.85 g	2.50	2.50

ORIGINAL CLIENTE - COPIA EMISOR



Sub Total
Descuento 2.50
I.V.A. 0 % 0.00
I.V.A. 12% 0.30
TOTAL S 2.80

FIRMA AUTORIZADA

FIRMA DEL CLIENTE

Impreso por Industria Manufacturera de Productos de Oficina, IMPRO S.A. Ltda. Tel: 3100924. U.S. 282892. E.U.C. 090579358001. Autorización: 1102. Fecha de autorización: 15-Agosto-2012. Válido para su emisión hasta 15-Agosto-2013. Dbl 63201 AL 7320

Factura Planchas perforadas 002-001-000015958



¡ Sirviendo al Ecuador !

R.U.C. 1790947432001
 MATRIZ: KENNEDY-KENNEDY AV. 6 DE DICIEMBRE N53-237 Y LOS PINOS
 TELFS.: 2813 410 - 2813 178- 2418 602
 FAX: 2401 781 - 2813 178
 E-mail: riler@andinet.net
 www.rilerecuador.com / www.rilrec.com
 QUITO - ECUADOR

Emisión: 12 01 2013 Vencimiento: 12 01 2013

FACTURA Nº 002-001-000015958

Autorización SRI Nº 1111716817
 Fecha Autorización: 27/09/2012

Nombre: IVAN TINILLO R.U.C./C.I.: 1715003958

Dirección: AV. EWY ALFARO Y DE LOS AVELLANAS Telf.: 2480440

Forma de Pago: Contado Crédito días ORDEN No.: _____

ITEM	CANT.	DESCRIPCION	V.UNIT.	% Dcto.	Valor Total
01	1	PZA PLANCHA INOX PERFORADA MESH 4mm. 73 x 90cmts	133 ⁹²	-	133 ⁹²



REGISTRO DE QUITO: 217850 - SOCIAL: 2200138 - R.U.C. 0994571001 - AUT. 1910 - FECHA ELAB.: 27-09-2012 - NUM. DEL ORESO: AL 01000

Debo y Pagaré a la orden de RILER Cia.Ltda. la cantidad de:
 Precio de mercaderías recibidas a mi entera satisfacción. En esta ciudad de Quito en el plazo máximo de _____ días y en caso de mora me comprometo a pagar el interés del _____ % anual, desde su vencimiento hasta la cancelación de la deuda; y en caso de juicio someterme a los jueces de Quito y al procedimiento ejecutivo o verbal sumario.

Original: Cliente / 1ra. Copia Verde: Emisor / 2da. Copia Amarilla: Contabilidad - Sin Derecho a Crédito Tributario
 VALIDO PARA SU EMISION HASTA 27 SEPTIEMBRE DEL 2013

Subtotal	133 ⁹²
Tarifa 12 % I.V.A	16 ⁰⁷
Tarifa Cero	
Total Factura	150⁰⁰

Factura Materiales eléctricos 001-001-000068650



FERRETERÍA BURBANO

RIGOBERTO ERASMO
BURBANO MONTENEGRO

Av. INTEROCEÁNICA
Km 9 ½ Av. Interocéánica SIN y Línea Férrea
Cumbaya

TELEFAX: 2892 - 266
E-mail: ferreteriaurbano@yahoo.com
QUITO - ECUADOR



Fecha: 09/01/2013

Cliente: IVAN TINILLO
Dirección: Av. Eloy Alfaro y de las Avellanas

FACTURA

Nº 001-001-000068650

R.U.C.: 0400793253001

AUTORIZACIÓN SRI Nº 1111521431
Obligado a Llevar Contabilidad

5107552

RUC/CI: 1715003958

Telf: 2430440

CANT.	CLASE DE MATERIAL	PRECIO UNITARIO	TOTAL
6	Cable gamelo 18 cablec c/metro	0.36	2.16
4	Cable sucre 3 x 14	1.43	5.72
2	Enchufe blindado cooper 2p.	1.97	3.94
1	Interruptor de paso chino plano	0.45	0.45
1	Taipa 3/1 20 ydas. Negro	0.72	0.72
Sub Total			
Descuento			12.99
I.V.A. 0 %			0.00
I.V.A. 12%			1.56
TOTAL \$			14.55

ORIGINAL CLIENTE - COPIA EMISOR



FIRMA AUTORIZADA

FIRMA DEL CLIENTE

Impreso por Industrias Manufacturera de Productos de Oficina IMPO S.A. Ltda. Tel: 09957938001, R.U.C. 09957938001, Autorización 1102. Fecha de autorización 15-Agosto-2012 Válido para su emisión hasta 15-Agosto-2013 Del 63201 AL 73200

Factura Guantes y mascarillas 001-001-000068638



FERRETERÍA BURBANO

RIGOBERTO ERASMO
BURBANO MONTENEGRO
Av. INTEROCEÁNICA
Km 9 1/2 Av. Interoceánica S/N y Línea Férrea
Cumbayá
TELEFAX: 2892 - 266
E-mail: ferreteriaurbano@yahoo.com
QUITO - ECUADOR



FACTURA

Nº 001-001-000068638

R.U.C.: 0400793253001

AUTORIZACIÓN SRI Nº 1111521431
Obligado a Llevar Contabilidad

5107536

Fecha: 02/01/2013

RUC/CI: 1715003958

Cliente: PAN TINILLO

Tel: 2430440

Dirección: Av. Eloy Alfaro y de las Avellanas

CANT.	CLASE DE MATERIAL	PRECIO UNITARIO	TOTAL
2	Guante de caucho bicolor 9" C-25	1.80	3.60
3	Mascarilla negra doble elástico	0.65	1.95
Sub Total			5.55
Descuento			0.00
I.V.A. 0 %			0.67
I.V.A. 12%			6.22
TOTAL \$			

ORIGINAL CLIENTE - COPIA EMISOR



FIRMA AUTORIZADA

FIRMA DEL CLIENTE

Impreso por Industria Manufacturera de Productos de Oficina IMPO Cia. Ltda. Tel: Gye: 2100794 Urc: 2808002. R.U.C: 09603938001 Autorización 1102. Fecha de autorización: 15-Agosto-2012. Válido para su emisión hasta 15-Agosto-2013 Del 63201 Al 73200

Factura Planchas Acero Inox 304 001-001-0005950

METÁLICAS S UNTAXI

ING. SUNTAXI ALMACHI LUIS EDUARDO
PUERTAS A CONTROL REMOTO - ESTRUCTURAS METÁLICAS
VENTA DE REPUESTOS Y MANTENIMIENTO

Vía Interoceánica s/n y línea férrea (frente al semáforo)
Telefax: 2 896 458 • Cels.: 0998 030 687 / 09 91 041 075
Cumbayá - Ecuador

www.metalicasun taxi.com



RUC: 1713898441001

FACTURA

001-001- **0005950**

AUTORIZACION. 1111634436

VALIDO HASTA 10 SEPTIEMBRE 2013

Señor (es): IVAN TINELLO CORDOVA

R.U.C./C.I.: 1715003958 Fecha: Enero 8 del 2013

Dirección: Av. Eloy Alfaro y Av. Linares Telf.: 2480440

CANT	DESCRIPCIÓN	VALOR UNITARIO	VALOR DE VENTA
2	Planchas de acero Mater (304) Inoxidable	120	240
ESTAMOS OBLIGADOS A LLEVAR CONTABILIDAD NO RETENER EL I.V.A.			


MIRANDA SEMBLANTES WILSON JAVIER * RUC. 1714213145001 * AUT. 9477 Original: cliente / Copia: emisor
• Fecha Imp. 10 SEPTIEMBRE DEL 2012 • del 5611 al 6210

Sub Total	240
I.V.A. 0%	—
I.V.A. 12%	28,80
TOTAL \$	268,80

RECIBI CONFORME

FIRMA AUTORIZADA

Factura planchas laminadas en frio AISI 1023 000092345



FACTURA
5001-001-
N° 000092345

CONTRIBUYENTE ESPECIAL
Resolución No. 856 del 22/12/2009

PROVINCIA: Tarma, Provincia: Siles 6/1/14 An. Importancia
Teléfono: 2371360 / 2372710 / 2377908 / 2376653
Calle: 097-3003563

TUMBADO: EDUADOR
SUC. 1. Al. El Inca, El 422 y de los Nogales
Teléfono: 2847860 / 2866917 / Telfax: 28477890
Calle: 097-3003910
DISTRITO: EDUADOR

SUC. 2. Al. General Enriquez s/n a la cañal y la Plaza
Teléfono: 2888960 / 2860983 (Sector San Rafael)
Calle: 097-3003905

Proveedor: Villavieja De Aceros Cia. Ltda.
R.U.C. 1792180147001 Nro: 1010092345

Cliente: SUNTAXI ALMACHI LUIS EDUARDO R.U.C./C.I.: 1713898441001

Fecha: 18/01/2013 Nota de Entrega: Crédito

Dirección: VIA INTEROCEANICA Teléfonos: 2889458

Condiciones de pago: CREDITO 18/01/2013 Orden de Compra:

CANT.	DESCRIPCION	P. UNITARIO	TOTAL
15.00	705015 T. REDONDO 50 X 1.5 (2 X 1.5) 11.02KG	16.81	252.25
5.00	605015 T. CUADRADO 50 X 1.5 (2 X 1.5) 13.93KG	21.59	107.95
3.00	1502515 T. RECTANGULAR 50 X 25 X 1.5 (10.32KG)	18.18	54.56
4.00	400110 PLANCHALFE 1.10 (25.71) .	30.58	122.32
1.00	104040 ANGULO 1 1/2" X 3/16 (40 X 4mm) 14.32kg	17.37	17.37
1.00	104030 ANGULO 1 1/2" X 1/8 (40 X 3mm) 10.88kg	13.20	13.20
8.00	704012 T. REDONDO 40 X 1.1 (1 1/2 X 1.1) 6.09KG	9.70	77.61
TOTAL			845.27

SON: SEISCIENTOS CINCUENTA CON 43/100 DOLARES

IMPRESA Y ARTE GRAFICO: PROVIACEROS CIA. ARTESERENO, Autorización No. 2261, R.U.C. 1791879430001
Fecha: 06 / Julio / 2012 • Cal: 80001 al 100000

ORIGINAL, Adquirente: COPIA AMARILLA Emisor • COPIA CELESTE. Sin derecho a crédito tributario
Fecha de Caducidad: 06 / Julio / 2013

PROVIACEROS CIA. LTDA.

COMPRADOR

UT. SRL. 11111634436
HASTA 10/SEPTIEMBRE/2013

VALOR RETENIDO: 5.81

OBANTE DE RETENCIÓN 0003001

C.: 1713898441001

UT. ALMACHI LUIS EDUARDO

ORIGINAL : CLIENTE - COPIA EMISOR

Factura lana de vidrio S 001-001-000143124



R.U.C. 179140381001

INFORMACION CLIENTE

SIN TAXI EDUARDO

DIRECCION: CUMBAYA CENTRO

R.U.C. : 171399441001 CIUDAD CUMBAYA - EQUADOR

TELF. 2984498

Vend 005

Forma Pago CONTADO/EFFECT O DIAS

Cliente: [11947] Vence 04-Ene-2013

Autogestión S.R.L. N° 111888870

Factura Electrónica: 03/Noviembre/2012

DIA MES AÑO

4 ENE 2013

DATOS DE FACTURA

CODIGO	B	DESCRIPCION	CANTIDAD	V. UNITARIO	DESCUENTO	V. TOTAL
34	02	LANA DE VIDRIO CON ALUMINIO (1,20 FIBREGLASS PLANCHA	3,00	3,50	1,12	10,50 I
						TOTAL A PAGAR 10,49

MEGARFIO S.A.
RUC: 179140381001
CANCELADO

NOTA: El presente documento es cruzado a la orden de MEGARFIO S.A. DA LA MERCADERIA NO SE ADMITE RECLAMOS NI DEVOLUCIONES. Consciente de las implicaciones legales, declaro que toda la información personal suministrada a Megarrio S.A. es real y autorizo a: transferir o entregar información referente a mi comportamiento de crédito, a autoridades competentes, así como para que pueda dar a conocer mi comportamiento de crédito, para fines de evaluación de crédito.

Las partes ACEPTAN las condiciones establecidas al reverso de este documento.

MEGARFIO S.A.
 CIENTE RECONOCI CONFORME CI

MUNDO: ME 2503-CL-Fondo Fomento Juan Carlos R.U.C. 171004788001 - Tel. S.B. 1388 - C.O. 1415801 a 14400

FACTURA
 S 001-001-00143124
 0143124

VALIDO PARA SU EMISION HASTA EL 06 DE NOVIEMBRE DEL 2013

Factura Picaporte 001-001-000153528



FERRETERIA "CANO"

José Cano e Hijos S.C.C.

DIR.: KM. 9 1/2 VIA INTEROCEANICA S/N, CUMBAYA * TELEFAX: 289-0365 * E-mail: ferrcano@yahoo.com
TELEFONOS: 6003-919 / 6003-920 QUITO - ECUADOR
Distribuidor de Pinturas Condor - Material Eléctrico - Herramientas Eléctricas - Hierro - Cemento - Eternit
Compresores - Bombas de Agua - Tuberías - PVC - Cobre - Pernos de acero y Ferrería

153528
RUC 1792153867001
AUT. S.R.I.: 1111594698
Fecha de autorización 31/08/2012

FACTURA 001-001-00 0153528

FECHA	FECHA VEN.
09 Ene 2013	09 Ene 2013

CLIENTE: IVAN TINILLO
DIRECCIÓN: QUITO
DIRECCIÓN OBRA:
R.U.C.: 1715003958

TELÉFONO:

CÓDIGO CLIENTE: CONTADO
VENDEDOR: GIOCONDA C.
CHEQUE TARJETA:
GUÍA DE REMISIÓN: 1

CANT.

DETALLE

CÓDIGO

PRECIO UNITARIO

DESCUENTO

TOTAL

1.00 PICAPORTE STANLEY 80-1710 CD5366

12 033923013581

3.0960

0.0000 0

3.10



TRES CON 19/100 DOLARES

SE RECIBIRA LAS RETENCIONES MAXIMO 6 DIAS DE LA FECHA DE FACTURA O ENVIARLAS AL FAX: 2890365

BASE 0%	BASE 12%	DESCUENTO GLOBAL 8.10%	TRANSPORTE	VENTA TOTAL	IVA 12%	NETO A PAGAR
0.00	3.10	0.25	0.00	2.85	0.34	3.19

Firma Autorizada

Firma Cliente

Válido para su Emisión hasta 31 Agosto /2013

ORIGINAL: CLIENTE

Impreso por Imprenta Manufacturera de Productos de Oficina. IMPCO Cia. Ltda. Tel: Cua: 2100777 Lin: 2900023. R.U.C. 096867036001. Autorización 1102. Del 14/001 AL 16/000

Factura Pintura 028-0004-000013116

TRECX CIA. LTDA.

R.U.C. 1791812484001

CONTRIBUYENTE ESPECIAL RESOLUCIÓN No.590

MATRIZ Quito: Rumirco Oe4-365 y Pedro Freile,
Cotacollao, Quito. PBX: 2530912 Telefax: 2598451

TUMBACO

FACTURA No. 028-004-000013116

TUMBACO: La Granja, Mariscal Sucre, Gonzales Suárez 30 y Eloy Alfaro Teléfono: 2378795 / 2378922 / 2379588



www.pintulac.com.ec

Nombre: IVAN TINILLO - Consumidor Final

Cliente: 1715003958 IVAN TINILLO - Consumidor Final

Caja/Ca

Dirección: AV ELOY ALFARO Y DE LAS AVELLANAS Teléfono: 2480440

4/DI

Ticket: 40013116

Fecha: Quito, 12/01/2013 15:23

Código	Cant.	Producto	P.U.	%	%	%	Subtotal
0892	1	SIKAFLEX 221 GRIS CARTUCHO INDUST.	8.28		5		7.87
CDX03-DI	1	ENDURECEDOR MS 2/1 RAPIDO 0.2LT. CARAMEL	5.32	10	5		4.55
P121106E-DI	1	THINNER POLIUR. 2K ENW. @	1.41		5		1.34
CRSH4-OC	1	CARALZ S/M ROJO/MARRON/VIOLETA @	12.85		5		12.21
			Total:	27.86			Subtot.: \$25.97

En esta compra su ahorro es: 1.89

Su Cambio : 10.91

Forma de Pago Valo Vence

Efectivo 40.00 12/01/2013

I.V.A. 12%: \$3.12

Interés: \$0.00

A Pagars: \$29.09

**ENTREGADO
TUMBACO 5**

[Handwritten Signature]
Firma Cliente

Sr. Cliente: Por favor VERIFIQUE si sus datos están correctos, NO habrá cambio de factura.
Vuelva pronto!

VALIDO PARA SU EMISION BASADO EN LA LEY 17090 (MAYO 2012) - CANT. 6000 DEL 12/01 AL 12/01/2013