

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE  
MOGROVEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



**DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE SECADOR  
HOMOGÉNEO DE FRUTAS UTILIZANDO FLUJO  
CONTROLADO DE AIRE CALIENTE**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO INDUSTRIAL**

**LENIN TARRILLO MENDOZA**

**Chiclayo, 17 de Mayo de 2017**

**DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE SECADOR  
HOMOGÉNEO DE FRUTAS UTILIZANDO FLUJO  
CONTROLADO DE AIRE CALIENTE**

**POR:**

**LENIN TARRILLO MENDOZA**

**Presentada a la Facultad de Ingeniería de la  
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo  
para optar el título de  
INGENIERO DE INDUSTRIAL**

**APROBADA POR EL JURADO INTEGRADO POR**

---

**Mgtr. Alejandro S. Vera Lázaro  
PRESIDENTE**

---

**Mgtr. Jorge A. Mundaca Guerra  
SECRETARIO**

---

**Msc. Martha E. Tesen Arroyo  
ASESOR**

## DEDICATORIA

*A Dios.*

*A mi madre Emérita Mendoza Hernández que me apoyo en cada momento y a mí querido Josué, motivo para seguir adelante.*

*A mis tías René Mabel, Ada Paquita Mendoza Hernández, por su apoyo incondicional.*

*A tía Elsina, por su motivación filosófica y moral.*

*A mi Padre Jorge Tarrillo Castillo, que siempre instó mi superación.*

## **AGRADECIMIENTO**

*A mi asesora Msc. Martha E. Tesen Arroyo, docente de la USAT, que contribuyó con su tiempo y sus conocimientos en el desarrollo de mi trabajo de investigación.*

*A todas mis amistades que me apoyaron de alguna u otra manera.*

## INDICE

CARATULA.....	i
CARATULA CON JURADO.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
INDICE.....	v
RESUMEN Y PALABRAS CLAVES.....	xiii
ABSTRACT AND KEY WORDS.....	xix
I. INTRODUCCION.....	15
II. MARCO DE REFERENCIA DEL PROBLEMA.....	17
2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	17
2.2 FUNDAMENTOS TEORICOS.....	19
2.2.1 Propiedades termofisicas.....	19
2.2.2 Secado.....	21
2.2.3 Curvas de rapidez de secado.....	24
2.2.4 Calculo del volumen humedo.....	27
2.2.5 Determinacion del balance de materia en el proceso de secado.....	27
2.2.6 Determinacion del balance de energia en el proceso de secado.....	28
2.2.7 Calculo del tiempo de secado de periodo constante.....	29
2.2.8 Calculo del tiempo de secado en el periodo decreciente.....	31
2.2.9 Calculo del periodo total de secado.....	31
2.2.10 Analisis de los parametros termoelectricos de diseño.....	31
2.2.11 Calculo del espesor de las paredes de la camara de secado.....	32
2.2.12 Calculo del diseño del ducto de conveccion de aire caliente controlado o intercambiador de calor.....	32
2.2.13 Tipos de secado.....	33
2.2.14 Circulacion de aire.....	35
2.2.15 Deshidratacion.....	36
2.2.16 Equipos para secado de solidos.....	36
2.2.17 Carta psicrometrica.....	44
2.2.18 Propiedades del aire.....	50
2.2.19 Propiedades de vapor de agua (Humedad).....	53
2.2.20 Entalpia de las mezclas de aire y vapor de agua.....	54
2.2.21 Selección de la muestra: Manzana (Golden Delicious).....	54

2.3	Caracterizacion de la materia prima .....	59
2.3.1	Instrumentacion utilizada .....	60
2.3.2	Proceso de preparacion de la muestra antes del secado .....	63
III.	RESULTADOS .....	68
3.1	Selección de variables de diseño del secador .....	68
3.1.1	Selección de variables .....	69
3.1.2	Selección de parametros de diseño del prototipo de secador de flujo de aire caliente controlado .....	70
3.1.2.1	Balance de materia en el proceso de secado .....	70
3.1.2.2	Calculo del tiempo de secado en el periodo decreciente .....	75
3.2	Diseño, desarrollo y ensamblaje del prototipo de maquina secador homogeneo de fruta .....	77
3.2.1	Calculo y diseño del prototipo .....	77
3.2.2	Calculo del intercambiador de calor .....	77
3.2.3	Calculo de la longitud del ducto equivalente del intercambiador de calor .....	77
3.2.4	Calculo de la resistencia electrica del intercambiador de calor .....	78
3.2.5	Selección del ventilador para generar aire caliente .....	79
3.2.6	Diseño de la trampa de vapor .....	82
3.2.7	Calculo del espesor de las paredes de la camara de secado .....	82
3.2.8	Analisis termico de la placa de acero galvanizado .....	84
3.2.9	Analisis de la humedad y temperatura dentro de la camara de secado .....	88
3.2.10	Descripcion del proceso de construccion del prototipo .....	91
3.2.11	Dibujo de planos .....	91
3.2.12	Requerimiento de materiales y equipos .....	91
3.2.13	Programacion Labview .....	95
3.2.14	Diseño del prototipo de secador homogeneo .....	97
3.2.15	Selección de la escala de diseño .....	97
3.2.16	Construccion de los intercambiadores de calor .....	97
3.2.17	Montaje del porta sistema integrado y circuiteria electrica .....	100
3.2.18	Diseño electronico para el secador homogeneo .....	101
3.2.19	Instalacion de circuiteria electrica .....	104

3.3	Determinar la funcionalidad y la evaluacion tecnica financiera del prototipo de secar homogeneo de frutas.....	107
3.3.1	Ensayos de funcionalidad .....	107
3.3.1.1	Tipo de operación .....	110
3.3.1.2	Marcha y paro .....	110
3.3.1.3	Valor de resistencia .....	110
3.3.1.4	Termometro de resistecia .....	110
3.3.1.5	Deteccion de sensores: Resistencia, Temperatura Inicial y Final del proceso .....	112
3.3.1.6	Valor promedio.....	112
3.3.1.7	Valor del ventilador .....	112
3.3.1.8	Controlador PID (controlador proporcional, integral, derivativo).....	113
3.3.1.9	Valores de proceso.....	113
3.3.2	Evaluacion tecnica financiera de la construccion del prototipo.....	115
3.3.2.1	Selección de la presentacion del producto .....	115
3.3.2.2	Mercado potencial .....	115
3.3.2.3	Analisis FODA .....	116
3.3.2.4	Analisis de costos.....	117
IV	CONCLUSIONES .....	120
V	RECOMENDACIONES .....	121
VI	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	122

## ANEXOS

ANEXO N°01. ENSAYO 01.....	126
ANEXO N°02. ENSAYO 02.....	135
ANEXO N°03. ENSAYO 03.....	144
ANEXO N°04. ENSAYO 04.....	154
ANEXO N°05. ENSAYO 05.....	163
ANEXO N°06. Carta psicrometrica .....	174
ANEXO N°07. Carta psicrometrica a P=800 mmHg.....	175
ANEXO N°08. Diagrama de entalpias a 800 mmHg.....	176
ANEXO N°09. Ejemplo del uso de la carta psicrometrica.....	177
ANEXO N°10. Ejemplo del uso de la carta psicrometrica para encontrar las propiedades del aire .....	178
ANEXO N°11. Ejemplo de un enfriamiento sensible del aire .....	179
ANEXO N°12. Ejemplo de cambios de calor sensible y calor latente .....	180
ANEXO N°13. Proceso de aire acondicionado tipico, mostrando las lineas de FCSC Y GFCS .....	181
ANEXO N°14. Propiedades del aire seco a la presion atmosferica.....	182
ANEXO N°15. Conductividad termica de algunos materiales .....	183
ANEXO N°16. Calores especificos de algunos alimentos.....	184
ANEXO N°17. Parametros calorimetricos de algunos alimentos .....	185
ANEXO N°18. Propiedades del agua como gas ideal .....	187
ANEXO N°19. Propiedades del aire (M=28.964 kg/kmol).....	188
ANEXO N°20. Propiedades del agua sobrecalentada .....	190
ANEXO N°21. Propiedades del agua saturada, liquido subenfriado.....	194
ANEXO N°22. Propiedades del agua saturada (liquido-vapor):Tabla de presiones.....	195
ANEXO N°23. Propiedades del agua saturada (liquido-vapor) tabla de temperaturas .....	196
ANEXO N°24. Algoritmo de analisis termico espesores en Matlab .....	197
ANEXO N°25. Algoritmo de analisis termico usando Laplaciano para un espesor de acero en Matlab .....	198
ANEXO N°26. Algoritmo de analisis grafico del proceso termodinamico de secado .....	199
ANEXO N°27. Algoritmo de analisis grafico del proceso termodinamico de la trnsferencia de calor entre las placas de acero.....	201
ANEXO N°28. Detalle del presupuesto de la construccion del secador homogeneo de flujo de aire caliente controlado .....	203
PLANOS .....	204

## TABLAS

Tabla 1. Porcentajes de nutrientes de frutas y algunos alimentos .....	19
Tabla 2. Factores termofísicos de algunos alimentos.....	20
Tabla 3. Comparación de parámetros termofísicos entre dos variedades de Manzana .....	20
Tabla 4. Gases que componen el aire en la atmósfera .....	51
Tabla 5. Parámetros experimentales de temperatura, humedad inicial y humedad de conservación de la manzana.....	56
Tabla 6. Resultados de la conductividad térmica de la Manzana en $W/m^{\circ}C$ .....	57
Tabla 7. Resultados del calor específico de la Manzana en $J/Kg^{\circ}C$ .....	57
Tabla 8. Tabla comparativa de la elección de variables entre las distintas investigaciones en materia de secado de frutas hortalizas .....	67
Tabla 9. Datos técnicos del ventilador a usar .....	90
Tabla 10. Datos técnicos del sensor de humedad DHT11.....	93

## FIGURAS

Tabla 10. Datos técnicos del sensor de humedad DHT11.....	93
Figura 1. Curva típica de secado .....	24
Figura 2: Secador Directo Continuo.....	36
Figura 3: Secador de bandejas horizontales .....	37
Figura 4: Secador tipo rotatorio .....	38
Figura 5: Secador por aspersión.....	38
Figura 6: Secador de circulación directa.....	39
Figura 7: Secador tipo túnel.....	39
Figura 8: Secador de lecho fluido .....	40
Figura 9: Secador tipo cilindro de hojas continuas .....	41
Figura 10: Secador directo continuo .....	43
Figura 11: Secador tipo dieléctrico .....	43
Figura 12. Tabla psicrométrica para valores de temperatura y humedad .....	45
Figura 13: Líneas de temperatura de bulbo seco ° C .....	46
Figura 14: Líneas de temperatura de bulbo húmedo ° C.....	46
Figura 15: Líneas de temperatura de punto de rocío ° C.....	47
Figura 16: Líneas humedad relativa .....	48
Figura 17: Líneas de humedad absoluta en gramos/kg .....	49
Figura 18. Materia prima, manzana de la variedad Golden delicious .....	58
Figura 19. Balanza digital, capacidad máxima 5kg, para realizar el pesado de las muestras de manzana .....	59
Figura 20. Cuchillo de mesa, para realizar el descascarado en forma manual de las manzanas .....	59
Figura 21. Refractómetro, para medir los °BRIX de la Manzana .....	60
Figura 22. Vernier, para medir milimétricamente el espesor de la muestra de Manzana .....	60
Figura 23. Anemómetro con sensor de temperatura .....	61
Figura 24. Papel indicador de PH, para medir el pH de la muestra de manzana .....	61
Figura 25. Vista general de la muestra y la instrumentación usada .....	62
Figura 26. Muestra o materia prima a usar .....	62
Figura 27. (a) Muestra descorazonada, (b) Descascarado de la muestra.....	63
Figura 28. Medida del espesor de la Muestra.....	63
Figura 29. Pesado de las rodajas de manzana .....	64
Figura 30. Visualización de los grados °BRIX en el refractómetro .....	64
Figura 31. Muestras de manzanas listas para el proceso .....	65
Figura 32. Humedad vs Tiempo.....	70
Figura 33. Interpolación cuadrática de la curva de variación temporal de la humedad.....	71
Figura 34. Grafica de los tiempos calculados en los 5 ensayos, así como el calor necesario para el proceso de secado.....	75
Figura 35. Distribución de las capas en el intercambiador de calor .....	77
Figura 36. Cálculo de la Velocidad del Flujo de Aire a la entrada de la cámara de Secado.....	78
Figura 37. Montaje del ducto del intercambiador de calor; aplicación de la ecuación de Continuidad .....	79
Figura 38. Relación entre el voltaje entregado al sistema y la velocidad del flujo de aire caliente necesario para el proceso de secado.....	79

Figura 39. Relación entre el la Velocidad Labview y la Velocidad del Flujo de Aire .....	80
Figura 40. Cálculo de la Velocidad del Flujo de Aire para la temperatura de trabajo de 50°C .....	80
Figura 41. Sistema de mallado o trampa de vapor. Su función es homogenizar el flujo de aire emitido por el ventilador .....	81
Figura 42. Distribución de las capas de las paredes de la cámara de Secado ...	83
Figura 43. Variación del gradiente térmico a través del arreglo de placas de acerogalvanizado tipo S y la lana de vidrio .....	84
Figura 44. Bandeja horizontal o porta muestra. Medida de los lados y diámetro de los forados de la bandeja.....	85
Figura 45. En la figura se muestra de color gris las placas de acero a usar, de color naranja se muestra el relleno de fibra de vidrio que servirá como atenuante de la onda de calor proveniente del interior de la cámara .....	85
Figura 46. Distribución de la altura en función del diámetro.....	86
Figura 47. Vista de perfil de la cámara de secado. Se muestra dos placas transversales separadas 0.35m las cuales sirven de entrada del aire caliente controlado.....	86
Figura 48. Vista de perfil de la cámara de secado y los ductos de intercambiadores de calor .....	87
Figura 49. Registro de la humedad en el interior de la cámara de secado usando CFD y Matlab .....	87
Figura 50. Registro de la temperatura en el interior de la cámara de secado usando CFD y Matlab .....	88
Figura 51. Ducto de eliminación del vapor de agua de la cámara de secado. Vista isométrica.....	89
Figura 52. Dimensiones de la base o soporte. Vista isométrica.....	89
Figura 53. Detalle de las medidas de las patas que servirán como soporte a la cámara de secado .....	90
Figura 54. Vista frontal del ventilador a usar .....	91
Figura 55. Vistas de la resistencia a usar .....	91
Figura 56. Transformador de 220V-12V a usar .....	91
Figura 57. Características técnicas del transformador .....	92
Figura 58. Datos técnicos del sensor de temperatura .....	92
Figura 59: Diagrama de bloques de un sistema de control .....	94
Figura 60: Entorno de programación visual .....	95
Figura 61. (a) Corte de la Tubería. (b) Puesta de Bisagras para la puerta de ventilación y mantenimiento del intercambiador .....	96
Figura 62. Soldado del seguro y las bisagras de la puerta de mantenimiento del intercambiador.....	97
Figura 63. Dibujo y cuadriculado listo para el corte de las placas de acero que servirán de paredes de la cámara de secado .....	97
Figura 64. (a) Corte de las placas de acero. (b) Perforado de las placas usando un taladro. (c) Llenado con lada de vidrio. (d) Montaje final y soldado de la cámara de secado .....	98
Figura 65. Cortado de tubos cuadrangulares para la base de la cámara de Secado.....	99
Figura 66. Construcción y montaje del porta circuitos integrados.....	99
Figura 67. Construcción y montaje del porta circuitos integrados.....	100

Figura 68. (a) opto acoplador de ventiladores (b) Mosfet controlador de los ventiladores .....	101
Figura 69. Fuente de alimentación para la tarjeta electrónica .....	101
Figura 70. Distribución de los dispositivos electrónicos.....	102
Figura 71. (a) Montaje de circuitos eléctricos. (b) Funcionamiento de los circuitos eléctricos .....	103
Figura 72. Acople la resistencia al intercambiador de calor .....	104
Figura 73. Acople del ventilador al intercambiador de calor .....	104
Figura 74. (a) Puesta de lana de vidrio a los ductos. (b) Puesta de capa de yeso para compactación de la lana sobre los ductos.....	105
Figura 75. (a) Vista frontal del acabado final del prototipo. (b) Vista de planta del acabado final del prototipo.....	105
Figura 76. Disposición de las muestras sobre la porta muestras.....	106
Figura 77. La grafica muestra las curvas de comparación en los 5 ensayos de la variación temporal de la Humedad Relativa presente en las Muestras .....	107
Figura 78. La grafica muestra las curvas de comparación en los 5 ensayos de la variación temporal de la Humedad en Base Seca de las muestras ..	107
Figura 79. La grafica muestra las curvas de comparación en los 5 ensayos de La Humedad Libre vs Masa Húmeda presente en las muestras .....	108
Figura 80. La grafica muestra las curvas de comparación en los 5 ensayos de La Variación Temporal de la Inversa de la Velocidad de Secado en las muestras .....	108
Figura 81. Programación automática y manual.....	109
Figura 82. Marcha y paro .....	109
Figura 83. Valor de la resistencia.....	110
Figura 84. Termómetro de la resistencia.....	110
Figura 85. Sensor final .....	111
Figura 86 Valor promedio .....	111
Figura 87. Valor del ventilador .....	111
Figura 88. Calculador PIC .....	112
Figura 89. Valores de Proceso .....	112
Figura 90. Aspecto del software desarrollado para el secador de manzana.....	113
Figura 91. Presentación de 50g .....	114
Figura 92. Presentación de 1 kg .....	114

## RESUMEN

Dado el acelerado crecimiento del sector agroexportador peruano, impulsado por el boom de nuestra gastronomía, un creciente grupo de productores han apostado por la exportación de sus productos con un valor agregado: fruta deshidratada. Apuesta que los ha llevado a tener como clientes al mercado europeo y generando ingresos superiores a la venta de fruta convencional.

La presente investigación tiene como objetivo principal, diseñar un prototipo de secador homogéneo de frutas utilizando flujo controlado de aire caliente, actualmente viéndose afectada por las variaciones de temperatura por exposición a la luz solar, además no habría un control de los agentes atmosféricos y la consideración de tiempos largos de exposición.

Se eligió la muestra a analizar, manzana del tipo *Golden delicious*, pues esta variedad de manzana posee la característica que elimina con mayor rapidez la humedad almacenada en su interior, así como, mantiene la mayoría de sus propiedades nutricionales luego del proceso de secado, además de tener un agradable aroma y sabor.

Se realizaron 5 ensayos con muestras distintas de manzana, calculándose los valores de la humedad, velocidad de secado y calor necesario para lograr eliminar la presencia de agua en las muestras, además se calculó que el tiempo de secado en cada ensayo, obteniéndose un tiempo de secado promedio equivalente a 4,14046h, con una temperatura interna en la cámara de secado de 50°C, aun flujo de aire caliente equivalente a 7.8m/s. el cálculo de estos parámetros se detallan en el objetivo 2 de esta tesis.

Los softwares usados para el cálculo y elección de materiales fueron el AutoCAD 2017, Matlab 2015, Labview®, Eagle CADsoft y hojas de cálculo en Excel.

### **PALABRAS CLAVES:**

Prototipo, secador homogéneo, flujo controlado, aire caliente.

## **ABSTRACT**

Given the accelerated growth of the Peruvian agro-export sector, driven by the boom of our cuisine, a growing group of producers have opted for the export of their products with added value: dehydrated fruit. But that has led them to have as customers the European market and generating income higher than the sale of conventional fruit.

The main objective of this research is to design a prototype of a homogeneous fruit dryer using a controlled flow of hot air, currently being affected by temperature variations due to exposure to sunlight, as well as controlling atmospheric agents and considering of long exposure times.

The sample to be analyzed was chosen, apple of the Golden Delicious type, since this variety of apple possesses the characteristic that removes with greater rapidity the humidity stored in its interior, as well as, maintains most of its nutritional properties after the drying process, in addition of having a pleasant aroma and flavor.

Five tests were performed with different samples of apple, calculating the values of humidity, drying speed and heat necessary to eliminate the presence of water in the samples, in addition it was calculated that the drying time in each test, obtaining a time of average drying equivalent to 4.14046h, with an internal temperature in the drying chamber of 50 ° C, even hot air flow equivalent to 7.8m / s. the calculation of these parameters are detailed in objective 2 of this thesis.

The software used for the calculation and selection of materials were AutoCAD 2017, Ansys, Matlab 2015, Labview®, Eagle CADsoft and spreadsheets in Excel.

### **KEYWORDS:**

Prototype, homogeneous dryer, controlled flow, hot air.

## I. INTRODUCCION

La obtención de productos deshidratados de calidad y con características atractivas para el consumidor son las principales directrices que se precisan para innovar en la producción de un producto y su status en el mercado (Aski y Emam - Djomeh 2009).

Las contingencias de la comercialización de productos alimenticios a nivel internacional, están sometidos a estándares de exigencia en cuanto a calidad, salubridad, durabilidad entre otros. Desde esta óptica, la producción especialmente de frutas se ven afectadas por el tiempo de durabilidad en su estado natural, esto es cortos periodos de resistencia al proceso de maduración y putrefacción; hecho que exige adoptar técnicas de deshidratación que conservando su estado nutricional permita un mayor tiempo de durabilidad del producto, sin alteraciones de costos y estándares de calidad exigidos. (Aski y Emam - Djomeh 2009)

Para el caso de las frutas, como es con la manzana, es ampliamente cultivada en el Perú y en otros países del mundo, en los últimos años el consumo de manzana en fresco se ha incrementado debido a su alto valor nutritivo (alto contenido en vitaminas y minerales) y al reconocimiento de las propiedades antioxidantes y anticancerígenas. En la industria alimentaria, especialmente en la de productos tipo snack, la manzana se utiliza principalmente en forma deshidratada. (Aski y Emam - Djomeh 2009)

El secado constituye una alternativa para proporcionar estabilidad al producto y facilitar su transporte a mercados externos o su consumo durante todo el año (Akpınar y Bicer, 2005). Por ello, es muy importante que el método de secado utilizado conserve al máximo las propiedades originales de la manzana, su estructura o el contenido de vitaminas y minerales. La calidad de los alimentos deshidratados normalmente es menor que la del producto fresco ya que durante el secado se afecta la capacidad de rehidratación, la textura y otras características (Ratti, 2001).

El secado de los alimentos es la extracción deliberada del agua que contiene, operación que se lleva a cabo en la mayoría de los casos por adición del calor latente de vaporización. En la transferencia de calor, el calor se transmite por la existencia de un gradiente de temperatura; su velocidad es proporcional a la diferencia de temperaturas (Herman et al., 2001).

En una industria tan extensa y diversificada como la alimentación es de esperar que se utilice un número elevado de diferentes tipos de aparatos de secado, es por ello la importancia del diseño del secador en planta piloto, ya que el principal problema en el cálculo de los secadores reales es que las condiciones cambian a medida que el aire y el sólido a secar se mueve a lo largo del secador (Baker, 1997).

El desarrollo de la técnica a través de mecanismos de evaporación al calor con uso de energía eléctrica y controles mediante un sistema computarizado, permitirá mejores condiciones de deshidratación de frutas. En este aspecto la

necesidad de mejorar las condiciones de secado de futas nos permite proponer un diseño y uso de un prototipo de secador homogéneo de frutas utilizando velocidad de flujo controlado de aire caliente; instrumento que a nivel de la región Lambayeque no existe, ni menos se utiliza, de allí nuestro compromiso de materializar el diseño y construcción del prototipo de máquina, la misma que permitirá eliminar todas las limitaciones y riesgos que la acción de deshidratación para la manzana en forma tradicional provocan desestimación en cuanto a la calidad y requisitos de salubridad.

De este modo, el problema confrontado por productores de frutas deshidratadas en la región Lambayeque se verá solucionado con el aporte y uso del prototipo de máquina, que inicialmente se aplicara a la deshidratación de manzana, lo cual en lo sucesivo permitirá su aplicación a otros tipos de frutas. Para desarrollar la presente investigación se planteó el siguiente problema:

¿El uso de un diseño de prototipo de máquina para secado de manzana, utilizando velocidad de flujo de aire caliente controlado, permitirá la deshidratación o secado exigidos por estándares de comercialización?

Para esta problemática, nos planteamos el siguiente objetivo principal: Diseñar un prototipo de secador homogéneo para *Golden delicious* utilizando flujo controlado de aire caliente. Para llegar a realizar este objetivo es necesario cumplir los siguientes lineamientos u objetivos específicos:

- Seleccionar las variables de diseño del prototipo de máquina de secador homogéneo de frutas.
- Diseñar, desarrollar y ensamblar el prototipo de máquina de secador homogéneo de frutas.
- Determinar la funcionalidad y la evaluación técnica financiera del prototipo de secador homogéneo de frutas.

## II. MARCO DE REFERENCIA DEL PROBLEMA

### 2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Delgado E. 2014. **“Diseño, Modelo Matemático y Diseño de un Secadero Optimizado con Energías Limpias”**, esta investigación surgió con el objetivo de diseñar, construir y optimizar un secadero solar alimentado por energías renovables. El prototipo estuvo constituido por una cámara de secado dómica, conectada a un colector solar, un conjunto de resistencias auxiliares alimentado por un conjunto de paneles fotovoltaicos y un intercambiador enterrado. El sistema puede operar tanto como un secador solar, como colector híbrido solar térmico fotovoltaico o un sistema solar-aerotérmico.

Los resultados obtenidos durante el proceso de secado de diferentes especies de macro algas, permitieron concluir que el tiempo de secado depende de la estructura, masa del producto y la temperatura del aire de secado, se determinó que la curva de velocidad de secado del producto se presenta en dos etapas; la primera a velocidad constante y una segunda etapa de velocidad decreciente. Un factor crítico en el proceso de secado es la humedad del aire, a medida que se elimina el agua del alga, el aire circundante aumentara su contenido de humedad, y al remover grandes cantidades de vapor de agua del aire puede conducir a quemar la superficie del producto algas, por lo tanto es necesario mantener un control del proceso de secado.

Mendoza A. et al, 2012. **“Efecto del Secado de Zanahoria Empleando Flujo de Aire Revertido”**, esta investigación logró a temperaturas de 90 °C se obtuvieran los menores tiempos de secado a los diferentes espesores de partícula y velocidades de aire de secado empleado. Además, a velocidades de aire de secado de 6 m/s, se obtuvieron los menores tiempos de secado a cualquier espesor y a cualquier temperatura de secado. Así como también a espesores delgados de 1 mm se obtuvieron los menores tiempos de secado a cualquier temperatura y velocidad de aire de secado.

Por otro lado, el secado con flujo de aire revertido redujo los tiempos de secado más que el flujo de aire unidireccional, el flujo de aire revertido cada 15 min redujo más el tiempo de secado que el empleado cada 30 minutos. Por ello se concluyó que podría existir un ahorro de energía por la reducción de los tiempos de secado en las cinéticas empleando flujo de aire revertido, podría el empleo de flujo de aire revertido en el secado de alimentos reducir los gradientes de temperatura y humedad en los lechos fijos, trayendo como probable consecuencia una reducción en el agrietamiento, encogimiento y decoloración de las partículas a secar.

Rojas P. y Pérez D. 2012. **“Automatización de un Secador de Aire Caliente para Fines de Docencia en Ingeniería de Alimentos”**, esta investigación describe el diseño y montaje de un dispositivo experimental para la automatización de un Secador de Aire Caliente de Flujo paralelo co-corriente para realizar estudios de secado. El desarrollo del trabajo se dividió en dos actividades principales: diseño del sistema de automatización y la validación de los datos entregados por el equipo. Se obtuvo un dispositivo capaz de registrar las variables del proceso de secado tales como tiempo, temperatura y velocidad del flujo de aire, además de la imagen de la muestra deshidratada en tiempo real, como así mismo transmitir dicha información mediante una interfaz basada en Labview a través de Internet. Los datos procesados por el sistema automático comparados con experiencias manuales tradicionales (no automatizadas) se validaron con los estadísticos R<sup>2</sup>, SSE y RMSE. Se concluye que la propuesta es viable y atractiva para el usuario, facilitando el proceso de enseñanza aprendizaje de la Ingeniería de Alimentos, constituyendo una herramienta útil para procesos de docencia universitaria.

Santacatalina J. et al, 2012. **“Estudio de la Influencia del Secado a Baja Temperatura en la Capacidad de Rehidratación y en la Textura de Berenjena y Zanahoria”**, el principal objetivo de esta investigación fue evaluar la influencia del secado a baja temperatura en la calidad de la berenjena y la zanahoria deshidratadas. Se obtuvieron muestras cúbicas (10 mm de lado) de berenjena (*Solanum melongena var. Black enorme*) y zanahoria (*Daucus carota var. nantesa*). Las muestras se deshidrataron utilizando tres técnicas diferentes: secado por aire caliente (SAC, 50 °C y 2 m/s), liofilización a presión atmosférica (LPA, -14 °C y 2 m/s) y liofilización a vacío (LV). Para evaluar la influencia del método de secado en la calidad final del producto deshidratado, se obtuvieron las cinéticas de rehidratación de las muestras SAC, LPA y LV.

Asimismo, se realizó análisis del perfil de textura (TPA) para caracterizar la dureza de las muestras rehidratadas. Por otra parte, se utilizó un modelo difusivo para describir matemáticamente las cinéticas de secado y rehidratación de ambos productos. Las cinéticas de secado de berenjena fueron mucho más rápidas que las de zanahoria, tanto en SAC como en LPA. El método de secado influyó significativamente ( $p < 0.05$ ) tanto en el comportamiento en la rehidratación como en las propiedades texturales de berenjena y zanahoria. Las muestras LPA mostraron propiedades intermedias entre las muestras LV y SAC. Así, la LPA puede representar una alternativa interesante para obtener productos deshidratados de elevada calidad a menor coste que la LV.

Mendoza A. et al, 2011. **“Modelación Matemática del Proceso Secado Empleando Flujo de Aire Revertido”**, En esta investigación se obtuvieron cinéticas de secado con zanahoria a diferentes temperaturas (50, 70 y 90 °C), velocidades de secado (2.0, 4.0 y 6.0 m/s), alturas de lecho (5, 10 y 15 cm), espesores del producto (0.1, 1.0, 2.0 cm) y tiempos de reversión del flujo de aire (15, 30 min y sin reversión). Posteriormente se desarrolló un modelo mecanicista a partir de balances de materia y

energía, que consideró parámetros termo-físicos, de transporte, y de equilibrio del aire y producto. Este modelo representado como un sistema de ecuaciones diferenciales no lineales, se programó y resolvió para las cinéticas experimentales de secado. Los resultados demostraron que existió diferencia significativa ( $P > 0.95$ ) utilizando un flujo revertido con respecto al unidireccional. Las cinéticas de secado simuladas por el modelo mecanicista predijeron adecuadamente la conducta experimental con una  $R^2$  de 0.9787 considerando los parámetros de transporte, adsorción, termofísicos y de lecho.

## **2.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

### **2.2.1. Propiedades termofísicas de los alimentos**

Las Propiedades termodinámicas de los alimentos son parámetros críticos en el diseño de un proceso alimenticio. Las propiedades térmicas de alimentos se deben de conocer para desarrollar los cálculos de transferencia de calor involucrados en el diseño del almacén y equipos de refrigeración; también son necesarios para estimar procesos de calentamiento, refrigeración, congelamiento o secado de alimentos. Aunque las propiedades pueden ser estimadas a partir de los valores publicados por materiales similares, la eficiencia del proceso y el diseño de los equipos utilizados para realizar el proceso, dependerá de las magnitudes más precisas de estas propiedades.

Las Propiedades termo físicas incluyen normalmente el calor específico, densidad y conductividad térmica. Individualmente, estas propiedades pueden influir en la evaluación del proceso y diseño. Por ejemplo, el calor específico y la densidad son componentes importantes de un balance de masa y energía. La conductividad térmica es la propiedad clave en la cuantificación de la transferencia de energía térmica dentro de un material por conducción. Porque las propiedades térmicas de alimentos dependen fuertemente de la composición química y la temperatura, también por la alta disponibilidad de los mismos es casi imposible determinarlas y tabularlas experimentalmente para todas las posibles condiciones y composiciones.

Adicionalmente, si el alimento es un organismo vivo como fruta fresca o vegetales (hortalizas), estos generan calor a través de la respiración y pierden humedad por la transpiración. Ambos procesos se deben de incluir en los cálculos de transferencia de calor y se debe usar como referencia tablas de propiedades termo físicas medidas para alimentos.

El agua es el componente predominante en la mayoría de los alimentos, el contenido en agua influencia perceptiblemente las características termofísicas de alimentos. Para las frutas y vegetales, el contenido en agua varía con el cultivo así como con la etapa del desarrollo o de la madurez cuando está cosechado.

Para los autores Choi y Okos (2006) existen tablas de componentes a los que desarrollaron modelos matemáticos para determinar las propiedades térmicas de éstos como función de la temperatura en el rango de 0°C a 150°C, también lo hicieron para determinar propiedades térmicas del agua y del hielo. En los alimentos es útil, usar el modelo matemático de Choi y Okos. Con solo saber la composición proximal y la temperatura del alimento, podemos determinar: densidad, calor específico, conductividad térmica, Difusividad térmica; estos parámetros críticos en el diseño y balance de un proceso alimenticio.

**Tabla N°1. Porcentajes de nutrientes de frutas y algunos alimentos**

Producto.	Agua (%)	Proteínas (%)	Carbohidratos (%)	Lípidos (%)	Cenizas (%)	Calor específico experiment al (KJ/kg °K).	Cp entregado por programa (kJ/kg°K) <sup>(3)</sup>
Mantequilla	15.5	0.6	0.4	81.0	2.5	2.051-2.135 <sup>(1)</sup>	2.315
Leche entera pasteurizada	87.0	3.5	4.9	3.9	0.7	2.050 <sup>(2)</sup> 3.852 <sup>(1)</sup>	3.866
Pescado fresco	76.0	19.0	-	-	1.4	3.600 <sup>(1)</sup>	3.577
Papas	79.8	2.1	17.1	0.1	0.9	3.517 <sup>(1)</sup>	3.661
Manzana	84.4	0.2	14.5	0.6	0.3	3.726-4.019 <sup>(1)</sup> 3.370 <sup>(2)</sup>	3.814
Cordero	68.0	21.0	0.0	10.0	1.0	3.223 <sup>(1)</sup>	3.481
Sardinas	57.4	25.7	1.2	11.0	0.0	3.0.14 <sup>(1)</sup>	3.162
Queso	65.0	25.0	1.0	2.0	7.0	3.265 <sup>(1)</sup>	3.336
Zanahoria	88.2	1.2	9.3	0.3	1.1	3.810-3.935 <sup>(1)</sup>	3.875
Cerdo	88.0	-	-	-	-	3.890 <sup>(2)</sup>	3.879
Pollo	60	-	-	-	-	2.850 <sup>(2)</sup>	3.208
Espinaca	74	-	-	-	-	3.310 <sup>(2)</sup>	3.383
Pan	87	-	-	-	-	3.800 <sup>(2)</sup>	3.910
Harina	48.5	-	-	-	-	2850 <sup>(2)</sup>	2.547
Huevo	13	-	-	-	-	-	1.982

**Tabla N°2. Factores termofísicos de algunos alimentos**

Fuente: Gratzek, P. J.y Toledo, R. T., (2003). Solid Food Thermal Conductivity Determination at High Temperature, J. Food Sci.

**Tabla N°3. Comparación de parámetros termofísicos entre dos variedades de manzana**

Parámetro	Golden delicious		Granny Smith.	
	Sin congelar	Congeladas	Sin congelar	Congeladas
Porcentaje de Humedad (%).	87.3	87.3	85.8	85.8

Producto	Contenido de Humedad (%)	Temperatura (°C)	Conductividad Térmica (W/m <sup>0</sup> K)	k entregado (W/m <sup>0</sup> K)
Manzana	84	50	0.658 <sup>(2)</sup>	1.68
Cordero	-	5.5	0.787 <sup>(2)</sup>	3.86
Tomate	-	1.37	0.5279 <sup>(2)</sup>	9.26
Huevo (10-7)	-	36	0.577 <sup>(1)</sup>	0.5644
blanco	-	-	0.338 <sup>(2)</sup>	-
Músculo de	-	0-10	0.557 <sup>(1)</sup>	0.5215
pescado	-	-10	1.497 <sup>(2)</sup>	-
Leche	-	37	0.530 <sup>(1)</sup>	0.58720
Cerdo	75.9	4	0.443 <sup>(1)</sup>	0.4875
	-	6	0.4881 <sup>(2)</sup>	0.4902
Papa	81.5	1-32	0.554 <sup>(1)</sup>	0.5576
	-	-	0.554 <sup>(2)</sup>	-

Fuente: Schmidt – Hebbel, H. y Pennacchiotti, I. (2005). Tabla de Composición Química de los Alimentos Chilenos, séptima edición, Editorial Universitaria, Santiago, 13-30.

### 2.2.2. Secado

El secado de sólidos es usado como un método de conservación de alimentos, el cual consiste en extraer el agua de estos, lo que evita la proliferación de microorganismos y la putrefacción. En general, el secado de sólidos consiste en separar pequeñas cantidades de agua u otro líquido de un material sólido con el fin de reducir el contenido de líquido residual hasta un valor aceptablemente bajo. El secado es habitualmente la etapa final de una serie de operaciones y con frecuencia, el producto que se extrae de un secador para empaquetado.

El secado de los alimentos es uno de los métodos más antiguos que ha utilizado el hombre para conservar sus alimentos. La razón más importante desde el punto de vista técnico para realizar el secado o deshidratación de los alimentos es su conservación; por este método se promueve el mantenimiento de los componentes del vegetal fresco.

La deshidratación de alimentos es un proceso que involucra la transferencia de masa y energía. El entendimiento de estos dos mecanismos en el alimento a secar y el aire o gas de secado, así como de las propiedades termo-físicas, de equilibrio y transporte de ambos sistemas, son de vital importancia para modelar el proceso y diseñar el secador.

Las operaciones de deshidratado son importantes en la industria química y de alimentos. El objetivo principal del secado de fruta es remover agua del sólido hasta un nivel en donde el crecimiento microbiológico y la deterioración por reacciones químicas sean minimizadas.

La clasificación de la operación de secado se encuentra determinada por el método de operación, sea continuo o por lotes, la naturaleza de la sustancia que se va a secar, ya que esta determina los equipos que se van a utilizar para el proceso, y el método de obtención de calor, ya sea transferido por contacto directo del sólido con un gas (secado directo o adiabático) o por la transferencia de calor a través de una superficie metálica, proveniente de un medio externo, que generalmente es vapor de agua (secado indirecto o no adiabático). Existen algunos casos en donde se llevan a cabo ambos tipos de operación y el secador se denomina directo-indirecto.

La deshidratación Osmótica es un método no térmico de deshidratación, que permite obtener productos de humedad intermedia, con una muy buena calidad organoléptica. Se basa en la utilización de una solución de alta presión osmótica (La presión osmótica puede definirse como la presión que se debe aplicar a una solución para detener el flujo neto de disolvente a través de una membrana semipermeable.), que al entrar en contacto con un producto le extrae el agua, debido a que esta sale para tratar de solubilizar el soluto presente en la solución externa.

En una prueba de secado debe tenerse en cuenta que las condiciones de operación a nivel de planta piloto deben ser lo más parecidas a las condiciones, según se prevé, se manejarán a nivel industrial con el fin de que sean representativos los resultados.

La operación de secado puede dividirse en las siguientes etapas:

1. periodo de ajuste inicial: En esta etapa se inicia el proceso de secado de manera que el producto se calienta y aumenta la temperatura de la interface produciéndose una adaptación del material a las condiciones de secado.

Este periodo depende también de numerosos factores, su duración será función del contenido inicial de humedad del sólido, de su temperatura, de la velocidad del aire, entre otros. Pero a los fines de cálculo se prescinde de él ya que se considera que en su transcurso el secado tiende al régimen estacionario.

2. Periodo de velocidad constante: La velocidad con la que se elimina agua de la superficie del sólido es menor que la velocidad con que llega a ella desde el interior del mismo. De esta manera la superficie del material se mantiene constantemente mojada y se comporta como una masa de líquido. De aquí que la velocidad de secado sea igual a la velocidad de evaporación del agua, que será a su vez proporcional a la velocidad de flujo de calor que llega desde el aire al sólido. En tales condiciones, la temperatura de la interface será constante y el calor que llega al sólido se invierte totalmente en evaporar el líquido.

A medida que transcurre el tiempo, el sólido se va secando y llega un momento en el que la velocidad con que el agua llega a la superficie se hace menor que la velocidad de evaporación que implicaría el uso de toda la energía que llega del aire en evaporar agua del alimento. Desde este momento parte del calor que llega al sólido se invierte en calentarlo. El contenido de humedad del producto en dicho instante se conoce como humedad crítica.

3. Periodo de velocidad decreciente: Cuando la humedad promedio del sólido alcanza un valor correspondiente a su contenido crítico de humedad la película de líquido que se encuentra en la superficie se reduce hasta el punto de desaparecer, produciéndose zonas secas sobre la superficie del material. Debido a la reducción de área, la velocidad de secado comienza a disminuir dándose lugar a la primera fase de velocidad decreciente llamada secado superficial no saturado.

Cuando la capa superficial de líquido haya desaparecido totalmente, la velocidad de remoción de líquido al interior del sólido se convierte en la etapa controlante; debido al incremento de la resistencia a la transferencia de materia la velocidad de secado decrece de una manera más abrupta.

El proceso de secado es una operación que ocurre simultáneamente la transferencia de calor al producto por una fuente de calentamiento y la transferencia de masa de la humedad desde el interior del producto a su superficie, y, desde la superficie al aire caliente. Es decir, la humedad contenida en el sólido se transfiere por evaporación hacia la fase gaseosa (aire caliente) en base a la diferencia entre la presión de vapor ejercida sobre el sólido húmedo y la presión parcial de vapor de la corriente de aire (Koyuncu, 2005).

El secado es una operación básica que consiste en reducir la humedad de un producto, de forma que el producto final presenta unas características muy diferentes a la inicial. (Montero, 2005).

### **2.2.3. Curvas de rapidez de secado**

A partir de los datos obtenidos durante las pruebas de secado, se puede graficar la curva de contenido de humedad como función del tiempo. Se puede obtener mucha información si los datos se convierten a *fluxes de*

secado, expresadas como  $N$  masa/tiempo (área) y se grafican contra el contenido de humedad. Para realizar lo primero debemos expresar los datos como peso total ( $W$ ) del sólido húmedo a diferentes tiempos durante el periodo de secado. Estos valores se pueden convertir a datos de velocidad de secado con los siguientes procedimientos.

Si ( $W$ ) es el peso del sólido húmedo en Kg totales de agua más el sólido seco y ( $W_{ss}$ ) es el peso del sólido seco en Kg.

$$X_t = \frac{W - W_{ss}}{W_{ss}} = \frac{\text{kg. totales de agua}}{\text{kg. de sólido seco}}$$

Con los datos que se obtienen de la ecuación anterior se puede trazar una gráfica del contenido de humedad libre  $X$  en función del tiempo, para obtener la curva de velocidad de secado se pueden medir las pendientes de las tangentes trazadas a la curva, o se puede determinar a partir de la curva pequeños cambios en el contenido de humedad  $dX$  para los cambios pequeños correspondientes en el tiempo  $dt$  y se calcula la rapidez como:

$$N = \frac{W_{ss}}{A} \frac{dX}{dt}$$

Donde:

$A$  : Área de transferencia de masa.

La siguiente figura muestra una curva típica de secado.

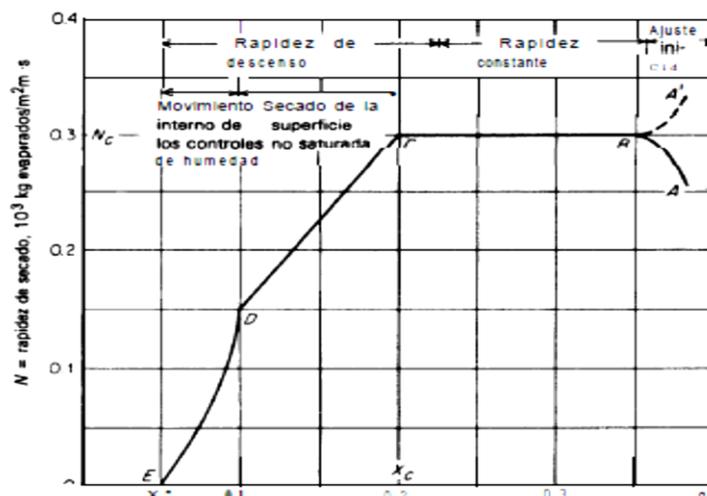


Figura N°1. Curva típica de secado.

Generalmente hay dos partes principales en la curva de rapidez de la figura, un periodo de rapidez constante y uno de rapidez decreciente. Como se puede observar del punto de B a C tenemos una zona de rapidez de evaporación constante, la rapidez de evaporación aumenta cuando la temperatura superficial aumenta hasta su valor final durante el periodo AB; del punto C al D tenemos la primer parte del periodo decreciente de la rapidez, es decir, el periodo de secado superficial no saturado.

Finalmente la película superficial original del líquido se habrá evaporado completamente a un contenido de humedad promedio del sólido que corresponde al punto D, en el punto E el contenido de humedad del sólido ha caído hasta el valor en el equilibrio  $X^*$  para la humedad del aire predominante y el secado se detiene.

El flux de evaporación de agua se puede determinar también de la siguiente manera, o conociendo el flux se puede obtener el valor del coeficiente de transferencia de masa:

$$N_A = k_y(y_w - y)$$

Definiendo a

$$y = \frac{Y' M_B}{M_A}$$

Entonces el flux de agua que se evapora es:

$$N_A = k_y \frac{M_B}{M_A} (Y'_w - Y')$$

Donde:

*$N$ : flux de agua que se evapora [kgmol H<sub>2</sub>O/m<sup>2</sup>·s]*

*$y$ : fracción mol de vapor de agua en el gas*

*$Y_w$ : fracción mol de vapor de agua en el gas en la superficie del sólido.*

*$k_y$ : coeficiente de transferencia de masa [kg mol/m<sup>2</sup>·s]*

*$M_A$ : peso molecular del agua [kg/kg mol]*

*$M_B$ : peso molecular del aire [kg/ Kg mol]*

*$Y'$ : humedad*

Despreciando el calor necesario para sobrecalentar la humedad evaporada hasta la temperatura del gas y considerando sólo el calor latente de evaporación  $\lambda_s$ , entonces el flux de evaporación  $N_c$  y el flux de flujo de calor están relacionados con:

$$N_c * \lambda_s = q$$

El calor recibido por convección en la superficie está controlado mediante el coeficiente corrector de transferencia de calor por convección  $h_c$ .

$$q_c = h_c(T_G - T_s)$$

Además la velocidad de secado para el periodo de secado constante puede calcularse por la ecuación de transferencia de calor que se muestra a continuación:

$$N = h_c(T_v - T_i)/\lambda_w$$

Donde el valor de  $h_c$  depender del patrón de flujo del aire en relación a la superficie de secado. Para aire en flujo paralelo a una temperatura entre 45°C-105°C y un flujo másico G de 2450-29300 Kg/h m<sup>2</sup> o velocidad de 0.61-7.6 m/s se utiliza la siguiente correlación.

$$h_c = 0.0204G^{0.8}$$

$$G = \rho g v$$

Otra correlación ampliamente utilizada en la práctica para el caso de flujo paralelo es:

$$h_v = \frac{5.090 * G^{0.71}}{d_e^{0.29}}$$

Donde:

*Díámetro equivalente del espacio para el flujo de aire (m)*

*G: flux másica del aire (Kg/ m<sup>2</sup> s)*

*h<sub>v</sub>: Coeficiente de transferencia de calor convectivo (W/ m<sup>2</sup> °K)*

*N: Velocidad de secado durante el periodo de secado constante (Kg / m<sup>2</sup> s)*

*T<sub>v</sub>: Temperatura del gas seco (Temperatura de bulbo seco) (°K)*

*T<sub>i</sub>: Temperatura interfacial (Temperatura de bulbo húmedo) (°K)*

*v: Velocidad del aire (m/s)*

*λ: Calor latente (J/°K)*

*ρ: Densidad del aire a la temperatura de operación (Kg / m<sup>3</sup>)*

Para iniciar el cálculo de las humedades durante el proceso de secado es conveniente usar una tabla psicrométrica en la cual correlacionaremos las humedades relativas a una cierta temperatura.

#### 2.2.4. Cálculo del volumen húmedo

Para determinar el caudal del aire necesario para el proceso de secado se calcula el volumen húmedo con la siguiente relación:

$$v_H = \left( \frac{1}{29} + \frac{Y_1}{18} \right) * \frac{R * T_m}{P}$$

Donde:

$T_m$ , temperatura de trabajo interna

$R$ , constante universal de los gases

$P$ , presión en el medio

$Y_1$ , humedad absoluta

Para determinar la densidad del aire en el proceso de secado (cámara interna) es preciso recurrir a la siguiente expresión:

$$\rho_{aire} = \frac{1 + Y_1}{v_H}$$

Calculado la densidad, podemos calcular el flujo de aire de secado que es el aire que atraviesa la superficie a secar, para ello se usará la siguiente expresión:

$$G = v * \rho$$

$v$ , velocidad del flujo de aire caliente

$\rho$ , densidad del flujo a la temperatura de trabajo

#### 2.2.5. Determinación del balance de materia en el proceso de secado

$$G * Y_1 + w_1 X_1 = G * Y_2 + w_2 X_2$$

$X_1$ , humedad inicial

$X_2$ , humedad final

Considerando que se conoce la humedad absoluta  $Y_1$ , y despejando la expresión de  $G$ , encontramos la humedad absoluta final  $Y_2$ :

$$Y_2 = Y_1 + \frac{w_s * (X_1 - X_2)}{G}$$

#### 2.2.6. Determinación del balance de energía en el proceso de secado:

Para poder realizar el balance de energía durante el proceso de secado, se debería incluir los factores de pérdidas de energía por convección y conducción, pero eso puede generar cálculos infinitesimales; es por ello que algunos autores han considerado simplificar los coeficientes de corrección de tal modo que, la ecuación de balance queda expresada por:

$$G * H_{G1} + w_s * H_{S1} = G * H_{G2} + w_s * H_{S2}$$

Donde la entalpia del solido húmedo  $H_S$  expresada en  $\text{kJ}/\text{kg}$  del solido seco tiene la siguiente expresión:

$$H_S = (C_{ps} * (T_S - T_0) + X * C_{pA} * (T_S - T_0)) \text{kJ}/\text{kg}$$

Las entalpias de entrada y salida son respectivamente:

$$H_{S1} = (C_{ps} * (T_{S1} - T_0) + X_1 * C_{pA} * (T_{S1} - T_0)) \text{kJ}/\text{kg}$$

$$H_{S2} = (C_{ps} * (T_{S2} - T_0) + X_2 * C_{pA} * (T_{S2} - T_0)) \text{kJ}/\text{kg}$$

$C_{ps}$ , capacidad calorífica del solido seco en  $\text{kJ}/\text{kg.solido.seco.K}$

$C_{pA}$ , capacidad calorífica de la humedad liquida en  $\text{kJ}/\text{kg.agua.K}$

Ambos valores son obtenidos mediante tabla de capacidades caloríficas.

Las temperaturas:

$T_{S1}$ , temperatura a la entrada

$T_{S2}$ , temperatura a la salida

$T_0$ , temperatura base

La entalpia del aire viene dada por:

$$H_{G1} = (C_S(T_{G1} - T_0) + Y_1 * \lambda_0) \text{kJ}/\text{kg}$$

$$H_{G2} = (C_S(T_{G2} - T_0) + Y_2 * \lambda_0) \text{kJ}/\text{kg}$$

La capacidad calorífica del aire húmedo de entrada y salida  $C_{S1,2}$ , se calcula de la siguiente manera:

Capacidad calorífica de entrada:

$$C_{S1} = (1 + 1.9Y_1) \text{kJ}/\text{kg.}^\circ\text{C}$$

$\lambda_0$ , entalpia de vaporización del agua = 2.501

Luego, calculamos la entalpia de entrada

$$H_{G1} = (C_S(T_{G1} - T_0) + Y_1 * \lambda_0) \text{ kJ/kg}$$

Capacidad calorífica de salida:

$$C_{S2} = (1 + 1.9Y_2) \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C}$$

Calculamos la entalpia de salida

$$H_{G2} = (C_S(T_{G2} - T_0) + Y_2 * \lambda_0) \text{ kJ/kg}$$

El calor absorbido por el agua para evaporar la cantidad de humedad deseada:

$$\dot{Q} = (w_s * (H_{s1} - H_{s2})) \text{ kJ/h}$$

Esta expresión, también puede expresarse en función de las entalpías:

$$\dot{Q} = G * (H_{G2} - H_{G1}) \text{ kJ/h}$$

Una vez calculado el flujo energético es necesario saber qué tiempo durará el secado de la muestra analizar. Según la tabla de humedad vs velocidad de secado nos indica que existen dos procesos continuos en la en uno el periodo es constante y en el segundo, el periodo es decreciente. A continuación se detalla las relaciones matemáticas a usar:

### 2.2.7. Cálculo del tiempo de secado de periodo constante

Para calcular el periodo constante se usa la ecuación:

$$t_c = \left(\frac{G}{w_s}\right) \left(\frac{w_s}{A}\right) \frac{1}{k_y M_B} \frac{Y_c - Y_1}{\Delta Y_{LM}}$$

Donde

$\Delta Y_{LM}$ , es la media logarimica del cambio de humedad

$Y_c$ , es la humedad critica del aire en función dela humedad critica de la manzana.

$$Y_c = Y_1 + \frac{w_s}{G} * (X_1 - X_c)$$

Para encontrar la humedad crítica es necesario encontrar el tiempo crítico, esto es posible si aplicamos la ecuación de la línea de tendencia de la gráfica de humedad vs tiempo, en ella usaremos el criterio de optimización de la primera derivada, con lo cual calcularemos el tiempo “t”, con ellos, reemplazaremos dicho valor en la ecuación y calcularemos la humedad crítica.

$$y = X = at^2 \pm bt \pm c$$

$$\frac{dX}{dt} = 0$$

Al reemplazar el valor de “t”, se calculará  $X_c$  en unidades de  $\frac{kg.agua}{kg.solido.seco}$

Posteriormente, se calcula el valor de la media logarítmica de las humedades:

$$\Delta Y_{LM} = \frac{(Y_1 - Y_c)}{\ln \left[ \frac{Y_w - Y_c}{Y_w - Y_1} \right]}$$

Es necesario calcular el coeficiente de transferencia de masa  $k_y$ , éste valor está en función de la velocidad de secado y del coeficiente de transferencia de calor  $h_c$ :

$$N = \frac{h_c * (T - T_w)}{\lambda_w} = k_y * M_B * (Y_w - Y)$$

Con este dato se calcula el extremo izquierdo de la ecuación de la velocidad de secado:

$$N = \frac{h_c * (T - T_w)}{\lambda_w} \frac{kg}{m^2 h}$$

Teniendo en cuenta que el valor del parámetro lambda es:

$$\lambda_w = 626.3890$$

El valor de  $k_y$  viene dada por la siguiente expresión:

$$k_y = \frac{R}{M_B * (Y_w - Y)}$$

Donde  $M_B = 29$

### 2.2.8. Calculo del tiempo de secado en el periodo decreciente

Para calcular el periodo decreciente, se usa la siguiente expresión:

$$t_d = \left( \frac{G}{w_s} \right) \left( \frac{w_s}{A} \right) \frac{X_c}{k_y * M_B} \frac{1}{\left[ (Y_w - Y_2) * \frac{G}{w_s} + X_2 \right]} \ln \frac{X_c * (Y_w - Y_2)}{X_2 * (Y_w - Y_c)}$$

En esta relación, se debe de tener en cuenta el área efectiva a emplear, esto es, el área de la superficie en donde reposan las muestras a someter al proceso de secado.

### 2.2.9. Cálculo del periodo total de secado

Teniendo como datos los dos tiempos, se procede a sumar aritméticamente ambos, obteniendo un periodo total, el cual es:

$$t_T = t_c + t_d$$

### 2.2.10. Análisis de los parámetros de termoeléctricos de diseño

Una vez calculado el flujo de calor por unidad de tiempo, es necesario calcular la energía necesaria para el proceso, esto es, realizar un simple producto entre el flujo calorífico y el tiempo de secado de tal forma que obtenga un calor  $Q$  en unidades de Joule o Calorías.

$$Q = \dot{Q} * t_T$$

Sabemos que por efecto joule se tiene:

$$1 J = 0.24 cal$$

Y además se sabe que, esta energía proviene de un sistema de resistencias internas de un intercambiador de calor, de tal forma que la energía disipada por la resistencia es una energía pasiva, la cual según la teoría de circuitos eléctricos viene dada por:

$$Energía_{eléctrica} = i^2 * R * t$$

De la ley de ohm se sabe que

$$V = i * R$$

$$i = \frac{V}{R}$$

$$Energía_{eléctrica} \text{ resistiva} = \frac{V^2}{R} * t$$

Realizamos una equivalencia debido al principio de conservación de la energía en la cual la energía calorífica provino de una energía eléctrica resistiva:

$$Q = \frac{V^2}{R} * t_T$$

De esta expresión, es fácil calcular el valor de la resistencia, pues es conocido el tiempo  $t_T$ , el voltaje  $V$ , y la energía  $Q$ .

Hay que tener en cuenta que la resistencia varía según los incrementos a la temperatura a la que se someta, quedando la expresión para la resistencia en función de la temperatura.

$$R = R_0(1 + \alpha\Delta T)$$

### 2.2.11. Cálculo del espesor de las paredes de la cámara de secado

Conociéndose el valor del área de las placas internas y externas de la cámara de secado, es sencillo determinar los espesores de las mismas mediante la ecuación física de transmisión de calor por conducción, la cual se detalla a continuación:

$$Q_{aire} = H = \frac{kA\Delta T}{x}$$

$$\Delta T = T_{interna} - T_{externa}$$

$$Q_{aire} = H = \frac{kA(T_{interna} - T_{externa})}{x}$$

$$H = \frac{kA(T_{interna} - T_{externa})}{x}$$

Donde

*H, es el flujo calorífico*

*A, es el area efectiva transversal al flujo calorífico*

*x, es el espesor horizontal de las placas*

### 2.2.12. Cálculo del diseño del ducto de convección de aire caliente controlado o intercambiador de calor

El flujo de aire caliente requerido para el proceso de secado, libera calor al medio por convección, este a su vez es trasladado por las corrientes de viento del ventilador, para estimar el área efectiva y más propicia para el secado, es necesario usar la siguiente expresión termofísica, de donde, es fácil despejar cualquiera de las 5 variables:

$$Q_{aire} = h_{aire}A(T_{final \text{ del ducto}} - T_{inicial \text{ del ducto}})$$

$$A = \frac{\pi * \phi^2}{4}$$

Para poder estimar la relación física a usar es preciso saber el valor del número de Reynolds del fluido para poder estimar el grado de turbulencia en el interior del ducto:

$$N_{Re} = \frac{\phi * v_{m\acute{a}x}}{\nu}$$

Según la bibliografía, el número de Reynolds caracteriza a un flujo, este puede ser laminar (<10<sup>5</sup>) o turbulento (>10<sup>5</sup>).

Ahora, la longitud total del ducto del intercambiador viene dada por la fórmula de cálculo de intercambiador (Según valor del número de Reynolds):

$$A = \pi * D_v * L$$

Donde:

*A, es el area efectiva del ducto*

*D<sub>v</sub>, parámetro de difusividad, ver tabla*

*L, es la longitud del ducto*

### 2.2.13. Tipos de Secado

Existen dos métodos de secado para remover la humedad de un sólido, siendo estos (Fito y col, 2001):

**Por evaporación.** Se da cuando la presión del vapor de la humedad en la superficie del sólido es igual a presión atmosférica, debiéndose al aumento de temperatura de la humedad hasta el punto de ebullición.

**Por vaporización.** El secado es llevado a cabo por convección, pasando aire caliente sobre el producto. El aire es enfriado por el producto y la humedad es transferida hacia el aire.

En general, el secado de un producto húmedo se realiza con la finalidad de prolongar el almacenamiento o vida en anaquel del mismo, especialmente para un alimento deshidratado la inhibición del crecimiento microbiano y la actividad enzimática se reduce. Por otra parte, permite disminuir los gastos de transporte, almacenamiento y embalaje, por la reducción del peso y el volumen del producto.

En sí, los productos secos se consideran seguros en lo que respecta a la calidad biológica y microbiana cuando no se presentan plagas, insectos y otros contaminantes como hongos. En cuanto a la calidad nutricional, deben cumplir con criterios mínimos de cantidad y retención de nutrientes. (Calva, 2007), (Rincón, col, 2012)

#### a. Factores considerados en el Proceso de Secado

El proceso de secado con aire caliente, continúa siendo el método más económico y utilizado para la deshidratación del alimento con respecto a otros procesos empleados para el mismo fin, lo que conlleva a muchas

investigaciones sobre la mejora en técnicas de deshidratación. Durante la deshidratación del producto se pueden presentar cambios físico y químicos tales como: decoloración, pérdida de textura, forma física, pérdida de sustancias volátiles, pérdidas de cualidades nutritivas, pérdida de peso, composición estructural de las muestras, y rendimiento de los lípidos, estos cambios se dan debido a la transferencia de calor y masa, por las temperaturas del proceso y las características físico-químicos del producto (Vásquez, 1997).

Por todo esto, si un producto ha sido expuesto a altas temperaturas o inadecuada deshidratación, el producto procede a deteriorarse en el sitio de almacenamiento, lo que conlleva a pérdidas económicas al empresario. Es importante indicar, que el sólido húmedo al ser sometido a un proceso de secado, presenta dos subprocesos:

**a. Transferencia de calor** entre el flujo de aire caliente y el producto que pretende eliminar el agua en forma de vapor en la superficie del sólido, para ello se debe tener en consideración un control importante en la temperatura, flujo de aire, humedad, área de la superficie expuesta al calor y tamaño del producto.

**b. Transferencia de humedad** interna del sólido hacia la superficie de éste y su subsecuente evaporación. El movimiento de la humedad dentro del sólido se encuentra en función de su temperatura, contenido de humedad y naturaleza física del sólido (Ortiz, 2003).

Como ha venido indicando, durante el secado la temperatura y la velocidad del aire caliente deben de ser las adecuadas para evitar pérdidas del material o largas horas de secado innecesarias.

Las variables que influyen en la velocidad de secado son:

- ❑ Naturaleza del material: Resulta evidente que se obtendrán curvas distintas dependiendo de las características del material a secar.
- ❑ Temperatura del aire: Cuanto mayor sea la temperatura del aire de secado (manteniendo constante el resto de las variables), mayor será la velocidad de secado, y las curvas presentarán mayor pendiente.
- ❑ Velocidad másica del aire: Con este parámetro se pueden presentar dos tipos de comportamiento. En el primero la velocidad de secado es directamente proporcional a la velocidad del aire. En el segundo caso, la velocidad de secado es prácticamente independiente de la velocidad del aire, lo que indica que en este caso la etapa controlante es la transferencia de materia a través del sólido, que lógicamente no se ve afectada por la velocidad del aire.

- ❑ **Humedad absoluta del aire:** Al aumentar la humedad absoluta del aire disminuye lógicamente, la velocidad de secado, al hacerlo la fuerza impulsora en la fase gas.

**Tamaño de partícula del sólido:** Si las características del sólido permiten obtener partículas uniformes, al variar el tamaño se puede observar que la velocidad de secado aumenta al disminuir el tamaño de la partícula. Si se trata de un sólido que no permite obtener tamaños uniformes, la influencia de la profundidad del lecho es similar a la anteriormente comentada. Al aumentar la altura del lecho disminuye la velocidad de secado.

#### **2.2.14. Circulación de aire**

Los equipos utilizados para separar un líquido de un sólido mediante la evaporación. Principalmente es utilizado para reducir o eliminar humedad. En estos equipos la fuente de calor es una corriente de gas caliente. El material para el secado puede estar estático, móvil, fluido o diluido.

**Estático,** éste es un lecho denso de sólidos en el cual cada partícula descansa sobre otras, debido a la densidad de la masa de la fase sólida. Es decir, no existe movimiento relativo entre las partículas sólidas.

**Móvil,** este es un tipo de lecho de sólidos ligeramente restringido en el cual las partículas están separadas apenas lo suficiente para fluir o deslizarse unas sobre otras. Por lo común el flujo es descendente por acción de la fuerza de gravedad; pero también se puede registrar un movimiento ascendente debido a la elevación mecánica o a la agitación, generadas dentro del equipo de proceso.

**Fluidizado,** las partículas sólidas se sostienen por medio de fuerzas de arrastre provocadas por la fase gaseosa que pasa por los intersticios de las partículas, con una velocidad crítica dada.

**Diluido,** ésta es una condición de expansión total en la cual las partículas sólidas están tan separadas entre sí que prácticamente no ejercen ninguna influencia unas sobre otras. El flujo de gas caliente puede ser paralelo, perpendicular, transversal, en contracorriente.

**Flujo paralelo,** la dirección del flujo del gas es paralela a la superficie de la fase sólida el lecho de sólidos se encuentra generalmente en condición estática.

**Flujo perpendicular,** la dirección de la corriente de gas es normal en la entre cara de las fases. El gas choca contra el lecho de sólidos, encontrándose también en este caso dicho lecho de manera estática.

**Circulación directa,** el gas penetra y fluye directamente pasando a través de los intersticios de los sólidos, circulando de una manera más o menos libre en torno a las partículas individuales.

**Flujo de gas equicorriente**, la fase gaseosa y las partículas sólidas se desplazan en la misma dirección

**Flujo de gas en contracorriente**, la dirección del flujo de gas es exactamente opuesta a la que sigue el movimiento de los sólidos

**Flujo transversal de gas**, la dirección de la corriente de gas se realiza según ángulos rectos en relación con el movimiento de los sólidos, a través del lecho de sólidos.

#### **2.2.15. Deshidratación**

La deshidratación de un producto, se realiza por medio de una cámara cerrada donde se ingresa el calor necesario y se controlan parámetros como; la velocidad de secado, humedad relativa dentro de la cámara, humedad del producto final, temperatura, rendimiento, tiempo de residencia del material y el consumo de energía.

##### **a. Parámetros que Influyen en la Deshidratación**

Para cualquier operación de secado se deben de tener en cuenta los siguientes parámetros que influyen en la deshidratación del producto; actividad de agua y tamaño del producto, temperatura de transición, los mecanismos y teoría de deshidratación, además de los cambios físicos y químicos. Un inadecuado parámetro de secado incurre en cierta manera, en un alto consumo energético representando elevados costos de operación y por otro lado un daño irreversible a la textura del producto ocasionando encogimiento, cocción lenta y rehidratación incompleta. (Ordosgoitía, 2007).

#### **2.2.16. Equipos para Secado de Sólidos**

Las dos clasificaciones más útiles se basa en el método de transmisión de calor a los sólidos húmedos o en las características de manejo y las propiedades físicas del material mojado. El primer método de clasificación revela las diferencias en el diseño y el funcionamiento del secador, mientras que el segundo es más útil para seleccionar entre un grupo de secadores que se someten a una consideración preliminar en relación con un problema de secado específico. Los secadores se agrupan:

##### **a. Secadores Directos**

La transferencia de calor para el secado se logra por contacto directo entre los sólidos húmedos y los gases calientes. Estos secadores también llamados secadores por convección. Estos se clasifican en dos grupos:

### Secadores Continuos

La operación de secado es continua, sin interrupciones en tanto se suministra la alimentación húmeda.

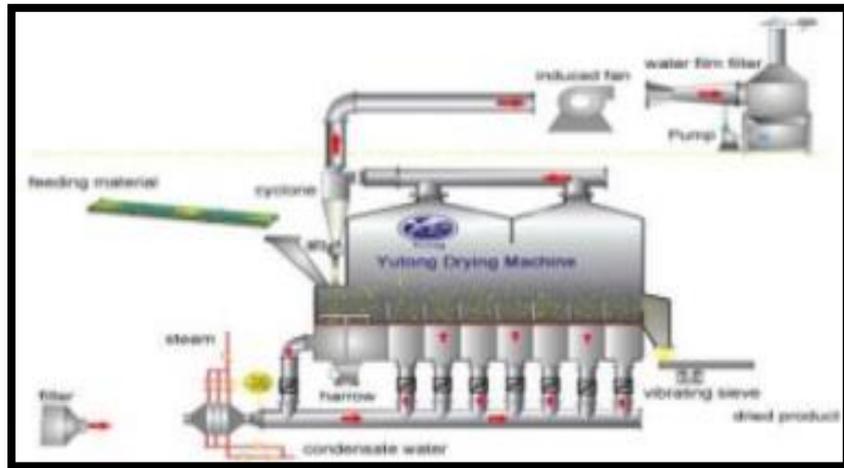


Figura N°2: Secador Directo Continuo  
Fuente: Chilan, 2014

#### a. *Secadores por lotes*

Estos secadores operan con un tamaño específico de lote de alimentación húmeda, para ciclos de tiempos dados. En los secadores por lotes, las condiciones de contenido de humedad y temperatura varían continuamente en cualquier punto del equipo.

Entre estos se encuentran los secadores de bandejas y compartimentos, en los que el material se coloca en bandejas que se pueden o no montar en carretillas removibles. El aire se sopla sobre el material contenido en las bandejas.

#### b. *De bandejas*

También se llama secador de anaqueles, de gabinete, o de compartimentos, el material, que puede ser un sólido en forma de terrones o una pasta, se esparce uniformemente sobre una bandeja de metal de 10 a 100 mm de profundidad.

Un ventilador recircula aire calentado con vapor paralelamente sobre la superficie de las bandejas. También se usa calor eléctrico, en especial cuando el calentamiento es

bajo. Más o menos del 10 al 20% del aire que pasa sobre las bandejas es nuevo, y el resto es aire recirculado. Después del secado, se abre el gabinete y las bandejas se remplazan por otras con más material para secado. Una de las modificaciones de este tipo de secadores es el de las bandejas con carretillas, donde las bandejas se colocan en carretillas rodantes que se introducen al secador. Esto significa un considerable ahorro de tiempo, puesto que las carretillas pueden cargarse y descargarse fuera del secador.

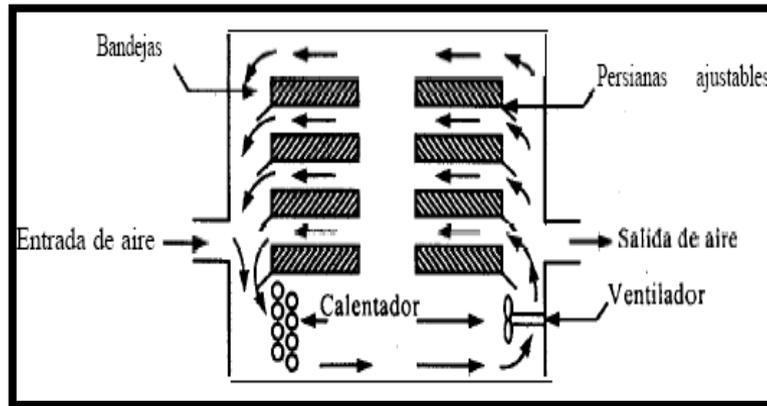


Figura N°3: Secador de bandejas horizontales  
Fuente: Chilan, 2014

c. *Secadores de Material dosificado en capas*

Se hace pasar por el secador una capa continua de material ya sea como tiras o en una lámina tensa y distendida sobre un marco de clavijas.

d. *Secadores transportador neumático*

Este tipo, la desecación se realiza a menudo en combinación con la trituración. El material se transporta dentro de gases a alta temperatura y velocidades elevadas hasta un colector de ciclón.

e. *Rotatorios*

Un secador rotatorio consta de un cilindro hueco que gira por lo general, sobre su eje, con una ligera inclinación hacia la salida. Los sólidos granulares húmedos se alimentan por la parte superior, tal como se muestra en la figura y se desplazan por el cilindro a medida que éste gira. El calentamiento se lleva a cabo por contacto directo con gases calientes mediante un flujo a contracorriente.

En algunos casos, el calentamiento es por contacto indirecto a través de la pared calentada del cilindro.

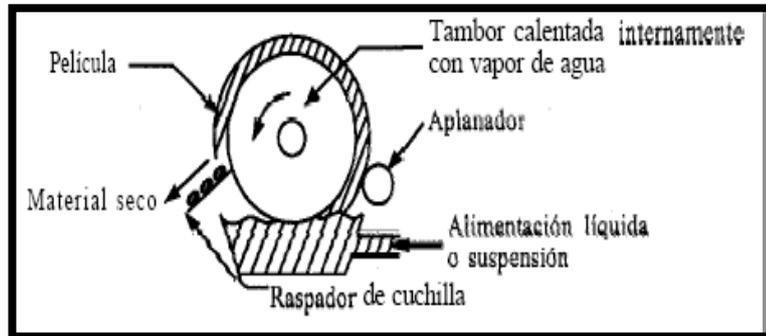


Figura N°4: Secador tipo rotatorio  
Fuente: Chilan, 2014

f. *Por aspersión*

La alimentación al secador debe poderse atomizar ya sea mediante un disco centrífugo o una boquilla.

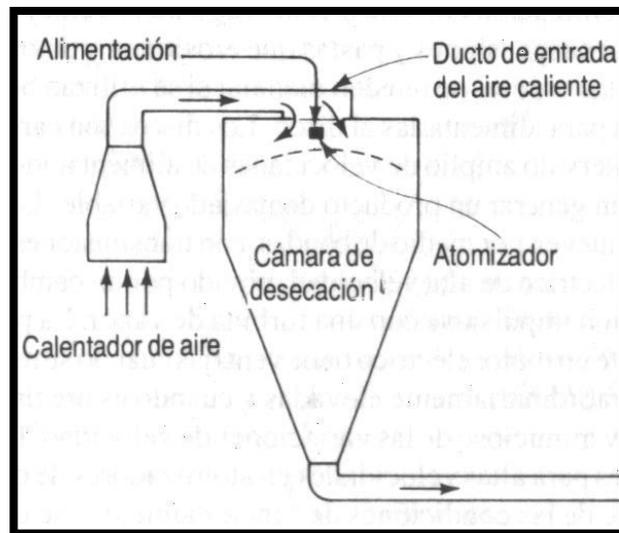


Figura N°5: Secador por aspersión  
Fuente: Chilan, 2014

g. *Circulación directa*

El material se mantiene en un tamiz de transporte continuo, mientras se sopla aire caliente a través de él.

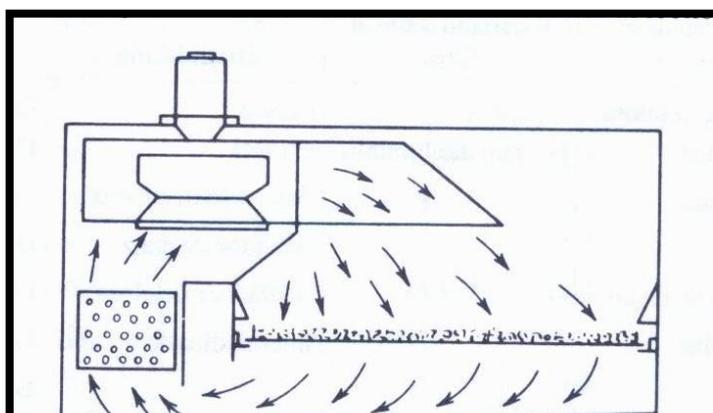


Figura N°6: Secador de circulación directa  
Fuente: Chilan, 2014

h. *Túnel*

El material colocado en carretillas se desplaza a través de un túnel en contacto con gases calientes.

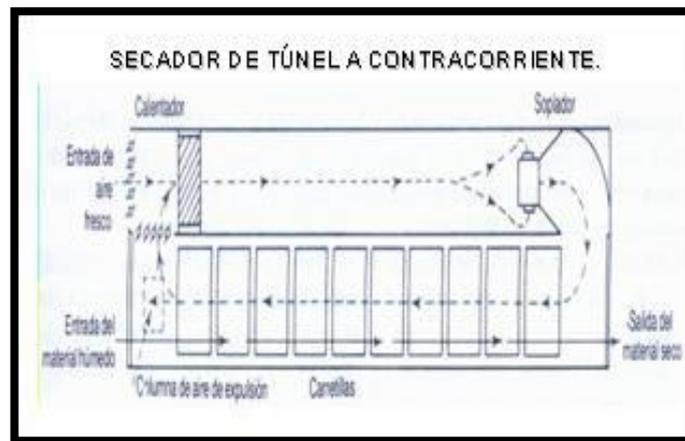


Figura N°7: Secador tipo túnel  
Fuente: Chilan, 2014

i. *Secadores de lechos fluidos*

Los sólidos se fluidifican en un tanque estacionario. También pueden tener serpentines de calor indirecto.

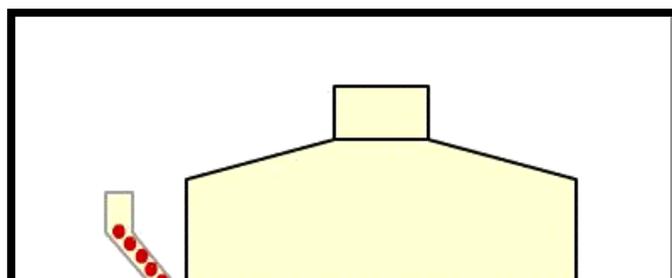


Figura N°8: Secador de lecho fluido  
Fuente: Chilan, 2014

j. *Secadores Directos Por lotes*

Se diseñan para operar con un tamaño específico de lote de alimentación húmeda, para ciclos de tiempo dado. En los secadores por lote las condiciones de contenido de humedad y temperatura varían continuamente en cualquier punto del equipo.

**b. Secadores Indirectos**

El calor del secado se transfiere al sólido húmedo a través de una pared de retención. La velocidad de secado depende del contacto que se establezca entre el material mojado y las superficies calientes.

Características de los Secadores Indirectos.

- El calor se transfiere al material húmedo por conducción a través de una pared de retención, casi siempre de índole metálica.
- Las temperaturas de superficie pueden variar desde niveles inferiores al de congelación hasta mayores que 800 K, en el caso de secadores indirectos calentados por productos de combustión.
- Los secadores indirectos son apropiados para desecar a presiones reducidas y en atmósferas inertes, para poder recuperar los disolventes y evitar la formación de mezclas explosivas o la oxidación de materiales que se descomponen con facilidad.
- Los secadores indirectos que utilizan fluidos de condensación como medio de calentamiento son en general económicos, desde el punto de vista de consumo de calor.
- La recuperación de polvos y material finamente pulverizados se maneja de un modo más satisfactorio en los secadores indirectos que en los directos.

Estos secadores se dividen en:

- a. *Secadores continuos*: el secado se efectúa haciendo pasar el material de manera continua por secador, y poniéndolo en contacto con las superficies calientes.
- b. *Secadores de cilindro para hojas continuas*, como papel celofán, piezas textiles. Por lo común, los cilindros se calientan con vapor y son rotatorios.

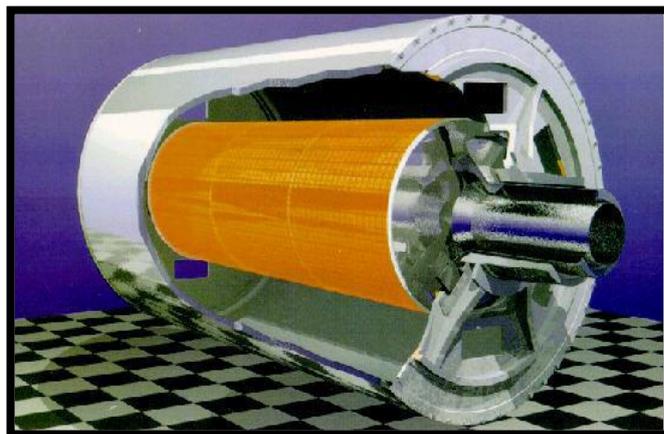


Figura N°9: Secador tipo cilindro de hojas continuas  
Fuente: Chilan, 2014

- c. *Secadores de tambor*, se pueden calentar con vapor o agua caliente, éstos a su vez se dividen en:
  - ❖ Secadores de transportador de tornillos, aunque son continuos pueden funcionar al vacío y permiten recuperar el disolvente durante el desecado.
  - ❖ Secadores rotatorios de tubos de vapor, se pueden utilizar vapor o agua caliente, es factible trabajar con una ligera presión negativa para permitir recuperar el disolvente durante el desecado.
  - ❖ Secadores de bandejas vibratoras, el calentamiento se logra con vapor o agua caliente.
- d. *Secadores por lotes*: En general los secadores indirectos por lotes se adaptan muy bien a operaciones al vacío.

Tipos de Secadores Indirectos por Lote.

- ❖ Secadores de artesas agitadas, estos pueden operar atmosféricamente o al vacío, y manejan una producción

pequeña de casi cualquier forma de sólidos húmedos, es decir, líquidos, lechadas, pastas o sólidos granulares.

- ❖ Secadores por congelación, el material se congela antes de desecarse y a continuación se realiza la desecación en ese estado al vacío.
- ❖ Secadores rotatorios al vacío, el material se agita bajo una cubierta horizontal estacionaria, no siempre es necesario aplicar vacío, el agitador se puede calentar con vapor además de hacer lo mismo con la cubierta.
- ❖ Secadores de bandejas al vacío, el calentamiento se hace por contacto con parrillas calentadas con vapor o agua caliente, sobre las cuales se coloca el material. No interviene la agitación.

### Secadores Infrarrojos o de Calor Radiante

El funcionamiento de los secadores de calor radiante de la generación, transmisión, y la absorción de rayos infrarrojos. Los secadores de calor radiante operan sobre el principio de la generación de calor dentro de los sólidos, colocándolos dentro de un campo eléctrico de alta frecuencia.

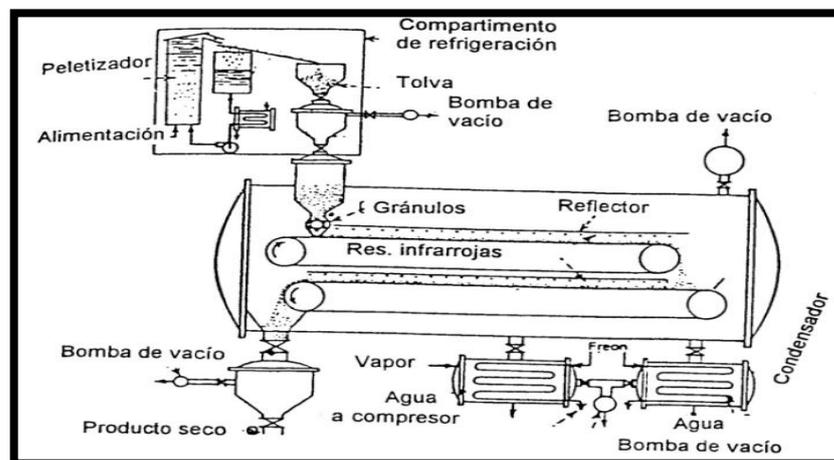


Figura N°10: Secador directo continuo  
Fuente: Chilan, 2014

## Secadores Diversos

- a. **SECADORES DIELÉCTRICOS:** operan sobre el principio de generación de calor dentro de los sólidos, colocándolos dentro de un campo eléctrico de alta frecuencia.
- b. **SECADORES SOLARES:** operan sobre el principio la energía solar para el secado de frutas y disecación al sol.

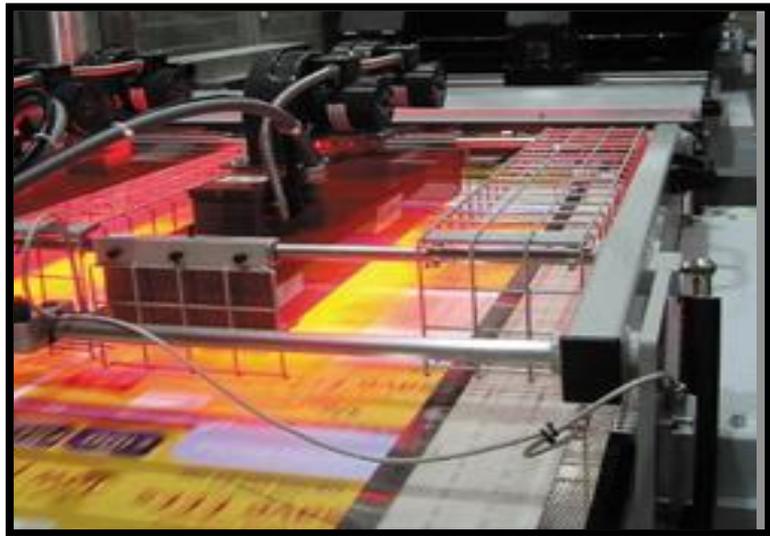


Figura N°11: Secador tipo dieléctrico  
Fuente: Chilan, 2014

### 2.2.17. Carta psicrométrica

La psicrometría es la ciencia que involucra las propiedades termodinámicas del aire húmedo, y el efecto de la humedad atmosférica sobre los materiales y el ser humano.

Las tablas psicrométricas ofrecen una gran precisión, ya que sus valores son de hasta cuatro decimales; sin embargo, en la mayoría de los casos, no se requiere tanta precisión; y con el uso de la carta psicrométrica, se puede ahorrar mucho tiempo y cálculos. Una carta psicrométrica, es una gráfica de las propiedades del aire, tales como temperatura, volumen, presión, etc. Las cartas psicrométricas se utilizan para determinar, cómo varían estas propiedades al cambiar la humedad en el aire.

Las propiedades psicrométricas del aire han sido recopiladas a través de incontables experimentos de laboratorio y de cálculos matemáticos, y son la base para lo que conocemos como la Carta Psicrométrica. Aunque las tablas psicrométricas son más precisas, el uso de la carta

psicrométrica puede ahorrarnos mucho tiempo y cálculos, en la mayoría de los casos donde no se requiere una extremada precisión.

Como se mencionó al inicio de este párrafo, la carta psicrométrica es una gráfica que es trazada con los valores de las tablas psicrométricas; por lo tanto, la carta psicrométrica puede basarse en datos obtenidos a la presión atmosférica normal al nivel del mar, o puede estar basada en presiones menores que la atmosférica, o sea, para sitios a mayores alturas sobre el nivel del mar.

Existen muchos tipos de cartas psicrométricas, 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 psicrométricas 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 una carta psicrométrica se encuentran todas las propiedades del aire, de las cuales las de mayor importancia son las siguientes:

- Temperatura de bulbo seco (Tbs).
- Temperatura de bulbo húmedo (Tbh).
- Temperatura de punto de rocío (Tr).
- Humedad relativa (HR).
- Humedad absoluta (HA).
- Entalpía (H).
- Volumen específico.

En este diagrama se representa la humedad absoluta en ordenadas frente a su temperatura en abscisas, está limitado por la curva de humedad relativa del 100% o curva de saturación, la cual da la humedad del aire saturado en función de su temperatura. El cálculo de los distintos puntos de esta curva se realiza determinando las humedades absolutas para distintas temperaturas.

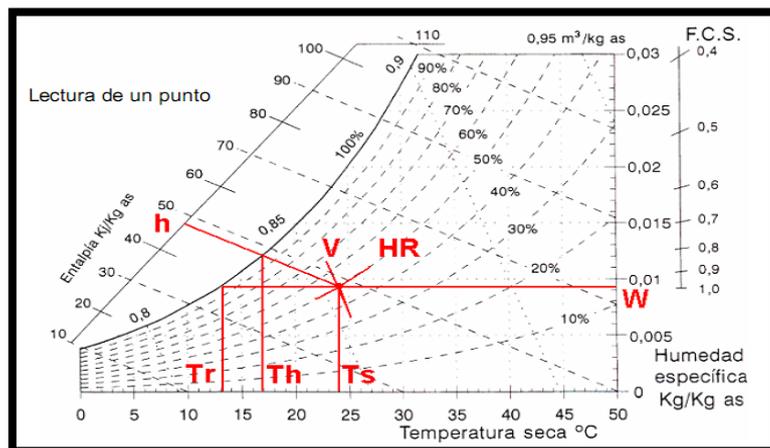


Figura N°12. Tabla psicrométrica para valores de temperatura y humedad.  
Fuente: Chilan, 2014

Donde:

$T_r$ , indica temperatura d rocío

V: Volumen húmedo

W, humedad específico

HR: humedad relativa

h: entalpia

## Descripción de propiedades

### a) Temperatura de Bulbo Seco

En primer término, tenemos la temperatura de bulbo seco. Como ya sabemos, 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 mostrada a continuación:

Las líneas que 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. Por ejemplo, en la línea de  $40^{\circ}\text{C}$ , cualquier punto a lo largo de la misma, corresponde a la temperatura de bulbo seco de  $40^{\circ}\text{C}$ .

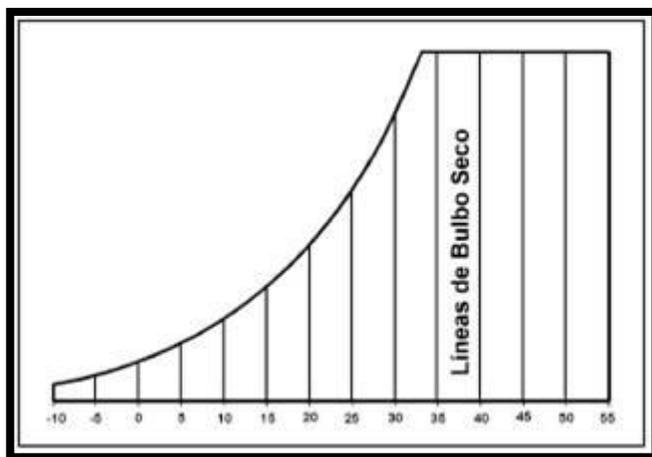


Figura N°13: Líneas de temperatura de bulbo seco  $^{\circ}\text{C}$ .  
Fuente: Chilan, 2014

## b) Temperatura de Bulbo Húmedo

Es la segunda propiedad del aire de nuestra carta psicrométrica. Corresponde a la temperatura medida con un termómetro de bulbo húmedo. Como ya se explicó en la sección anterior, es la temperatura que resulta cuando se evapora el agua de la mecha, que cubre el bulbo de un termómetro ordinario.

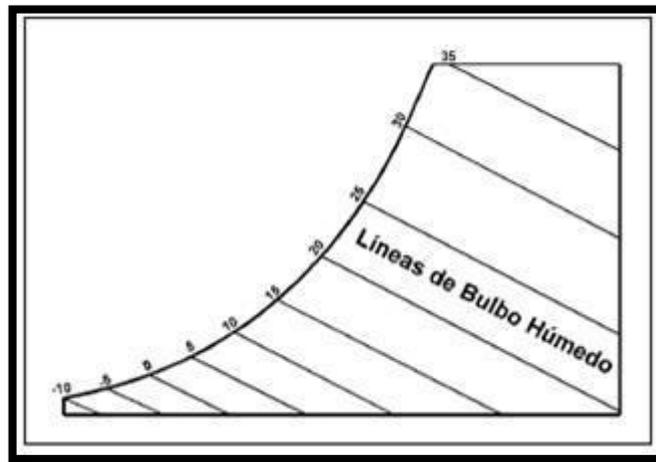
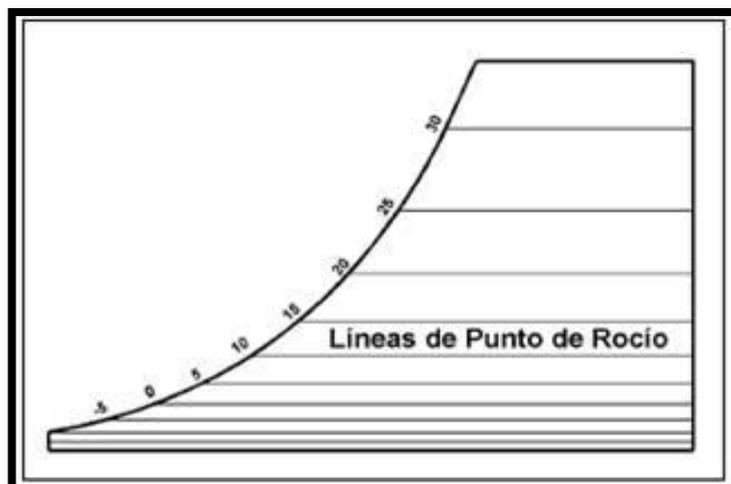


Figura N°14: Líneas de temperatura de bulbo húmedo °C.  
Fuente: Chilan, 2014

## c) Temperatura de Punto de Rocío

Es otra propiedad de 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, 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 línea curva de la carta.



- d) Hun Figura N°15: Líneas de temperatura de punto de rocío ° C.  
Fuente: Chilan, 2014

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 porciento, y este valor se indica sobre cada línea.

Como ya hicimos notar 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.

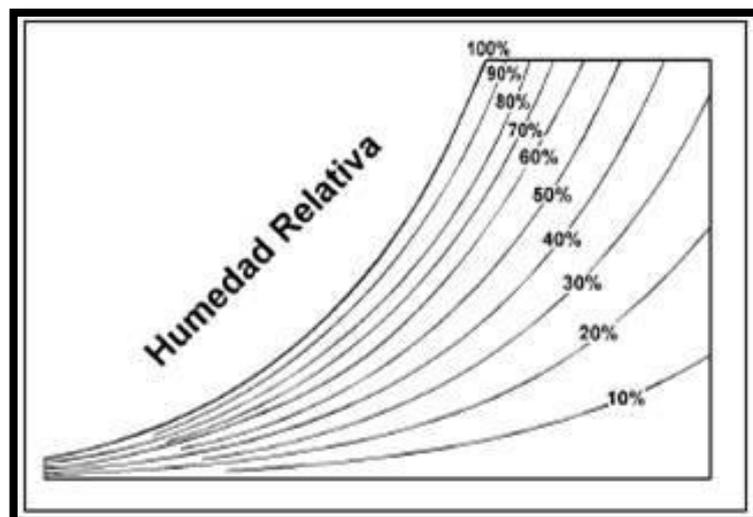


Figura N°16: Líneas humedad relativa %.  
Fuente: Chilan, 2014

#### a) Humedad Absoluta

La humedad absoluta, es el peso real de 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.

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 granos 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 éstas. Así pues, podemos ver que la cantidad de humedad en el aire, depende del punto de rocío del aire.

A continuación, veremos algunos ejemplos sencillos del uso de la carta psicrométrica, con las cinco propiedades físicas descritas hasta este punto. Luego, veremos las demás propiedades que faltan por estudiar. Como se mencionó anteriormente, conociendo dos de estas propiedades del aire, se pueden determinar las demás con el uso de la carta psicrométrica.

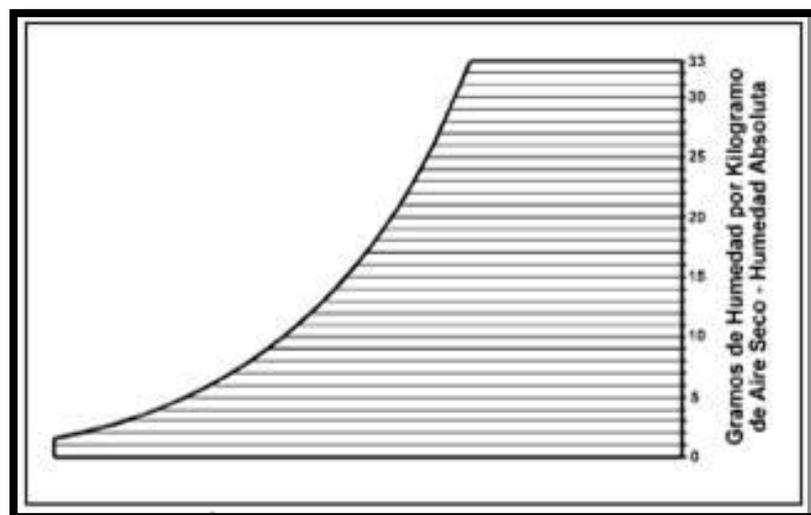


Figura N°17: Líneas de humedad absoluta en gramos/kg.  
Fuente: Chilan, 2014

b) Calor húmedo

Es la cantidad de calor, expresada en J o KJ requerido, para elevar la temperatura de un Kg de Aire Seco más el vapor de agua presente en un 1K o 1°C.

c) Volumen húmedo

Es el volumen total de aire en metros cúbicos de 1 Kg de aire seco más el vapor que lo contiene a 1 atmosfera.

d) Entalpia total de una mezcla de aire y vapor de agua

Es la entalpia total de 1 Kg de aire más su vapor de agua.

### **2.2.18. Propiedades del Aire**

El aire es una mezcla de gases incolora, inolora e insabora que rodea a la tierra. Este aire que envuelve a la tierra se conoce como atmósfera. Se extiende hasta una altura de aproximadamente 645 km, y se divide en varias capas. La capa más cercana a la tierra se llama tropósfera, y va desde el nivel del mar hasta los 15 km. La capa que se extiende desde los 15 hasta los 50 km, se llama estratósfera.

La capa de los 50 km hasta los 95 km, se llama mesósfera, y de los 95 a los 400 km, se llama ionósfera. Puesto que nosotros podemos movernos tan libremente en el aire, podríamos suponer que el aire no tiene peso, o por lo menos, tiene tan poco peso, que es despreciable. El aire sí tiene peso, y es sorprendentemente pesado. Su densidad (o peso por metro cúbico) varía, siendo mayor a nivel del mar (donde es comprimido por todo el aire encima del mismo) que en la cima de una alta montaña.

Un manto de aire cubre la tierra completa, y literalmente, nosotros vivimos en el fondo de ese mar de aire. Es más denso en el fondo, y se vuelve más delgado y ligero al ir hacia arriba. Todo este peso de aire

ejerce una presión de 101.325 kPa (1.033 kg/cm<sup>2</sup>) al nivel del mar, pero esta presión disminuye más y más, mientras más alto subimos.

El aire, no es un vapor saturado que esté cercano a temperaturas donde pueda ser condensado. Es siempre un gas altamente sobrecalentado, o más precisamente, es una mezcla de gases altamente sobrecalentados. Así, cuando calentamos o enfriamos aire seco, solamente estamos agregando o quitando calor sensible. Podemos enfriar o calentar el aire, limpiarlo y moverlo, pero esto no cambia significativamente sus propiedades; ya que, los relativamente pequeños cambios de temperatura que le hagamos, sólo causan pequeñísimos cambios en el volumen y la densidad.

Si el aire seco se calienta, se expande; y su densidad disminuye, cuando la presión permanece constante. Inversamente, si se enfría el aire seco, aumenta su densidad. Aún más, las temperaturas, densidades, volúmenes y presiones, todas varían proporcionalmente. En la tabla adjunta, se muestran las propiedades del aire seco a la presión atmosférica, en un rango de temperaturas de -150C a 500C. El aire atmosférico es una mezcla de oxígeno, nitrógeno, bióxido de carbono, hidrógeno, vapor de agua, y un porcentaje muy pequeño de gases raros como argón, neón, ozono, etc.

**Tabla N° 4. Gases que componen el aire en la atmósfera**

<b>Aire Seco</b>			
<b>Nombre</b>	<b>Símbolo Químico</b>	<b>%en Peso</b>	<b>% en Volumen</b>
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	75.047	78.03
Oxígeno	O <sub>2</sub>	23.19	20.99
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	0.04	0.03
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	0.00	0.01
Gases Raros	---	1.30	0.94

Fuente: Editorial Trillas., Universidad de Texas 2007

En áreas congestionadas o industriales, también puede haber gases conteniendo azufre, carbono, plomo y ciertos ácidos. Cada uno de estos gases que componen el aire, se comporta de acuerdo a la ley de Dalton. Brevemente, esta ley nos dice que una mezcla de dos o más gases, pueden ocupar el mismo espacio al mismo tiempo, y que cada uno actúa independientemente de los otros, como si los otros no estuvieran allí. Esto es, si un cuarto está completamente lleno de aire, también está completamente lleno de oxígeno, de nitrógeno, vapor de agua, etc., cada uno independiente del otro.

Cada uno tiene su propia densidad, su propia presión (presión parcial), y cada uno responde a los cambios de volumen y temperatura a su propia manera, sin "hacer caso" uno al otro, y cada uno se comporta según las leyes que lo gobiernan en lo particular. Es esencial que esto sea entendido y recordado. Realmente, el aire seco no es un gas puro, ya que es una mezcla como se mencionó anteriormente, y por lo tanto, no se conforma exactamente a las leyes de los gases, pero los gases que los componen son verdaderos gases; así que, para el propósito práctico de este capítulo, se considera a esta mezcla de gases (aire seco sin vapor de agua) como un solo compuesto, que sigue la ley de los gases.

El aire como ya vimos, tiene peso, densidad, temperatura, calor específico y además, cuando está en movimiento, tiene momento e inercia. Retiene sustancias en suspensión y en solución. El aire tiene conductividad térmica, pero ésta es muy pobre. Debido a que el aire tiene peso, se requiere energía para moverlo. Una vez en movimiento, el aire posee energía propia (cinética).

La energía cinética del aire en movimiento, es igual a la mitad de su masa, multiplicada por el cuadrado de su velocidad. La velocidad se mide en metros por segundo. De acuerdo a la ecuación de Bernoulli, al aumentar la velocidad disminuye la presión. La densidad del aire, varía con la presión atmosférica y la humedad. Un kilogramo de aire seco en condiciones normales (21°C y 101.3 kPa), ocupa 0.8329 metros cúbicos.

El calor específico del aire, es la cantidad de calor que se requiere para aumentar la temperatura de un kilogramo de aire en un grado centígrado. El valor del calor específico del aire seco, a nivel del mar, es 0.244 kcal/kg °C.

### **2.2.19. Propiedades del Vapor de Agua (Humedad)**

La humedad es un término utilizado para describir la presencia de vapor de agua en el aire, ya sea a la intemperie, o dentro de un espacio. Nuevamente, hacemos énfasis en que la humedad está "en el aire", solamente en el sentido de que los dos, aire y vapor de agua, existen juntos en un espacio dado al mismo tiempo.

Por costumbre común, decimos que el aire contiene humedad, y es conveniente hacerlo así, en el entendido de que siempre recordemos que es meramente una manera de hablar, y que en realidad, los dos son independientes uno del otro, y que no responden de la misma manera a los cambios de condiciones, especialmente a los cambios de temperatura.

Las palabras "vapor" y "gas", comúnmente las empleamos para referirnos a lo mismo; pero en realidad, un gas es un vapor altamente sobrecalentado, muy lejos de su temperatura de saturación, como el aire. Un vapor está en sus condiciones de saturación o no muy lejos de ellas, como el vapor de agua. Así pues, el vapor de agua o "humedad" en un espacio, puede estar en una condición de saturación o ligeramente arriba de ella.

Si lo enfriamos unos cuantos grados, hacemos que se condense, y si le aplicamos calor, lo sobrecalentamos. Como ya sabemos, dos terceras partes de la superficie de la tierra están cubiertas por agua: océanos, lagos y ríos, de las cuales se desprende el vapor de agua. Las nubes, también producto de esta evaporación, contribuyen a la humedad del ambiente al condensarse y precipitarse en forma de lluvia o nieve.

Todo lo anterior es lo que sucede a la intemperie. Dentro de una casa, edificio o fábrica, el vapor de agua puede provenir de la cocina, baño, máquinas, personas, etc. Así pues, la cantidad de humedad en el aire en un lugar y tiempo determinados, puede variar considerablemente.

El vapor de agua es producido por el agua, a cualquier temperatura (aún por el hielo). El agua no tiene que estar en ebullición, aunque, si lo está, el vapor de agua es producido con mayor rapidez. El vapor ejerce una presión definida encima del agua, la cual es determinada solamente por la temperatura del agua misma, independientemente de si el agua está o no en ebullición o de si el espacio por encima del agua contiene aire. Tampoco la presión del aire ejerce efecto alguno sobre la presión del vapor.

Si el agua está a una temperatura de 40°C, la presión del vapor de agua sobre la misma es de 0.81 kPa ó 0.1179 psia, la cual es una presión menor que la atmosférica (vacío). Si la temperatura del agua aumenta a 150°C, la presión del vapor de agua sobre la misma, aumenta más del doble, es decir, a 1.70 kPa (0.2472 psia).

### **2.2.20. Entalpía de las Mezclas de Aire y Vapor de Agua**

De la misma manera que es necesario saber cuánta humedad y aire hay en las diferentes mezclas, también es necesario conocer cuánto calentamiento o enfriamiento se requiere, para hacer cambios en la condición de las mezclas de aire y humedad. Esto es tan cierto para las temperaturas en refrigeración (conservación y congelación), como lo es para las temperaturas del aire acondicionado para el confort humano.

Si tuviéramos que considerar solamente calentar y enfriar el aire en las mezclas, la cantidad de calor agregado o removido, sería comparativamente simple. Solo tendríamos que agregar o quitar «calor sensible» del aire, el cual es aproximadamente 0.24 kcal/kg °C, puesto que el calor sensible en la mezcla proviene casi totalmente del aire, el contenido de calor por kilogramo de aire seco.

Es el contenido de humedad el que complica el problema, esto no sería tan difícil si la humedad permaneciera siempre como vapor, ya que siempre estaríamos tratando con el «calor sensible» del vapor, el cual es aproximadamente 0.45 kcal/kg °C (de la humedad, no de la mezcla). En la mayoría de las aplicaciones donde el aire y la humedad tengan que calentarse o enfriarse, algo del vapor de agua se vuelve líquido (condensado), o el agua líquida se evapora. Cuando un kilogramo de

vapor de agua se condensa, libera aproximadamente 539 kcal, mismas que debe absorber el equipo de enfriamiento.

Cuando se evapora un kilogramo de agua, deben agregarse aproximadamente 539 kcal, las cuales deben ser suministradas por el equipo de calefacción. Esto se llama «calor latente» y la carga de este calor puede ser muy grande, algunas veces más grande que la carga completa de calor sensible requerido para cambiar la temperatura del aire y humedad en unos 28 o 35 gramos. Por otra parte, la carga latente no incluye cambio de temperatura, sólo un cambio en el contenido de vapor a líquido.

### **2.2.21. Selección de la muestra: Manzana (Golden delicious)**

Es el fruto del manzano, árbol de la familia de las rosáceas. La piel puede ser de color verde, amarilla o rojiza, y la pulpa, harinosa o crujiente, presenta un sabor que varía entre el agrio y el dulce. Contiene en su interior varias semillas de color marrón oscuro.

La manzana ha sido un fruto simbólico a lo largo de la historia, se cita en la Biblia como el fruto prohibido que provocó la expulsión del ser humano del paraíso. Incluso sin conocer su composición química y sus propiedades nutricionales, la sabiduría popular siempre le ha atribuido virtudes saludables. Hace miles de años que se recolectan estas frutas. Se cree que ya existían en la prehistoria, tal y como lo demuestran restos arqueológicos que se ha encontrado en excavaciones neolíticas.

En el siglo XII a.C. el manzano era cultivado en los fértiles valles del Nilo en tiempos del faraón Ramsés III. La manzana fue introducida en la península por los romanos y los árabes. Y en el siglo XVI, los conquistadores españoles extendieron su cultivo al nuevo mundo. Y cien años después, desde Iberoamérica, el manzano emigró a América del Norte y posteriormente a África septentrional y Australia. Existen más de mil variedades, pero sólo se dispone de media docena de ellas en el mercado: Delicia, Reineta, Granny Smith, Golden, Starking y Gala.

#### **Estacionalidad**

Podemos encontrar la mayoría de ellas en el mercado desde septiembre hasta junio, excepto la Golden Supreme que está disponible desde agosto a noviembre o la Golden Delicious que se encuentra prácticamente todo el año.

#### **Porción comestible**

84 gramos por cada 100 gramos de producto fresco.

#### **Fuente de nutrientes y sustancias no nutritivas**

Fibra, ácidos orgánicos y flavonoides.

### **Valoración nutricional**

La manzana aporta hidratos de carbono fundamentalmente en forma de azúcares como fructosa, glucosa y sacarosa, y contiene cantidades apreciables de fibra, tanto soluble como insoluble, siendo esta última la más abundante, y que hace de este alimento un eficaz regulador de enfermedades del intestino grueso (estreñimiento/diarrea). La fibra soluble (pectina), tiene por su parte, actividad hipocolesterolémica.

Las manzanas son una importante fuente de flavonoides diversos como los flavonoles, catequinas y procianidinas. Entre los primeros, el más abundante en esta fruta es la quercetina, aunque también presenta cantidades menores de kaempferol e isorhametina. Las catequinas, difieren ligeramente en su estructura química de otros flavonoides pero comparten con ellos sus propiedades antioxidantes.

Algunos estudios han indicado que el consumo de catequinas procedentes de manzanas se ha relacionado inversamente con la incidencia de ciertos tipos de cáncer (como el cáncer de pulmón). Por último, las manzanas aportan cantidades importantes de procianidinas, compuestos con una potente actividad antioxidante, que podrían además modular la función inmunitaria y la activación plaquetaria.

Contienen también dihidroxichalconas (como la floretina que está presente en su forma glucosídica denominada floridzina), un tipo de flavonoides que se encuentran exclusivamente en las manzanas y sus derivados. Se localizan fundamentalmente en la piel de estas frutas aunque también en la pulpa (la concentración de estas sustancias depende de la variedad de manzana de que se trate).

En cuanto a los efectos biológicos de la floretina, ensayos llevados a cabo en animales de experimentación han indicado la posible consideración de este compuesto como agente antidiabético, debido a su capacidad de limitar la absorción intestinal de la glucosa. En su composición presentan ácidos orgánicos como el cafeico, p-cumárico, clorogénico, ferúlico, cítrico y málico.

A continuación se muestra una tabla referencial especificando valores de temperatura, humedad inicial y final después de un proceso de secado o deshidratado.

**Tabla N°5. Parámetros experimentales de temperatura, humedad inicial y humedad de conservación de la manzana.**

<i>Producto</i>	<i>Temperatura Máxima de secado (°C)</i>	<i>Humedad Inicial (%)</i>	<i>Humedad de conservación (%)</i>
<b>Tubérculos</b>			
Papás	55	75	13
<b>Hortalizas</b>			
Cebolla	55	80	4
Tomate	55	95	8
Repollo/col	55	94	4
Zanahoria	60	70	5
Pimiento	60	86	5
Ajo	55	80	8-10
<b>Frutas</b>			
<b>Manzana</b>	<b>50</b>	<b>84</b>	<b>14</b>
Uva	55	80	15-20

Fuente: Aski y Emam - Djomeh 2009, pág. 132

S muestra la tabla indicando valores de parámetros químicos y de textura realizados en muestras de manzana, los cuales fueron realizados por investigadores de la FAO ([www.fao.org](http://www.fao.org))

**Tabla N°6. Resultados de la conductividad térmica de la Manzana en W/m°C**

<b>T(°C)</b>	<b>agua</b>	<b>proteínas</b>	<b>grasa</b>	<b>carbohidratos</b>	<b>cenizas</b>	<b>fibra</b>	<b><math>K_f = \sum K_i X_i</math></b>
<b>24.5</b>	0.61024741	0.20647574	0.11297366	0.2328015	0.36220208	0.21202588	0.551775871
<b>13</b>	0.59286959	0.19389609	0.1447948	0.21871423	0.34734303	0.19902066	0.53502988
<b>12.8</b>	0.59255168	0.19367096	0.1453478	0.2184591	0.34707781	0.19878707	0.534723868
<b>12.5</b>	0.59207381	0.19333284	0.14617727	0.21807575	0.34667955	0.1984362	0.534263902
<b>10</b>	0.58804464	0.19049622	0.15308825	0.21485088	0.34334031	0.19549017	0.530386652
<b>9.5</b>	0.58722875	0.18992482	0.15447018	0.21419941	0.3426681	0.19489621	0.529601729
<b>4</b>	0.57803274	0.18354972	0.16966556	0.2068903	0.33517789	0.18825811	0.520759178

Fuente: Bake 1997

**Tabla N°7. Resultados del calor específico de la Manzana en J/Kg°C**

<b>T(°C)</b>	<b>agua</b>	<b>proteínas</b>	<b>grasa</b>	<b>carbohidratos</b>	<b>cenizas</b>	<b>fibra</b>	<b><math>C_{ef} = \sum C_{e_i} X_i</math></b>
<b>24.5</b>	4170.6886	2037.02998	2017.41417	1593.31583	1136.68526	1887.958	3772.768398
<b>13</b>	4174.09381	2023.69382	2002.54156	1573.30866	1116.54259	1868.9118	3772.313345
<b>12.8</b>	4174.14023	2023.45881	2002.27168	1572.94681	1116.18367	1868.56968	3772.292434
<b>12.5</b>	4174.20903	2023.10611	2001.86613	1572.40314	1115.64473	1868.0558	3772.260235
<b>10</b>	4174.74405	2020.15771	1998.45292	1567.83101	1111.12783	1863.74091	3771.95303
<b>9.5</b>	4174.84284	2019.56606	1997.76308	1566.90767	1110.21893	1862.87096	3771.883257
<b>4</b>	4175.74897	2013.01459	1990.01639	1556.55496	1100.09949	1853.14799	3770.932475

Fuente: Aski y Emam - Djomeh 2009, pág. 141

### 2.3 Caracterización de la materia prima

Se seleccionó la muestra que vamos a someter al proceso de secado y detallaremos el proceso de preparación de la muestra. Para este proceso usaremos dos (02) manzanas por cada ensayo de la variedad *Golden delicious*, pues es de sabor agradable y textura óptima para el proceso de secado, además es la variedad de manzana que más salida tiene en el mercado por sus características y propiedades nutritivas.



Figura N° 18. Materia prima, manzana de la variedad Golden delicious.

Fuente: Elaboración Propia.

### 2.3.1 Instrumentación Utilizada

A continuación, se muestran la instrumentación usada en esta tesis:



Figura N°19. Balanza digital, capacidad máxima 5kg, para realizar el pesado de las muestras de manzana.  
Fuente: Elaboración Propia.



Figura N°20. Cuchillo de mesa, para realizar el descascarado en forma manual de las manzanas.  
Fuente: Elaboración Propia.



Figura N°21. Refractómetro, para medir los °BRIX de la manzana.  
Fuente: Elaboración Propia.



Figura N°22. Vernier, para medir milimétricamente el espesor de la muestra de manzana.  
Fuente: Elaboración Propia.



Figura N°23. Anemómetro con sensor de temperatura.  
Fuente: Elaboración Propia.



Figura N°24. Papel indicador de PH, para medir el pH de la muestra de manzana.  
Fuente: Elaboración Propia.



Figura N°25. Vista general de la muestra y la instrumentación usada.  
Fuente: Elaboración Propia.

### **2.3.2 Proceso de preparación de la muestra antes del secado.**

Paso 1. Seleccionar las muestras (2 Manzana Golden delicious)



Figura N°26. Muestra o materia prima a usar.  
Fuente: Elaboración Propia.

Paso 2. Descascarar y descorazonar las muestras.



(a)



(b)

Figura N°27. (a) Muestra descorazonada, (b) Descascarado de la muestra.  
Fuente: Elaboración Propia.

Paso 3. Se procede a cortar en rodajas de 2mm, dicha medida se realiza con el vernier. (La selección del espesor se detalla en el siguiente apartado: “Selección del espesor de la muestra”)



Fuente: Elaboración Propia.

Paso 4. Disponer las muestras en rodajas y pesarlas



Figura N°29. Pesado de las rodajas de manzana.  
Fuente: Elaboración Propia.

Paso 5. Medir los grados °BRIX. Se procede a colocar un poco de zumo de manzana sobre la placa del refractómetro previamente limpiada, luego mirar mediante el monocular y visualizar una marca de color azul en cualquiera de las tres escalas que tiene el espectrómetro (Previamente se selecciona la escala 1, 2 o 3, según referencia de la fruta), para nuestro caso, seleccionamos la escala 1 y observamos que la marca coincide con el valor de 14 °BRIX.



Figura N°30. Visualización de los grados °BRIX en el refractómetro.  
Fuente: Elaboración Propia.

Paso 6. Disponer las muestras para realizar los ensayos posteriores.

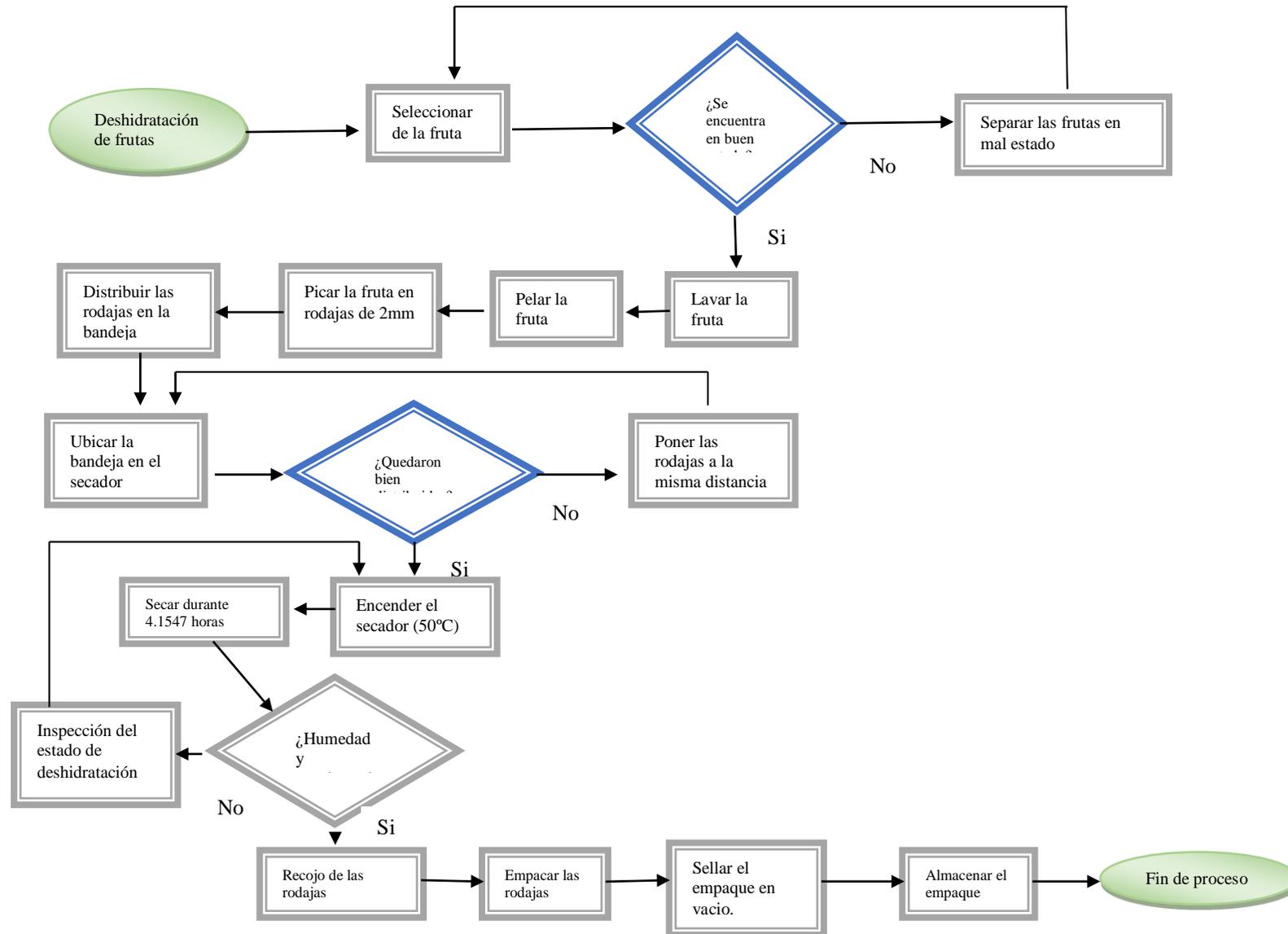


Figura N°31. Muestras de manzanas listas para el proceso.  
Fuente: Elaboración Propia.

Se detalla que durante el proceso de secado se realizarán 5 ensayos con 5 pares de manzanas, todos los procesos seguirán el mismo protocolo.

A continuación mostramos el diagrama de flujo en el cual se detalla el proceso de preparación de la muestra y el secado de la misma.

## Diagrama de flujo



### III. RESULTADOS

#### 3.1. Selección de variables de diseño del secador

Tabla N° 8. Tabla comparativa de la elección de variables entre las distintas investigaciones en materia de secado de frutas y hortalizas.

Autor	Tesis	Variables							
		Materia prima usada	Características Morfológicas finales	Masa de la Muestra	Velocidad del Flujo	Humedad	Temperatura de Secado	Espesor de la Muestra	Tiempo de secado
Delgado E. 2014.	“Diseño, Modelo Matemático y Diseño de un Secadero Optimizado con Energías Limpias”	X		X			X		
Mendoza A. et al, 2012.	“Efecto del Secado de Zanahoria Empleando Flujo de Aire Revertido”,	X			X	X		X	X
Rojas P. y Pérez D. 2012	“Automatización de un Secador de Aire Caliente para Fines de Docencia en Ingeniería de Alimentos”,	X			X		X		X
Santacatalina J. et al, 2012.	“Estudio de la Influencia del Secado a Baja Temperatura en la Capacidad de Rehidratación y en la Textura de Berenjena y Zanahoria”,	X	X		X		X		
Mendoza A. et al, 2011.	“Modelación Matemática del Proceso Secado Empleando Flujo de Aire Revertido”,	X			X		X		X

Fuente: Elaboración Propia.

### **3.1.1 Selección de variables.**

Como se puede apreciar en el recuadro superior, en esta tesis denominada “Diseño de un prototipo de secador homogéneo de frutas utilizando flujo controlado de aire caliente” se designaron como variables a la velocidad de flujo, la humedad, la temperatura de secado y el tiempo de secado, la muestra elegida es manzana de la variedad Golden delicious, pues esta presenta mayor sabor y preferencia en el mercado en comparación a otras variedades de manzanas. La velocidad de flujo de aire juega un papel sumamente importante al momento de inyectar calor controlado, pues de este dependerá la transmisión del mismo por convección, éste a su vez, eliminará la humedad presente en la muestra a trabajar, debido al aumento de la temperatura del interior de la cámara de secado y por ende el tiempo de secado será controlado a través del flujo de aire inyectado.

Este flujo de aire puede ser mono direccional, bidireccional o multidireccional, para nuestro caso, hemos elegido el tipo bidireccional de tal manera que el calor por convección pueda homogenizarse dentro de la cámara de secado, esto es, cuando se inyecte aire caliente por los dos laterales de la cámara, estos actuarán sobre la muestra de izquierda a derecha y de derecha a izquierda homogenizando la evaporación del agua presente en las muestras de manzana.

### 3.1.2 Selección de parámetros de diseño del prototipo de secador de flujo de aire caliente controlado.

Para determinar los parámetros de diseño del secador, debemos de calcular las variables termodinámicas del sistema, en primer lugar se debe de realizar el cálculo termodinámico del proceso de secado, con el fin de calcular el calor necesario para el secado de la manzana, así mismo como la velocidad de secado y velocidad de aire caliente forzado, así como la humedad inicial y final del producto. A continuación se muestra el cálculo de los parámetros antes mencionados

#### 3.1.2.1 Balance de materia en el proceso de secado:

$$G * Y_1 + w_1 X_1 = G * Y_2 + w_2 X_2$$

$$X_1, \text{humedad inicial} = 81.55\%$$

$$X_2, \text{humedad final} = 18.45\%$$

Se sabe que la merma entre el descascarado y descorazonado es de 10.42% en promedio, entonces nos quedaría solamente un porcentaje útil del 89.58%. Además, se tiene que la carga de prueba fue en promedio de  $0.301 \text{ kg/carga}$

$$\begin{aligned} 0.301 \text{ kg/carga} * 89.58\% \\ = 0.269 \text{ kg/carga de manzana descascarada y descorazonada} \end{aligned}$$

La cantidad de muestra descascarada y descorazonada  $0.269 \text{ kg}$ , de esta cantidad, se calcula el porcentaje de masa seca de los ensayos realizados, el cual tiene como humedad inicial 81.55% y una humedad fina de 18.45%, el cual en promedio corresponde:

$$0.269 \text{ kg/carga} * 81.55\% = 0.2194 \text{ kg/carga agua en la manzana}$$

La masa seca equivale a:

$$w_s = 0.269 \text{ kg/carga} * 18.45\% = 0.04963 \text{ kg/carga sólido en la manzana}$$

Del ensayo número 1, y considerando los datos obtenidos el mismo que se encuentra adjunto en el Anexo 01 se obtiene la ecuación de la polinómica:

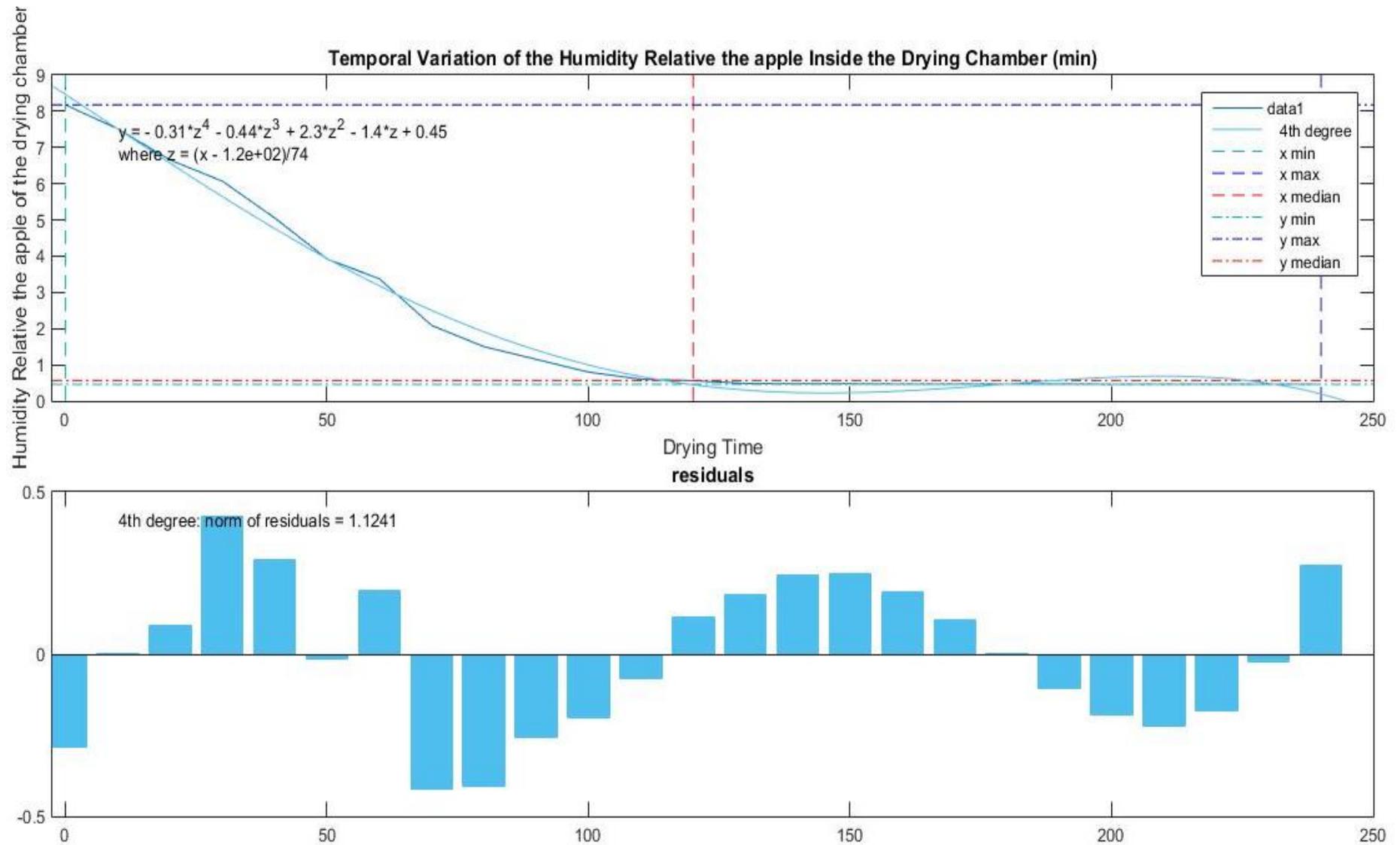


Figura 32. Humedad vs Tiempo  
 Fuente: Elaboración Propia

Para justificar un cálculo más exacto, se realizó una interpolación entre los datos obtenidos durante el proceso de secado Anexo 01, en el cual se optó por tomar el modelo matemático de un polinomio cuadrático, pues esta ecuación describía mejor característicamente a la curva de la taza evaporación de la humedad, la ecuación se muestra a continuación:

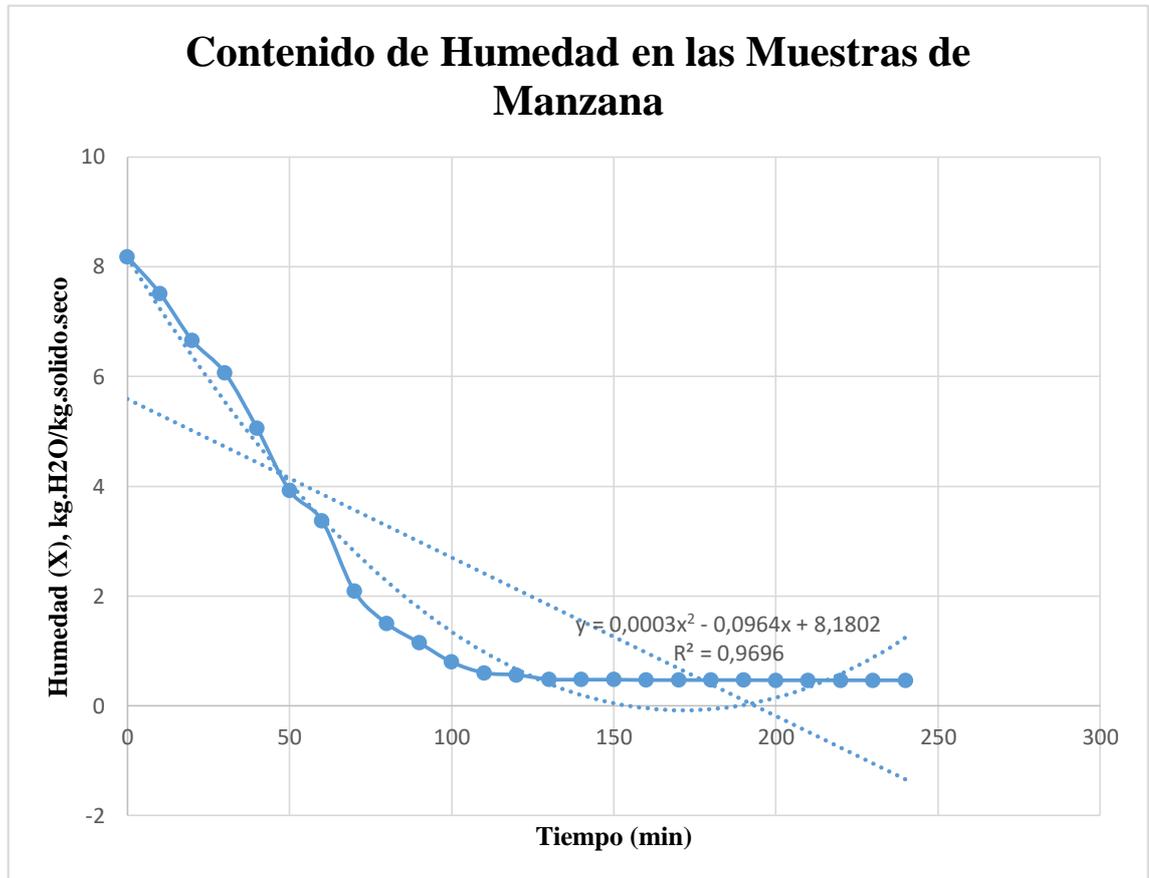


Figura 33. Interpolación cuadrática de la curva de variación temporal de la humedad

Todos los datos utilizados se encuentran en los anexos 01 hasta el Anexo 05, la cual corresponden a los 05 ensayos realizados para determinar los valores reales necesarios.

$$X = 0.0003t^2 - 0.0964t + 8.1802$$

De este modo, por teoría de máximos y mínimos procederemos a calcular el valor de “t” para el valor nominal medio:

$$y = X = 0.0003t^2 - 0.0964t + 8.1802$$

$$\frac{dX}{dt} = 0.0006t - 0.0964 = 0$$

$$t = 160.67 \text{ min}$$

De la solución de la ecuación se obtiene un “t” igual a 160.67 min; el valor de la humedad X, es el valor de la humedad crítica de la muestra:

$$X = 0.0003 * 160.67^2 - 0.0964 * 160.67 + 8.1802$$

$$X_{critica} = X_c = 0.4361 \frac{\text{kg. agua}}{\text{kg. solido. seco}}$$

Reemplazamos para hallar la humedad crítica del aire:

$$Y_c = 0.0500 \frac{\text{kg. agua}}{\text{kg. aire. seco}} + \frac{0.0348 \frac{\text{kg/carga}}{2482.7935 \frac{\text{kg. aire. seco}}{\text{m}^2 * \text{h}}}} * (6.7241 \frac{\text{kg. agua}}{\text{kg. solidos}} - 0.4361 \frac{\text{kg. agua}}{\text{kg. solido. seco}})$$

$$Y_c = \mathbf{0.05009} \frac{\text{kg. agua}}{\text{kg. aire. seco}}$$

Luego, calculamos el valor de la media logarítmica de las humedades:

$$\Delta Y_{LM} = \frac{(Y_1 - Y_c)}{\ln \left[ \frac{Y_w - Y_c}{Y_w - Y_1} \right]}$$

$Y_w$ , es la humedad absoluta del aire a temperatura del bulbo humedo (0.060)

$$\Delta Y_{LM} = \frac{(0.0500 \frac{\text{kg. agua}}{\text{kg. aire. seco}} - 0.05009 \frac{\text{kg. agua}}{\text{kg. aire. seco}})}{\ln \left[ \frac{0.060 \frac{\text{kg. agua}}{\text{kg. aire. seco}} - 0.05009 \frac{\text{kg. agua}}{\text{kg. aire. seco}}}{0.060 \frac{\text{kg. agua}}{\text{kg. aire. seco}} - 0.0500 \frac{\text{kg. agua}}{\text{kg. aire. seco}}} \right]}$$

$$\Delta Y_{LM} = \mathbf{0.009955}$$

Calculamos el coeficiente de transferencia de masa  $k_y$ , éste valor está en función de la velocidad de secado y del coeficiente de transferencia de calor  $h_c$ :

$$N = \frac{h_c * (T - T_w)}{\lambda_w} = k_y * M_B * (Y_w - Y)$$

Para calcular  $h_c$ , usamos la siguiente expresión:

$$h_c = 0.0204 * G^{0.8}$$

$$h_c = 0.0204 * 2482.7935^{0.8}$$

$$h_c = \mathbf{10.6068} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

Con este dato calculamos el extremo izquierdo de la ecuación de la velocidad de secado:

$$N = \frac{h_c * (T - T_w)}{\lambda_w} = \frac{10.6068 * ((65 + 273.15) - (26 + 273.15))}{626.3890}$$

Donde el parámetro  $\lambda_w = 626.3890$

$$N = 0.6604 \frac{kg}{m^2 h}$$

El valor de  $k_y$ :

$$k_y = \frac{R}{M_B * (Y_w - Y)}$$

$M_B = 29$

$$k_y = \frac{0.6604}{29 * (0.060 - 0.05)}$$

$$k_y = 2.2772 \frac{kmol}{m^2 h}$$

Ahora calculamos el tiempo de secado en periodo continuo:

$$t_c = \left( \frac{2482.7935}{1} \right) \left( \frac{1}{0.3^2} \right) \left( \frac{1}{2.2772 * 29} \right) \left( \frac{0.05009 - 0.0500}{0.009955} \right)$$

$$t_c = 3.9575 h$$

### **3.1.2.2. Calculo del tiempo de secado en el periodo decreciente:**

Para calcular el periodo decreciente, usamos la siguiente expresión:

$$t_d = \left(\frac{G}{w_s}\right) \left(\frac{w_s}{A}\right) \frac{X_c}{k_y * M_B} \frac{1}{\left[(Y_w - Y_2) * \frac{G}{w_s} + X_2\right]} \ln \frac{X_c * (Y_w - Y_2)}{X_2 * (Y_w - Y_c)}$$

$$t_d = \left(\frac{2482.7935}{1}\right) \left(\frac{1}{0.3^2}\right) \frac{0.4361}{2.2772 * 29} \frac{1}{\left[(0.060 - 0.05008) * \frac{2482.7935}{0.0348} + 1.04821\right]} \ln \frac{0.4361 * (0.060 - 0.05008)}{1.04821 * (0.060 - 0.05009)}$$

**$t_d = 0.1972 h$**

Finalmente, el tiempo total para el secado de las muestras de manzana será:

$$t_T = t_c + t_d = 3.9575h + 0.1972h = 4.1547 h$$

**$t_T = 4.1547 h$**

De igual forma de calculó el tiempo de secado para los 4 ensayos restantes, dichos valores se muestran en una tabla continuación:

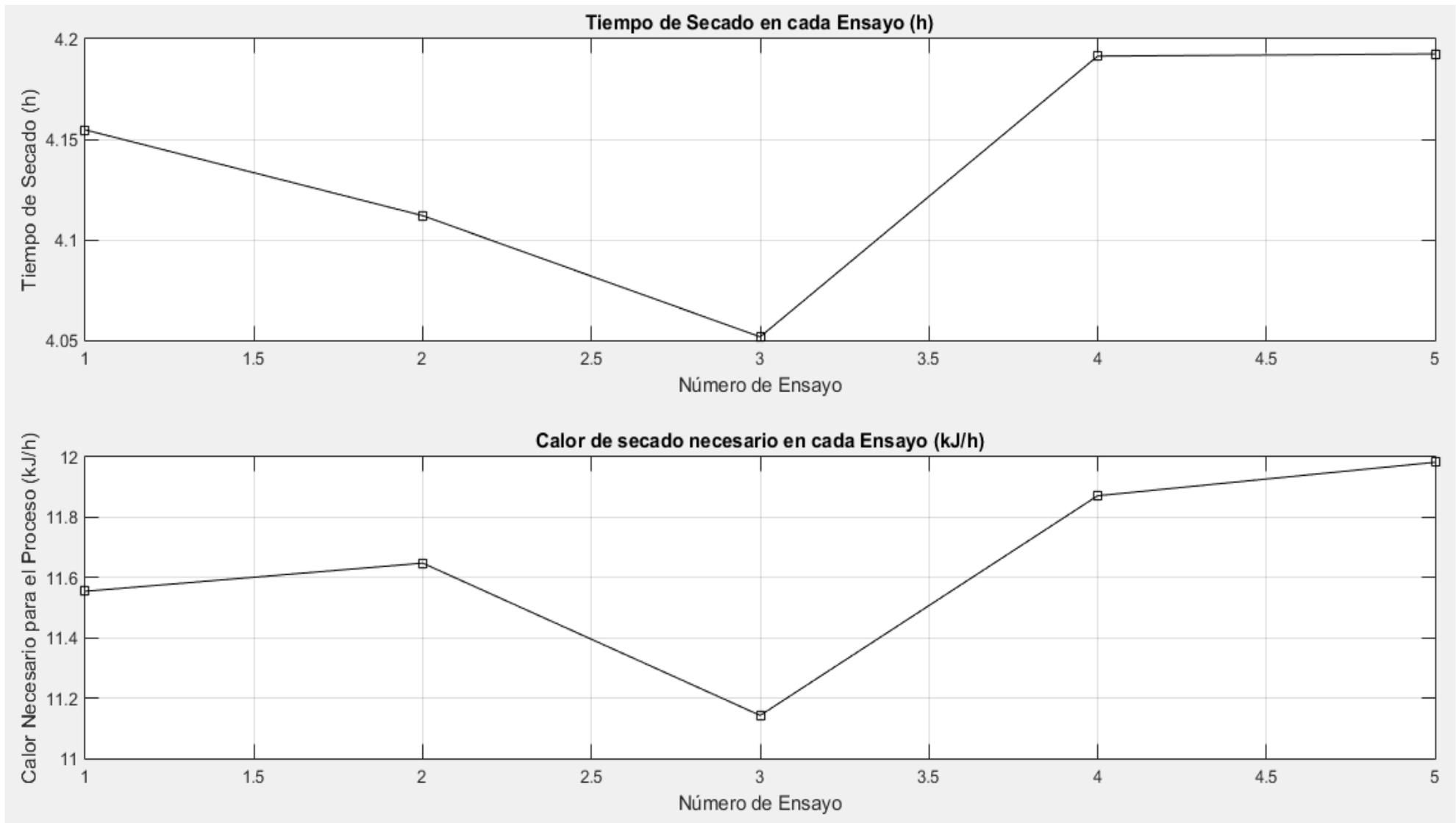


Figura 34. Grafica de los tiempos calculados en los 5 ensayos, así como el calor necesario para el proceso de secado.

Ver Anexos 01 al Anexo 05.

Fuente: Elaboración Propia

### 3.2 Diseño, desarrollo y ensamble del prototipo de máquina secador homogéneo de fruta.

#### 3.2.1. Cálculo y diseño del prototipo

#### 3.2.2. Cálculo del Intercambiador de calor

Empezamos determinando el espesor del ducto del intercambiador. Para esto, es necesario usar el esfuerzo circunferencial térmico relaciona el espesor del ducto  $\xi$ , el cual viene dado por:

$$\xi = \frac{P * R}{2S * \zeta - 0.4P}$$

$P$ , es la presión interna = 70.6327 Pa

$R$ , es el radio interno = 0.0508 m

$S$ , es el esfuerzo admisible =

1808.1765 Pa (Segun tabla de materiales)

$\zeta$ , es la eficiencia de la junta = 1

$$\xi = \frac{70.6327 \text{ Pa} * 0.0508 \text{ m}}{2 * 1808.1765 \text{ Pa} * 1 - 0.4 * 70.6327 \text{ Pa}}$$
$$\xi \equiv 0.001 \text{ m} = 1 \text{ mm}$$
$$\xi \equiv \mathbf{1 \text{ mm}}$$

Por lo tanto, el espesor del ducto, deberá ser de 1mm.

#### 3.2.3. Cálculo de la longitud del ducto equivalente del intercambiador de calor

Según la teoría de cálculo de intercambiador, se tiene que:

$$L_{eq} = 2.5\phi_{ducto}$$

$$L_{eq} = 2.5 * 0.1016 \text{ m}$$

$$L_{eq} = 0.254 \text{ m} = 25.4 \text{ cm}$$

Se sabe que, por la geometría del sistema ventilador – resistencia se tiene una longitud característica de 8.5 cm, lo que en su defecto genera un tramo efectivo de valor  $L'_{eq}$ :

$$L'_{eq} = 25.4 \text{ cm} - 8.5 \text{ cm} = 16.9 \text{ cm}$$

$$L'_{eq} = 16.9 \text{ cm}$$

Finalmente, el tramo del ducto necesario es de 16.9 cm.

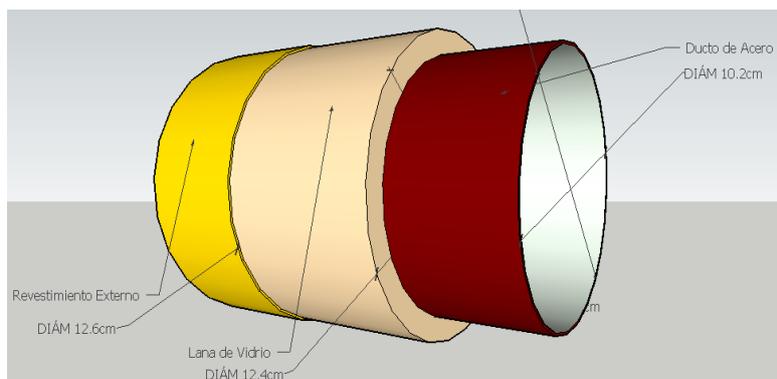


Figura 35. Distribución de las capas en el intercambiador de calor  
Fuente: Elaboración Propia

### 3.2.4. Cálculo de la resistencia eléctrica del intercambiador de calor:

Para calcular la resistencia eléctrica del sistema de trabajo es necesario considerar la potencia total del sistema, la cual equivale a la suma de la potencia del ventilador más la potencia de la resistencia eléctrica, así:

$$Potencia_{Total} = Potencia_{ventilador} + Potencia_{resistencia}$$

Considerando la bidireccionalidad en el sistema de aire, por lo tanto la potencia será repartida equitativamente en un 50% por cada sistema. Se sabe que el voltaje de trabajo es de 5.3 V, y el tiempo de trabajo fue de 4.14046 h; esto es:

$$0.5 \times 11.5544 \times 10^3 \frac{J}{3600s} = 2.5 \frac{J}{s} + Energía_{resistencia}$$

$$Energía_{resistencia} = 10576.36 J$$

$$Energía_{resistencia} = 10576.36 J = \frac{V^2 \cdot t}{R}$$

$$\frac{5.3^2 \cdot 4.14046 \cdot 3600}{R} = 10576.36$$

$$R = 39.588 \Omega$$

Es decir, se requiere una resistencia eléctrica de 39.588  $\Omega$  para poder calentar el aire producido por el ventilador hasta 50°C.

Podemos estimar la variación térmica de la resistencia cuando se pone en funcionamiento el sistema, para ello se tiene en cuenta que la temperatura externa es de 26°C y la final es de 50°C, haciendo una diferencia de 24°C, con ello, se procede a reemplazar en la ecuación física siguiente:

$$R' = R_0(1 + \alpha \Delta T)$$

$$R' = 39.588(1 + 0.0000125 * (50 - 26))k\Omega$$

$$R' = 39.599 \Omega$$

Es decir, la resistencia eléctrica no varía con el incremento de la temperatura.

### 3.2.5. Selección del ventilador para generar aire caliente

Como se determinó en el anterior punto el valor de la resistencia eléctrica, ahora se estimará el tipo de ventilador a usar, el cual deberá de generar corrientes de aire de tal manera que pueda direccionar el flujo caliente que se originará cuando el aire generado por el mismo pase a través de la resistencia eléctrica. Cabe resaltar, que la resistencia eléctrica deberá estar dispuesta en forma horizontal y helicoidal, de tal manera que genere hileras que calienten el entorno del flujo de aire.

Estas hileras llegarán hasta una temperatura de trabajo de 50°C, considerando que el flujo de aire debe de ser constante para este proceso (Valor de temperatura calculado en el apartado de variables físicas), el cual se mantendrá desde la emisión del mismo hasta la entrada a la cámara de secado.

La geometría del ducto queda definida por las ecuaciones de la hidrodinámica, la cuales se reflejan en principalmente en la ecuación de continuidad. Una vez seleccionado el ventilador teniendo en cuenta la velocidad de secado de las muestras, se determina la velocidad de las hélices del ventilador, velocidad que proporciona el fabricante de acuerdo al requerimiento. Para nuestro caso, el ventilador que elegimos genera corrientes de aire de 1.95 m/s (Valor de salida de las hélices), cuyas dimensiones son de 4" de radio. Usando la ecuación de continuidad determinaremos la velocidad del flujo de aire a la entrada de la cámara de secado, área que viene determinada por un radio reducido de 2":

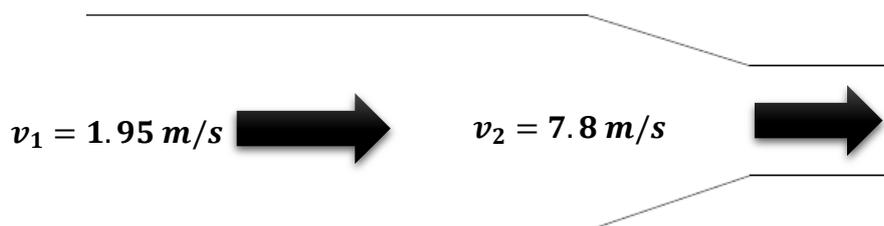


Figura N° 36. Cálculo de la Velocidad del Flujo de Aire a la entrada de la cámara de secado.  
Fuente: Elaboración Propia

Consideramos que los caudales volumétricos son constantes a la entrada y salida del ducto, tenemos en cuenta que si queremos aumentar el flujo de aire, debemos de reducir el aire. Se dispone de una tubería de 2" de diámetro la cual servirá para incrementar la velocidad del paso del aire.

$$\begin{aligned}q_1 &= q_2 \\A_1 v_1 &= A_2 v_2 \\r_1^2 v_1 &= r_2^2 v_2 \\0.0508^2 * 1.95 &= 0.0254^2 * v_2 \\v_2 &= 7.8 \text{ m/s}\end{aligned}$$

Valor que representa la velocidad del flujo de aire a la entrada de la cámara de secado la cual es la necesaria para poder eliminar la humedad presente en las muestras.

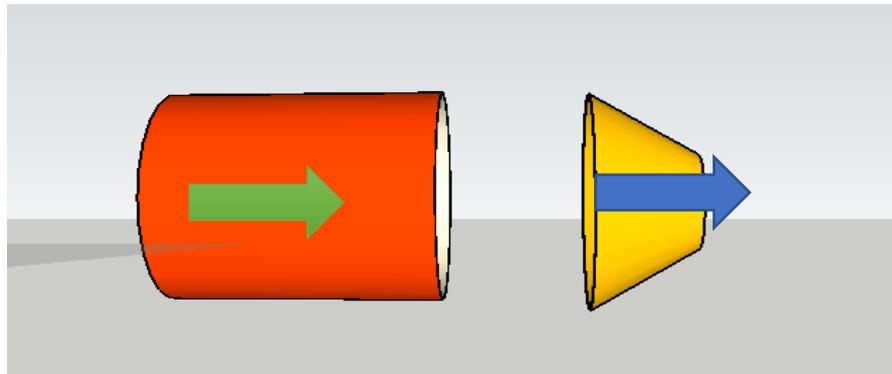


Figura N°37. Montaje del ducto del intercambiador de calor; aplicación de la ecuación de continuidad  
Fuente: Elaboración Propia

Para poder programar la velocidad del ventilador se hizo uso del software Labview, se calculó una correlación entre el voltaje brindado por el sistema y la velocidad equivalente programada, esto es, en Labview se programó mediante algoritmos un factor de escala que representa la velocidad del flujo de aire, pero, ésta esta correlacionada con el flujo de la corriente generada por el ventilador en sí, los valores correlacionados se muestran a continuación:

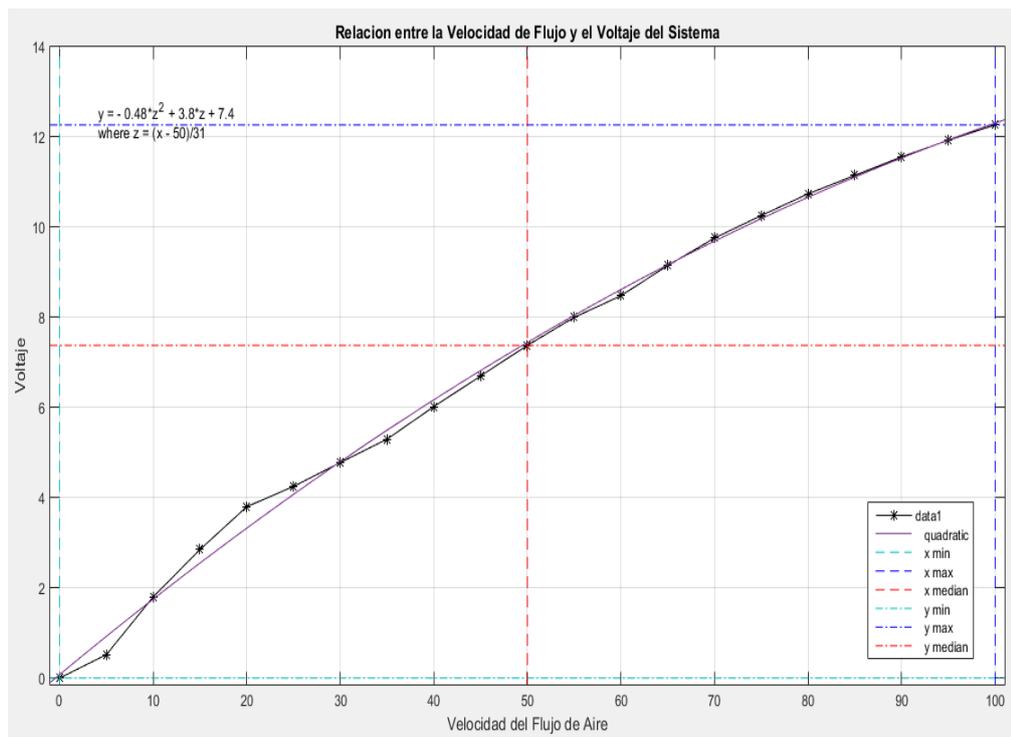


Figura N° 38. Relación entre el voltaje entregado al sistema y la velocidad del flujo de aire caliente necesario para el proceso de secado.  
Fuente: Elaboración Propia

El voltaje máximo de trabajo en DC equivalente a 12V. Para esta tesis se midió en el ventilador con un anemómetro una velocidad de 7.8 m/s a la entrada de la cámara de secado, esta velocidad se mantendrá constante en todo el entorno de la zona de secado, para ello se consideran mínimas las pérdidas en el trayecto.

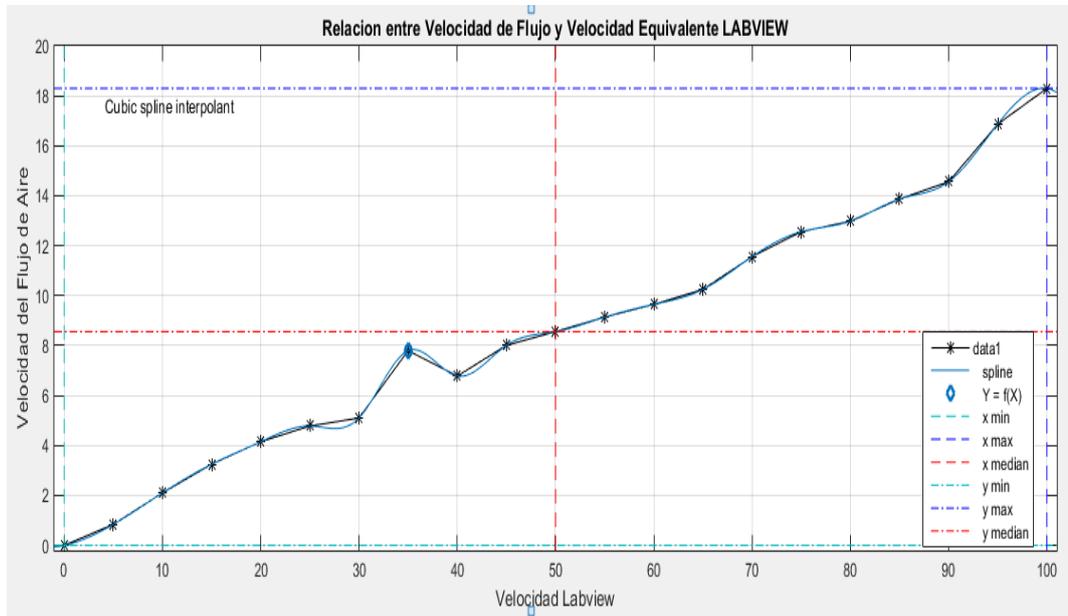


Figura N° 39. Relación entre el la Velocidad Labview y la Velocidad del Flujo de Aire.  
Fuente: Elaboración Propia

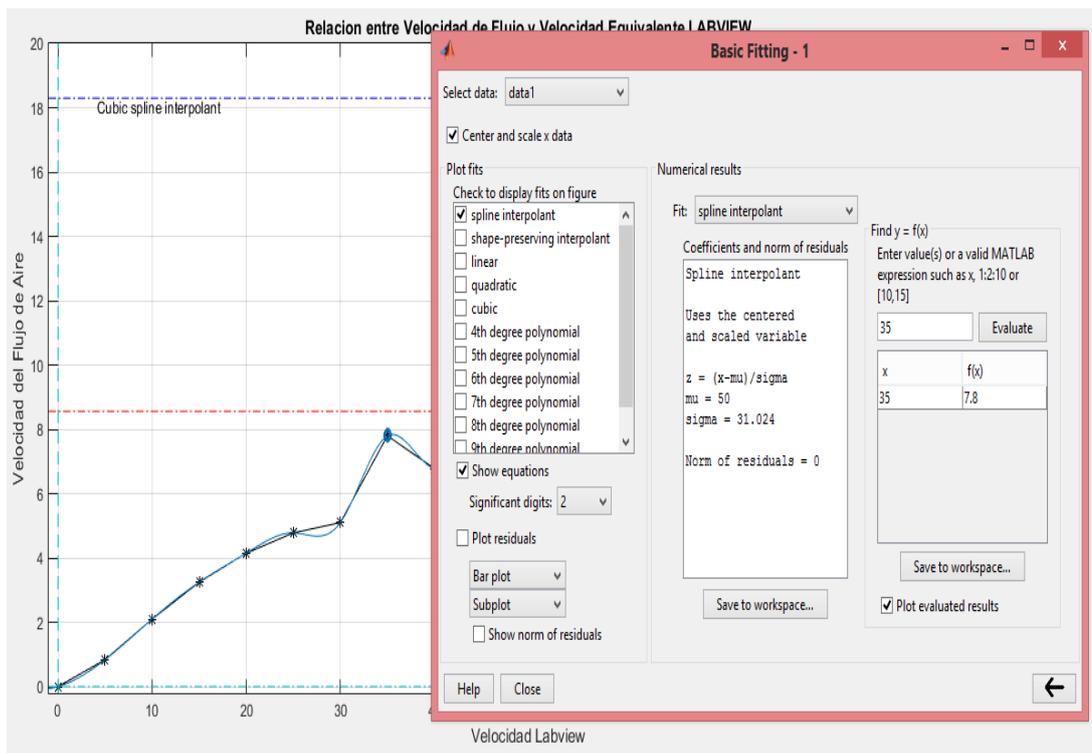


Figura N° 40. Cálculo de la Velocidad del Flujo de Aire para la temperatura de trabajo de 50°C.  
Fuente: Elaboración Propia

### 3.2.6. Diseño de la Trampa de vapor

Se tiene una apertura hacia la cámara de 4" equivalentes a 0.1016 m, lo cual sugiere una trampa de diámetro proporcional al ducto de entrada del flujo de aire. Esta trampa tiene perforaciones diametrales proporcionales a 0.005m en toda su región, esto permite homogenizar el flujo y hacerlo laminar el mismo.

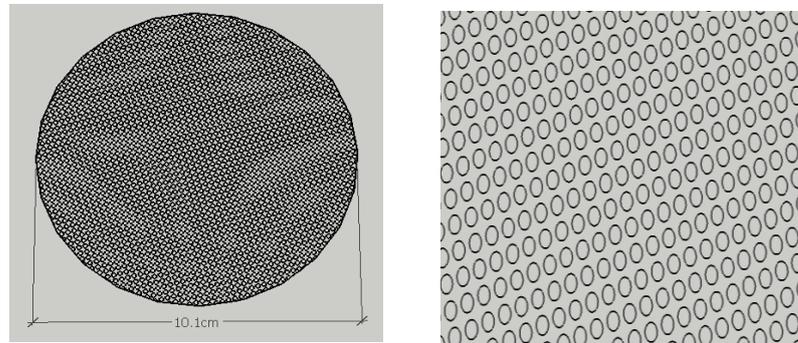


Figura N° 41. Sistema de mallado o trampa de vapor. Su función es homogenizar el flujo de aire emitido por el ventilador.  
Fuente: Elaboración Propia

### 3.2.7. Cálculo del espesor de las paredes de la cámara de secado

Con el valor del lado de las paredes laterales de la cámara cuyo valor es de 0.35m, se calcula el área de influencia cuyo valor es de 0.1225m<sup>2</sup>. Usamos la expresión termodinámica que relaciona el calor transferido al medio (cámara de secado) por medios de conducción:

$$Q_{aire} = H = \frac{kA\Delta T}{x}$$

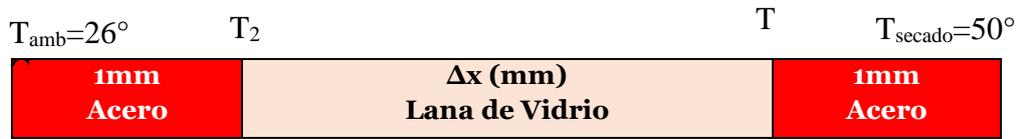
Además se sabe del cálculo del calor necesario para el secado se transmite por convección (a través de un fluido que en este caso es el aire caliente):

$$Q = 48193.7 J$$

Este calor influye en las paredes internas del secador, por lo que se transmite por efecto de conducción hacia el exterior por efecto del gradiente térmico a favor.

Se asume del valor de la medida de la placa 0.15 m de alto y 0.35 m de ancho con un espesor 1 mm. Nuestro objetivo en primera instancia es encontrar el valor de la temperatura de transferencia entre la primera placa y la fibra de vidrio, de tal modo que se calcule la temperatura al final de la primera placa, cae resaltar que se dispone a diseñar un sistema mixto de acero-fibra de vidrio-acero.

Su distribución a calcular se muestra a continuación:



Realizaremos el primer cálculo que va desde la cara interna a la cámara de secado hacia la cara interna entre la primera disposición entre acero y fibra de vidrio:

Se tiene lo siguiente:

$$Q_{aire} = H = \frac{kA\Delta T}{\Delta x}$$

$$\Delta T = T_{interna} - T_{externa}$$

$$Q_{aire} = H = \frac{kA(T_{interna} - T_{externa})}{\Delta x}$$

$$H = \frac{kA(T_{interna} - T_{externa})}{\Delta x}$$

La conductividad térmica del material que se dispone en stock es de acero galvanizado  $k = 47.58 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ . Recordemos que la temperatura interna en la cámara de secado es de  $50^{\circ}\text{C}$ :

$$48193.7 * \frac{1}{4 * 3600} = 3.3467 \text{ W} = \frac{47.58 * 0.1225 * (50 - T_1)}{0.001}$$

$$T_1 = 49.99^{\circ}\text{C}$$

Calculamos nuevamente la temperatura de la segunda placa de acero que se encuentra después de la fibra de vidrio (Placa externa), teniendo en cuenta que la temperatura externa o final será igual a la ambiental, es decir  $26^{\circ}\text{C}$ .

$$3.3467 = \frac{47.58 * 0.1225 * (-T_2 + 26)}{0.001}$$

$$T_2 = 25.99^{\circ}\text{C}$$

Con este último dato calculamos el espesor de la lana de vidrio, teniendo en cuenta que para ésta, se tiene una temperatura interna de  $49.99^{\circ}\text{C}$  y una externa de  $25.99^{\circ}\text{C}$  con un coeficiente de conductividad térmica según tabla de  $k = 0.011 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$  (Valor según fabricante).

$$3.3467 = \frac{0.045 * 0.011 * (49.99 - 25.99)}{\Delta x}$$

$$\Delta x = 9.63 * 10^{-3} m = 10mm = 1cm$$

Según el cálculo anterior se dispondría de menos de 1 cm de lana de vidrio para atenuar un equivalente de 24°C. El perfil de la disposición final será:

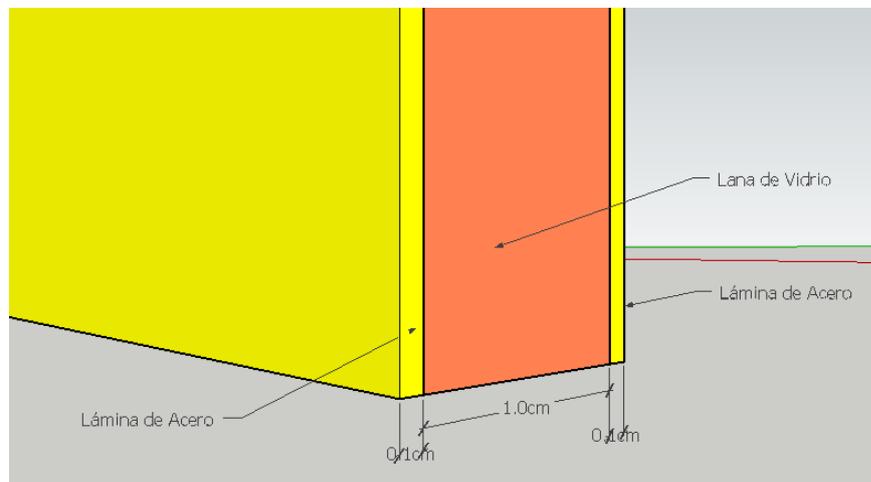


Figura N° 42. Distribución de las capas de las paredes de la cámara de secado.  
Fuente: Elaboración Propia

Teniendo la disposición del perfil del arreglo entre el acero y la fibra de vidrio, se puede usar el software Matlab Simulink para realizar un análisis mediante elementos finitos de la transferencia de calor en las placas de acero y la fibra de vidrio.

### 3.2.8. Análisis térmico de la placa de acero galvanizado

Usando el software Matlab, damos condiciones de frontera, teniendo en cuenta que nuestro sistema está constituido por tres placas: Placa 1, es la conformada por la lámina de acero, cuya temperatura de trabajo es de 50°C, posteriormente sigue la Placa 2, placa formada por un compactado de lana de vidrio de 0.01m de espesor, y finalmente, una Placa 3, formada por otra lámina de acero de 0.001m de espesor. Se resalta que la conductividad térmica de las Placas 1 y 2 es de 47.58 w/m°C, y la conductividad de la lana de vidrio es de 0.011 w/m°C.

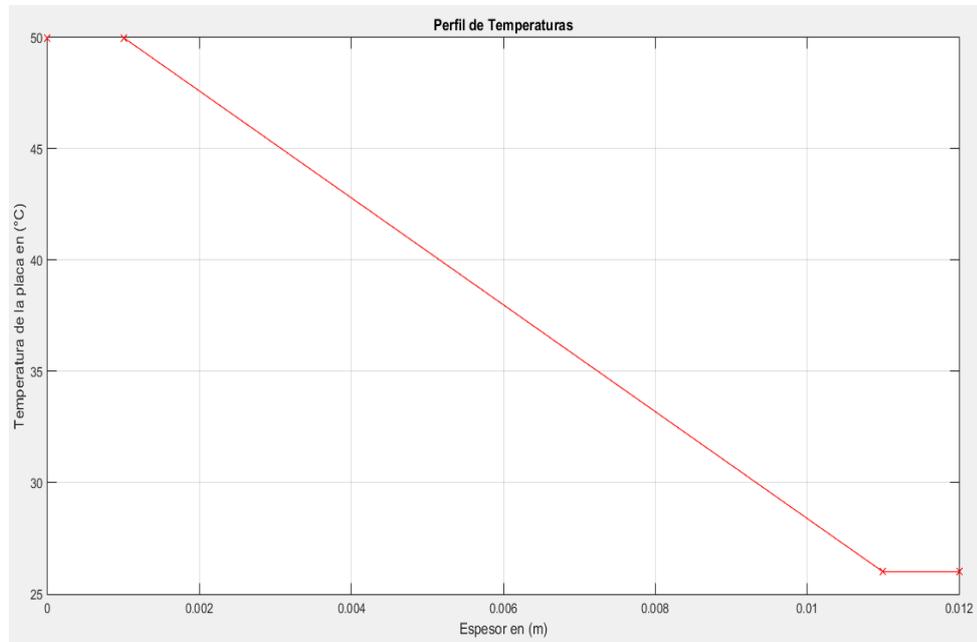


Figura N° 43. Variación del gradiente térmico a través del arreglo de placas de acero galvanizado tipo S y la lana de vidrio.  
Fuente: Elaboración Propia

### Cálculo de la geometría de la cámara de secado

Al inicio del análisis de los parámetros físicos como es la temperatura de secado, calor necesario y tiempo de secado, se había manifestado que la geometría de la cámara era de 0.35m x 0.35m x 0.15m de dimensiones internas. La elección de estas medidas se detalla a continuación:

Se dispone de muestras circulares de manzana con un diámetro promedio de 0.07m, lo que dispuestas sobre una superficie plana hacen en bloque hace un área equivalente cuadrada, de aproximadamente 0.35m x 0.35m; esto permite estimar las dimensiones necesarias de la fuente en la cual estarán las muestras expuestas al flujo de aire controlado. A esta placa se le denomina bandeja o porta muestra, la cual deberá ser agujerada con diámetros de 0.009m, los cuales permitirán que el aire caliente que fluye horizontalmente pueda ascender por diferencia de densidad y secar las muestras de manzanas.

$$l = 0.35 \text{ m}$$

$$A = 0.35^2 \text{ m}^2 = 0.1225 \text{ m}^2$$

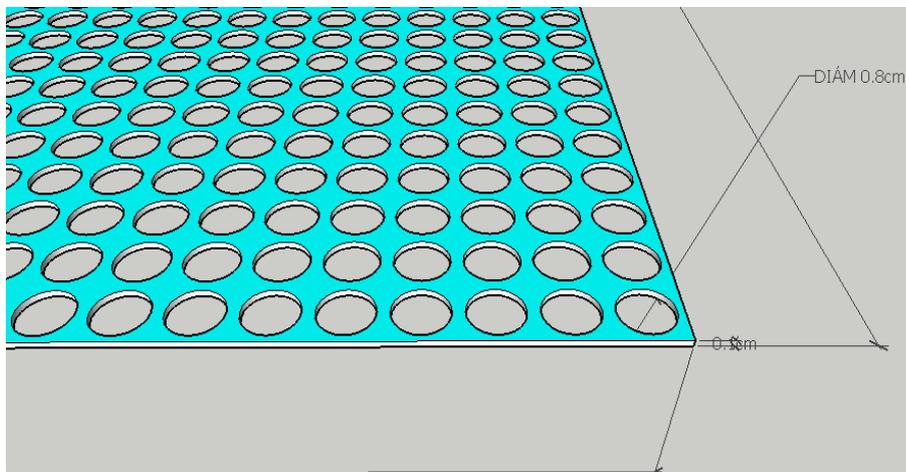
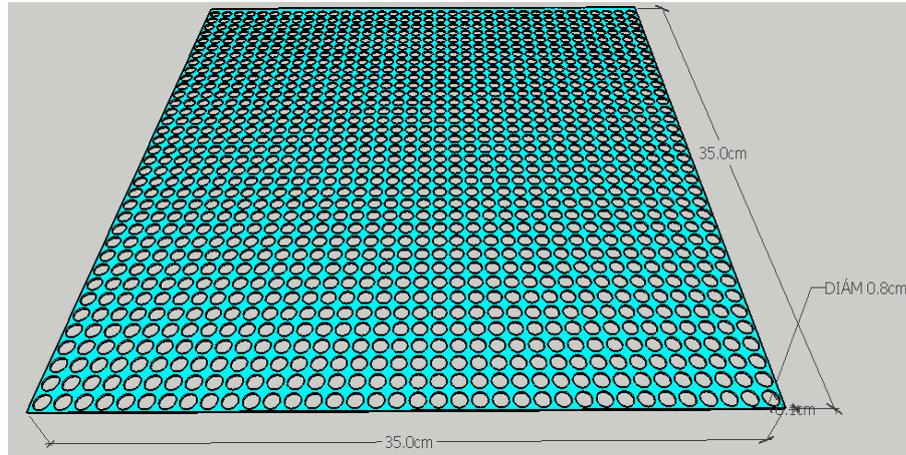


Figura N° 44. Bandeja horizontal o porta muestra. Medida de los lados y diámetro de los forados de la bandeja

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo como base las dimensiones internas de la porta muestras, se puede estimar una proyección de planta de la cámara de secado, la cual se muestra a continuación:

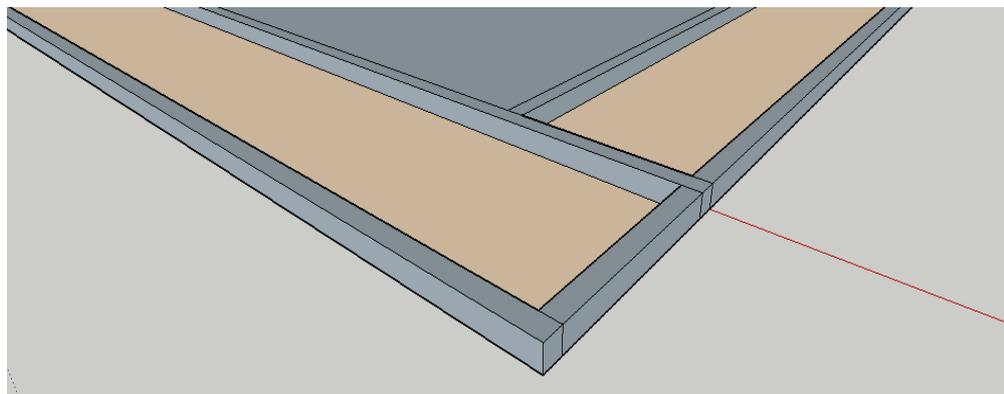


Figura N° 45. En la figura se muestra de color gris las placas de acero a usar, de color naranja se muestra el relleno de fibra de vidrio que servirá como atenuante de la onda de calor proveniente del interior de la cámara.

Fuente: Elaboración propia.

Definiendo la configuración prevista en la figura anterior de la estructura de las paredes y aislante térmico de la cámara de secado, se procede a estimar el alto de la cámara teniendo en cuenta los siguientes factores:

Para la emisión del aire caliente se precisará de dos ventiladores de 0.08m de diámetro ( $\phi$ ), los cuales vienen con su anillo de polipropileno protector que en bloque hacen un diámetro de 0.10m. Considerando un margen de distribución para ambos extremos (Superior e Inferior) de  $\frac{1}{4}$  del diámetro como factor limitante, se tendrá lo siguiente:

$$\xi = \phi + 2 * 0.25\phi = 1.5\phi = 1.5 * 0.10 = 0.15m$$

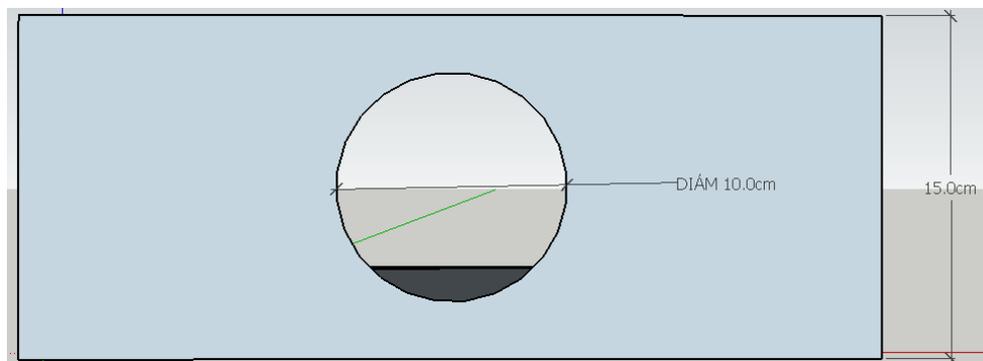


Figura N° 46. Distribución de la altura en función del diámetro.

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, la distribución de la cámara de secado fina es la siguiente:

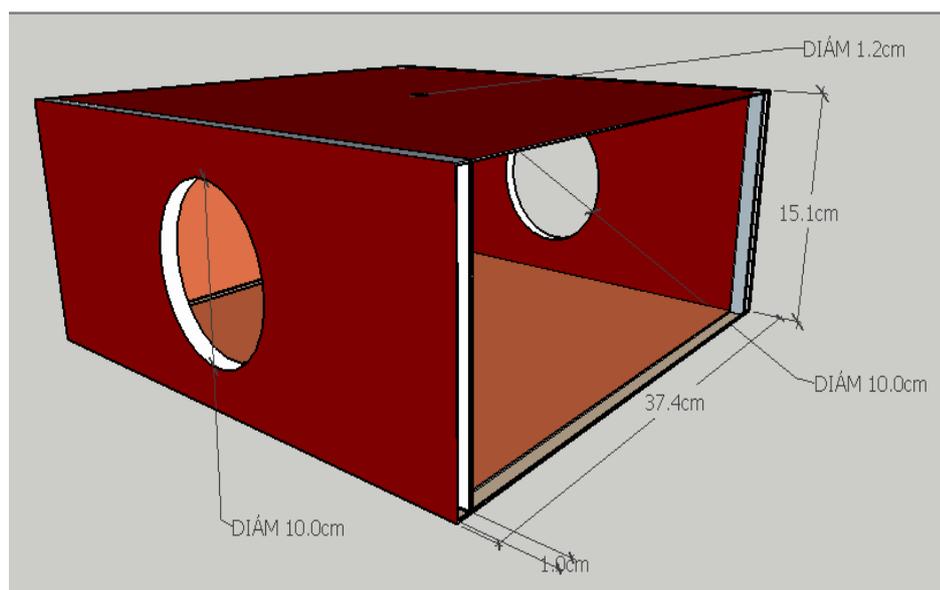


Figura N° 47. Vista de perfil de la cámara de secado. Se muestra dos placas transversales separadas 0.35m las cuales sirven de entrada del aire caliente controlado.

3 Fuente: Elaboración propia.

### cámara de secado

Para realizar un análisis del comportamiento efectivo de la humedad dentro de la cámara de secado se colocaron sensores de humedad, los cuales tenían la función de registrar valores de humedad instantánea, estos se simularon en CDF y se interfazaron con Matlab obteniendo la siguiente curva de humedad:

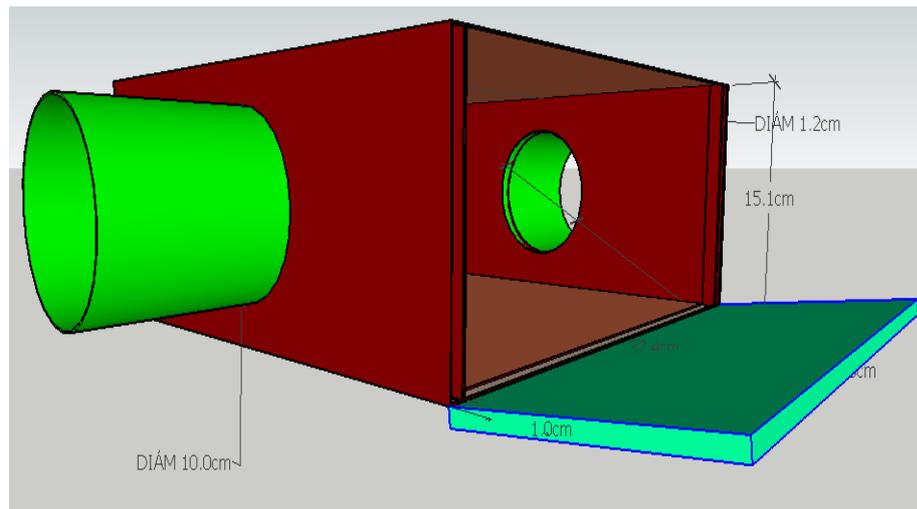


Figura N° 48. Vista de perfil de la cámara de secado y los ductos de intercambiadores de calor.

Fuente: Elaboración propia.

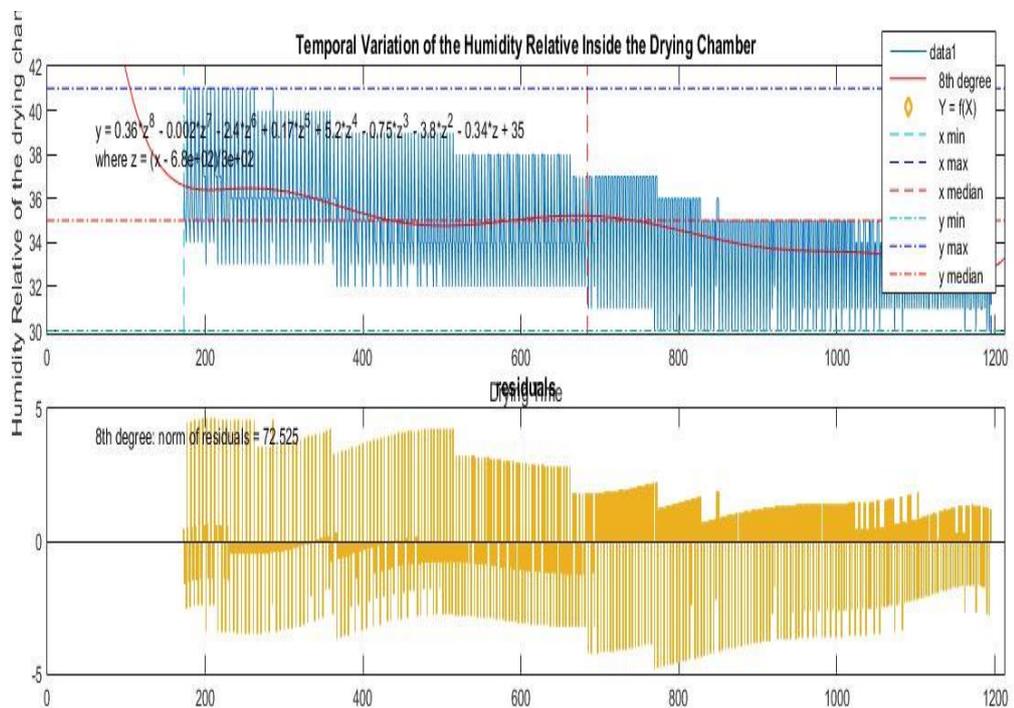


Figura N° 49. Registro de la humedad en el interior de la cámara de secado usando CFD y Matlab.

Fuente: Elaboración propia.

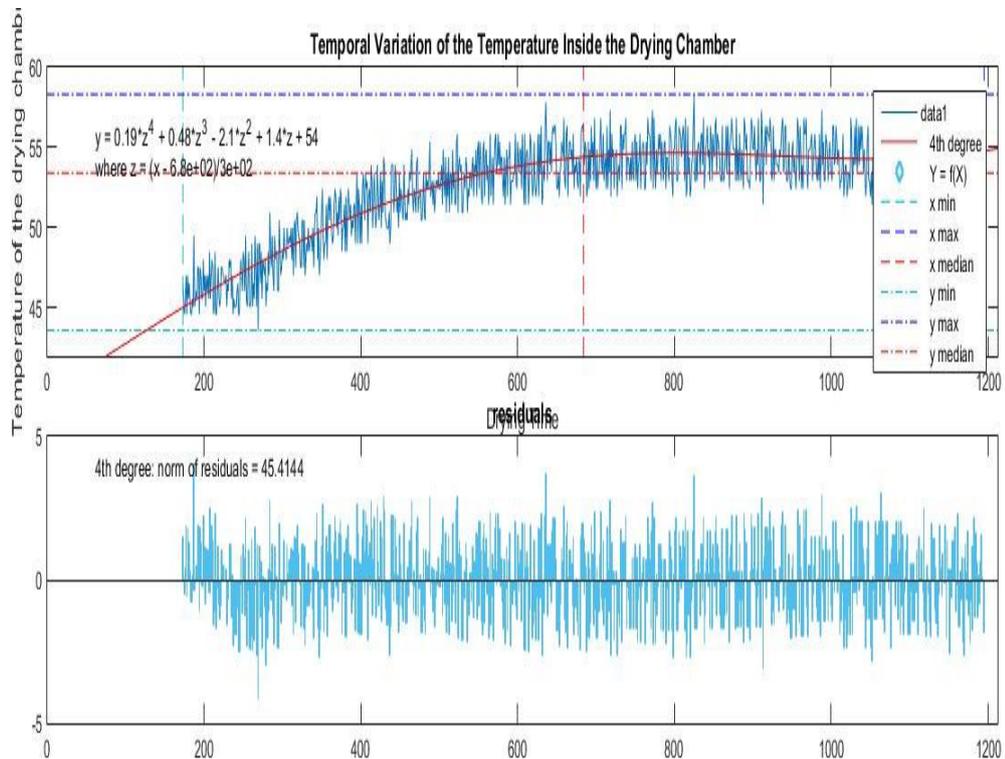


Figura N° 50. Registro de la temperatura en el interior de la cámara de secado usando CFD y Matlab.

Fuente: Elaboración propia.

## Sistema de eliminación de la humedad

Para el sistema de eliminación del vapor de agua o humedad, se considerará un orificio situado en el centro de la placa superior de la cámara de secado, la cual actúa como techo de la misma, esto se debe a que existen dos intercambiadores de calor dispuestos horizontalmente y opuestos, éstos a su vez generar pequeñas corrientes de aire verticalmente ascendente que posee vapor de agua debido a la eliminación de la humedad presente en las muestras de manzana.

Éstas corrientes tienden almacenarse en la parte superior de la cámara de secado debido a que la densidad del aire caliente es menor a la densidad del aire frío, por lo que es necesario eliminarlas mediante un sistema de drenaje, este drenaje es denominado dámper, el cual posee un diámetro de 0.6 cm.

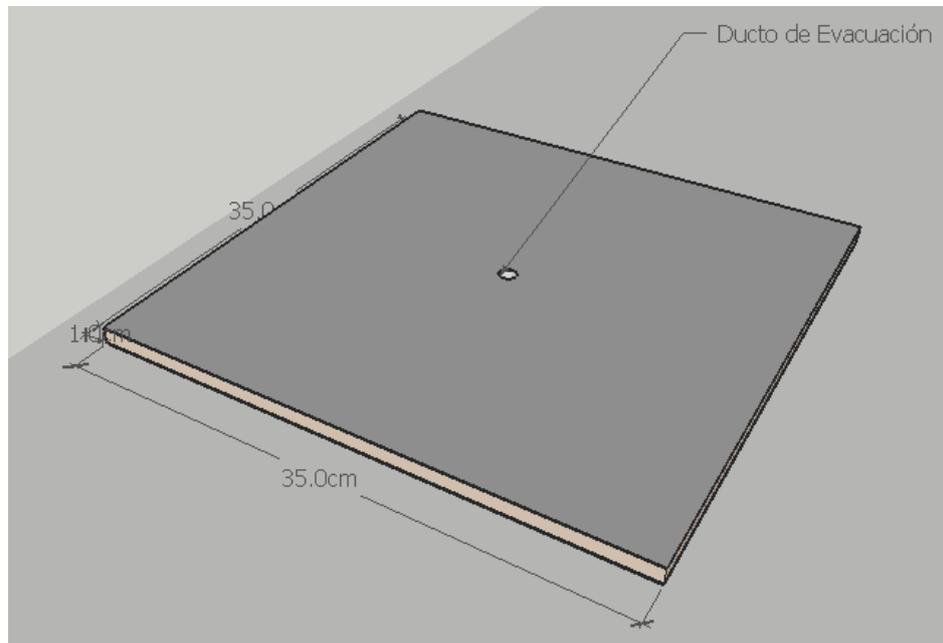


Figura N° 51. Ducto de eliminación del vapor de agua de la cámara de secado. Vista isométrica.  
Fuente: Elaboración Propia

### Sistema de soporte

El soporte se diseñó usando tubos metálicos cuadrangulares de 2cm de lado por 1mm de espesor. Los cortes se realizaron cada 10cm de longitud, los cuales irán soldadas a 4cm de las esquinas de la contracara de base de la cámara de secado.

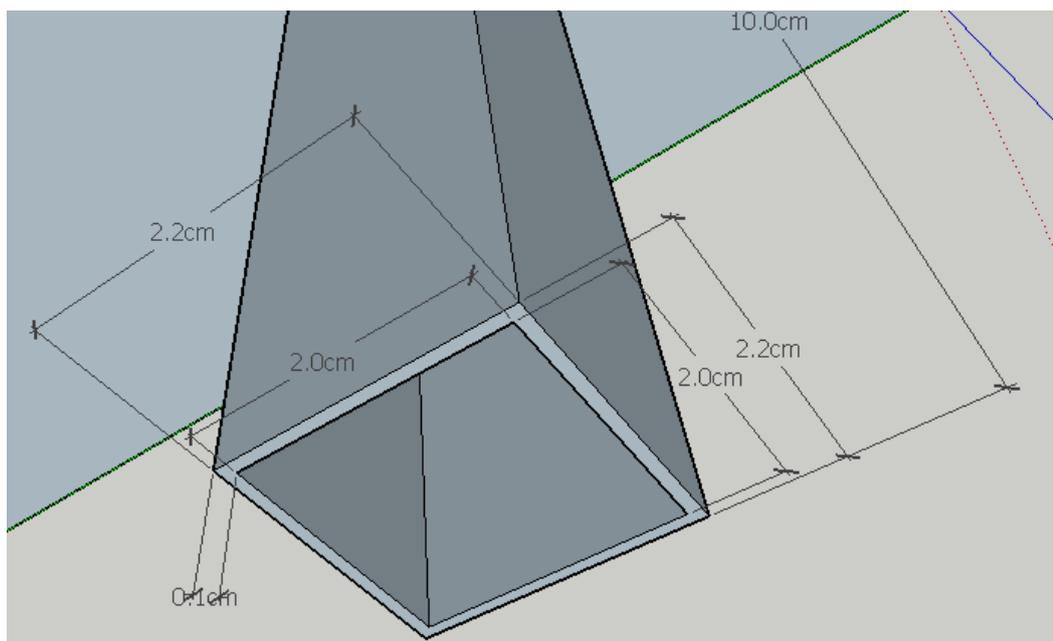


Figura N° 52. Dimensiones de la base o soporte. Vista isométrica.  
Fuente: Elaboración Propia

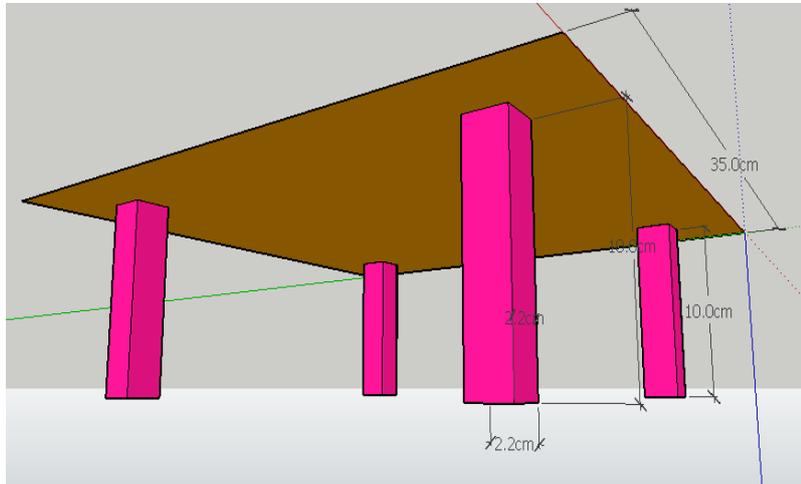


Figura N° 53. Detalle de las medidas de las patas que servirán como soporte a la cámara de secado.  
Fuente: Elaboración Propia

### **3.2.10. Descripción del Proceso de Construcción del Prototipo**

A continuación se detalla la forma en la que se construyen los equipos de los intercambiadores de calor y todas las actividades que se realizó durante este proceso.

### **3.2.11. Dibujo de planos**

Una vez realizado el diseño, seleccionado los materiales accesorios e instrumentos, se realizan los planos de cada uno de los elementos que ayudarán a la elaboración de la construcción de los mismos, para de esta manera inspeccionar y verificar sus dimensiones, al desarrollar este proceso nos valemos de los planos que se anexan al final de esta tesis.

### **3.2.12. Requerimiento de materiales y equipos**

Con la ayuda de los planos es posible estimar la cantidad de material a utilizar en la construcción de los intercambiadores de calor, de los ductos y la cámara de secado.

### **Selección del ventilador**

El ventilador a usar es de tipo polipropileno sólido, sus datos técnicos se adjuntan en la tabla a continuación:

**Tabla N°10. Datos técnicos del ventilador a usar.**

Datos técnicos					
Voltaje (V):	220V/12v	Velocidad (RPM):	2270	Construcción:	Imán permanente
Potencia:	0.2w-2.5w(aprox.)	Corriente Continua (A):	1.1	Tipo:	Motor micro
Torsión:	101	Conmutación:	Cepillo	Proteja la característica:	A prueba de explosiones

Fuente: <http://www.directindustry.es/fabricante-industrial/motor-secadores-pelo-134370.html>

Figura N°41. Vistas del motor del ventilador a usar.

Fuente: <http://www.directindustry.es/fabricante-industrial/motor-secadores-pelo-134370.html>



Figura N°54. Vista frontal del ventilador a usar.

Fuente: <https://www.ikkaro.com/aprovechar-secador-pelo/Fuente conmutada>

### Resistencia eléctrica

Resistencia (Nicrom 20/80), Máxima temperature 800°C, Diámetro: 6mm.



Figura N°55. Vistas de la resistencia a usar.

Fuente: <https://www.ikkaro.com/aprovechar-secador-pelo/Fuente conmutada>

## Fuente de voltaje en DC



Figura N°56. Transformador de 220V-12V a usar.

Fuente: <http://www.cetronic.es/sqlcommerce/disenos/plantilla1/seccion/Catalogo.jsp?idIdioma=&idTienda=93&cPath=1002>

MODEL	NES-200-5	NES-200-12								
DC VOLTAGE	5V	12V								
RATED CURRENT	40A	17A								
CURRENT RANGE	0 - 40A	0 - 17A								
RATED POWER	200W	204W								
RIPPLE & NOISE (max.) Note.2	150mVp-p	150mVp-p								
VOLTAGE ADJ. RANGE	4.5 - 5.6V	10 - 13.5V								
VOLTAGE TOLERANCE Note.3	±2.0%	±1.0%								
LINE REGULATION	±0.5%	±0.5%								
LOAD REGULATION	±1.0%	±0.5%								
SETUP, RISE TIME	1000ms, 50ms/230VAC	1000ms, 50ms/115VAC at full load								
HOLD UP TIME	20ms/230VAC	16ms/115VAC at full load								
VOLTAGE RANGE	90 - 132VAC / 180 - 264VAC by switch	254 - 370VDC								
FREQUENCY RANGE	47 - 63Hz									
EFFICIENCY (Typ.)	75%	79%	82%	85%	85%	87%	88%	89%	89%	
AC CURRENT	4.5A/115VAC	2.5A/230VAC								
INRUSH CURRENT (max.)	40A/115VAC	55A/230VAC								
LEAKAGE CURRENT	<3.5mA/240VAC									
OVER LOAD	105 - 150% rated output power Protection type : Constant current limiting, recovers automatically after fault condition is removed									
OVER VOLTAGE	3.8 - 4.9V	5.75 - 6.75V	9.4 - 10.9V	13.8 - 16.2V	18 - 21V	27.6 - 32.4V	33.7 - 39.2V	41.4 - 46.8V	57.6 - 67.2V	
OVER TEMPERATURE	95 °C ±5 °C (3.3V); 100 °C ±5 °C (5V); 90 °C ±5 °C (7.5V); 85 °C ±5 °C (12-24V); 80 °C ±5 °C (27-36V); 75 °C ±5 °C (48V) (TSW1) Detect on case Protection type : Shut down O/P voltage, recovers automatically after temperature goes down									

Figura N°57. Características técnicas del transformador.

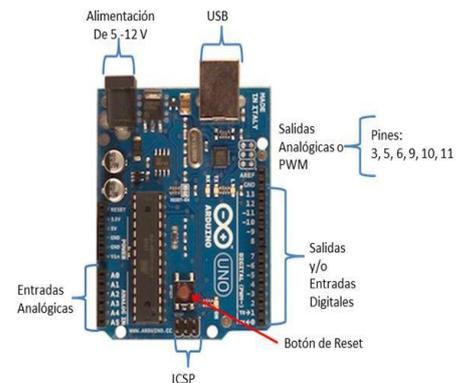
Fuente: <http://www.cetronic.es/sqlcommerce/disenos/plantilla1/seccion/Catalogo.jsp?idIdioma=&idTienda=93&cPath=1002>

Fuente: <http://www.cetronic.es/sqlcommerce/disenos/plantilla1/seccion/Catalogo.jsp?idIdioma=&idTienda=93&cPath=1002>

## Placa Arduino doble

Características:

- Soporta 12V de entrada.
- Trabaja continuo 18h
- Controlador de máximo 4 entradas
- Puerto USB
- Memoria de 1GB
- Salidas analógicas PWN



## Sensor De Temperatura LM35



### 3.2.13. Programación Labview®

#### *Funciones de Programación*

A continuación se detallan las funciones del sistema de control central para el secado homogéneo de manzana. En la Figura adjunta se muestra un diagrama de bloques de un sistema de control general, el cual está constituido por un controlador, un actuador, una planta y un sensor

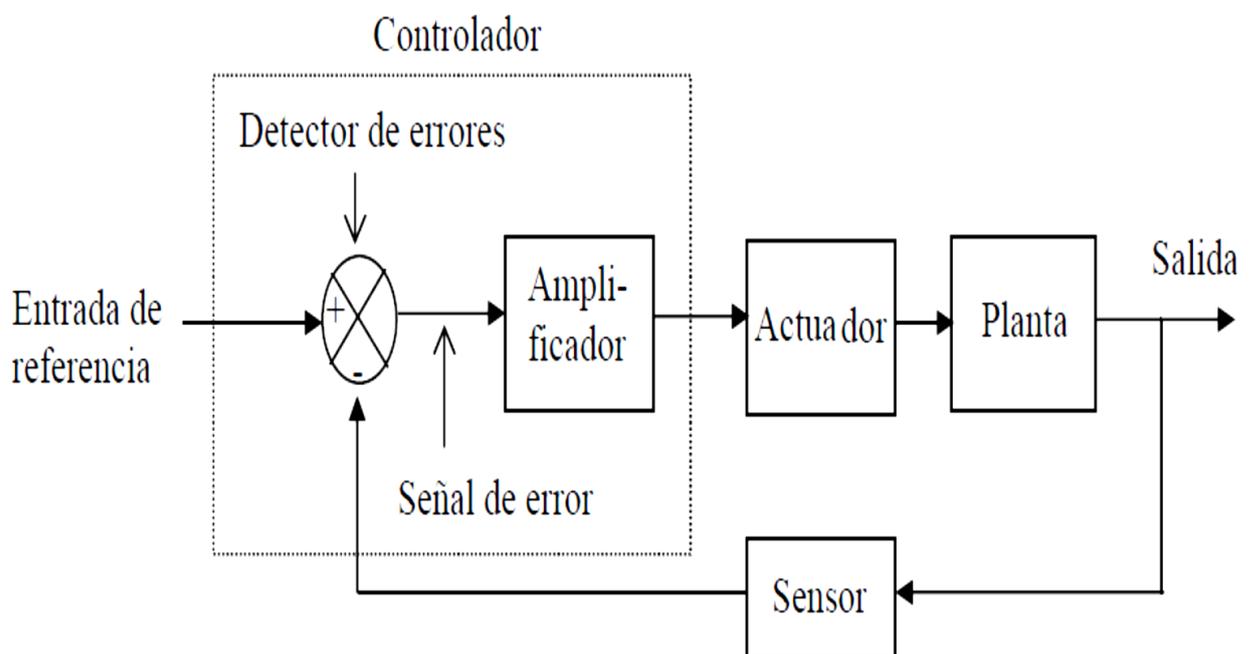


Figura N°59: Diagrama de bloques de un sistema de control  
Fuente: Elaboración Propia





### 3.2.14. Diseño del prototipo de secador homogéneo

### 3.2.15. Selección de la escala de diseño

Culminado el cálculo de los parámetros de diseño del secador de frutas y con ayuda del SketchUpPro 2018 y AutoCAD, se procedió a construir el prototipo teniendo en cuenta la escala de fabricación. La proyección realizada a escala comercial de la bandeja porta muestra es de 1m de lado, con lo que podemos hacer un factor de escala:

$$e = \frac{\text{medida real}}{\text{medida prototipo}} = \frac{1}{0.35} = 2.86$$

**$e = 2.86$**

Por lo tanto, la escala es 2.86, en la cual se hace referencia que cada 0.35m de longitud equivaldrá a 1m en el prototipo.

### 3.2.16 Construcción de los intercambiadores de calor

Para construir los ductos se dispone de tubería de 4" de diámetro, lo cuales se cortarán longitudinalmente unos 17cm, así mismo se dejarán unas mechas para que pueda ser soldado a la pared lateral de la cámara de secado.



(a)



(b)

Figura N°61. (a) Corte de la Tubería. (b) Puesta de Bisagras para la puerta de ventilación y mantenimiento del intercambiador

Fuente: Elaboración Propia

## **Puesta de rejillas de mantenimiento en la entrada de los ductos de los intercambiadores**

Posteriormente, se procede a soldar las bisagras y el seguro de la puerta de ventilación del intercambiador.



Figura N°62. Soldado del seguro y las bisagras de la puerta de mantenimiento del intercambiador  
Fuente: Elaboración Propia

## **Metrado de las placas de acero galvanizado**

Se procede a seleccionar las placas de acero de 1mm de espesor a usar en las paredes de la cámara de secado, estas serán de 0.35 x .35 x 0.15 respectivamente, tal como se detalló en el diseño del prototipo.



Figura N°63. Dibujo y cuadrulado listo para el corte de las placas de acero que servirán de paredes de la cámara de secado  
Fuente: Elaboración Propia

## Construcción y montaje de la cámara de secado del intercambiador

Una vez cuadriculada la placa se procede a cortar con una moladora, a soldar y a colocar el relleno de lana de vidrio que servirá como material termoaislante.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura N°64. (a) Corte de las placas de acero. (b) Perforado de las placas usando un taladro. (c) Llenado con lana de vidrio. (d) Montaje final y soldado de la cámara de secado.  
Fuente: Elaboración Propia

### **Construcción del soporte de la cámara**

Para el soporte de la cámara se usarán tubos de 1mm de espesor cuadrangulares de lado 2cm. Los cuales estarán cortados 10cm de longitud en número de 4.



Figura N°65. Cortado de tubos cuadrangulares para la base de la cámara de secado.

Fuente: Elaboración Propia

### **3.2.17. Montaje del porta sistemas integrados y circuitería eléctrica**

Se procede a cortar m placas de 35 cm de largo por 15cm de ancho, así como 2 placas de 15cm x 15cm, las cuales se soldarán dejando la tapa superior abierta dispuesta con dos bisagras que servirá como puerta de acceso a los controles digitales y circuitos integrados.



Figura N°66. Construcción y montaje del porta circuitos integrados.

### 3.2.18. Diseño electrónico para el secador homogéneo

Fuente: Elaboración Propia

#### Diseño de circuitos electrónicos.

#### Sistema de control electrónico Digital de la resistencia

Se procede a realizar la parte esquemática en programa Eagle CADsoft, teniendo en consideración de los componentes adecuados, para poder coincidir la posición de los integrados, en este caso el de los opto acopladores y el triac respectivamente para el siguiente circuito.

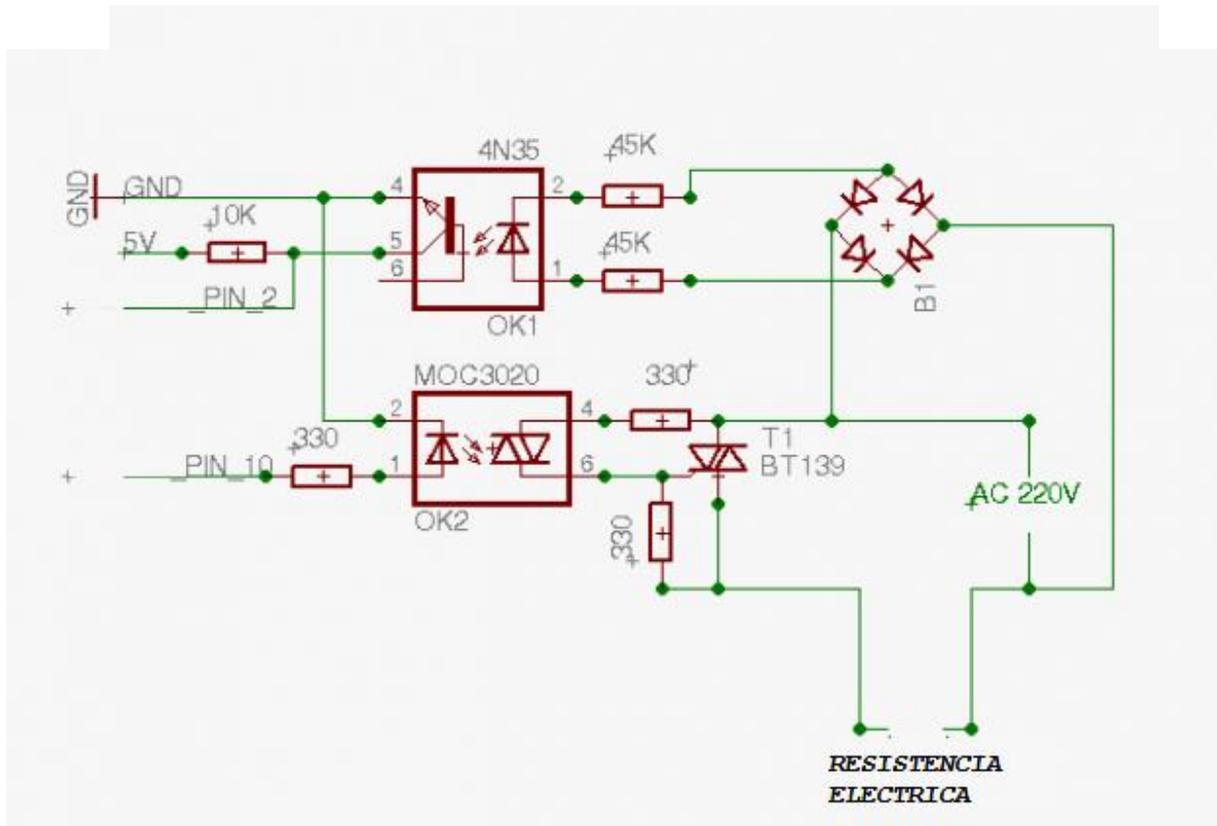
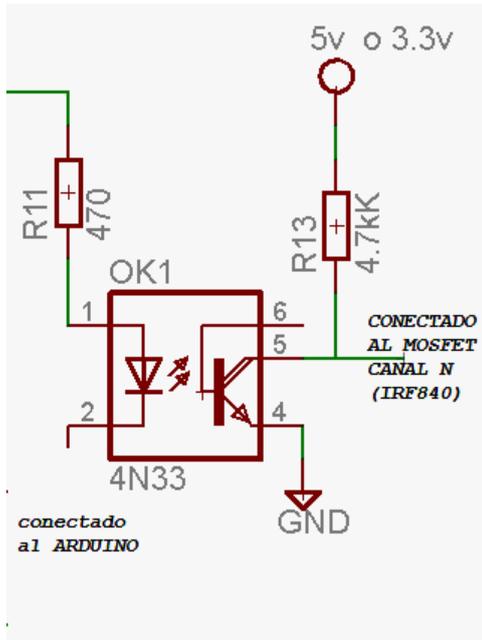


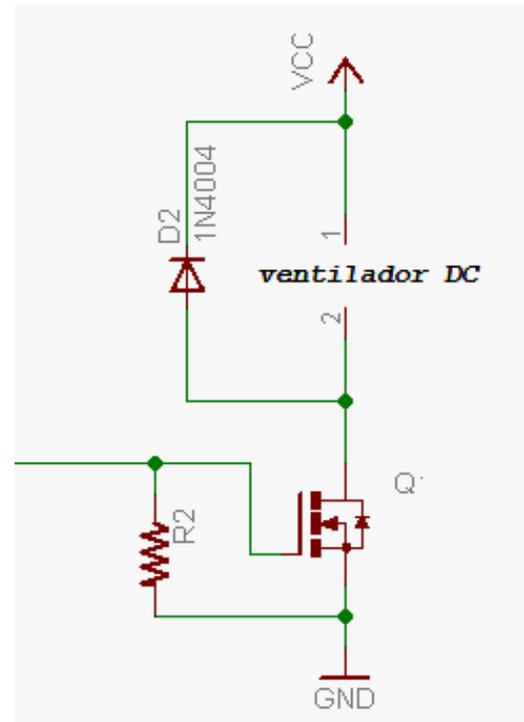
Figura N°67. Construcción y montaje del porta circuitos integrados.  
Fuente: Elaboración Propia

### Sistema de control electrónico de los ventiladores

En este aspecto se debe tener consideración del opto acoplador y el transistor tipo mosfet.



3.1



(b)

Figura N°68. (a) opto acoplador de ventiladores (b) Mosfet controlador de los ventiladores

Fuente: Elaboración Propia

### Diseño de la fuente de alimentación electrónica para la tarjeta

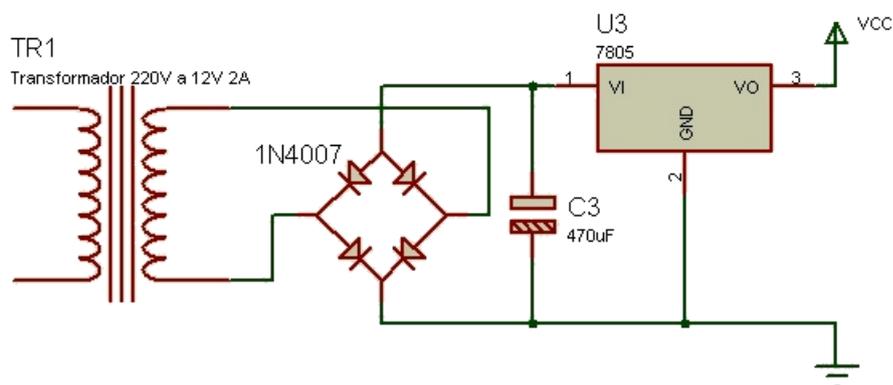


Figura N°69. Fuente de alimentación para la tarjeta electrónica  
Fuente: Elaboración Propia

## **Conexión y distribución de los dispositivos electrónicos**

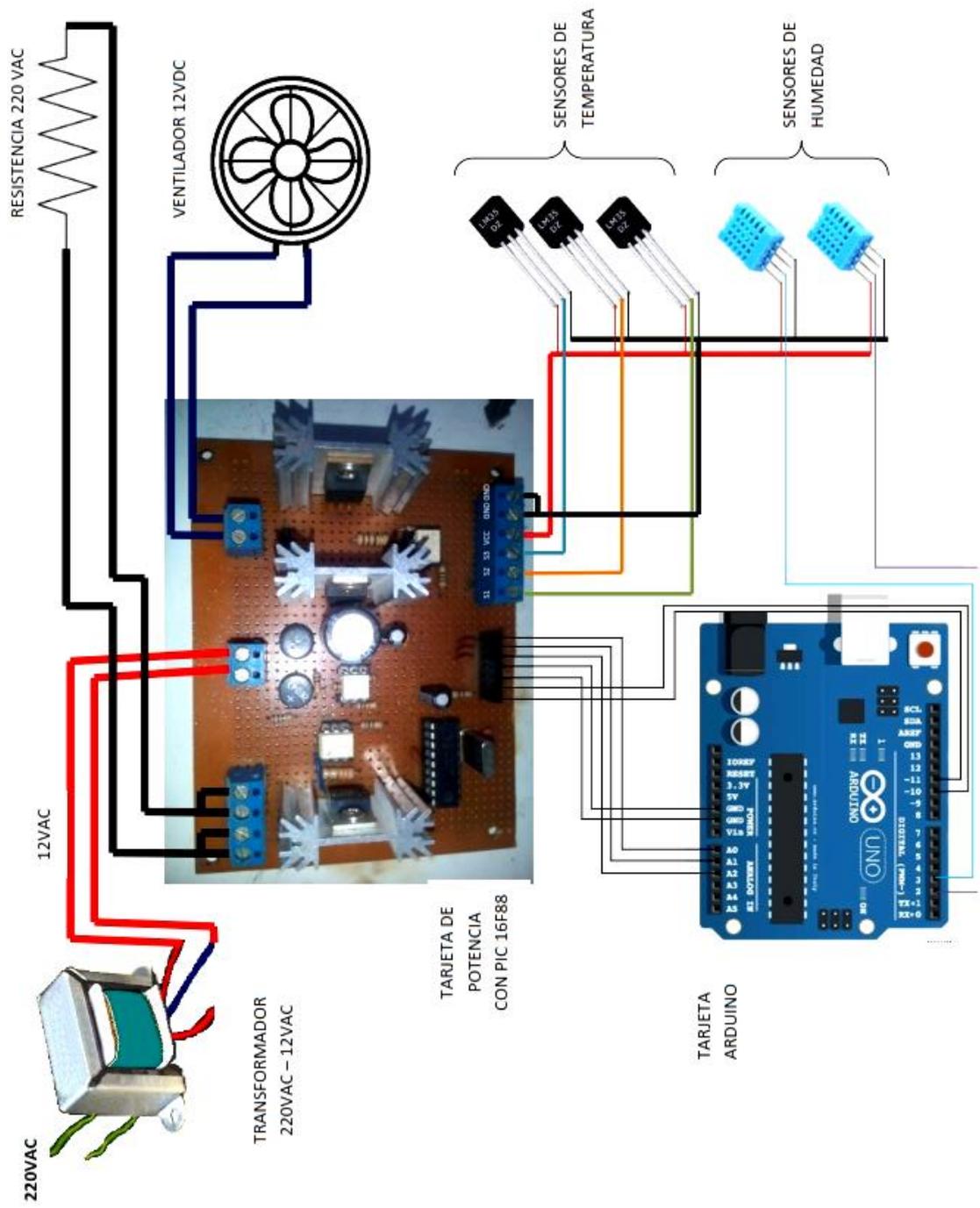
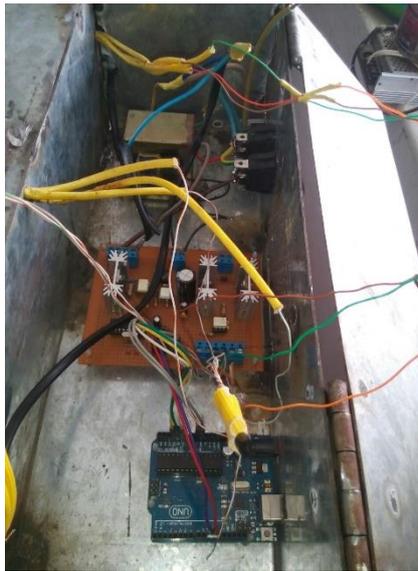


Figura 17. Configuración de los dispositivos electrónicos  
 Fuente: Elaboración Propia

### 3.2.19. Instalación de circuitería eléctrica

Una vez construido el porta circuitos, se procede a instalar toda la circuitería y cables que darán el funcionamiento del prototipo de secador. Así mismo al momento del diseño de este, se tuvo en cuenta que la placa superior (Puerta de acceso al porta circuitos) presenta un orificio circular agujerado con 10cm de diámetro, el cual servirá para disipar la corriente de calor generada por el funcionamiento de los dispositivos electrónicos.



(a)



(b)

Figura N°71. (a) Montaje de circuitos eléctricos. (b) Funcionamiento de los circuitos eléctricos.

Fuente: Elaboración Propia

### Acople de la resistencia eléctrica

S procede a acoplar la resistencia eléctrica a 5cm del inicio del ducto del intercambiador de calor, esto permitirá tener una longitud térmica de la resistencia de 12cm. La resistencia previamente debe de estar dispuesta en forma enrollada en un aspa de aluminio de 7 cm de longitud con un diámetro inicial de 8cm y un final de 5cm, lo cual permitirá calentar las corrientes de aire provenientes del ventilador.



Figura N°72. Acople la resistencia al intercambiador de calor  
Fuente: Elaboración Propia

### **Acople del ventilador**

Una vez montado la resistencia en el intercambiador de calor, y construida la cámara de secado, se procede acoplar el ventilador a la entrada de los ductos del intercambiador (2 ventiladores), éstos serán en número de dos, debido a la bidireccionalidad del diseño.



Figura N°73. Acople del ventilador al intercambiador de calor  
Fuente: Elaboración Propia

### **Compactación de la lana de vidrio a los intercambiadores**

Terminado de instalar los ventiladores y las 2 resistencias (En ambos ductos de los 2 intercambiadores) se procede a colocar lana de vidrio alrededor de los ductos (capa de 1cm), posteriormente se colocara una capa de yeso para mantener firme la distribución de la lana de vidrio.



(a)



(b)

Figura N°74. (a) Puesta de lana de vidrio a los ductos. (b) Puesta de capa de yeso para compactación de la lana sobre los ductos.  
Fuente: Elaboración Propia

## Pintado y acabado Final

Finalmente, una vez terminado el montaje del prototipo se procede a pintar usando una base de zincromato (1 mano) y luego dos manos de esmalte color gris.



(a)



(b)

Figura N°75. (a) Vista frontal del acabado final del prototipo. (b) Vista de planta del acabado final del prototipo.  
Fuente: Elaboración Propia

### **3.3 Determinar la funcionalidad y la evaluación técnica financiera del prototipo de secador homogéneo de frutas.**

#### **3.3.1 Ensayos de funcionalidad**

Para determinar parámetros de proyección de manzana seca, se desarrollaron 5 ensayos con muestras equivalentes de manzana. Los resultados de la medición de la humedad y el cálculo de la velocidad de secado de las muestras se hicieron teniendo en cuenta las relaciones matemáticas y termodinámicas de la manzana que se detallaron en los cálculos termodinámicos ya descritos.

Para dar inicio a nuestro análisis comparativo, disponemos de las muestras en la porta muestras de la siguiente forma:



Figura N°76. Disposición de las muestras sobre la porta muestras.  
Fuente: Elaboración Propia

Posteriormente lo sometemos a un secado en nuestro prototipo durante 4.1547 horas aproximadamente, a una temperatura interna de la cámara de secado de 50°C.

Al cabo de transcurrido el tiempo, se puede analizar el registro de los datos proporcionados por el Labview®, estos datos se procesaron en

Matlab a través de un filtro de datos (Algoritmo de filtro), con ello se obtienen curvas comparativas entre los 5 ensayos realizados. A continuación se muestran los resultados del análisis de registros:

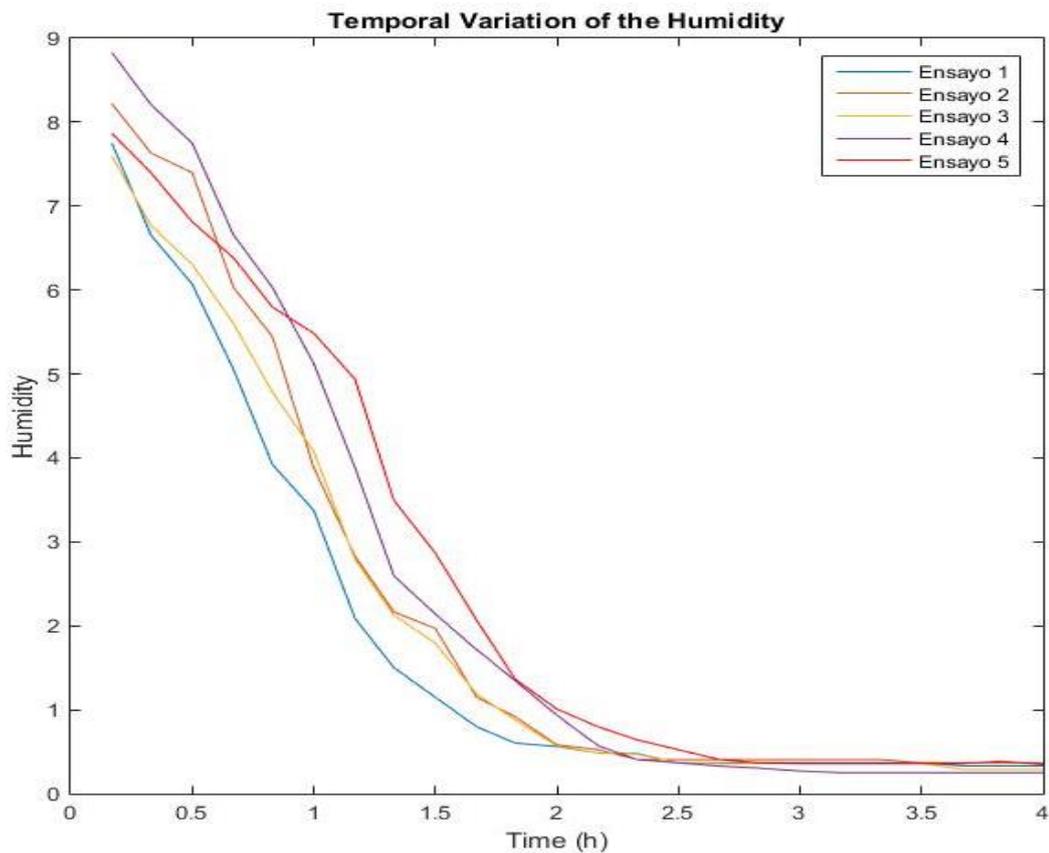


Figura N°77. La grafica muestra las curvas de comparación en los 5 ensayos de la variación temporal de la Humedad Relativa presente en las muestras.  
Fuente: Elaboración Propia

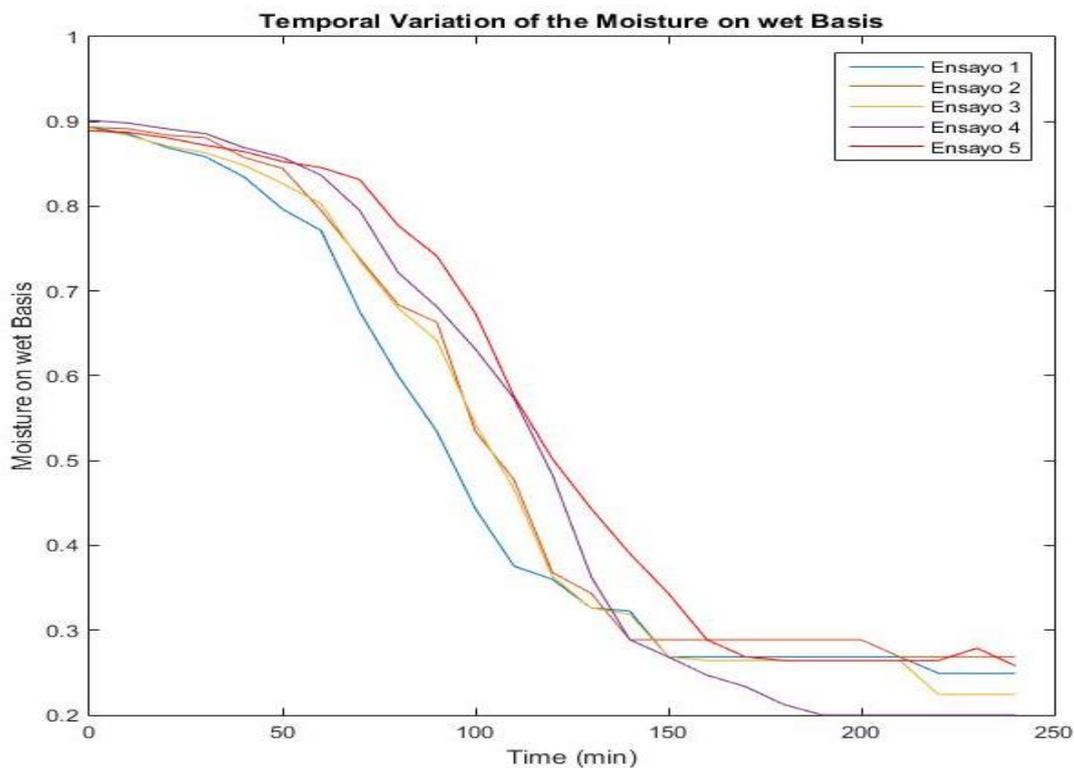


Figura N°78. La grafica muestra las curvas de comparación en los 5 ensayos de la variación temporal de la Humedad en Base Seca de las muestras.

Fuente: Elaboración Propia

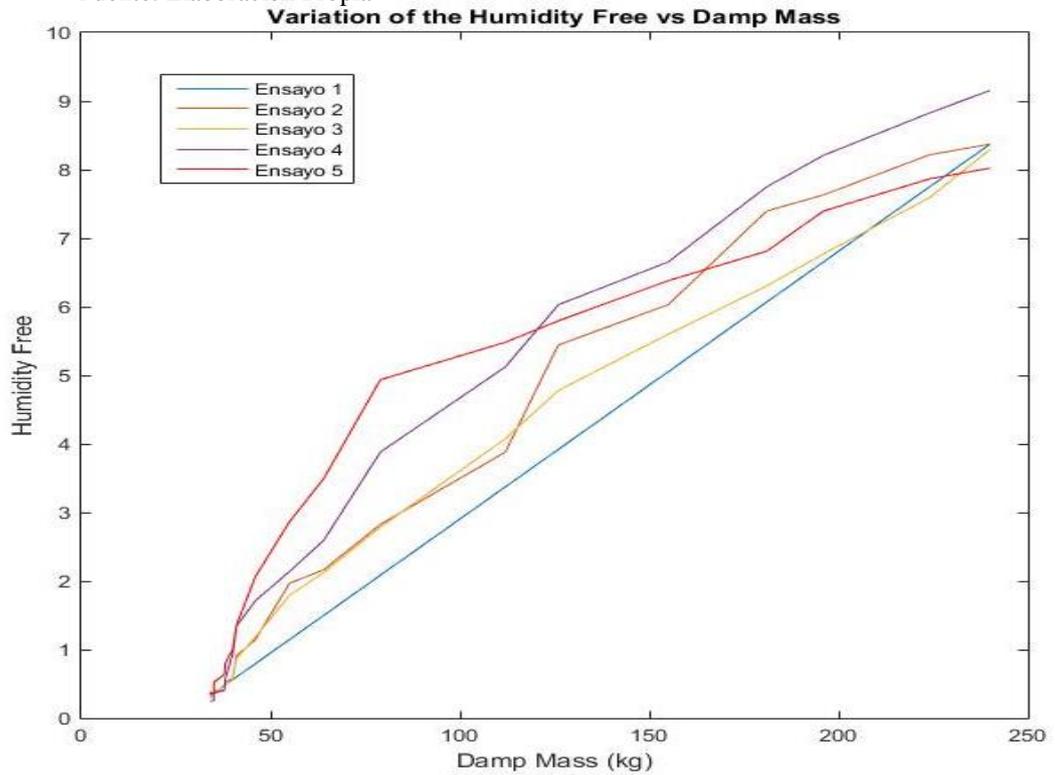


Figura N°79. La grafica muestra las curvas de comparación en los 5 ensayos de La Humedad Libre vs Masa Húmeda presente en las muestras.

Fuente: Elaboración Propia

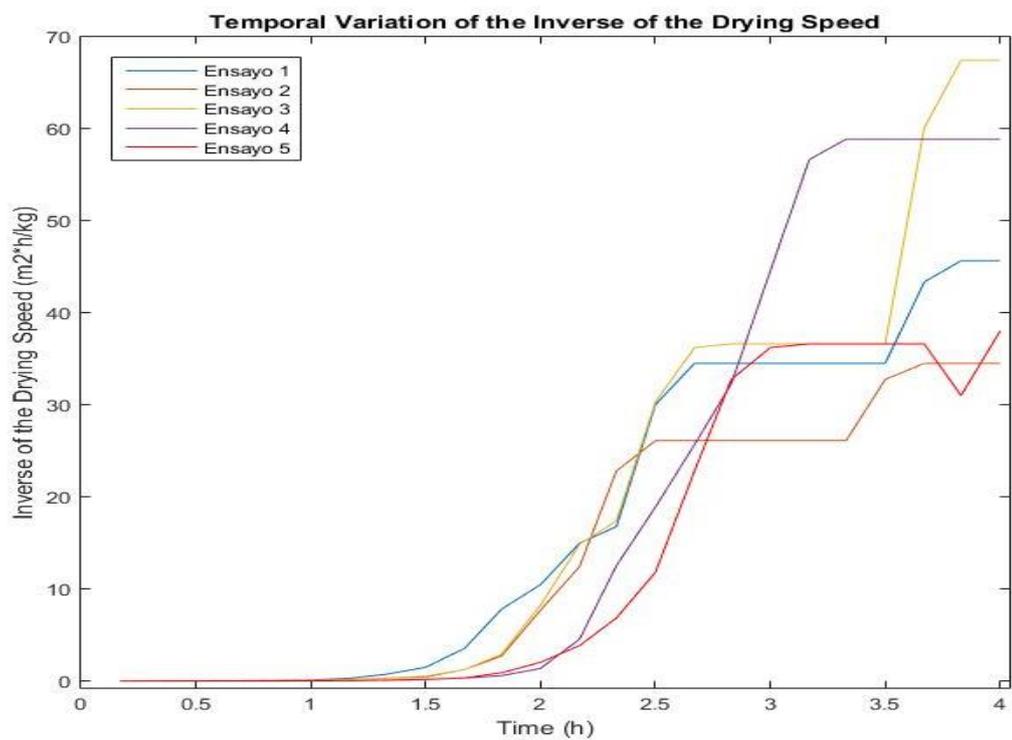


Figura N°80. La grafica muestra las curvas de comparación en los 5 ensayos de La Variación Temporal de la Inversa de la Velocidad de Secado en las muestras.

Fuente: Elaboración Propia

### 3.3.1.1. Tipo de operación

Nos da la opción de elegir si deseamos un proceso manual o automático, es decir, este último está programado para ciertas características termodinámicas previamente analizadas.



Figura N°81. Programación automática y manual  
Fuente: Elaboración Propia

### 3.3.1.2. Marcha y Paro

Este botón sirve para iniciar el proceso ya sea manual o automático, a la vez si ocurre algún desperfecto o por algún motivo se quiere detener se usara el mismo para detener el proceso.



Figura N°82. Marcha y paro  
Fuente: Elaboración Propia

### 3.3.1.3. Valor de Resistencia

Cuando el proceso se encuentra funcionando de manera manual sirve para por colocar un valor determinado de la resistencia, es decir este

valor será el valor al cual debe de llegar (valor de trabajo) para luego mantenerse constante.



Figura N°83. Valor de la resistencia  
Fuente: Elaboración Propia

### 3.3.1.4. Termómetro de Resistencia

Sirve para poder saber el estado térmico de la resistencia eléctrica de manera instantánea.

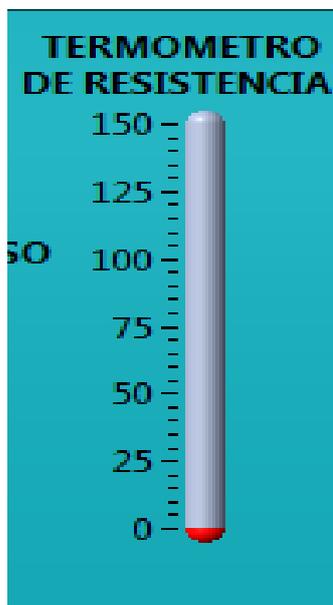


Figura N°84. Termómetro de la resistencia  
Fuente: Elaboración Propia

### 3.3.1.5. Detección de Sensores: Resistencia, Temperatura Inicial y Final del Proceso

Determina los valores de la resistencia inicial, la temperatura inicial y final que se requiere para el proceso. La temperatura final viene dada por la temperatura al interior de la cámara de secado



Figura N°85. Sensor final  
Fuente: Elaboración Propia

### 3.3.1.6. Valor Promedio

Está dado por el valor de la temperatura en la zona media de la cámara de secado (Sensor en la parte superior media).



Figura N°86 Valor promedio  
Fuente: Elaboración Propia

### 3.3.1.7. Valor del Ventilador

Esta perilla sirve para graduar el valor exacto de flujo de aire que se desea.



Figura N°87. Valor del ventilador  
Fuente: Elaboración Propia

### 3.3.1.7. Controlador PID (Controlador Proporcional, Integral, Derivativo)

facilita que el usuario pueda configurar los parámetros de ganancia proporcional, ganancia integral y ganancia derivativa del controlador PID, seleccionar el tiempo de muestreo para una adecuada aproximación digital del controlador analógico PID, elegir los canales analógicos de la entrada y salida, presentar resultados gráficos de la variación temporal de las señales de entrada, de salida y de control

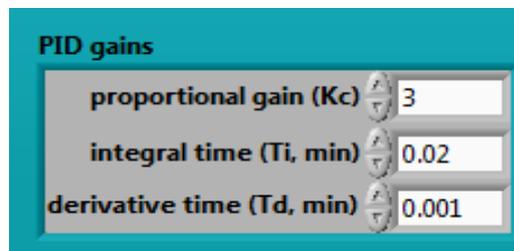


Figura N°88. Calculador PIC  
Fuente: Elaboración Propia

### 3.3.1.8. Valores de Proceso

Set-point (SP), Process Value (PV), Measurement Value (MV)

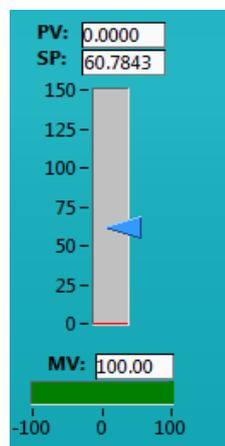


Figura N°89. Valores de Proceso  
Fuente: Elaboración Propia

## **Gráficas de Diseño del Programa**

En esta parte del programa podemos visualizar de manera didáctica las gráficas de la variación temporal de la humedad de las muestras, así como la temperatura de la cámara interna de secado en tiempo real.



Figura N°90. Aspecto del software desarrollado para el secador de manzana  
 Fuente: Elaboración Propia

### 3.3.2 Evaluación técnica financiera de la construcción del prototipo.

#### 3.3.2.1 Selección de la presentación del producto

Para realizar una evaluación económica es preciso realizar en primer lugar un análisis de costos unitarios, esto permitirá estimar el costo de producción y la proyección de las ventas del producto final, teniendo en cuenta el mercado al cual se proyecta expandir.

En el mercado nacional e internacional las presentaciones de manzana deshidratada son muy variadas, pues van desde 50g (Figura N°88) hasta presentaciones de 1kg (Figura N°89).



Figura N°91. Presentación de 50g  
Fuente: [www.google.com](http://www.google.com)



Figura N°92. Presentación de 1 kg  
Fuente: [www.google.com](http://www.google.com)

### Mercado potencial

La producción de manzana deshidratada será en forma de snacks, esta será destinada principalmente al consumo del mercado interno sobre todo en jóvenes, mujeres que desean equilibrar su dieta diaria con este producto sano y natural, el cual puede ser ingerido en el desayuno y/o comidas, así como en cualquier momento del día.

Nuestra producción anual inicial será de 833 unidades de snacks o paquetes de 50g cada una dentro de un periodo de 7 meses. A partir

de esto, se estimará incrementar la producción en un 15% anualmente considerando incrementar las dimensiones de nuestro prototipo diseñado.

### **Competencia en el Mercado**

Los principales competidores son las empresas dedicadas a la producción y comercialización de fruta deshidratada como lo es Olivico, Agroindustria & Gourmet, Frutos y Especies – Santis, ambas en lima y la empresa Alpes del Norte E.I.R.L. en La Victoria y PROFUSA en Chiclayo.

### **Proveedores**

La materia prima se obtendrá del mercado local, para ello tenemos 2 opciones, el Mercado Modelo y el Mercado Moshoqueque, para ello, hicimos una cotización por tonelada de manzana resultando que Mosoqueque resulta mucho más económico.

### **Estrategia Comercial y Promoción**

Las ventas del producto se estima que se incremente por medio de la aplicación de estrategias de marketing mediante diversos medio de difusión, esto puede ser por el sistema de promotores de degustación en los supermercados o tiendas de concurrencia frecuente por el potencial mercado.

### **Canales de venta**

La distribución se hará por venta directa a supermercados, tiendas concurridas por el mercado potencial dentro de la región.

## **3.3.2.2. Análisis FODA**

### **Fortalezas**

- Materia prima abundante en a región y a un precio uy accesible.
- Producto snacks de fácil elaboración.

### **Oportunidad**

Producto de bajo coste de comercialización

### **Debilidades**

Se cuenta con un prototipo de secador homogéneo de flujo de aire caliente controlado de dimensiones pequeñas, lo cual limita la producción masiva de snacks.

### Amenazas

Presencia de productos similares producidos y comercializados por empresas que tienen asentado un mercado por muchos años atrás.

### 3.3.2.3 Análisis de costos

Para realizar el análisis de costos es necesario involucrar todos los gastos generados para la producción de los snacks, esto es, desde el coste del diseño del equipo, hasta la venta final de los snacks.

Costo por Concepto	Cantidad	Parcial	Total
Equipo	1.00	S/.733.70	S/.733.70
Mano de obra construcción equipo.	1.00	S/. 300.00	S/. 300.00
Materia Prima	1.00	S/.250.00	S/.250.00
Mano de Obra(operario)	7.00	S/.750.00	S/.5,250.00
Empaque, presentación	833.0	S/.0.25	S/.208.25
Varios	7.00	18.00	126.00
		<b>TOTAL</b>	<b>S/.6,867.95</b>

Se debe de tener en cuenta que, por única vez se considerará el costo por la construcción del prototipo. Así mismo, se consideró un lote de materia prima de 250 kg, sabiendo que diariamente se produce aproximadamente 1.2kg de manzana deshidratada, esto hace que toda la materia prima se procese en 7 meses aproximadamente (Debido a la capacidad de producción del prototipo). En la tabla mostrada anteriormente se muestra un resumen de gastos en los cuales se involucra el gasto por mano de obra, servicio de energía eléctrica usada por el proceso completo del lote, entre otros análisis unitarios.

Para determinar la producción final en peso del producto hacemos una equivalencia sencilla teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los ensayos:

$$w_{final} = \frac{250\,000 * 50}{300} g$$

$$w_{final} = 41666.67 g$$

Es decir, luego de procesar los 250kg de manzana, solo se obtienen aproximadamente 41.67 kg de manzana deshidratada. Considerando que las presentaciones de los snacks será en empaques de 50g cada una, se estima la cantidad de empaques producidos por el proceso del lote de manzana.

$$\eta_{empaques} = \frac{41\,666.67}{50} \text{ empaques}$$

$$\eta_{empaques} = \mathbf{833 \text{ empaques}}$$

Debido a que el costo de procesar 250 kg de manzana y obtener 41.67 kg aproximadamente es de S/. 5834.25, por lo que se prevé que cada unidad de snack será vendida a S/. 9.00 (Coste directo + impuestos + utilidades), de tal forma que:

Comparando en el mercado productos similares (Presentación de 50g):

Producto 1: S/. 9.30

Producto 2: S/. 9.80

Producto 3: S/. 9.50

Costo Promedio: S/. 9.53

Costo directo de producción: S/. 7.00

Utilidad + imp.: S/. 2.00

**Precio de Venta al mercado: S/. 9.00**

$$\text{coste total} \frac{\text{ingreso}}{7 \text{ meses}} = \mathbf{S/. 7\,497.00}$$

Posteriormente a este análisis, de determino el VAN y el TIR de la producción de manzana deshidratada, llegando a la conclusión de que era rentable en la relación de 1.38 costo/beneficio, y tendría un retorno de inversión de 5 meses con un VAN de 336.20 y un TIR de 12.23%. A continuación se muestra el cuadro de retorno de inversión:

**CUADRO DE RETORNO DE INVERSION**

Tasa de Interés 10%

DESCRIPCION	AÑO 0	7 meses	14 meses	21 meses	28 meses	35 meses	TOTAL
COSTO DE INVERSION DE EQUIPO	S/. 733.70						
COSTO MANO DE OBRA DE CONSTRUCCIONEQUIPO	S/. 300.00						
<b>TOTAL GASTO PROTOTIPO</b>	<b>S/. 1,033.70</b>						
<b>VENTAS</b>	S/. 0.00	S/.7,497.00	S/.7,497.00	S/. 7,497.00	S/. 7,497.00	S/. 7,497.00	<b>S/. 37,485.00</b>
<b>COSTO POR PRODUCCIÓN DE MANZANA DESHIDRATADA</b>		<b>S/.5,869.25</b>	<b>S/.5,869.25</b>	<b>S/. 5,869.25</b>	<b>S/. 5,869.25</b>	<b>S/. 5,869.25</b>	<b>S/. 29,346</b>
Materia Prima		S/. 250.00	S/. 250.00	S/. 250.00	S/. 250.00	S/. 250.00	
Mano de Obra( un personal)		S/.5,250.00	S/.5,250.00	S/. 5,250.00	S/. 5,250.00	S/. 5,250.00	
Empaque y presentación		S/. 208.25	S/. 208.25	S/. 208.25	S/. 208.25	S/. 208.25	
Varios		S/. 126.00	S/. 126.00	S/. 126.00	S/. 126.00	S/. 126.00	
<b>Mantenimiento</b>		S/. 20.00	S/. 20.00	S/. 20.00	S/. 20.00	S/. 20.00	
<b>Gastos Administrativos</b>		S/. 15.00	S/. 15.00	S/. 15.00	S/. 15.00	S/. 15.00	
<b>FLUJO</b>	<b>-5,834</b>	<b>S/. 1,628</b>	<b>S/. 1,628</b>	<b>S/. 1,628</b>	<b>S/. 1,628</b>	<b>S/. 1,628</b>	<b>S/. 8,139</b>
<b>TIR</b>	<b>12.23%</b>						
<b>VAN</b>	<b>S/. 336.20</b>						
<b>Retorno de Inversión</b>	<b>4</b>	<b>MESES</b>					
	<b>13</b>	<b>DIAS</b>					

<b>TOTAL DE INGRESOS</b>	<b>S/. 37,485</b>
--------------------------	-------------------

TIEMPO(días )	GANANCIA
210	S/. 1,628

TOTAL DE EGRESOS	S/.	29,346
EVALUACION BENEFICIO/ COSTO	S/.	1.28

PRECIO DE EMPAQUE DE 50gr.	S/.	9.00
----------------------------	-----	------

#### IV. CONCLUSIONES

- ❑ Las variables de operación más eficientes para deshidratar en este ensayo para el secado de manzana (*golden delicius*) fue de 50°C, con una velocidad de aire de 7.8 m/s y una humedad relativa de 80%, y con estas se logro un tiempo de operación de 4.1547 h. Para llegar a la humedad final de entre 16-18%.
  
- ❑ La investigación demuestra la viabilidad de desarrollar la tecnología de secado homogéneo de frutas mediante el prototipo propuesto que resulta muy apropiado, permitiendo una mayor y adecuada reducción del tiempo de secado, además las manzanas a usar deben de tener un diámetro promedio de 7cm y deben de estar descorazonadas y peladas para que la humedad pueda eliminarse con facilidad durante el proceso de secado.
  
- ❑ Se diseñó y construyó el prototipo de secador homogéneo valiéndose del cálculo de los parámetros de diseño y con ayuda del modelamiento en SketchUp se pudo pre visualizar del montaje final, seguidamente se elaboraron los planos en AutoCAD con los que se procedió armar el prototipo. El prototipo propuesto es de bidireccionalidad, pues presenta 2 intercambiadores de calor de contrasentido lo cual permite la homogenización del flujo de aire que secará las muestras de manzana. (Las imágenes referenciales se muestran en la apartado de construcción del prototipo)
  
- ❑ Se realizó el estudio de evaluación técnica financiera de la construcción del prototipo de secador homogéneo de flujo de aire caliente controlado para la producción y comercialización de manzana deshidratada llegando a la conclusión que posee un VAN S/. 336.20 un TIR de 12.23%, con un periodo de retorno de 05 meses para una inversión de S/. 733.70, resultando una inversión rentable.

## **V. RECOMENDACIONES**

- Estudiar y diseñar el proceso de purificación y secado del aire, con el que se deshidrata la fruta, y verificar como afecta esto en el tiempo de proceso y la calidad de la fruta.
- Se recomienda usar nuevos materiales termoaislantes para la atenuación de pérdidas de calor en las placas de la cámara de secado.
- Se recomienda usar otras frutas en el proceso de secado con el fin de obtener patrones en el tiempo de secado.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A., Mendoza. Efecto del Secado de Frutas Empleando Flujo de Aire Revertido. Valencia: Congreso Internacional de Ingenieria Bioquimica, 2012.

Akpinar, E.K., y Y Bicer. Modelling of the drying of eggplants in thin-layers. . International Journal of Food Science and Technology, Athenas: Sience and Tecnology, 2005.

Ali Etem Gürel, İlhan Ceylan. Thermodynamic analysis of PID temperature controlled heat pump system. Turkey: ELSEVIER, 2014.

Alonso, Diaz Martinez Jorge. MODELING OF GRAIN DRYERS: THIN LAYERS TO DEEP BEDS. Montreal: McGill University, 2011.

Aski, G.R., y Z, Mousavi, S.M. Emam - Djomeh. An investiagtion of the effects of drying methods and condition on drying characteristics and quality attributes of agricultural products during hot air hot air/microwave assisted dehydration . Informe de Investigacion, New York: Drying Technology, 2009.

Bake, C. Industrial Drying of Foods. Pesquisa, Athenas: Blackie Academic & Professionals, 1997.

Celestino, Sonia Maria Costa. Princípios de Secagem de Alimentos. Planaltina: Ministério de Agricultura, 2010.

D., Rojas P. y Pérez. Automatización de un Secador de Aire Caliente para Fines de Docencia en Ingeniería de Alimentos. Sarmiento: Universidad de Sarmiento, 2012.

Delgado, E. Diseño, Modelo Matemático y Diseño de un Secadero Optimizado con Energías Limpias. Campostela: Universidad Santiago de Compostela, 2014.

EDSON JOSÉ MARIANO, ELIAS EVALDO NUNES, EVERTON VALENTINI. AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E SENSORIAIS DA MAÇÃ DESIDRATADA PARA USO COMO APERITIVO. Paraná: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2011.

EL- Amin Omda Mohamed Akoy a, Mohamed Ayoub Ismail b, El-Fadil Adam Ahmed c and. Design and Construction of A Solar Dryer for Mango Slices. Sudán: Faculty of Agriculture, University of Zalingei, Zalingei, Sudan., 2013.

Gomez, Gloria I. Giraldo. EFECTO DEL MÉTODO DE SECADO EN LAS PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DE PULPA DE MORA EN POLVO. Medellin: Universidad Nacional de Colombia, 2011.

Herman, E. Rodriguez, G.C. and García, M.A. Mathematical Modelling for Fixed-Bed Drying Considering Heat and Mass Transfer and Interfacial Phenomena. New York: Drying Technology, 2010.

I. A. Ikem, I.H. Aondover. O.E. Nyong, A. J. Adie. Thermodynamic Analysis of a Mixed-Mode Sola Dryer. Nigeria: International Journal of Engineering and Technology, 2015.

I. Dincer a, \*, A.Z. Sahin b. A new model for thermodynamic analysis of a drying process. Saudi Arabia: Heat and Mass Transfer, 2013.

I. Dincer, A.Z. Sahin. A new model for thermodynamic analysis of a drying process. Montreal: ELSIEVER, 2011.

J. Lee, N. Hoeller, D. Rogers, S. Musnier<sup>3</sup>, F.A. Salustri. AN EMPIRICAL STUDY OF ENERGY EFFICIENCY OF CLOTHES DRYERS. Stanford: STANFORD UNIVERSITY, 2015.

J., Santacatalina. Estudio de la Influencia del Secado a Baja Temperatura en la Capacidad de Rehidratación y en la Textura de Berenjena y Zanahoria. Valencia: Universidad Politecnica de Valencia, 2012.

Juarez de Sousa e Silva, Adriano Divino Lima Alfonso, Spergio Mauricio Lopes Donxelles. Secagem e Secadores. Campinas: Faculdade de Engenharia Agrícola, 2013.

Kil Jin Brandini Park, Kil Jin Park, Luis Felipe Toro Alonso, Félix Emilio Prado Cornejo. SECAGEM: FUNDAMENTOS E EQUAÇÕES. Campinas: Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, 2016.

Marcos A. Golato, Hugo Ruiz, Juan F. D`Angelo, Gustavo Aso y Dora Paz. Determinación del coeficiente global de transferencia de calor en secaderos rotativos de cáscara de limón. Tucumán, Mexico: Revista Industrial y Agrícola de Tucumán, 2010.

Marcus Kares, Daryl B. Lund. Physical Principles of Food Preservation. Switzerland: Library of Congress Cataloging-in-Publication Data, 2009.  
Mendoza. Modelación Matemática del Proceso Secado Empleando Flujo de Aire Revertido. Veracruz: Instituto Tecnológico Superior de Juan Rodríguez Clara, 2011.

Mohsen. Energy efficiency and moisture diffusivity of apple slices during convective drying . Texas: Food Science and Technology, 2015.

Pedro Vanegas Mahecha, Alfonso Parra-Coronado. Diseño, construcción y evaluación de un Prototipo de secador Dinámico para la obtencion de pulpas de frutas deshidrtadas laminadas. Cali: Universidad de Cali, Colombia, 2011.

Ratthasak Prommas, Phadungsak, Dulyachotn Cholaseuk. Energy and exergy analyses in drying process of porous media using hot air. El Sevier: International Communication in Heart and Mass Transfer, 2010.

Ratti, C. Hot air and freeze drying of high value foods: A review. Valencia: Journal of Food Engineering, 2010.

Richard Eduardo Calle Benites, Jaime Julio Aparicio Baidal. Diseño de una Planta de Deshidrtacion de Hierbas Aromáticas. Guayaquil, Ecuador: Universidad Superior Politecnica del Litoral, 2011.

S.V. Jangam, C.L. Law, A.S. Dring of Foods, Vegetales and Fruits. Malasya: Majundar, 2010.

Sam V. Shelton, Peter J. Christiansen. Analysis of a nozzle condensation drying cycle. Atlanta: APPLIED THERMAL ENGINEERING - PERGAMON, 2010.

Shahab Abdulla, Paul Wen, Richard Landers and B. F. Yousif. Fruit drying process: Analysis, modeling and simulation. Toowoomba: University of Southern Queensland, 2011.

Shiwei Zhang, Ninghua Kong, Yufang Zhu, Zhijun Zhang, and Chenghai Xu. 3D Model-Based Simulation Analysis of Energy Consumption in Hot Air Drying of Corn Kernels. Shenyang: Hua-Shu Dou, 2013.

Suvarnakuta. Drying kinetics and  $\beta$ -carotene degradation in carrot undergoing different drying processes. Chicago: Journal of Food Science, 2013.

Syahrul HUSAIN, Akihiko HORIBE and Naoto HARUKI. Heat and Mass Transfer Analysis of Fluidized Bed Grain Drying. Okayama: Memoirs of the Faculty of Engineering, Okayama University, 2009.

Vanderlei Constantino de Souza, Gilnei Carvalho Ocácia. CINÉTICA DA SECAGEM DE MAÇÃ EM SECADOR CONVECTIVO. Canoas: Universidade Luterana do Brasil, 2014.

## ANEXO N°01. ENSAYO N° 01

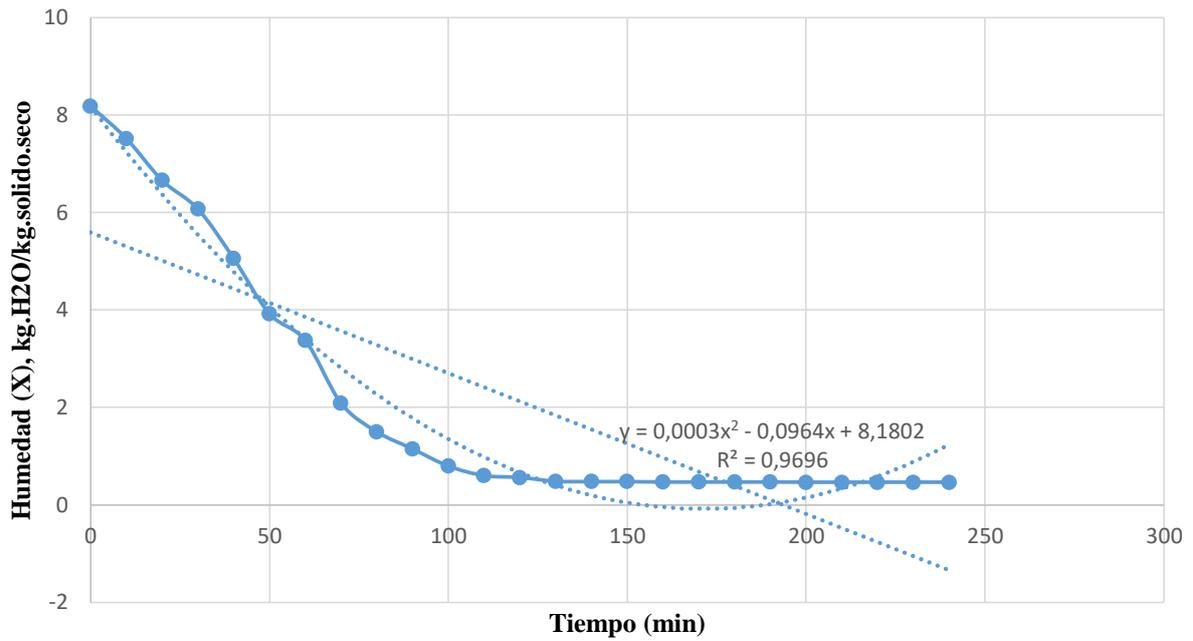
### CÁLCULO DE HUMEDADES – ENSAYO 1

<b>Masa sólido Seco</b>	<b>0.0256</b>
-------------------------	---------------

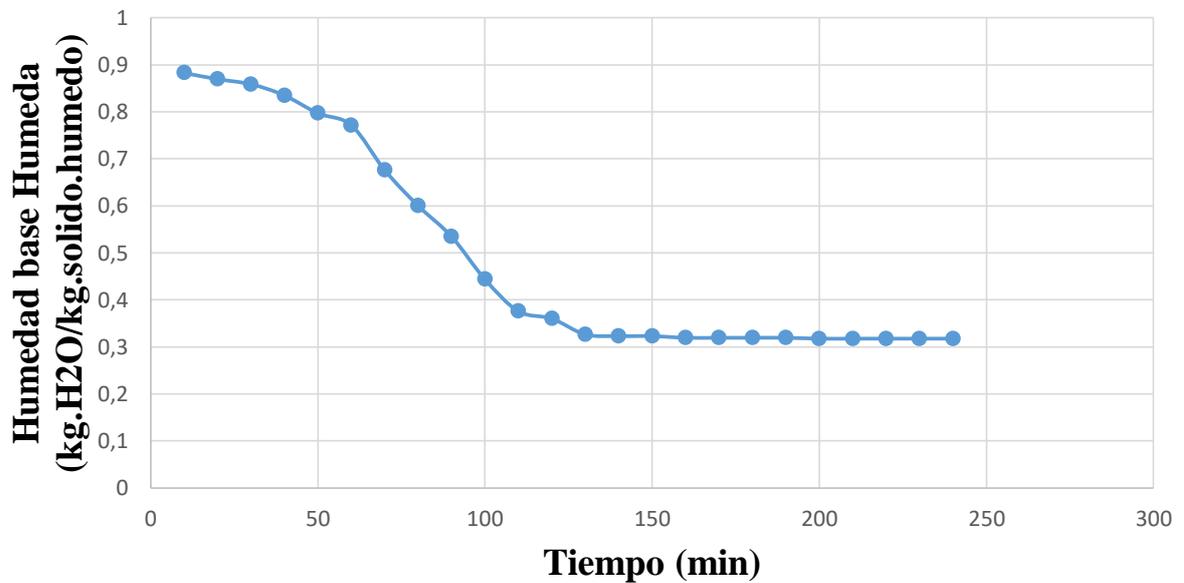
N°	Tiempo		Masa Húmeda	Sólido Húmedo (M. seca+H2 O)	Humedad Total de H2O	Humedad (X), kg.H2O/kg.sólido.se co	Humedad base Húmeda (kg.H2O/kg.sólido.húme do)	Humedad base seca (kg.H2O/kg.sólido.sec o)	Humedad Libre (kg)
	Minutos	Horas							
0	0	0.00	235	0.235	0.2094	8.1796875	0.89106383	8.1796875	8.1776875
1	10	0.17	218	0.218	0.1924	7.515625	0.882568807	7.515625	7.513625
2	20	0.33	196	0.196	0.1704	6.65625	0.869387755	6.65625	6.65425
3	30	0.50	181	0.181	0.1554	6.0703125	0.858563536	6.0703125	6.0683125
4	40	0.67	155	0.155	0.1294	5.0546875	0.83483871	5.0546875	5.0526875
5	50	0.83	126	0.126	0.1004	3.921875	0.796825397	3.921875	3.919875
6	60	1.00	112	0.112	0.0864	3.375	0.771428571	3.375	3.373
7	70	1.17	79	0.079	0.0534	2.0859375	0.675949367	2.0859375	2.0839375
8	80	1.33	64	0.064	0.0384	1.5	0.6	1.5	1.498
9	90	1.50	55	0.055	0.0294	1.1484375	0.534545455	1.1484375	1.1464375
10	100	1.67	46	0.046	0.0204	0.796875	0.443478261	0.796875	0.794875
11	110	1.83	41	0.041	0.0154	0.6015625	0.375609756	0.6015625	0.5995625
12	120	2.00	40	0.04	0.0144	0.5625	0.36	0.5625	0.5605
13	130	2.17	38	0.038	0.0124	0.484375	0.326315789	0.484375	0.482375
14	140	2.33	37.8	0.0378	0.0122	0.4765625	0.322751323	0.4765625	0.4745625

15	150	2.50	37.8	0.0378	0.0122	0.4765625	0.322751323	0.4765625	0.4745625
16	160	2.67	37.6	0.0376	0.012	0.46875	0.319148936	0.46875	0.46675
17	170	2.83	37.6	0.0376	0.012	0.46875	0.319148936	0.46875	0.46675
18	180	3.00	37.6	0.0376	0.012	0.46875	0.319148936	0.46875	0.46675
19	190	3.17	37.6	0.0376	0.012	0.46875	0.319148936	0.46875	0.46675
20	200	3.33	37.5	0.0375	0.0119	0.46484375	0.317333333	0.46484375	0.46284375
21	210	3.50	37.5	0.0375	0.0119	0.46484375	0.317333333	0.46484375	0.46284375
22	220	3.67	37.5	0.0375	0.0119	0.46484375	0.317333333	0.46484375	0.46284375
23	230	3.83	37.5	0.0375	0.0119	0.46484375	0.317333333	0.46484375	0.46284375
24	240	4.00	37.5	0.0375	0.0119	0.46484375	0.317333333	0.46484375	0.46284375

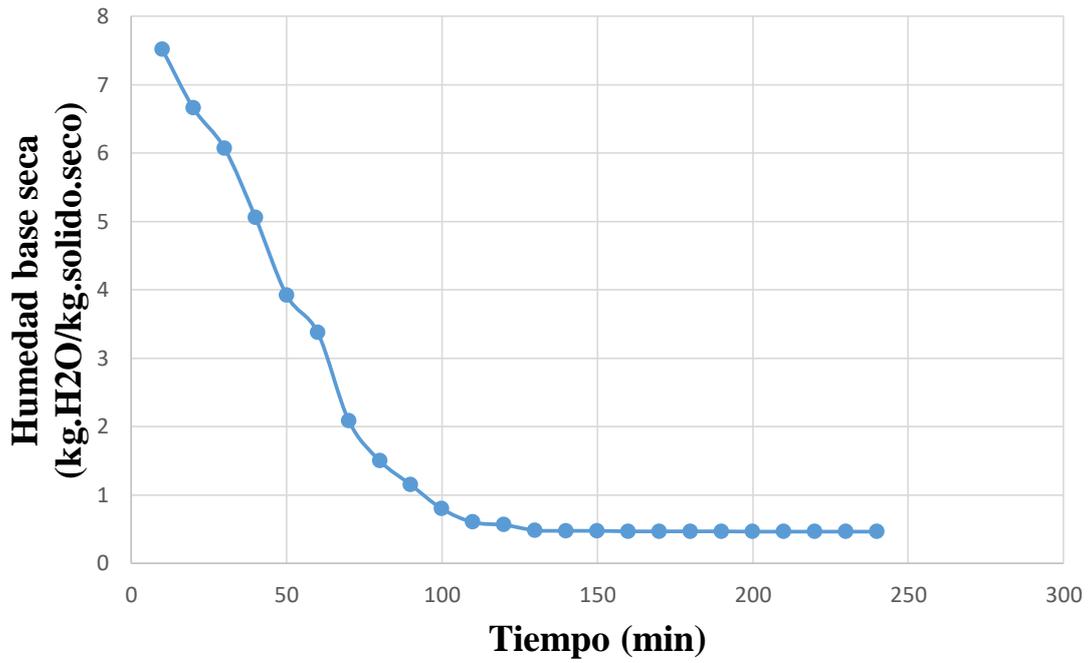
## Contenido de Humedad



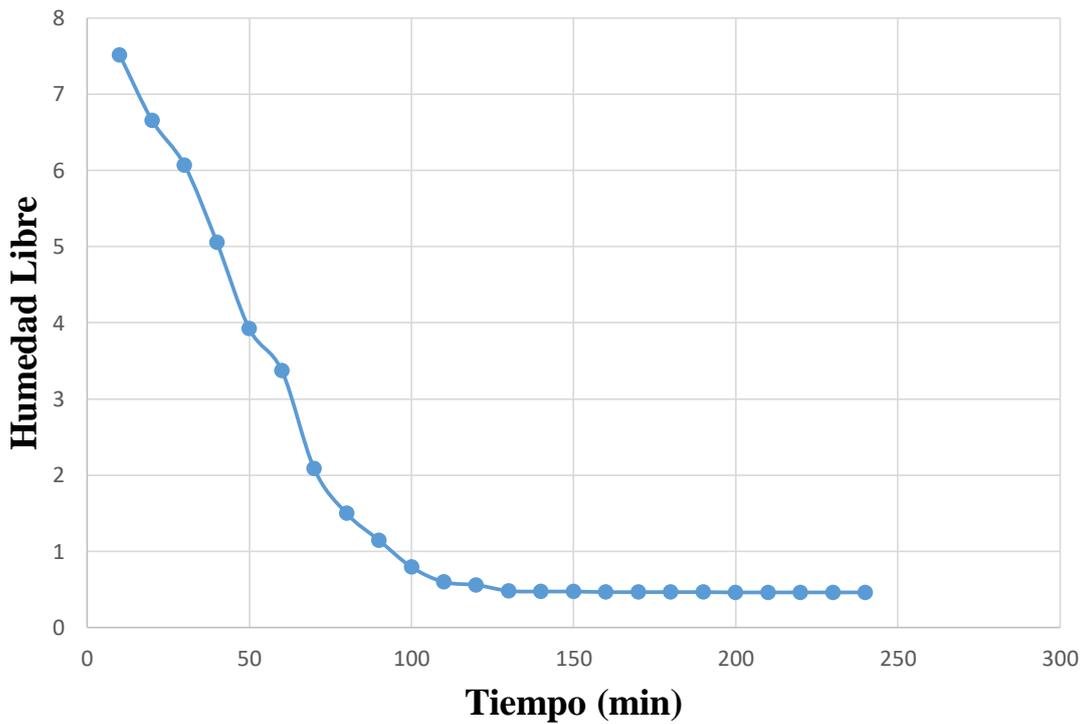
## Variación Temporal de la Humedad en Base Húmeda



### Variación Temporal de la Humedad en Base Seca



### Variación Temporal de la Humedad Libre



## CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE SECADO – ENSAYO 1

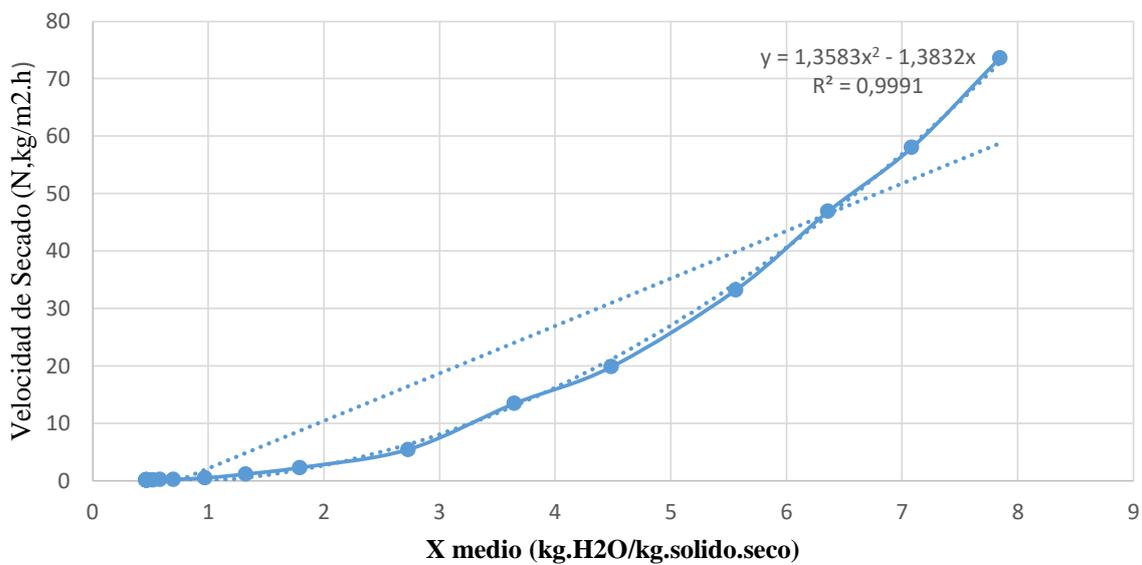
<b>Área</b>	<b>0.1225</b>
-------------	---------------

<b>X eq</b>	<b>0.002</b>
-------------	--------------

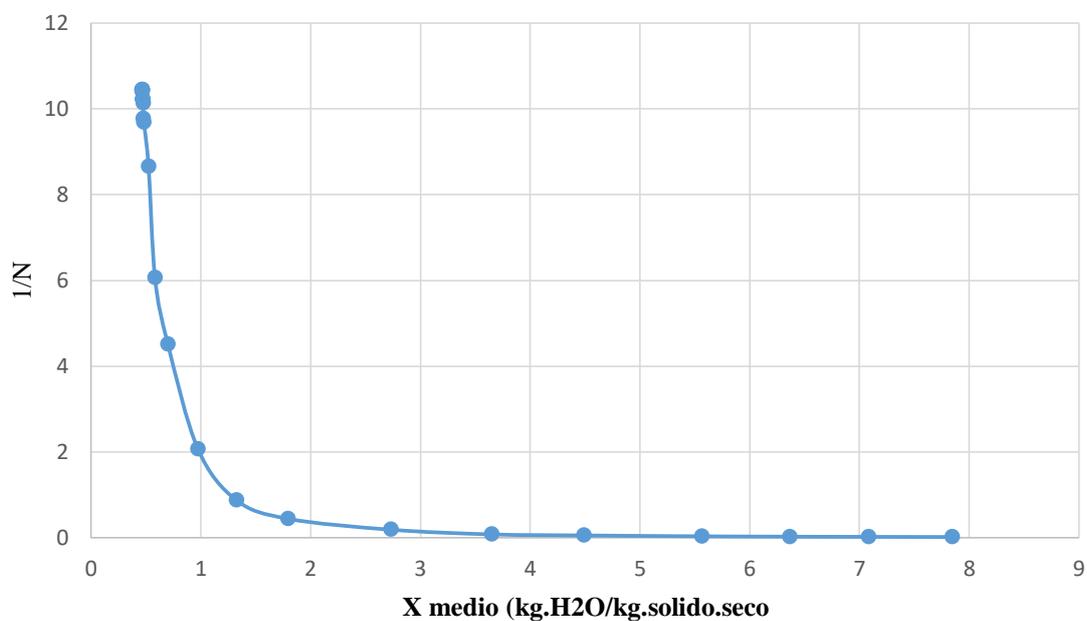
Tiempo		Humedad (X), kg.H2O/kg.solido.seco	Valor Medio (X), kg.de H2O/kg.solido.seco	X libre	$\Delta x$	$\Delta t$ (seg.)	N, (kg/m2.h)	1/N
Minutos	Horas							
0	0.00	8.1796875						
10	0.17	7.515625	7.84765625	7.513625	6.631056193	10	73.62514088	0.013582317
20	0.33	6.65625	7.0859375	6.65425	5.784862245	10	57.99543338	0.017242737
30	0.50	6.0703125	6.36328125	6.0683125	5.209748964	10	46.90308135	0.021320561
40	0.67	5.0546875	5.5625	5.0526875	4.21784879	10	33.1943745	0.030125586
50	0.83	3.921875	4.48828125	3.919875	3.123049603	10	19.83181236	0.050424035
60	1.00	3.375	3.6484375	3.373	2.601571429	10	13.42907578	0.074465288
70	1.17	2.0859375	2.73046875	2.0839375	1.407988133	10	5.439258061	0.183848604
80	1.33	1.5	1.79296875	1.498	0.898	10	2.277993686	0.438982779
90	1.50	1.1484375	1.32421875	1.1464375	0.611892045	10	1.14640481	0.872292223
100	1.67	0.796875	0.97265625	0.794875	0.351396739	10	0.483571356	2.067947134
110	1.83	0.6015625	0.69921875	0.5995625	0.223952744	10	0.221550591	4.513641764
120	2.00	0.5625	0.58203125	0.5605	0.2005	10	0.165106488	6.056697183
130	2.17	0.484375	0.5234375	0.482375	0.156059211	10	0.115573349	8.652513832
140	2.33	0.4765625	0.48046875	0.4745625	0.151811177	10	0.103198255	9.690086338
150	2.50	0.4765625	0.4765625	0.4745625	0.151811177	10	0.102359245	9.769513275
160	2.67	0.46875	0.47265625	0.46675	0.147601064	10	0.098704818	10.13121771

170	2.83	0.46875	0.46875	0.46675	0.147601064	10	0.097889076	10.21564453
180	3.00	0.46875	0.46875	0.46675	0.147601064	10	0.097889076	10.21564453
190	3.17	0.46875	0.46875	0.46675	0.147601064	10	0.097889076	10.21564453
200	3.33	0.46484375	0.46679688	0.46284375	0.145510417	10	0.096100464	10.40577705
210	3.50	0.46484375	0.46484375	0.46284375	0.145510417	10	0.09569837	10.4494988
220	3.67	0.46484375	0.46484375	0.46284375	0.145510417	10	0.09569837	10.4494988
230	3.83	0.46484375	0.46484375	0.46284375	0.145510417	10	0.09569837	10.4494988
240	4.00	0.46484375	0.46484375	0.46284375	0.145510417	10	0.09569837	10.4494988

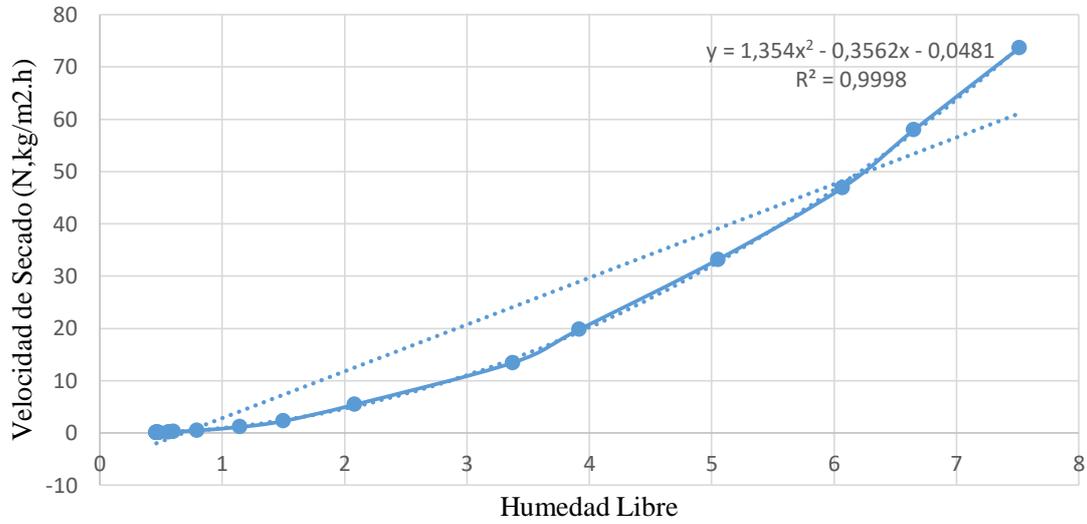
### Curva de velocidad de Secado en Funcion del Contenido de Humedad Media



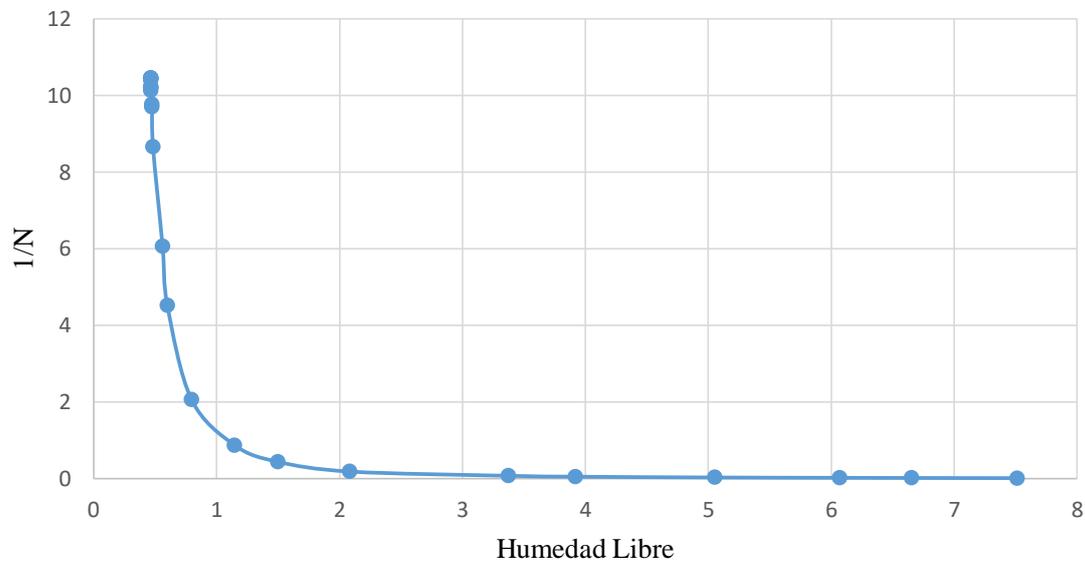
### Curva de la Inversa de la Velocidad en Funcion de la Humedad Media



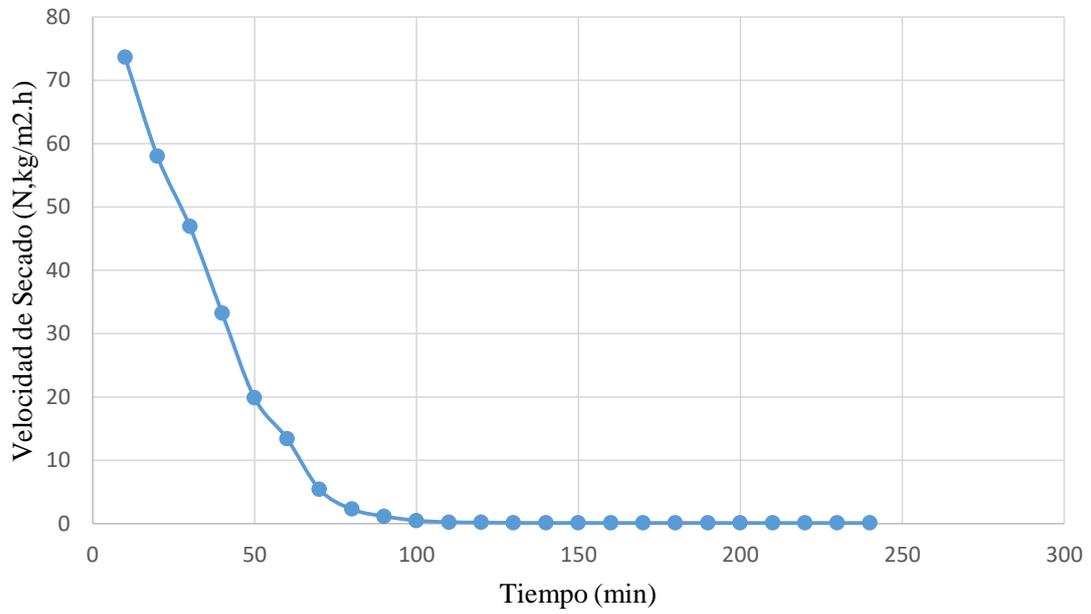
### Curva de velocidad de Secado en Funcion del Contenido de Humedad Libre



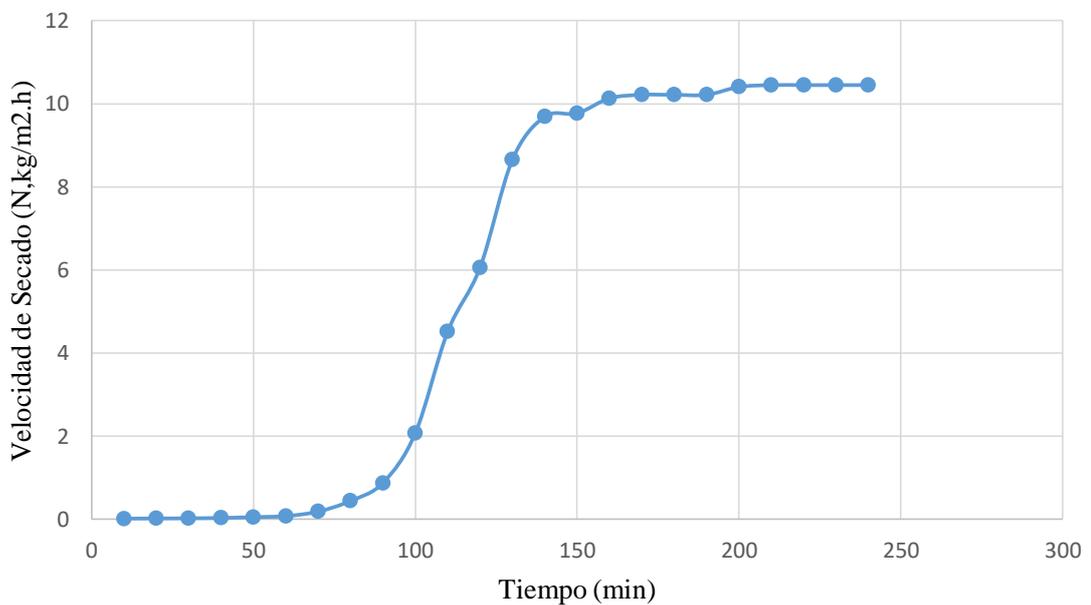
### Curva de la Inversa de la Velocidad en Funcion de la Humedad Libre



### Variación Temporal de la Velocidad de Secado



### Variación Temporal de la Inversa de la Velocidad de Secado



## ANEXO N°02. ENSAYO N° 02

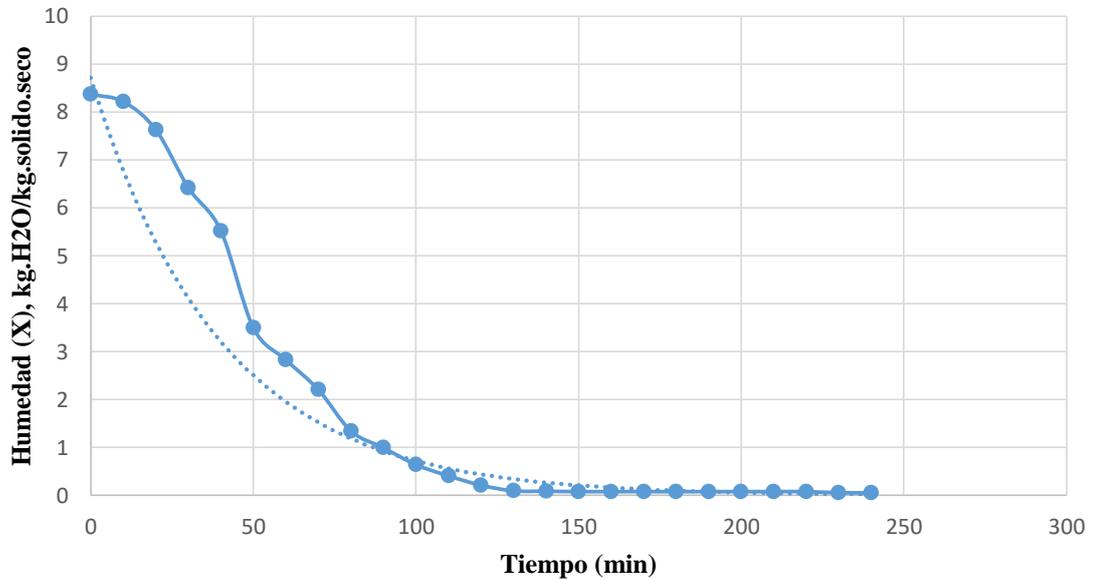
### CÁLCULO DE HUMEDADES – ENSAYO 2

<b>Masa sólido Seco</b>	<b>0.0256</b>
-------------------------	---------------

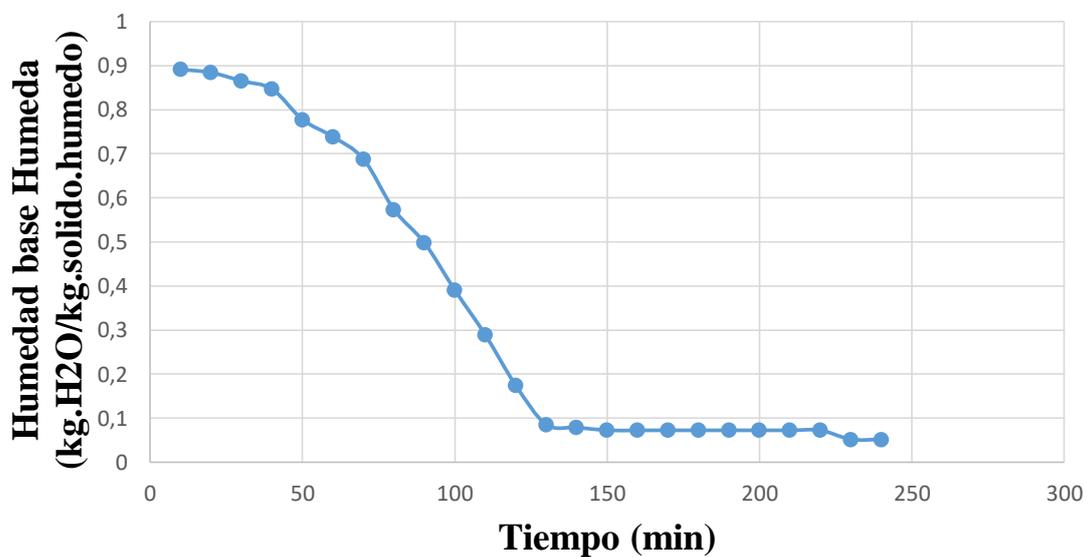
N°	Tiempo		Masa Húmeda	Sólido Húmedo (M. seca+H2O)	Humedad Total de H2O	Humedad (X), kg.H2O/kg.sólido.seco	Humedad base Húmeda (kg.H2O/kg.sólido.húmedo)	Humedad base seca (kg.H2O/kg.sólido.seco)	Humedad Libre (kg)
	Minutos	Horas							
0	0	0.00	240	0.24	0.2144	8.375	0.893333333	8.375	8.373
1	10	0.17	236	0.236	0.2104	8.21875	0.891525424	8.21875	8.21675
2	20	0.33	221	0.221	0.1954	7.6328125	0.884162896	7.6328125	7.6308125
3	30	0.50	190	0.19	0.1644	6.421875	0.865263158	6.421875	6.419875
4	40	0.67	167	0.167	0.1414	5.5234375	0.846706587	5.5234375	5.5214375
5	50	0.83	115	0.115	0.0894	3.4921875	0.777391304	3.4921875	3.4901875
6	60	1.00	98	0.098	0.0724	2.828125	0.73877551	2.828125	2.826125
7	70	1.17	82	0.082	0.0564	2.203125	0.687804878	2.203125	2.201125
8	80	1.33	60	0.06	0.0344	1.34375	0.573333333	1.34375	1.34175
9	90	1.50	51	0.051	0.0254	0.9921875	0.498039216	0.9921875	0.9901875
10	100	1.67	42	0.042	0.0164	0.640625	0.39047619	0.640625	0.638625
11	110	1.83	36	0.036	0.0104	0.40625	0.288888889	0.40625	0.40425
12	120	2.00	31	0.031	0.0054	0.2109375	0.174193548	0.2109375	0.2089375
13	130	2.17	28	0.028	0.0024	0.09375	0.085714286	0.09375	0.09175
14	140	2.33	27.8	0.0278	0.0022	0.0859375	0.079136691	0.0859375	0.0839375
15	150	2.50	27.6	0.0276	0.002	0.078125	0.072463768	0.078125	0.076125

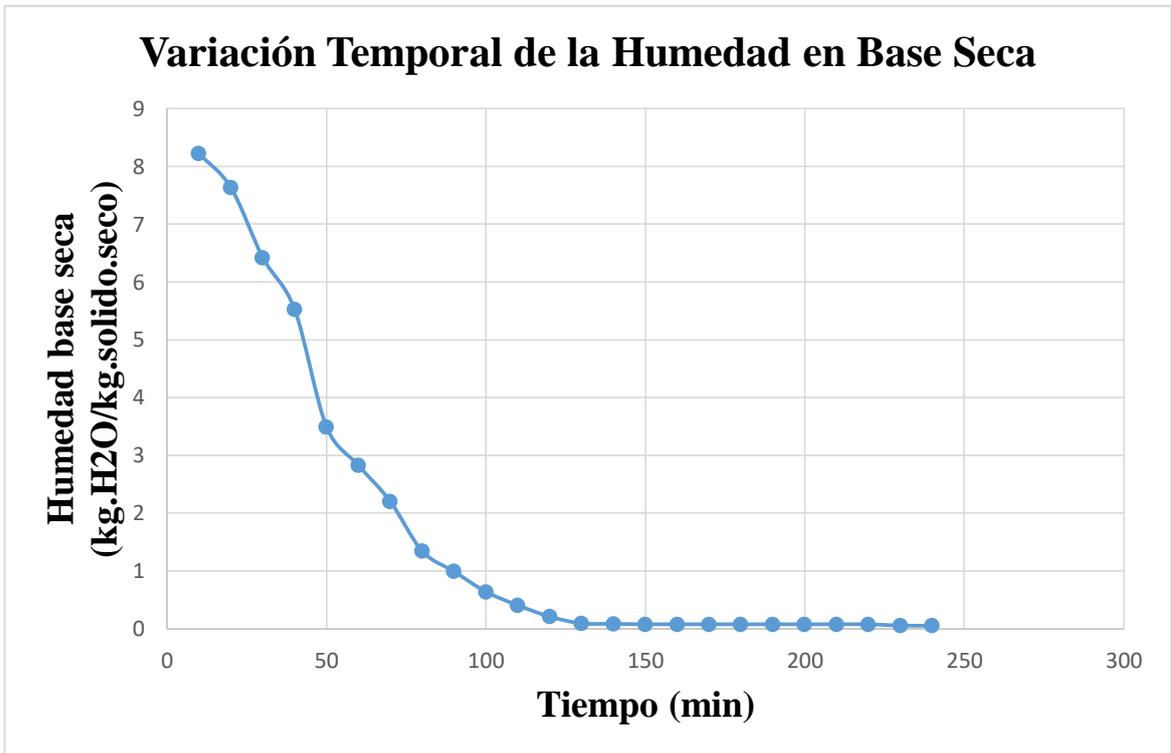
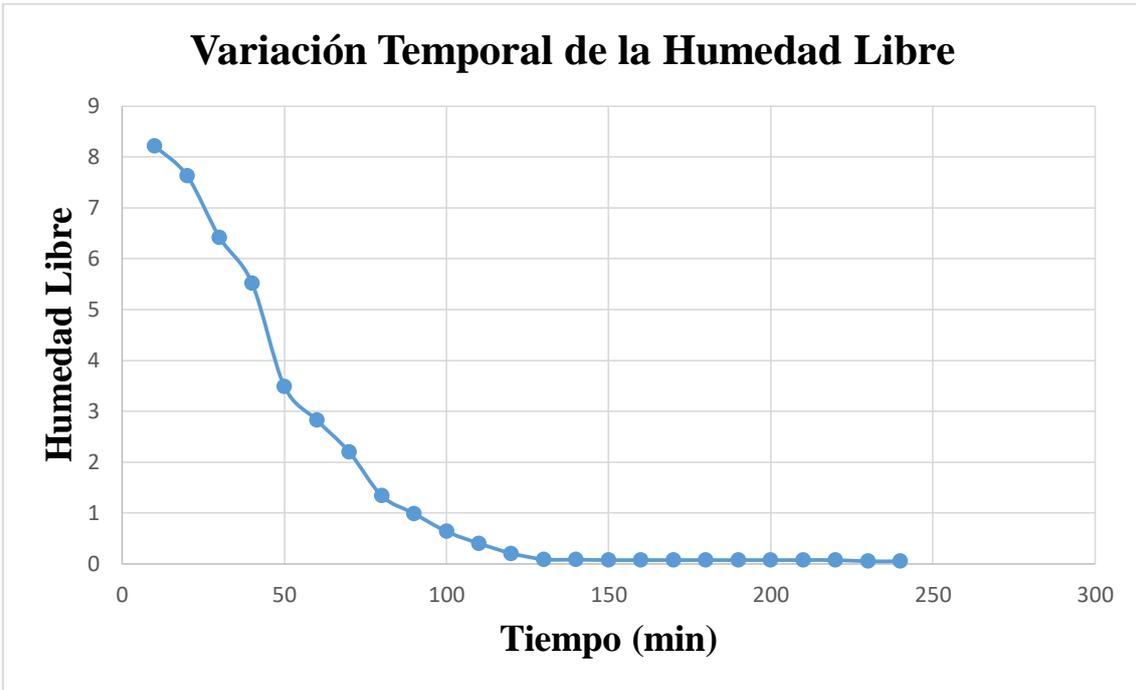
16	160	2.67	27.6	0.0276	0.002	0.078125	0.072463768	0.078125	0.076125
17	170	2.83	27.6	0.0276	0.002	0.078125	0.072463768	0.078125	0.076125
18	180	3.00	27.6	0.0276	0.002	0.078125	0.072463768	0.078125	0.076125
19	190	3.17	27.6	0.0276	0.002	0.078125	0.072463768	0.078125	0.076125
20	200	3.33	27.6	0.0276	0.002	0.078125	0.072463768	0.078125	0.076125
21	210	3.50	27.6	0.0276	0.002	0.078125	0.072463768	0.078125	0.076125
22	220	3.67	27.6	0.0276	0.002	0.078125	0.072463768	0.078125	0.076125
23	230	3.83	27	0.027	0.0014	0.0546875	0.051851852	0.0546875	0.0526875
24	240	4.00	27	0.027	0.0014	0.0546875	0.051851852	0.0546875	0.0526875

### Contenido de Humedad



### Variación Temporal de la Humedad en Base Húmeda





## CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE SECADO – ENSAYO 2

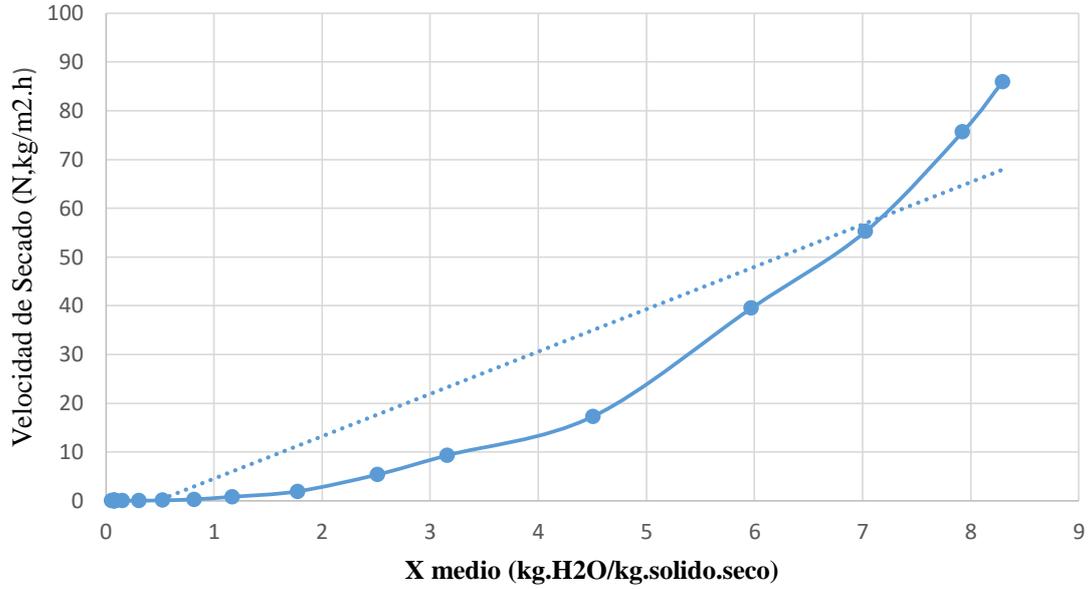
**Área** 0.1225

**X eq** 0.002

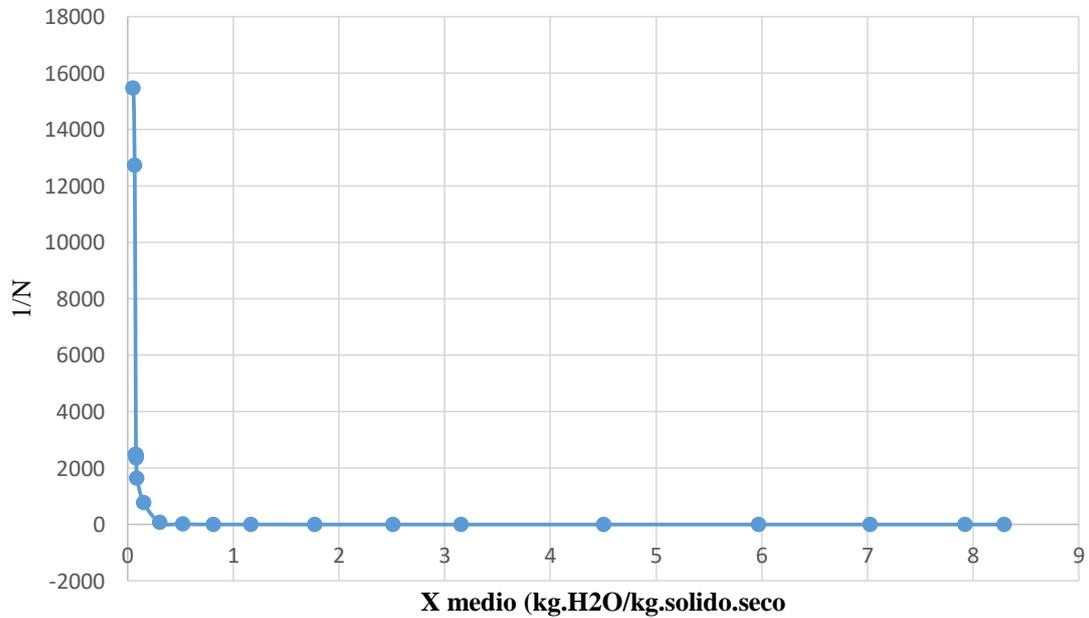
Tiempo		Humedad (X), kg.H2O/kg.solido.seco	Valor Medio (X), kg.de H2O/kg.solido.seco	X libre	$\Delta x$	$\Delta t$ (seg.)	N, (kg/m2.h)	1/N
Minutos	Horas							
0	0.00	8.375						
10	0.17	8.21875	8.296875	8.21675	7.325224576	10	85.98821825	0.0116295
20	0.33	7.6328125	7.92578125	7.6308125	6.746649604	10	75.65431371	0.013218017
30	0.50	6.421875	7.02734375	6.419875	5.554611842	10	55.22660839	0.018107214
40	0.67	5.5234375	5.97265625	5.5214375	4.674730913	10	39.5027742	0.025314678
50	0.83	3.4921875	4.5078125	3.4901875	2.712796196	10	17.30160809	0.057798096
60	1.00	2.828125	3.16015625	2.826125	2.08734949	10	9.33269742	0.107150158
70	1.17	2.203125	2.515625	2.201125	1.513320122	10	5.386171381	0.185660635
80	1.33	1.34375	1.7734375	1.34175	0.768416667	10	1.928040368	0.518661339
90	1.50	0.9921875	1.16796875	0.9901875	0.492148284	10	0.813262332	1.229615538
100	1.67	0.640625	0.81640625	0.638625	0.24814881	10	0.286630219	3.488815668
110	1.83	0.40625	0.5234375	0.40425	0.115361111	10	0.085433406	11.70502316
120	2.00	0.2109375	0.30859375	0.2089375	0.034743952	10	0.015169449	65.92197396
130	2.17	0.09375	0.15234375	0.09175	0.006035714	10	0.001300939	768.6758307
140	2.33	0.0859375	0.08984375	0.0839375	0.004800809	10	0.000610247	1638.680215
150	2.50	0.078125	0.08203125	0.076125	0.003661232	10	0.000424923	2353.368714
160	2.67	0.078125	0.078125	0.076125	0.003661232	10	0.000404688	2471.03715
170	2.83	0.078125	0.078125	0.076125	0.003661232	10	0.000404688	2471.03715

180	3.00	0.078125	0.078125	0.076125	0.003661232	10	0.000404688	2471.03715
190	3.17	0.078125	0.078125	0.076125	0.003661232	10	0.000404688	2471.03715
200	3.33	0.078125	0.078125	0.076125	0.003661232	10	0.000404688	2471.03715
210	3.50	0.078125	0.078125	0.076125	0.003661232	10	0.000404688	2471.03715
220	3.67	0.078125	0.078125	0.076125	0.003661232	10	0.000404688	2471.03715
230	3.83	0.0546875	0.06640625	0.0526875	0.000835648	10	7.8512E-05	12736.91146
240	4.00	0.0546875	0.0546875	0.0526875	0.000835648	10	6.46569E-05	15466.24962

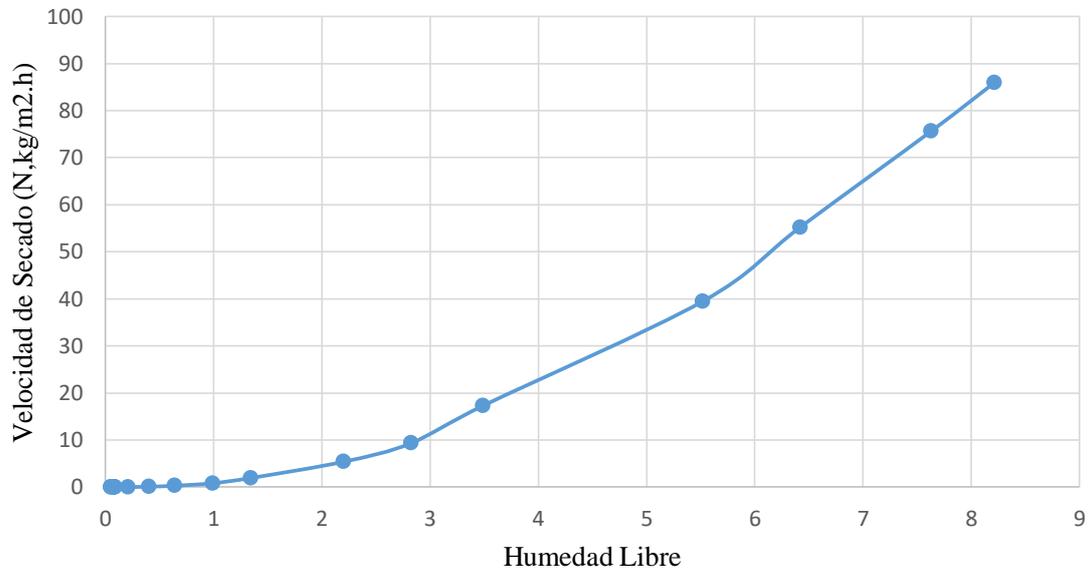
### Curva de velocidad de Secado en Funcion del Contenido de Humedad Media



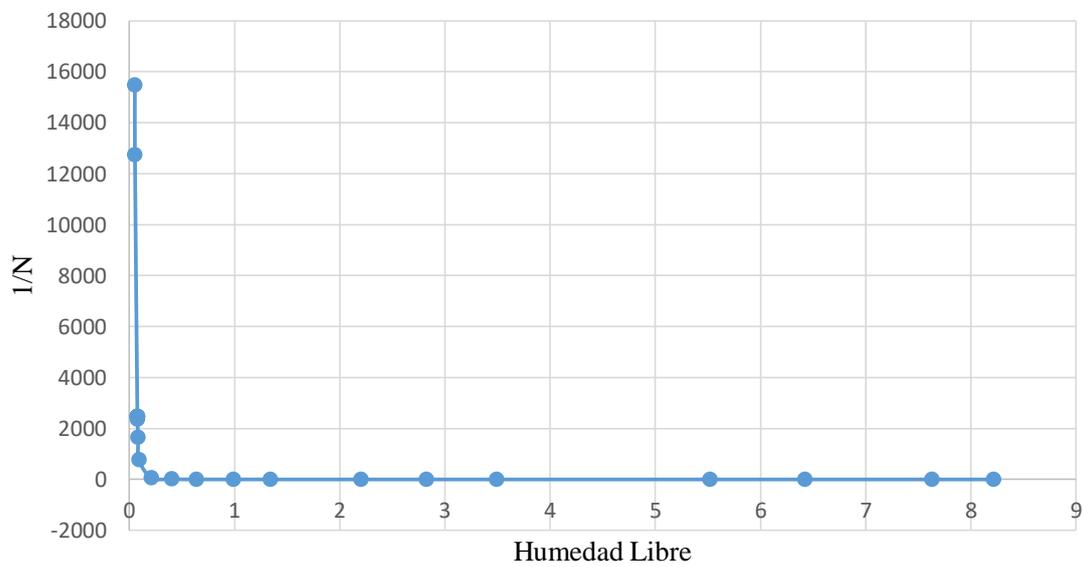
### Curva de la Inversa de la Velocidad en Funcion de la Humedad Media



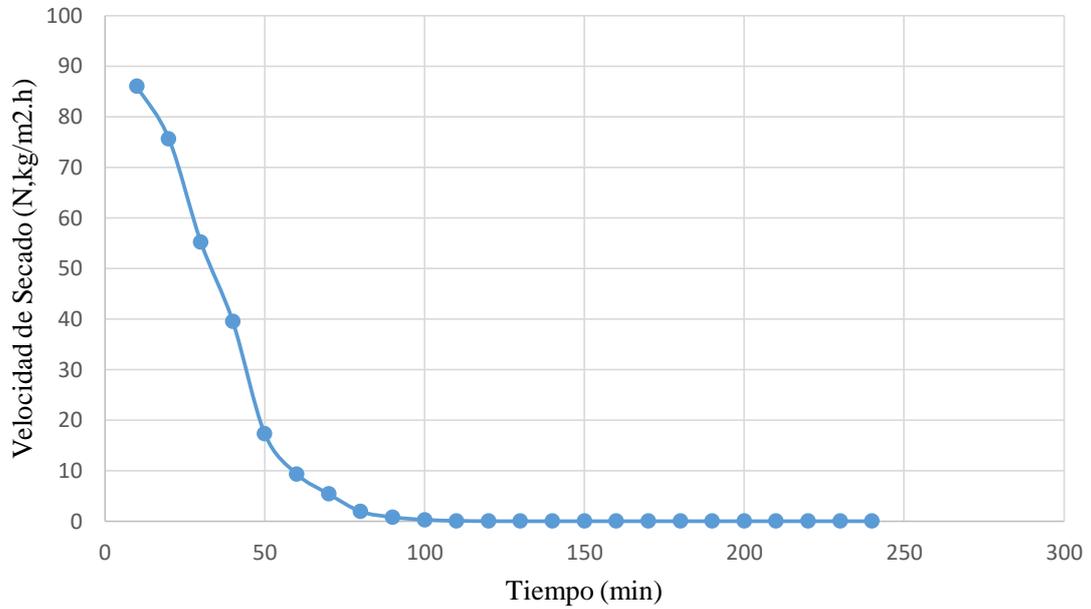
**Curva de velocidad de Secado en Funcion del Contenido de Humedad Libre**



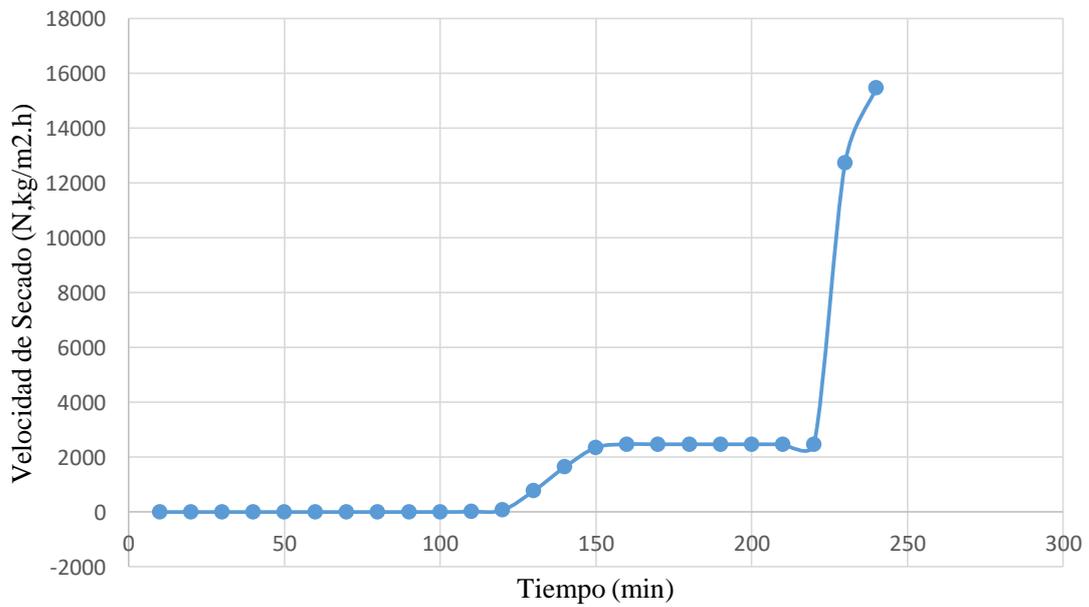
**Curva de la Inversa de la Velocidad en Funcion de la Humedad Libre**



### Variación Temporal de la Velocidad de Secado



### Variación Temporal de la Inversa de la Velocidad de Secado





### ANEXO N° 03. ENSAYO N° 03

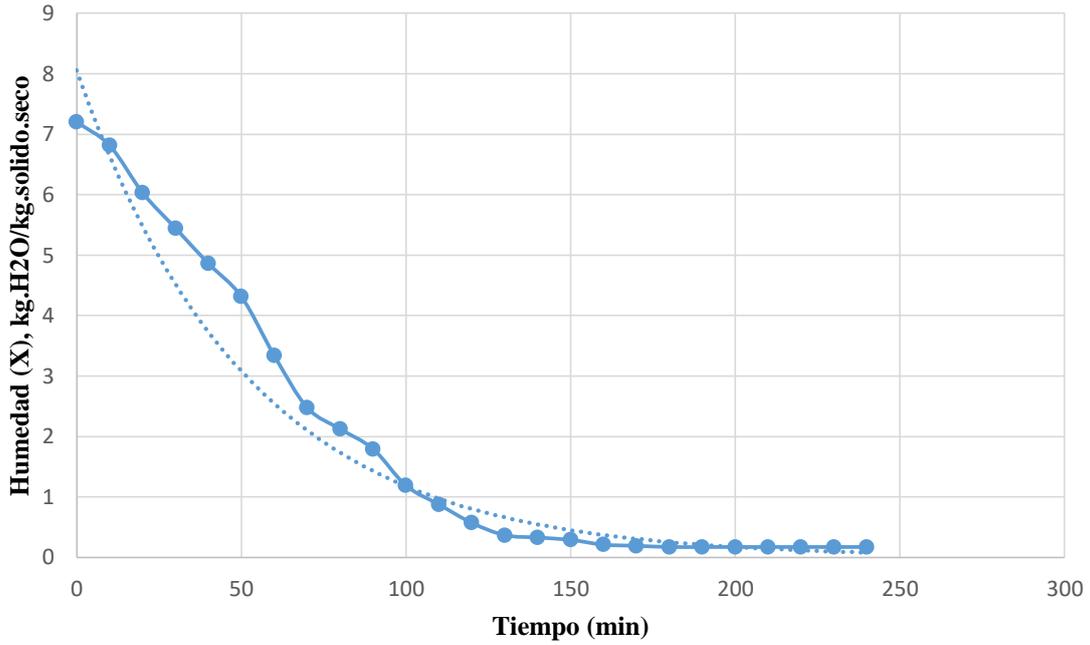
#### CÁLCULO DE HUMEDADES – ENSAYO 3

<b>Masa sólido Seco</b>	<b>0.0256</b>
-------------------------	---------------

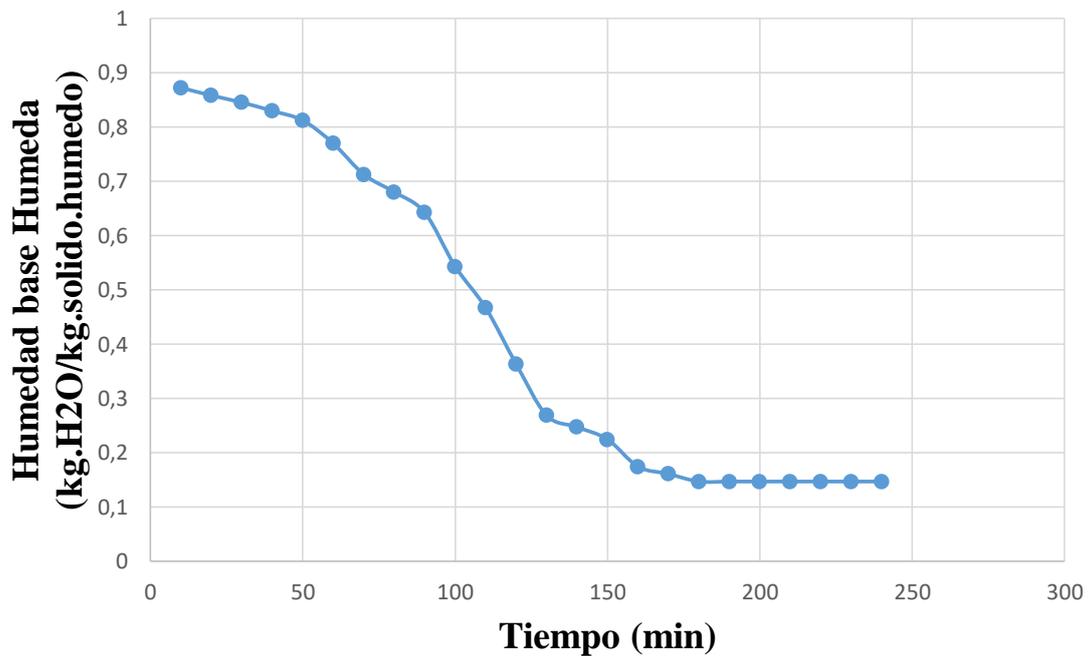
N°	Tiempo		Masa Húmeda	Sólido Húmedo (M. seca+H2O)	Humedad Total de H2O	Humedad (X), kg.H2O/kg.sólido.seco	Humedad base Húmeda (kg.H2O/kg.sólido.húmedo)	Humedad base seca (kg.H2O/kg.sólido.seco)	Humedad Libre (kg)
	Minutos	Horas							
0	0	0.00	210	0.21	0.1844	7.203125	0.878095238	7.203125	7.201125
1	10	0.17	200	0.2	0.1744	6.8125	0.872	6.8125	6.8105
2	20	0.33	180	0.18	0.1544	6.03125	0.857777778	6.03125	6.02925
3	30	0.50	165	0.165	0.1394	5.4453125	0.844848485	5.4453125	5.4433125
4	40	0.67	150	0.15	0.1244	4.859375	0.829333333	4.859375	4.857375
5	50	0.83	136	0.136	0.1104	4.3125	0.811764706	4.3125	4.3105
6	60	1.00	111	0.111	0.0854	3.3359375	0.769369369	3.3359375	3.3339375
7	70	1.17	89	0.089	0.0634	2.4765625	0.712359551	2.4765625	2.4745625
8	80	1.33	80	0.08	0.0544	2.125	0.68	2.125	2.123
9	90	1.50	71.5	0.0715	0.0459	1.79296875	0.641958042	1.79296875	1.79096875
10	100	1.67	56	0.056	0.0304	1.1875	0.542857143	1.1875	1.1855
11	110	1.83	48	0.048	0.0224	0.875	0.466666667	0.875	0.873
12	120	2.00	40.2	0.0402	0.0146	0.5703125	0.36318408	0.5703125	0.5683125
13	130	2.17	35	0.035	0.0094	0.3671875	0.268571429	0.3671875	0.3651875
14	140	2.33	34	0.034	0.0084	0.328125	0.247058824	0.328125	0.326125
15	150	2.50	33	0.033	0.0074	0.2890625	0.224242424	0.2890625	0.2870625
16	160	2.67	31	0.031	0.0054	0.2109375	0.174193548	0.2109375	0.2089375

17	170	2.83	30.5	0.0305	0.0049	0.19140625	0.160655738	0.19140625	0.18940625
18	180	3.00	30	0.03	0.0044	0.171875	0.146666667	0.171875	0.169875
19	190	3.17	30	0.03	0.0044	0.171875	0.146666667	0.171875	0.169875
20	200	3.33	30	0.03	0.0044	0.171875	0.146666667	0.171875	0.169875
21	210	3.50	30	0.03	0.0044	0.171875	0.146666667	0.171875	0.169875
22	220	3.67	30	0.03	0.0044	0.171875	0.146666667	0.171875	0.169875
23	230	3.83	30	0.03	0.0044	0.171875	0.146666667	0.171875	0.169875
24	240	4.00	30	0.03	0.0044	0.171875	0.146666667	0.171875	0.169875

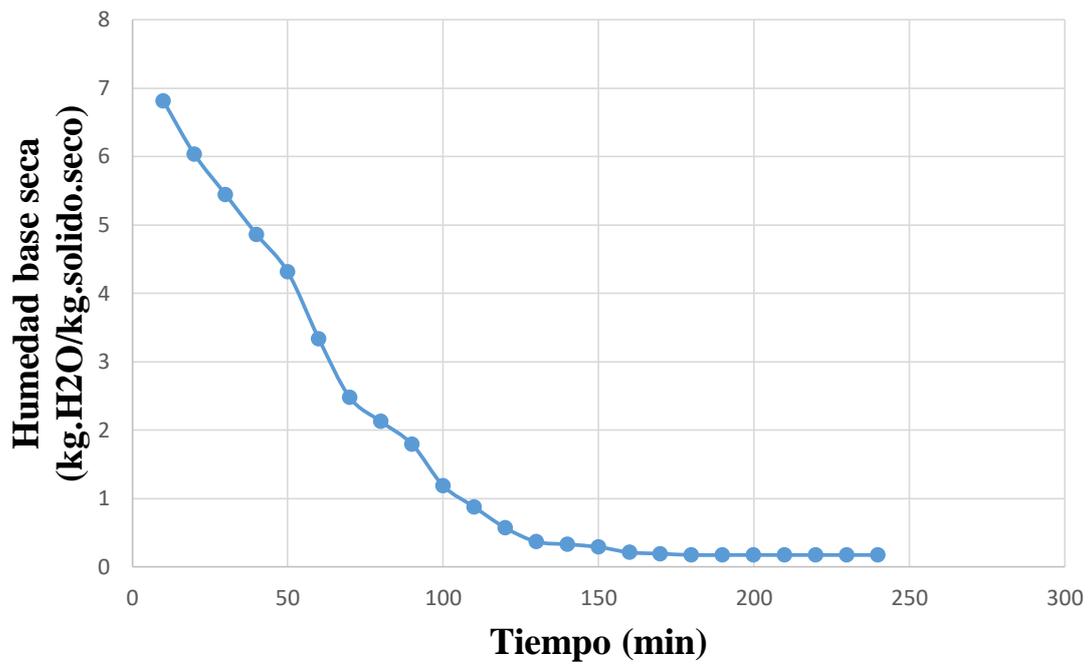
### Contenido de Humedad



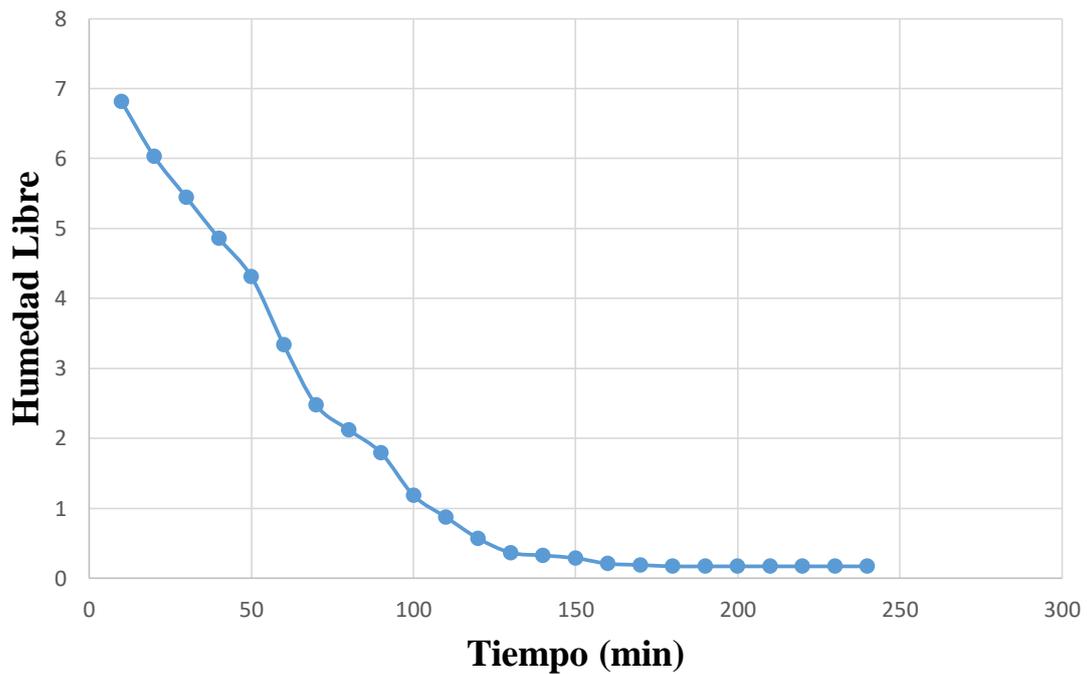
### Variación Temporal de la Humedad en Base Húmeda



### Variación Temporal de la Humedad en Base Seca



### Variación Temporal de la Humedad Libre



**CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE SECADO – ENSAYO 03**

**Área 0.1225**

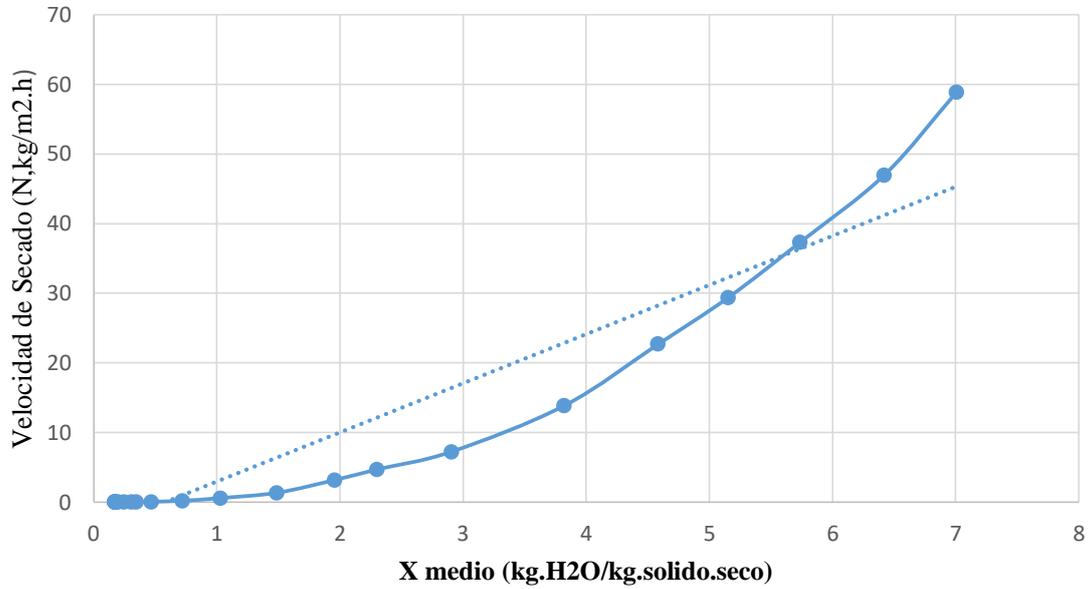
**X eq**

**0.002**

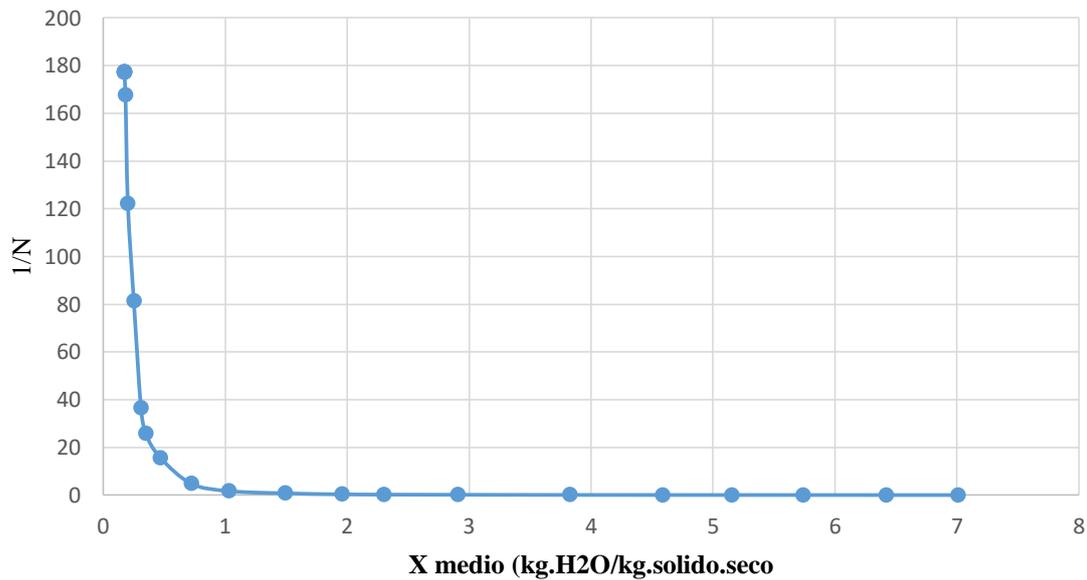
Tiempo		Humedad (X), kg.H2O/kg.solido.seco	Valor Medio (X), kg.de H2O/kg.solido.seco	X libre	$\Delta x$	$\Delta t$ (seg.)	N, (kg/m2.h)	1/N
Minutos	Horas							
0	0.00	7.203125						
10	0.17	6.8125	7.0078125	6.8105	5.9385	10	58.87930749	0.016983895
20	0.33	6.03125	6.421875	6.02925	5.171472222	10	46.98719323	0.021282395
30	0.50	5.4453125	5.73828125	5.4433125	4.598464015	10	37.33344629	0.026785633
40	0.67	4.859375	5.15234375	4.857375	4.028041667	10	29.36312296	0.034056323
50	0.83	4.3125	4.5859375	4.3105	3.498735294	10	22.70087916	0.044051157
60	1.00	3.3359375	3.82421875	3.3339375	2.564568131	10	13.87587653	0.072067519
70	1.17	2.4765625	2.90625	2.4745625	1.762202949	10	7.245900286	0.138009076
80	1.33	2.125	2.30078125	2.123	1.443	10	4.697265625	0.212889813
90	1.50	1.79296875	1.95898438	1.79096875	1.149010708	10	3.184626519	0.314008564
100	1.67	1.1875	1.49023438	1.1855	0.642642857	10	1.354963889	0.738027049
110	1.83	0.875	1.03125	0.873	0.406333333	10	0.59285689	1.686747707
120	2.00	0.5703125	0.72265625	0.5683125	0.20512842	10	0.209730242	4.768029591
130	2.17	0.3671875	0.46875	0.3651875	0.096616071	10	0.064075811	15.60651326
140	2.33	0.328125	0.34765625	0.326125	0.079066176	10	0.038890564	25.71317834
150	2.50	0.2890625	0.30859375	0.2870625	0.062820076	10	0.027427678	36.45952103
160	2.67	0.2109375	0.25	0.2089375	0.034743952	10	0.012289174	81.3724366

170	2.83	0.19140625	0.20117188	0.18940625	0.028750512	10	0.008183071	122.2035126
180	3.00	0.171875	0.18164063	0.169875	0.023208333	10	0.005964313	167.6639138
190	3.17	0.171875	0.171875	0.169875	0.023208333	10	0.005643651	177.1902726
200	3.33	0.171875	0.171875	0.169875	0.023208333	10	0.005643651	177.1902726
210	3.50	0.171875	0.171875	0.169875	0.023208333	10	0.005643651	177.1902726
220	3.67	0.171875	0.171875	0.169875	0.023208333	10	0.005643651	177.1902726
230	3.83	0.171875	0.171875	0.169875	0.023208333	10	0.005643651	177.1902726
240	4.00	0.171875	0.171875	0.169875	0.023208333	10	0.005643651	177.1902726

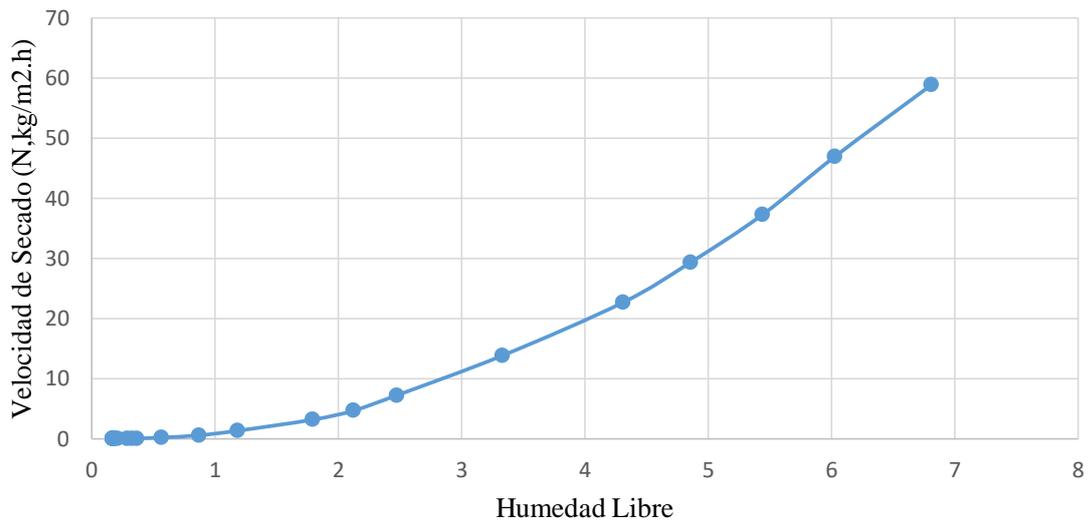
### Curva de velocidad de Secado en Funcion del Contenido de Humedad Media



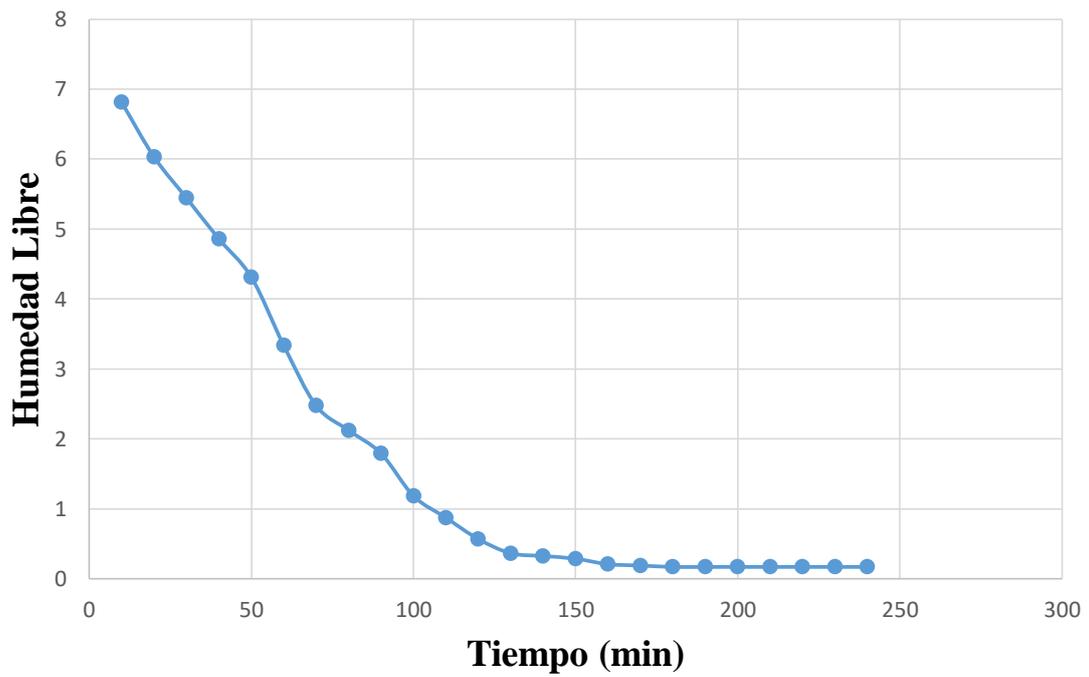
### Curva de la Inversa de la Velocidad en Funcion de la Humedad Media



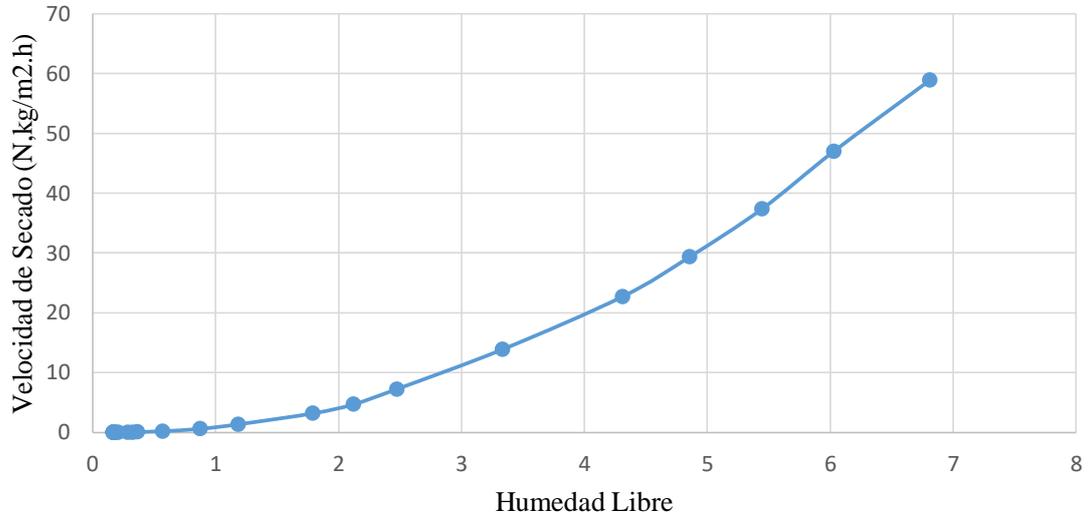
### Curva de velocidad de Secado en Funcion del Contenido de Humedad Libre



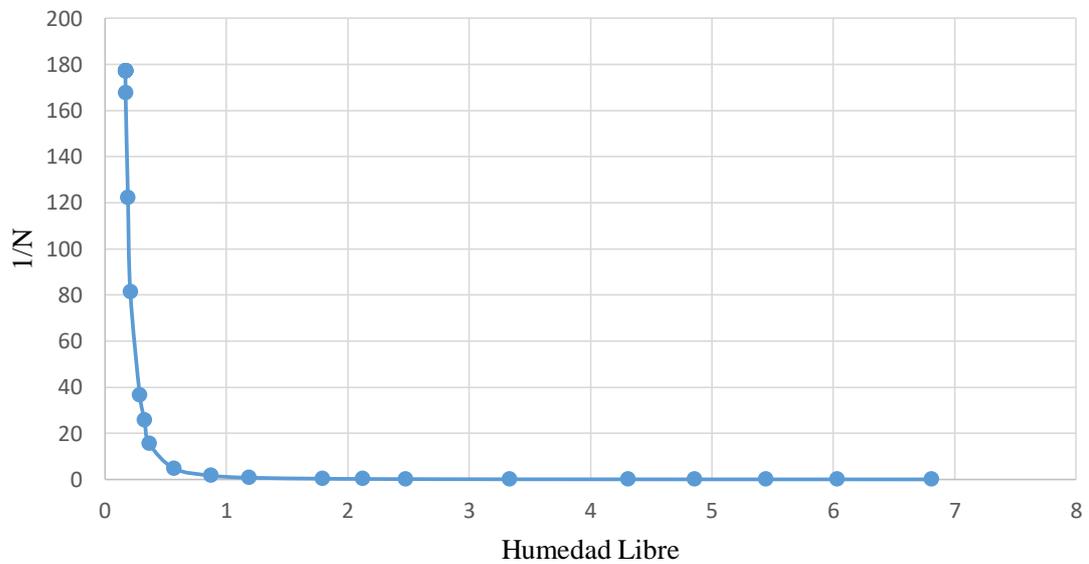
### Variación Temporal de la Humedad Libre



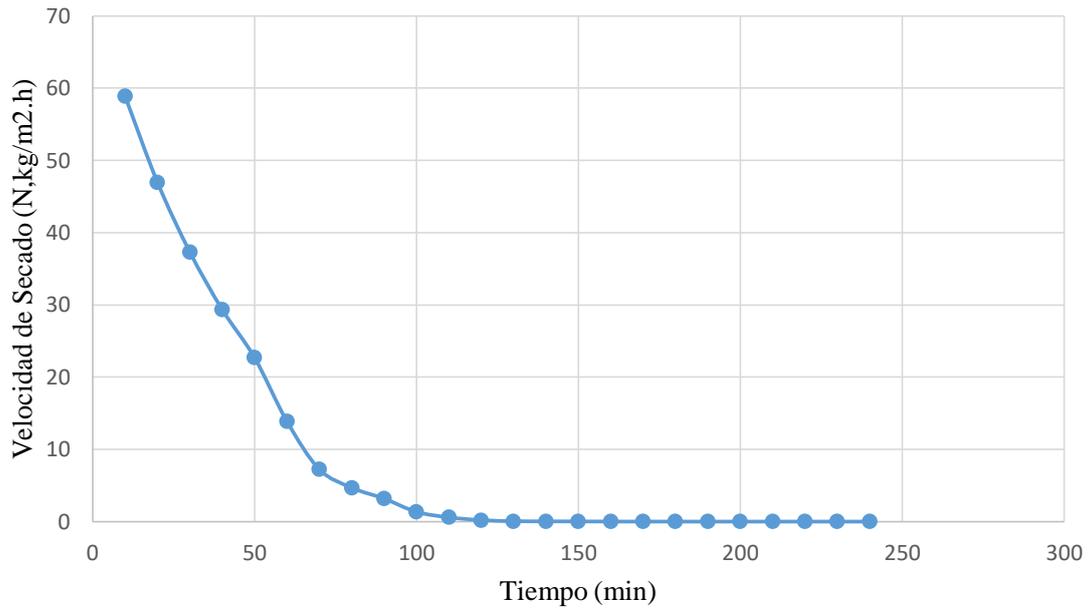
**Curva de velocidad de Secado en Funcion del Contenido de Humedad Libre**



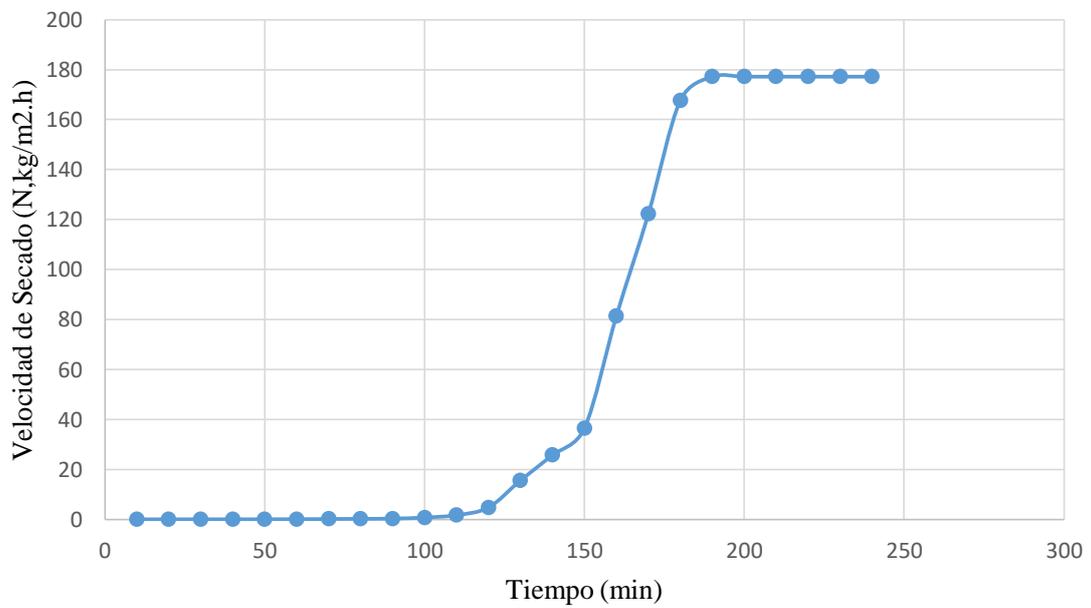
**Curva de la Inversa de la Velocidad en Funcion de la Humedad Libre**



### Variación Temporal de la Velocidad de Secado



### Variación Temporal de la Inversa de la Velocidad de Secado



## ANEXO N°04. ENSAYO N° 04

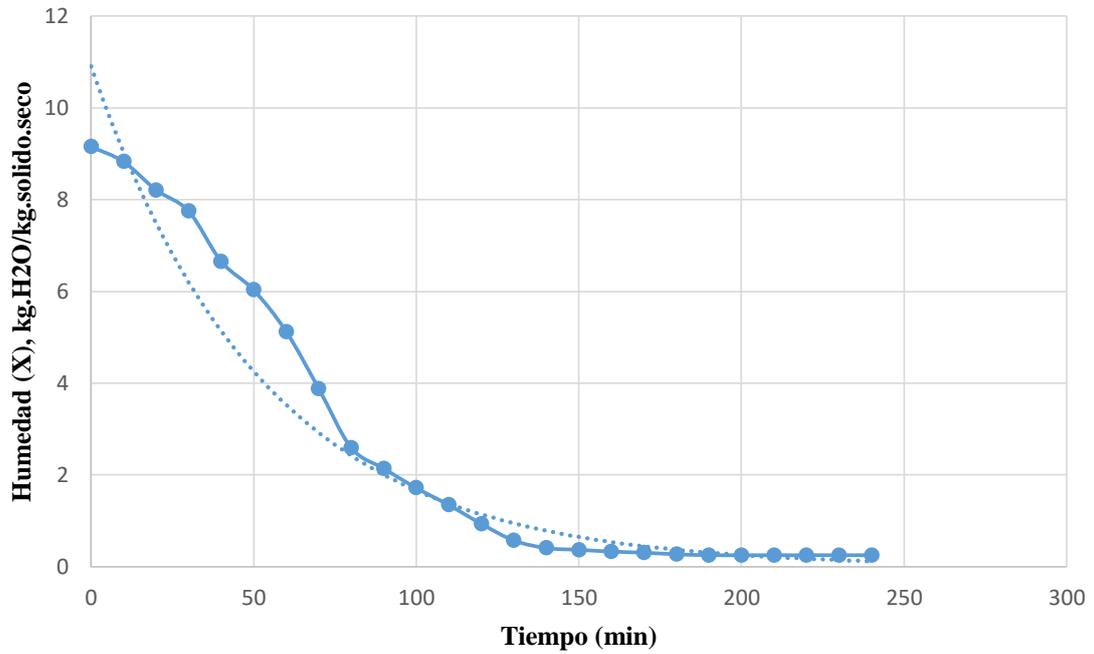
### CÁLCULO DE HUMEDADES – ENSAYO 4

<b>Masa sólido Seco</b>	<b>0.0256</b>
-------------------------	---------------

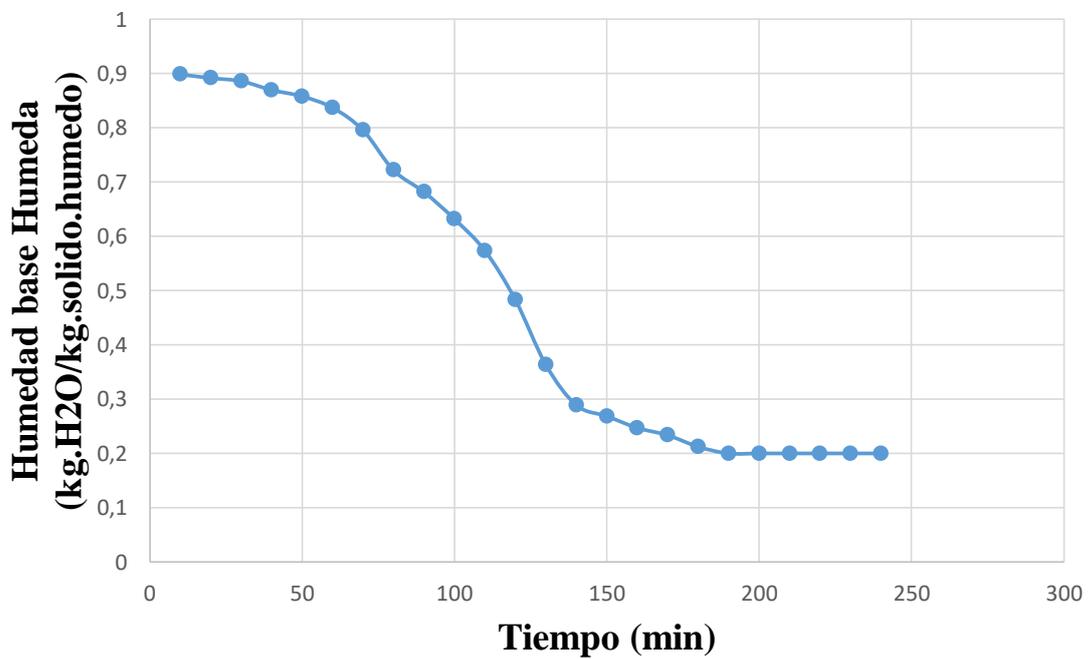
N°	Tiempo		Masa Húmeda	Sólido Húmedo (M. seca+H2O)	Humedad Total de H2O	Humedad (X), kg.H2O/kg.sólido.seco	Humedad base Húmeda (kg.H2O/kg.sólido.húmedo)	Humedad base seca (kg.H2O/kg.sólido.seco)	Humedad Libre (kg)
	Minutos	Horas							
0	0	0.00	260	0.26	0.2344	9.15625	0.901538462	9.15625	9.15425
1	10	0.17	251.6	0.2516	0.226	8.828125	0.898251192	8.828125	8.826125
2	20	0.33	235.8	0.2358	0.2102	8.2109375	0.891433418	8.2109375	8.2089375
3	30	0.50	224	0.224	0.1984	7.75	0.885714286	7.75	7.748
4	40	0.67	196	0.196	0.1704	6.65625	0.869387755	6.65625	6.65425
5	50	0.83	180	0.18	0.1544	6.03125	0.857777778	6.03125	6.02925
6	60	1.00	156.8	0.1568	0.1312	5.125	0.836734694	5.125	5.123
7	70	1.17	125	0.125	0.0994	3.8828125	0.7952	3.8828125	3.8808125
8	80	1.33	92	0.092	0.0664	2.59375	0.72173913	2.59375	2.59175
9	90	1.50	80.4	0.0804	0.0548	2.140625	0.68159204	2.140625	2.138625
10	100	1.67	69.5	0.0695	0.0439	1.71484375	0.631654676	1.71484375	1.71284375
11	110	1.83	60	0.06	0.0344	1.34375	0.573333333	1.34375	1.34175
12	120	2.00	49.5	0.0495	0.0239	0.93359375	0.482828283	0.93359375	0.93159375
13	130	2.17	40.2	0.0402	0.0146	0.5703125	0.36318408	0.5703125	0.5683125
14	140	2.33	36	0.036	0.0104	0.40625	0.288888889	0.40625	0.40425
15	150	2.50	35	0.035	0.0094	0.3671875	0.268571429	0.3671875	0.3651875
16	160	2.67	34	0.034	0.0084	0.328125	0.247058824	0.328125	0.326125

17	170	2.83	33.4	0.0334	0.0078	0.3046875	0.233532934	0.3046875	0.3026875
18	180	3.00	32.5	0.0325	0.0069	0.26953125	0.212307692	0.26953125	0.26753125
19	190	3.17	32	0.032	0.0064	0.25	0.2	0.25	0.248
20	200	3.33	32	0.032	0.0064	0.25	0.2	0.25	0.248
21	210	3.50	32	0.032	0.0064	0.25	0.2	0.25	0.248
22	220	3.67	32	0.032	0.0064	0.25	0.2	0.25	0.248
23	230	3.83	32	0.032	0.0064	0.25	0.2	0.25	0.248
24	240	4.00	32	0.032	0.0064	0.25	0.2	0.25	0.248

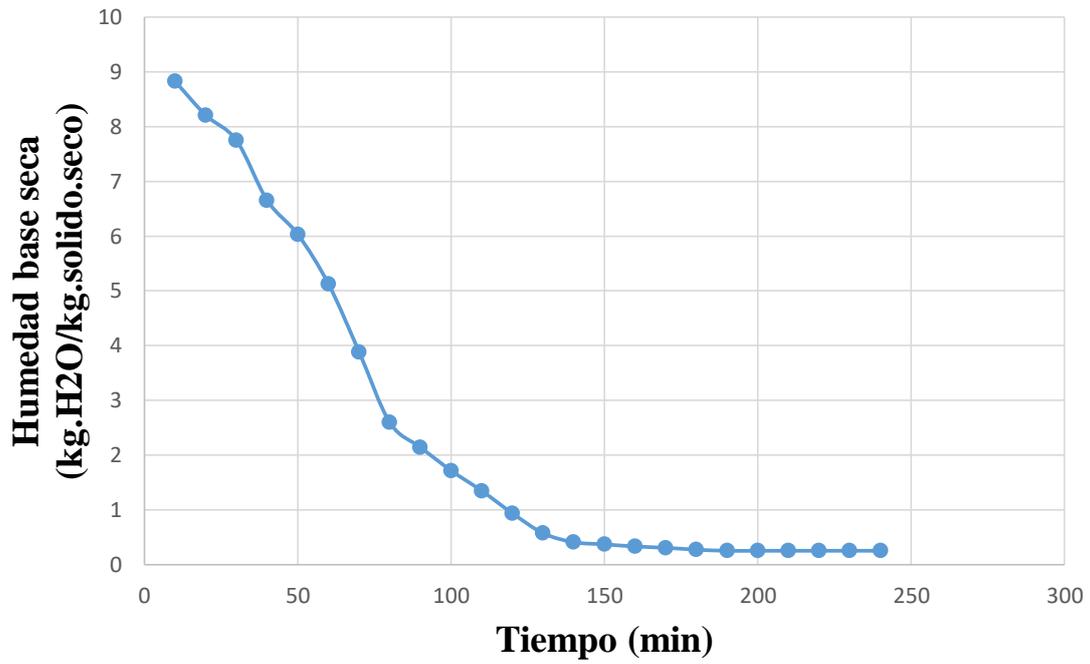
### Contenido de Humedad



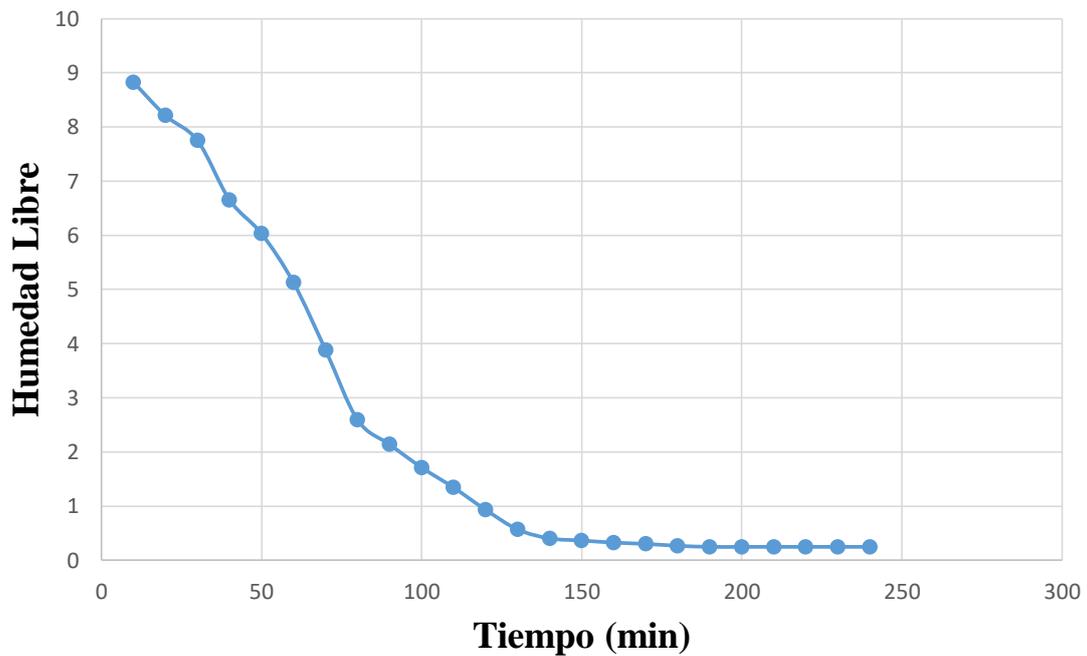
### Variación Temporal de la Humedad en Base Húmeda



### Variación Temporal de la Humedad en Base Seca



### Variación Temporal de la Humedad Libre



## CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE SECADO – ENSAYO 4

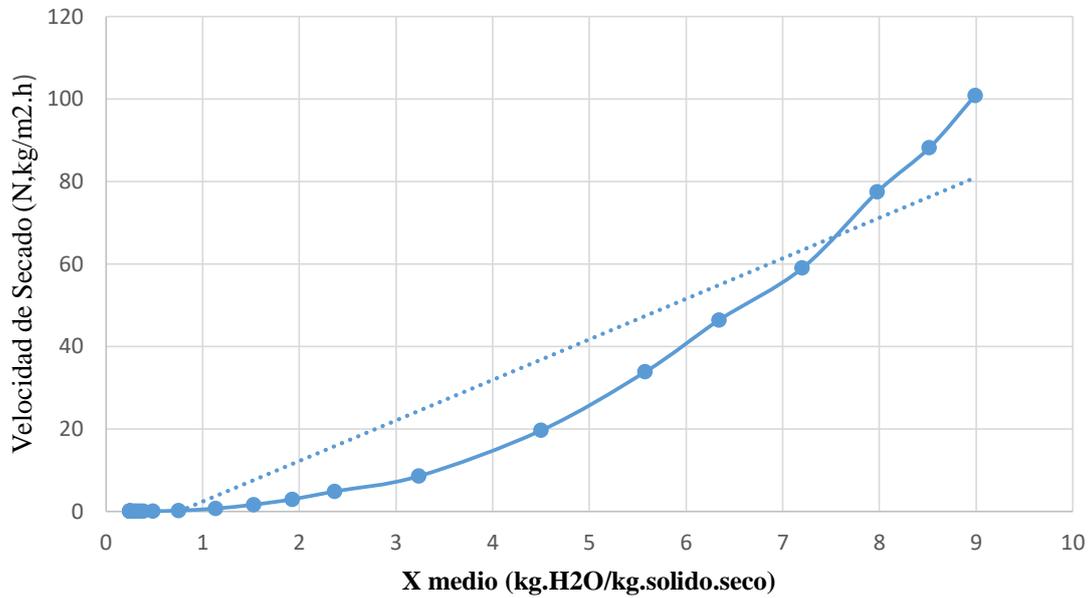
**Área**    **0.1225**

**X eq**        **0.002**

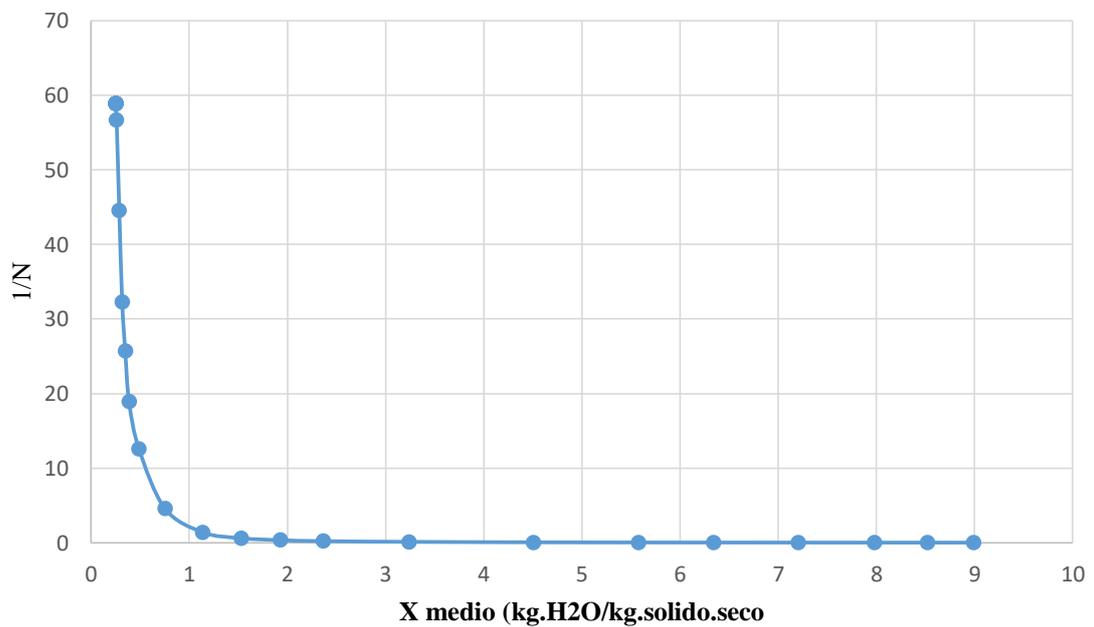
Tiempo		Humedad (X), kg.H2O/kg.solido.seco	Valor Medio (X), kg.de H2O/kg.solido.seco	X libre	$\Delta x$	$\Delta t$ (seg.)	N, (kg/m2.h)	1/N
Minutos	Horas							
0	0.00	9.15625						
10	0.17	8.828125	8.9921875	8.826125	7.927873808	10	100.8615277	0.009914583
20	0.33	8.2109375	8.51953125	8.2089375	7.317504082	10	88.20275141	0.011337515
30	0.50	7.75	7.98046875	7.748	6.862285714	10	77.48197043	0.012906228
40	0.67	6.65625	7.203125	6.65425	5.784862245	10	58.95456403	0.016962215
50	0.83	6.03125	6.34375	6.02925	5.171472222	10	46.41557288	0.021544493
60	1.00	5.125	5.578125	5.123	4.286265306	10	33.82756602	0.029561689
70	1.17	3.8828125	4.50390625	3.8808125	3.0856125	10	19.66229403	0.050858765
80	1.33	2.59375	3.23828125	2.59175	1.87001087	10	8.567658653	0.116718002
90	1.50	2.140625	2.3671875	2.138625	1.45703296	10	4.879839007	0.204924793
100	1.67	1.71484375	1.92773438	1.71284375	1.081189074	10	2.948847401	0.339115547
110	1.83	1.34375	1.52929688	1.34175	0.768416667	10	1.662616309	0.601461681
120	2.00	0.93359375	1.13867188	0.93159375	0.448765467	10	0.722972009	1.383179414
130	2.17	0.5703125	0.75195313	0.5683125	0.20512842	10	0.218232819	4.582262204
140	2.33	0.40625	0.48828125	0.40425	0.115361111	10	0.079695342	12.54778483
150	2.50	0.3671875	0.38671875	0.3651875	0.096616071	10	0.052862544	18.91698577
160	2.67	0.328125	0.34765625	0.326125	0.079066176	10	0.038890564	25.71317834

170	2.83	0.3046875	0.31640625	0.3026875	0.069154566	10	0.030957749	32.30209038
180	3.00	0.26953125	0.28710938	0.26753125	0.055223558	10	0.022432373	44.57843165
190	3.17	0.25	0.25976563	0.248	0.048	10	0.017641129	56.68571429
200	3.33	0.25	0.25	0.248	0.048	10	0.016977929	58.9
210	3.50	0.25	0.25	0.248	0.048	10	0.016977929	58.9
220	3.67	0.25	0.25	0.248	0.048	10	0.016977929	58.9
230	3.83	0.25	0.25	0.248	0.048	10	0.016977929	58.9
240	4.00	0.25	0.25	0.248	0.048	10	0.016977929	58.9

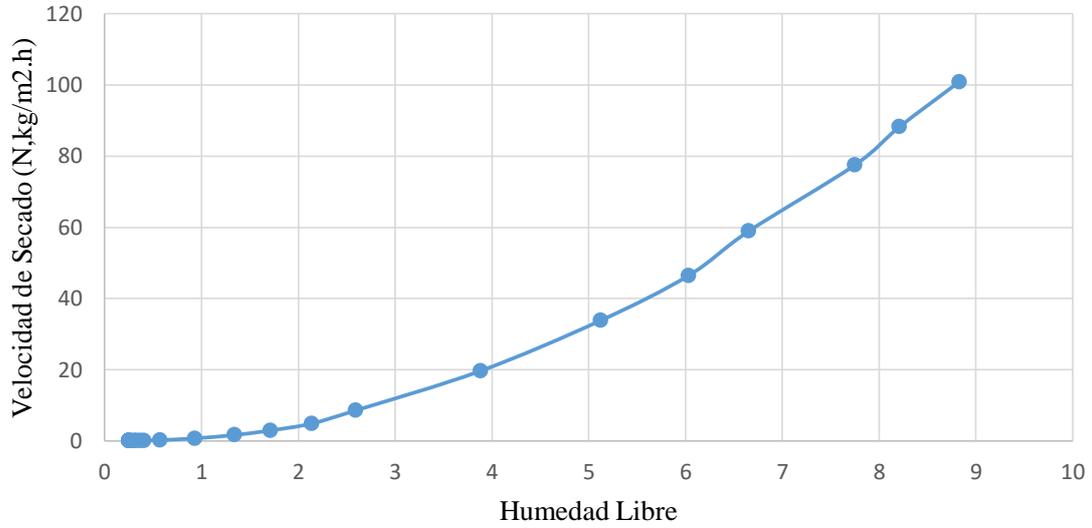
### Curva de velocidad de Secado en Funcion del Contenido de Humedad Media



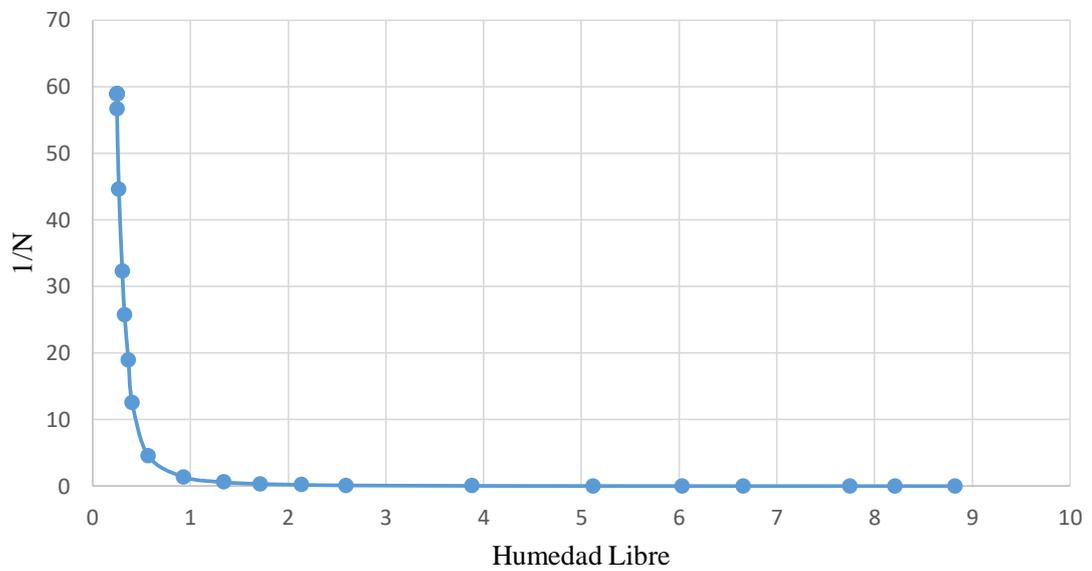
### Curva de la Inversa de la Velocidad en Funcion de la Humedad Media



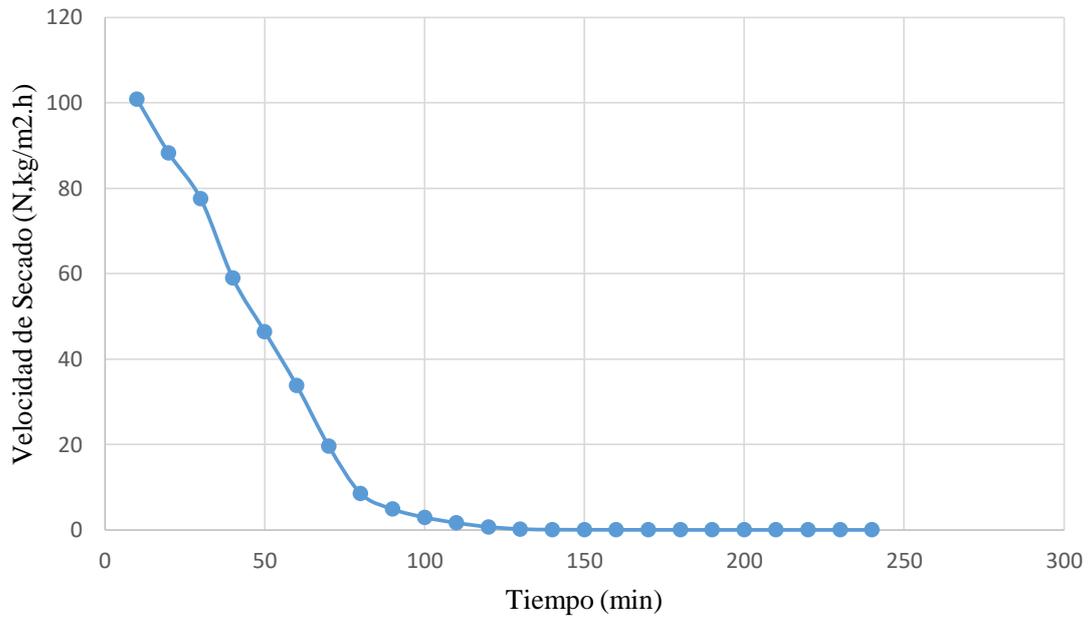
### Curva de velocidad de Secado en Funcion del Contenido de Humedad Libre



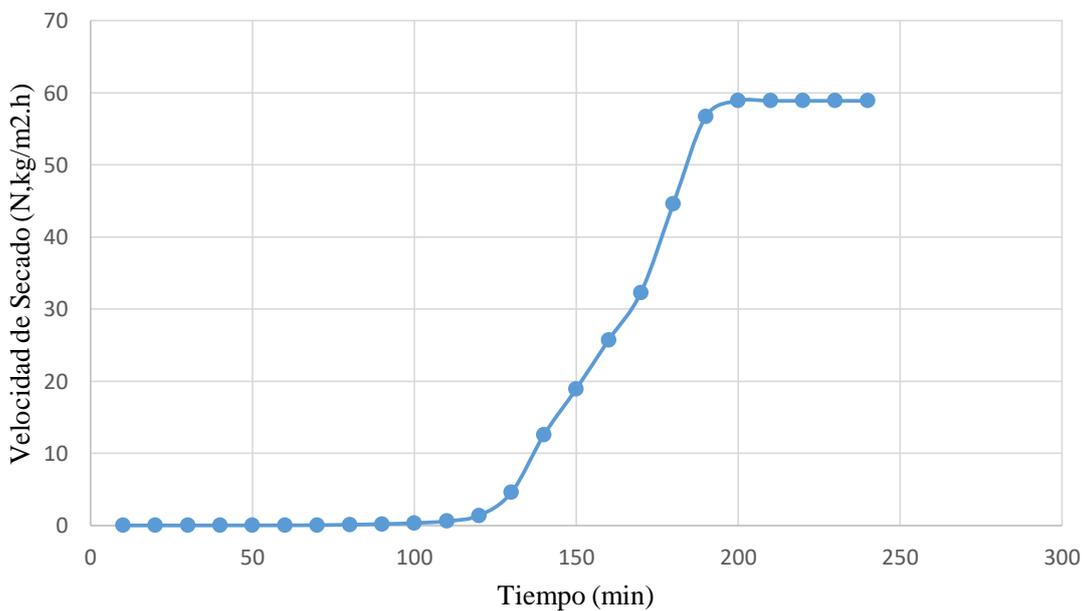
### Curva de la Inversa de la Velocidad en Funcion de la Humedad Libre



### Variación Temporal de la Vwlocidad de Secado



### Variación Temporal de la Inversa de la Velocidad de Secado



## ANEXO N° 05. ENSAYO N° 05

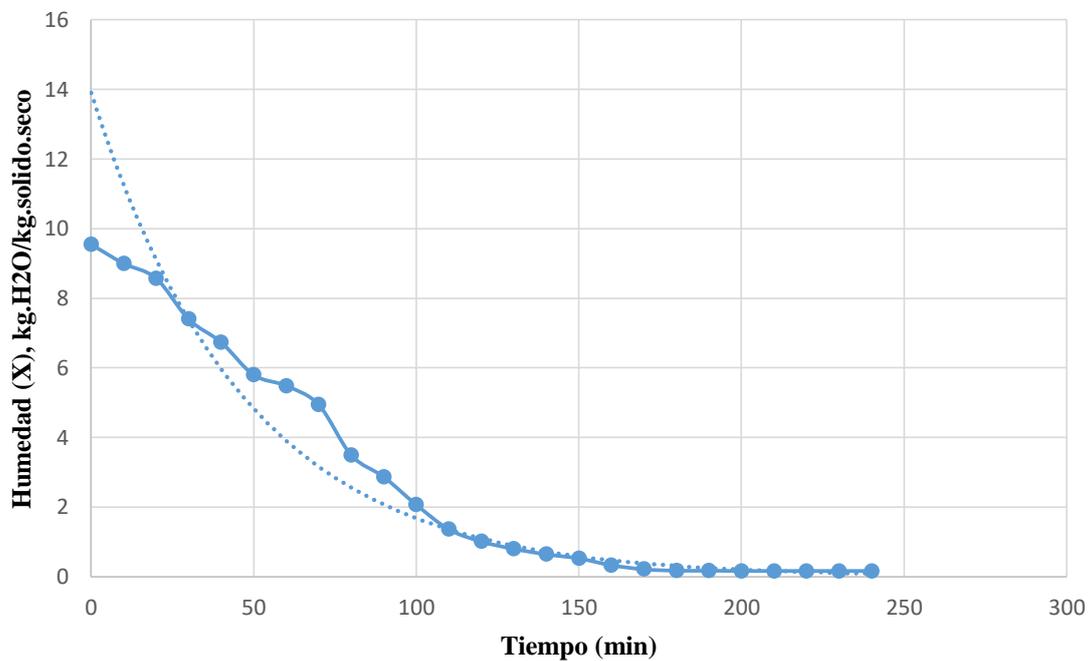
### CÁLCULO DE HUMEDADES- ENSAYO 5

<b>Masa sólido Seco</b>	<b>0.0256</b>
-------------------------	---------------

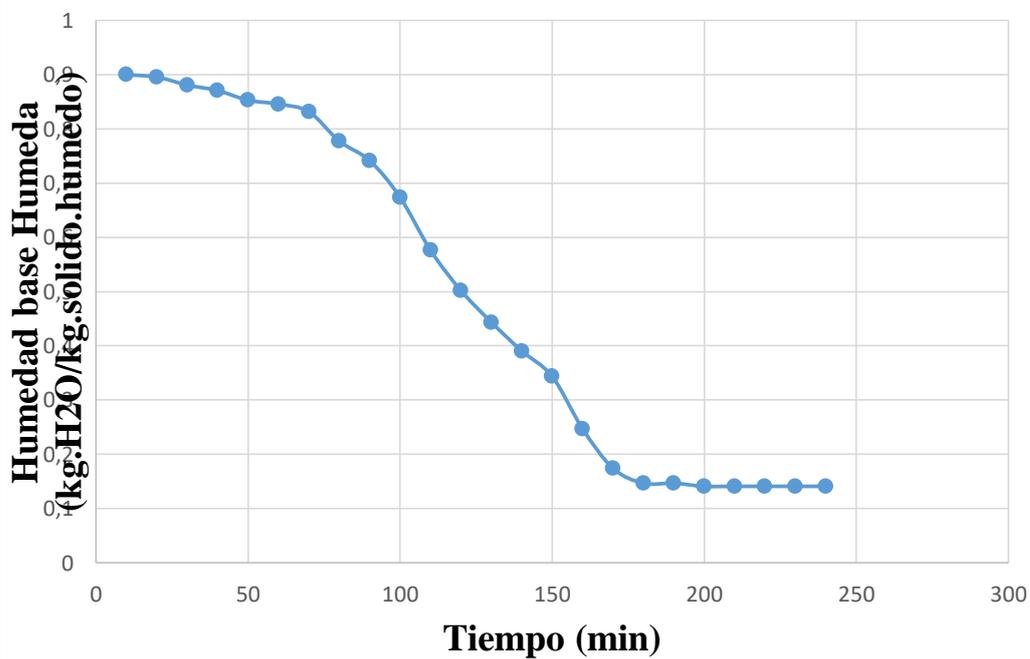
N°	Tiempo		Masa Húmeda	Sólido Húmedo (M. seca+H2O)	Humedad Total de H2O	Humedad (X), kg.H2O/kg.sólido.seco	Humedad base Húmeda (kg.H2O/kg.sólido.húmedo)	Humedad base seca (kg.H2O/kg.sólido.seco)	Humedad Libre (kg)
	Minutos	Horas							
0	0	0.00	270	0.27	0.2444	9.546875	0.905185185	9.546875	9.544875
1	10	0.17	256	0.256	0.2304	9	0.9	9	8.998
2	20	0.33	245	0.245	0.2194	8.5703125	0.895510204	8.5703125	8.5683125
3	30	0.50	215	0.215	0.1894	7.3984375	0.880930233	7.3984375	7.3964375
4	40	0.67	198	0.198	0.1724	6.734375	0.870707071	6.734375	6.732375
5	50	0.83	174	0.174	0.1484	5.796875	0.852873563	5.796875	5.794875
6	60	1.00	166	0.166	0.1404	5.484375	0.845783133	5.484375	5.482375
7	70	1.17	152	0.152	0.1264	4.9375	0.831578947	4.9375	4.9355
8	80	1.33	115	0.115	0.0894	3.4921875	0.777391304	3.4921875	3.4901875
9	90	1.50	99	0.099	0.0734	2.8671875	0.741414141	2.8671875	2.8651875
10	100	1.67	78.5	0.0785	0.0529	2.06640625	0.67388535	2.06640625	2.06440625
11	110	1.83	60.4	0.0604	0.0348	1.359375	0.57615894	1.359375	1.357375
12	120	2.00	51.4	0.0514	0.0258	1.0078125	0.501945525	1.0078125	1.0058125
13	130	2.17	46	0.046	0.0204	0.796875	0.443478261	0.796875	0.794875
14	140	2.33	42	0.042	0.0164	0.640625	0.39047619	0.640625	0.638625
15	150	2.50	39	0.039	0.0134	0.5234375	0.343589744	0.5234375	0.5214375
16	160	2.67	34	0.034	0.0084	0.328125	0.247058824	0.328125	0.326125

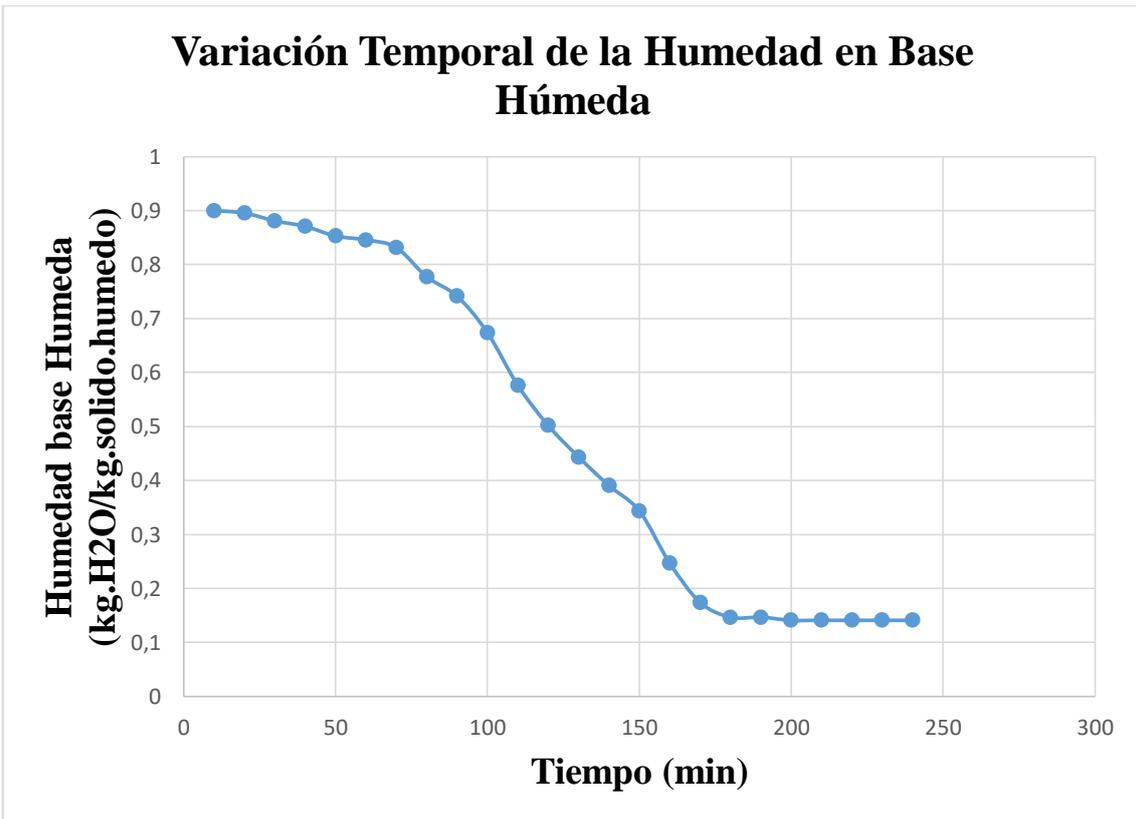
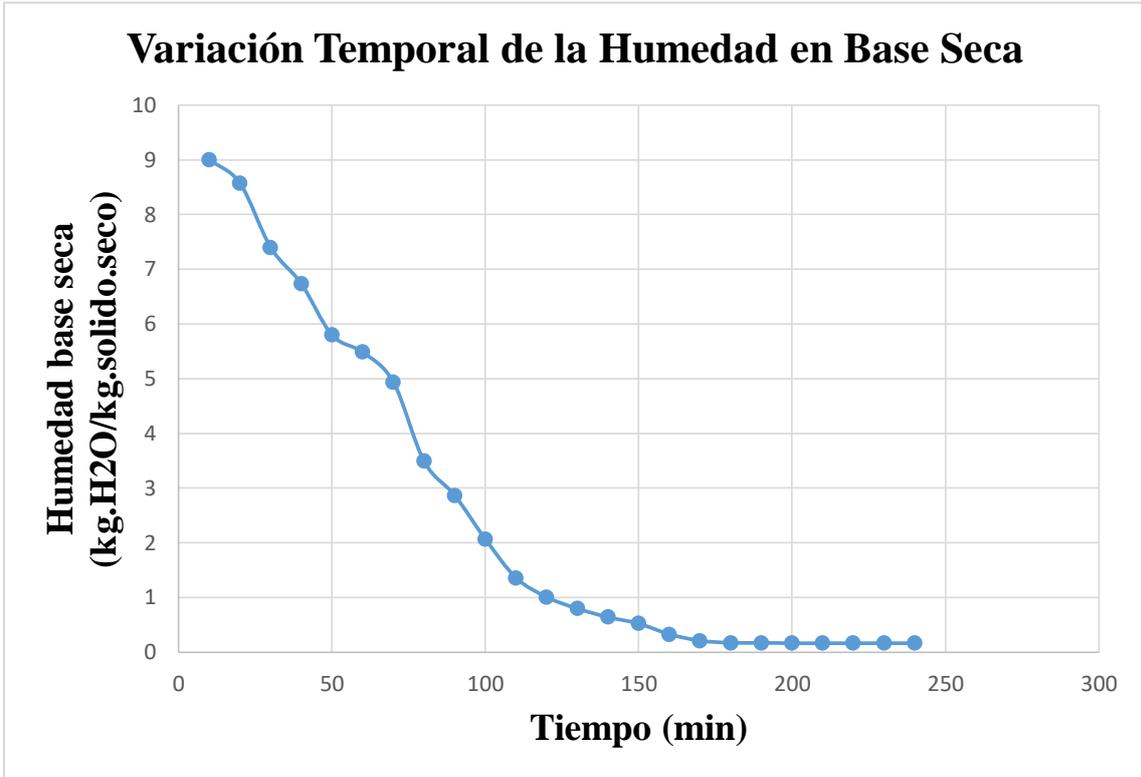
17	170	2.83	31	0.031	0.0054	0.2109375	0.174193548	0.2109375	0.2089375
18	180	3.00	30	0.03	0.0044	0.171875	0.146666667	0.171875	0.169875
19	190	3.17	30	0.03	0.0044	0.171875	0.146666667	0.171875	0.169875
20	200	3.33	29.8	0.0298	0.0042	0.1640625	0.140939597	0.1640625	0.1620625
21	210	3.50	29.8	0.0298	0.0042	0.1640625	0.140939597	0.1640625	0.1620625
22	220	3.67	29.8	0.0298	0.0042	0.1640625	0.140939597	0.1640625	0.1620625
23	230	3.83	29.8	0.0298	0.0042	0.1640625	0.140939597	0.1640625	0.1620625
24	240	4.00	29.8	0.0298	0.0042	0.1640625	0.140939597	0.1640625	0.1620625

### Contenido de Humedad

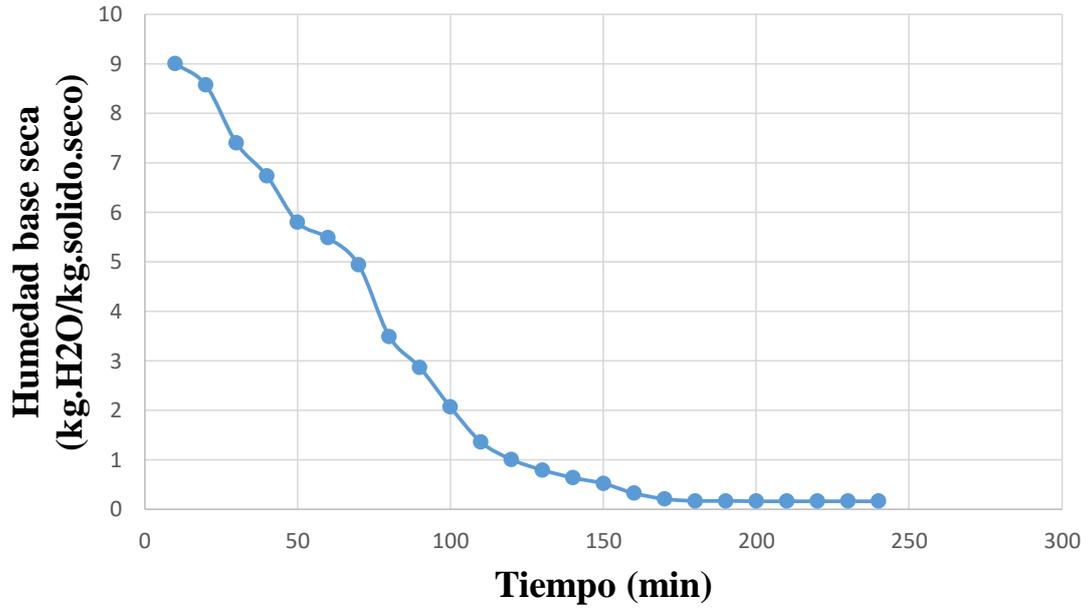


### Variación Temporal de la Humedad en Base Húmeda

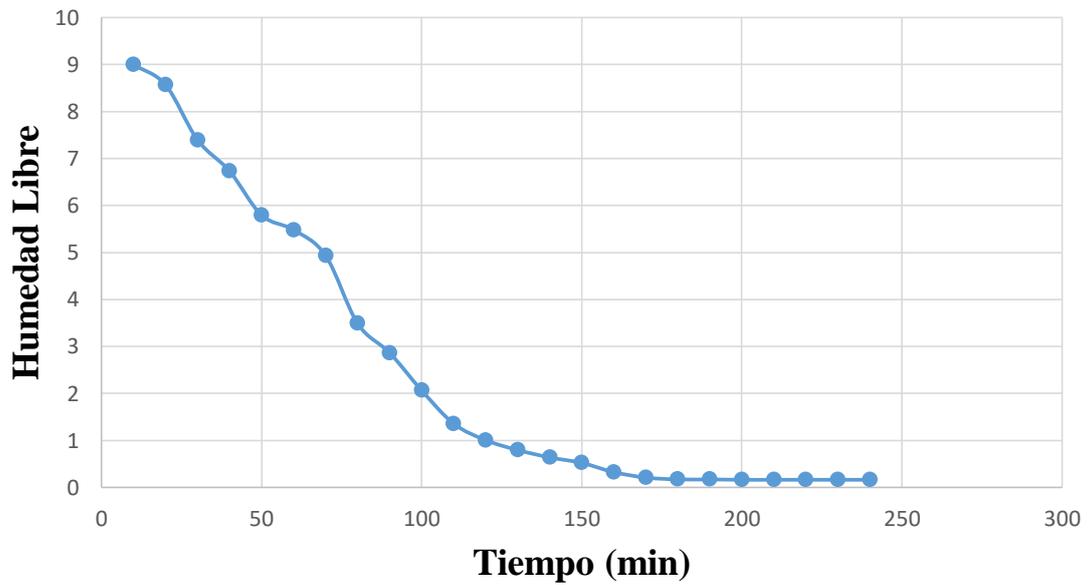




### Variación Temporal de la Humedad en Base Seca



### Variación Temporal de la Humedad Libre



## CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE SECADO – ENSAYO 5

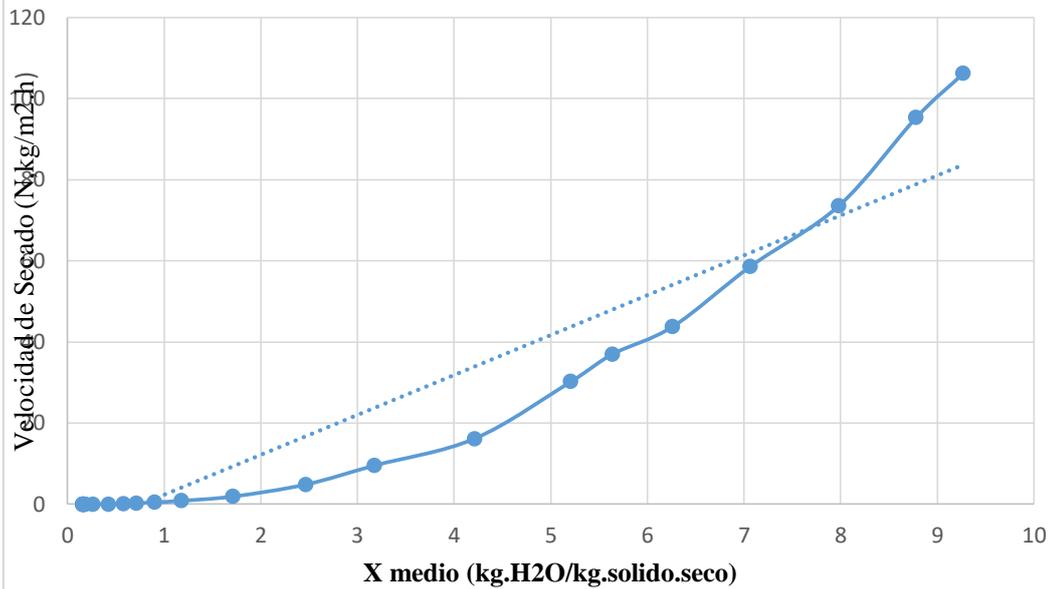
**Área**   **0.1225**

**X eq**   **0.002**

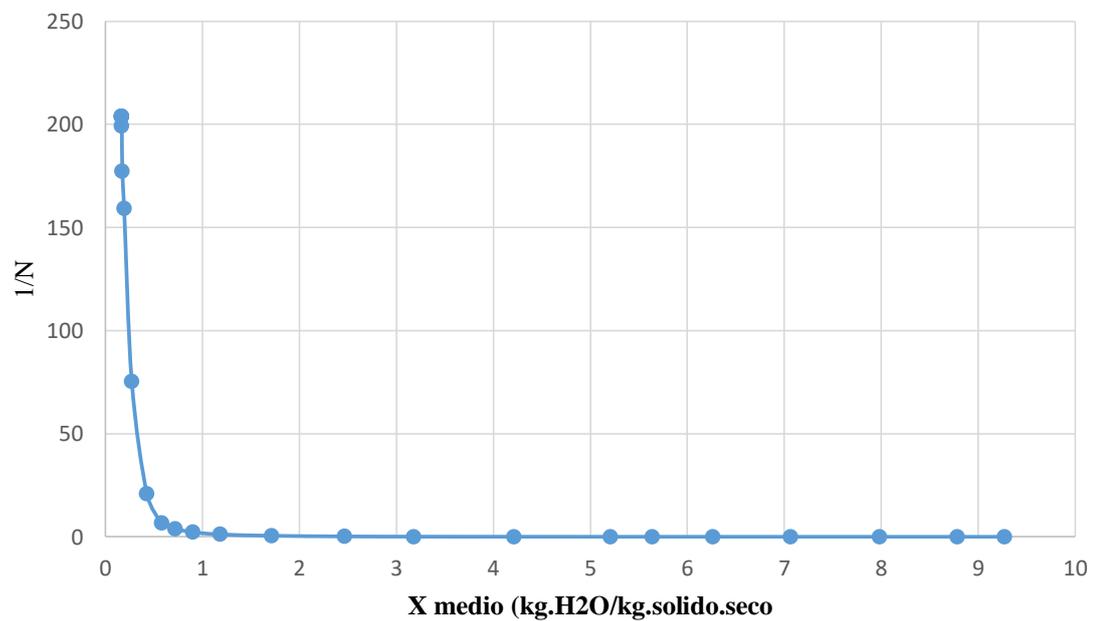
Tiempo		Humedad (X), kg.H2O/kg.solido.seco	Valor Medio (X), kg.de H2O/kg.solido.seco	X libre	$\Delta x$	$\Delta t$ (seg.)	N, (kg/m2.h)	1/N
Minutos	Horas							
0	0.00	9.546875						
10	0.17	9	9.2734375	8.998	8.098	10	106.2482978	0.009411915
20	0.33	8.5703125	8.78515625	8.5683125	7.672802296	10	95.36894036	0.010485594
30	0.50	7.3984375	7.984375	7.3964375	6.515507267	10	73.60250897	0.013586493
40	0.67	6.734375	7.06640625	6.732375	5.861667929	10	58.60346193	0.017063838
50	0.83	5.796875	6.265625	5.794875	4.942001437	10	43.80974498	0.022825972
60	1.00	5.484375	5.640625	5.482375	4.636591867	10	37.00237125	0.027025295
70	1.17	4.9375	5.2109375	4.9355	4.103921053	10	30.25647441	0.033050777
80	1.33	3.4921875	4.21484375	3.4901875	2.712796196	10	16.1771535	0.061815572
90	1.50	2.8671875	3.1796875	2.8651875	2.123773359	10	9.554238259	0.104665592
100	1.67	2.06640625	2.46679688	2.06440625	1.3905209	10	4.853045572	0.206056173
110	1.83	1.359375	1.71289063	1.357375	0.78121606	10	1.893233821	0.528196776
120	2.00	1.0078125	1.18359375	1.0058125	0.503866975	10	0.843765991	1.185162724
130	2.17	0.796875	0.90234375	0.794875	0.351396739	10	0.448614391	2.229085872
140	2.33	0.640625	0.71875	0.638625	0.24814881	10	0.252344308	3.962839535
150	2.50	0.5234375	0.58203125	0.5214375	0.177847756	10	0.14645296	6.828131036
160	2.67	0.328125	0.42578125	0.326125	0.079066176	10	0.047630016	20.99516397
170	2.83	0.2109375	0.26953125	0.2089375	0.034743952	10	0.013249265	75.47588323

180	3.00	0.171875	0.19140625	0.169875	0.023208333	10	0.006284975	159.1096325
190	3.17	0.171875	0.171875	0.169875	0.023208333	10	0.005643651	177.1902726
200	3.33	0.1640625	0.16796875	0.1620625	0.021122903	10	0.00501979	199.2115215
210	3.50	0.1640625	0.1640625	0.1620625	0.021122903	10	0.004903051	203.9546529
220	3.67	0.1640625	0.1640625	0.1620625	0.021122903	10	0.004903051	203.9546529
230	3.83	0.1640625	0.1640625	0.1620625	0.021122903	10	0.004903051	203.9546529
240	4.00	0.1640625	0.1640625	0.1620625	0.021122903	10	0.004903051	203.9546529

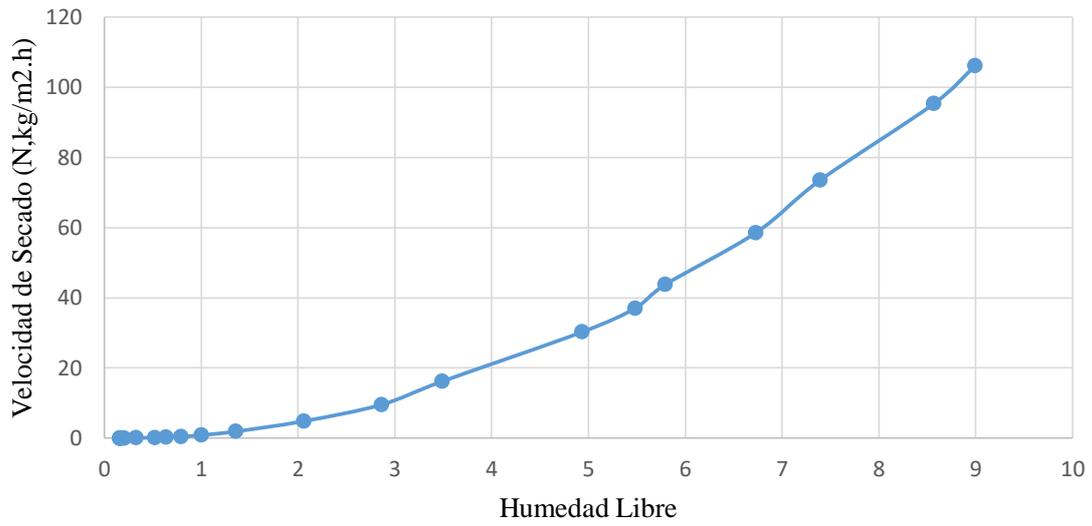
### Curva de velocidad de Secado en Funcion del Contenido de Humedad Media



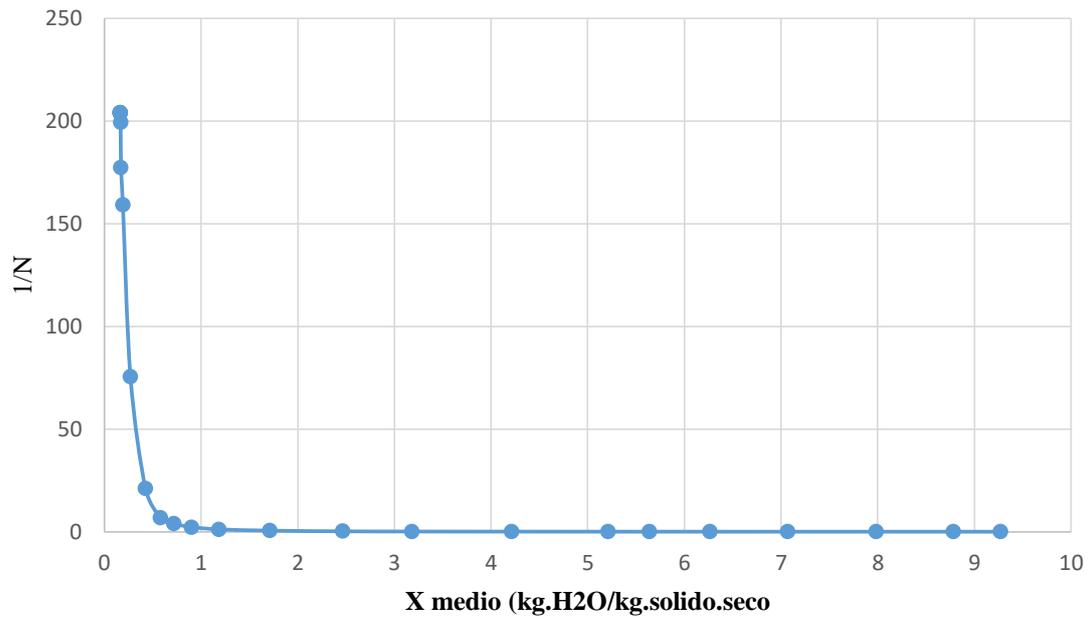
### Curva de la Inversa de la Velocidad en Funcion de la Humedad Media



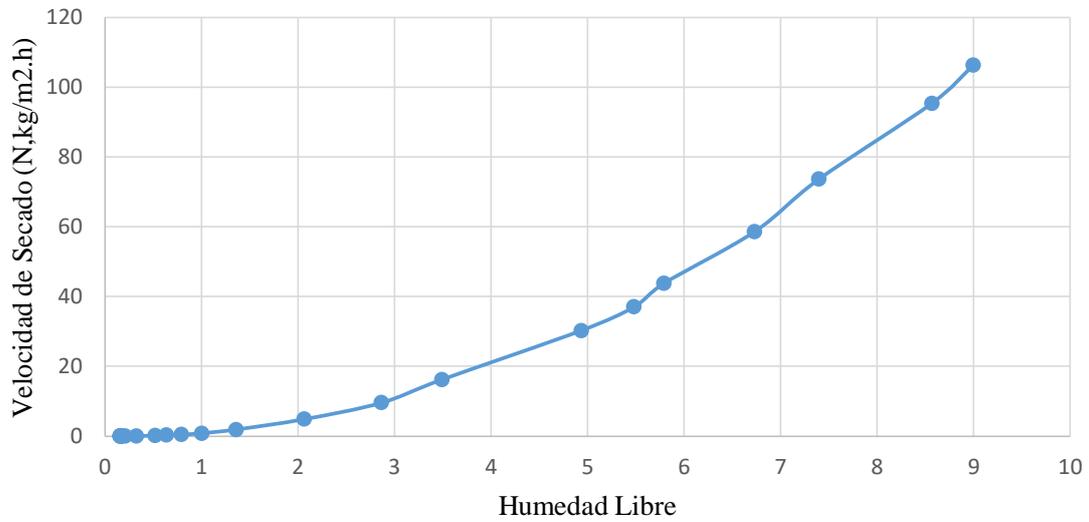
### Curva de velocidad de Secado en Funcion del Contenido de Humedad Libre



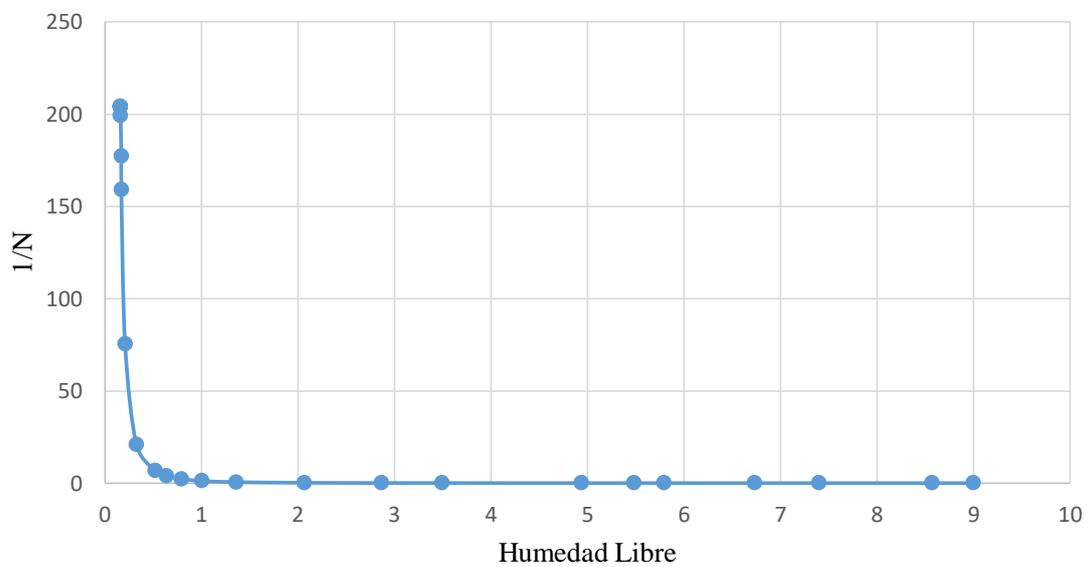
### Curva de la Inversa de la Velocidad en Funcion de la Humedad Media



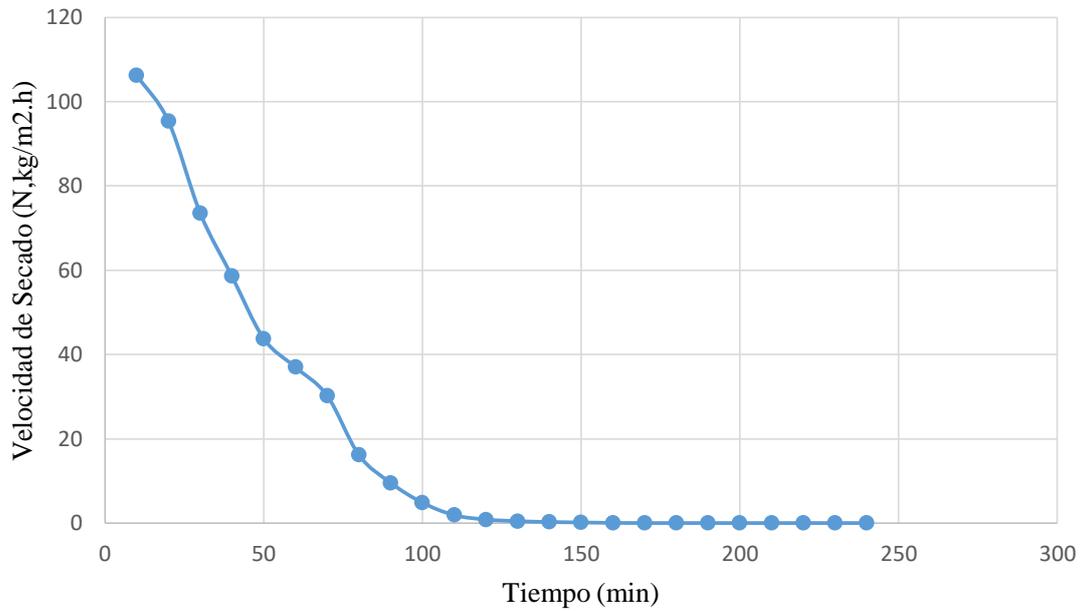
### Curva de velocidad de Secado en Funcion del Contenido de Humedad Libre



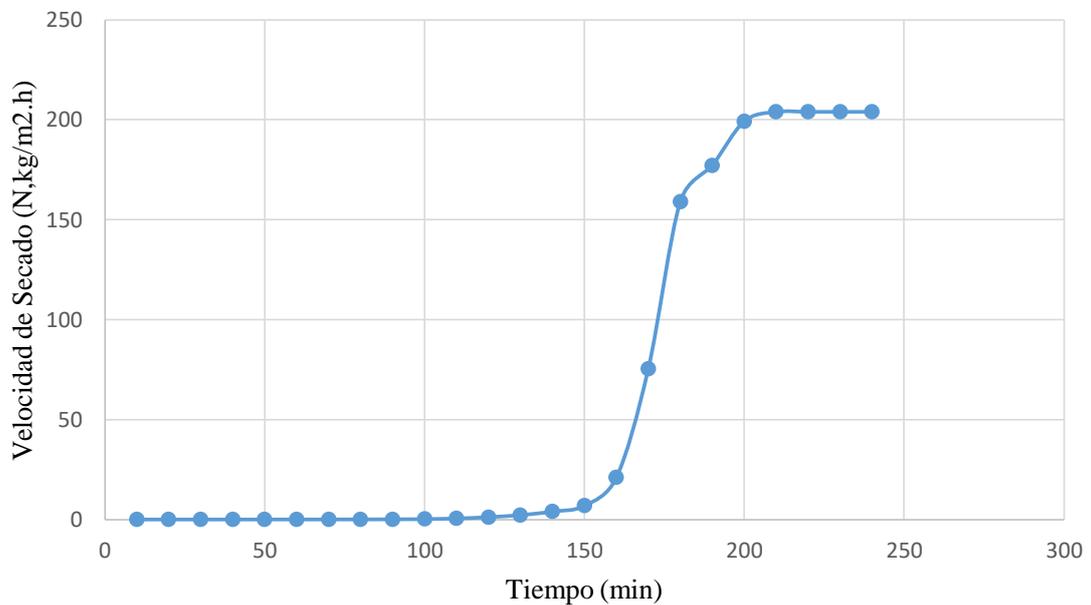
### Curva de la Inversa de la Velocidad en Funcion de la Humedad Libre



### Variación Temporal de la Vwlocidad de Secado

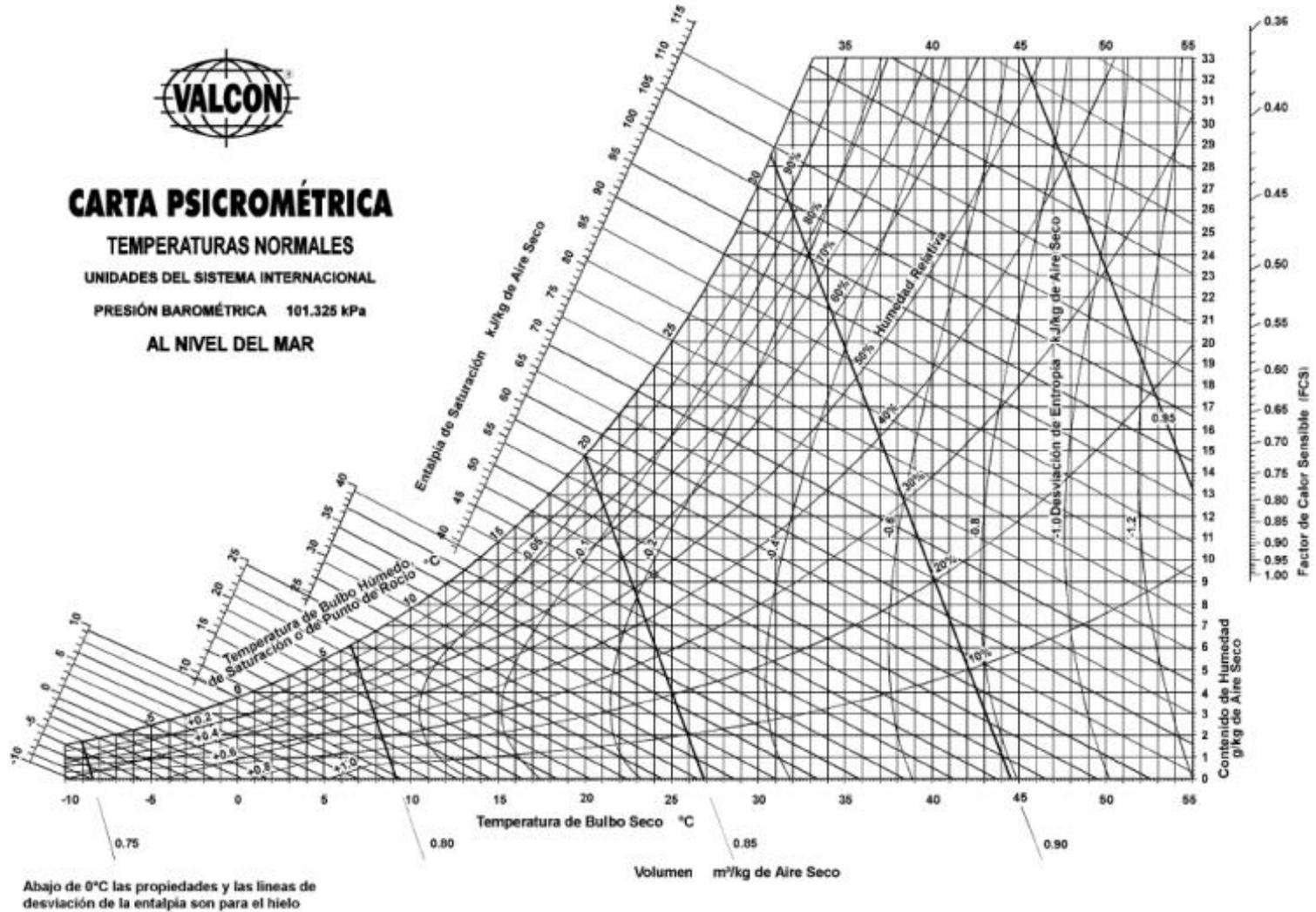


### Variación Temporal de la Inversa de la Velocidad de Secado

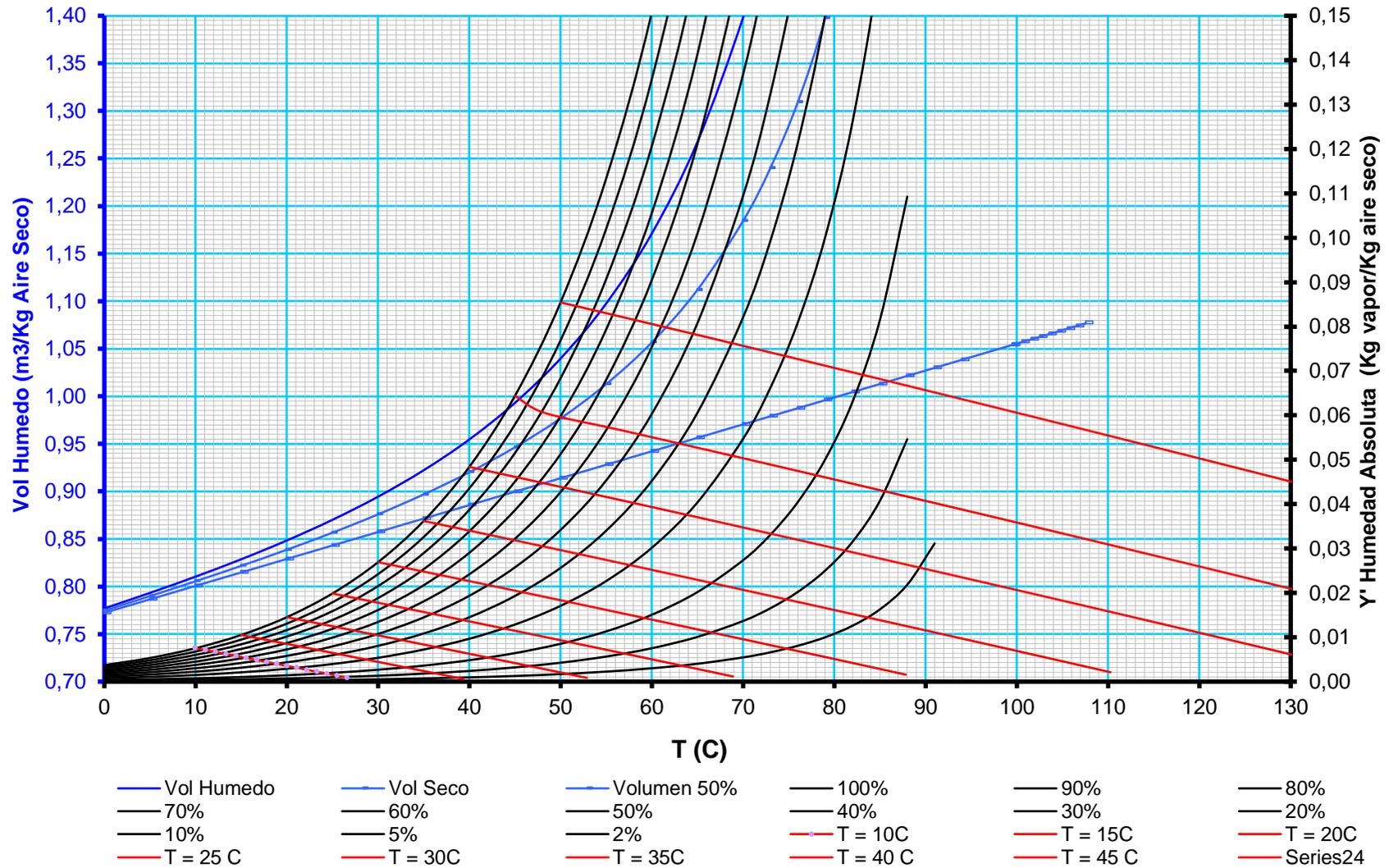


ANEXO N° 06. Carta psicrométrica

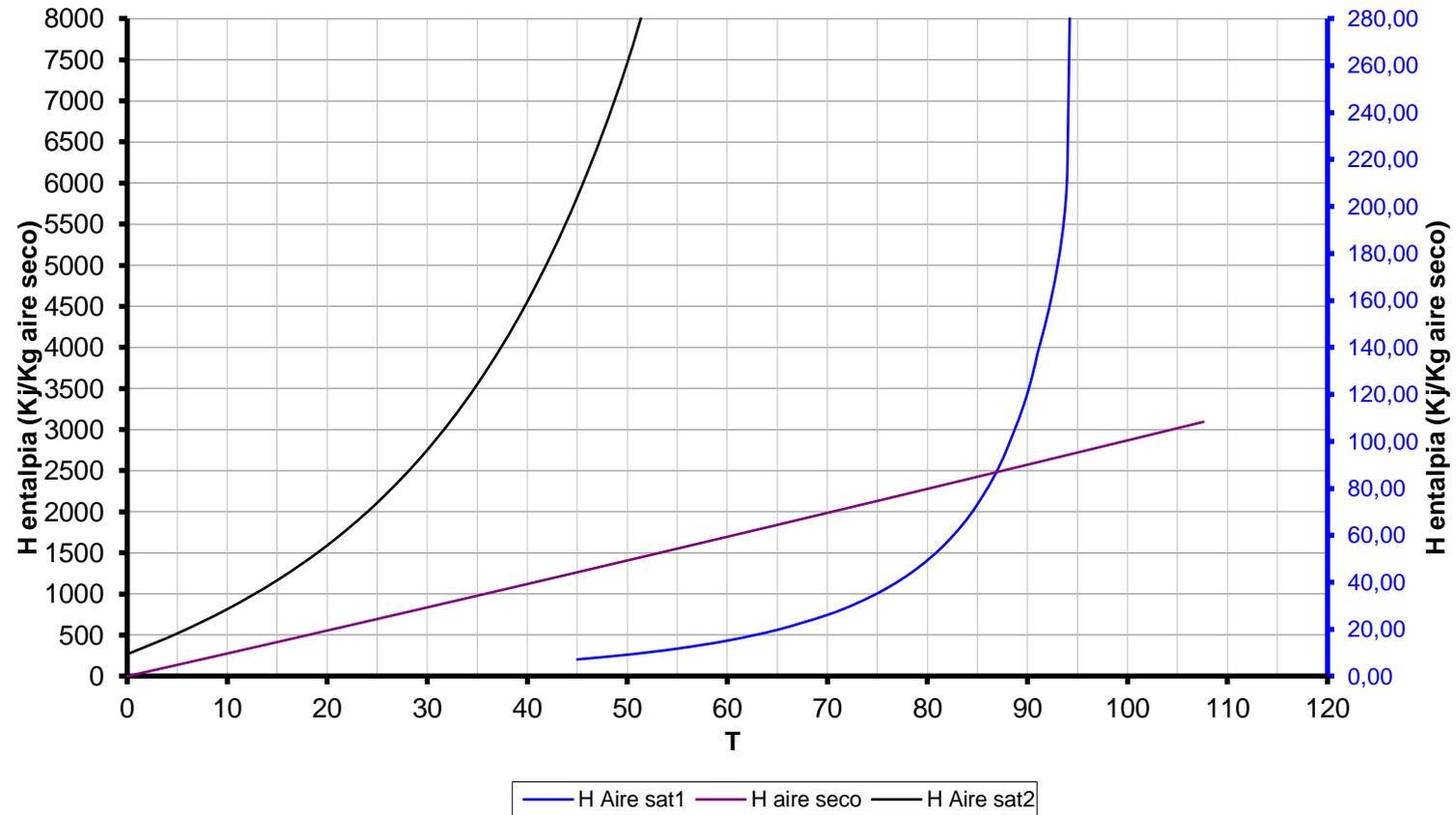
# Psicrometría-Carta Psicrométrica



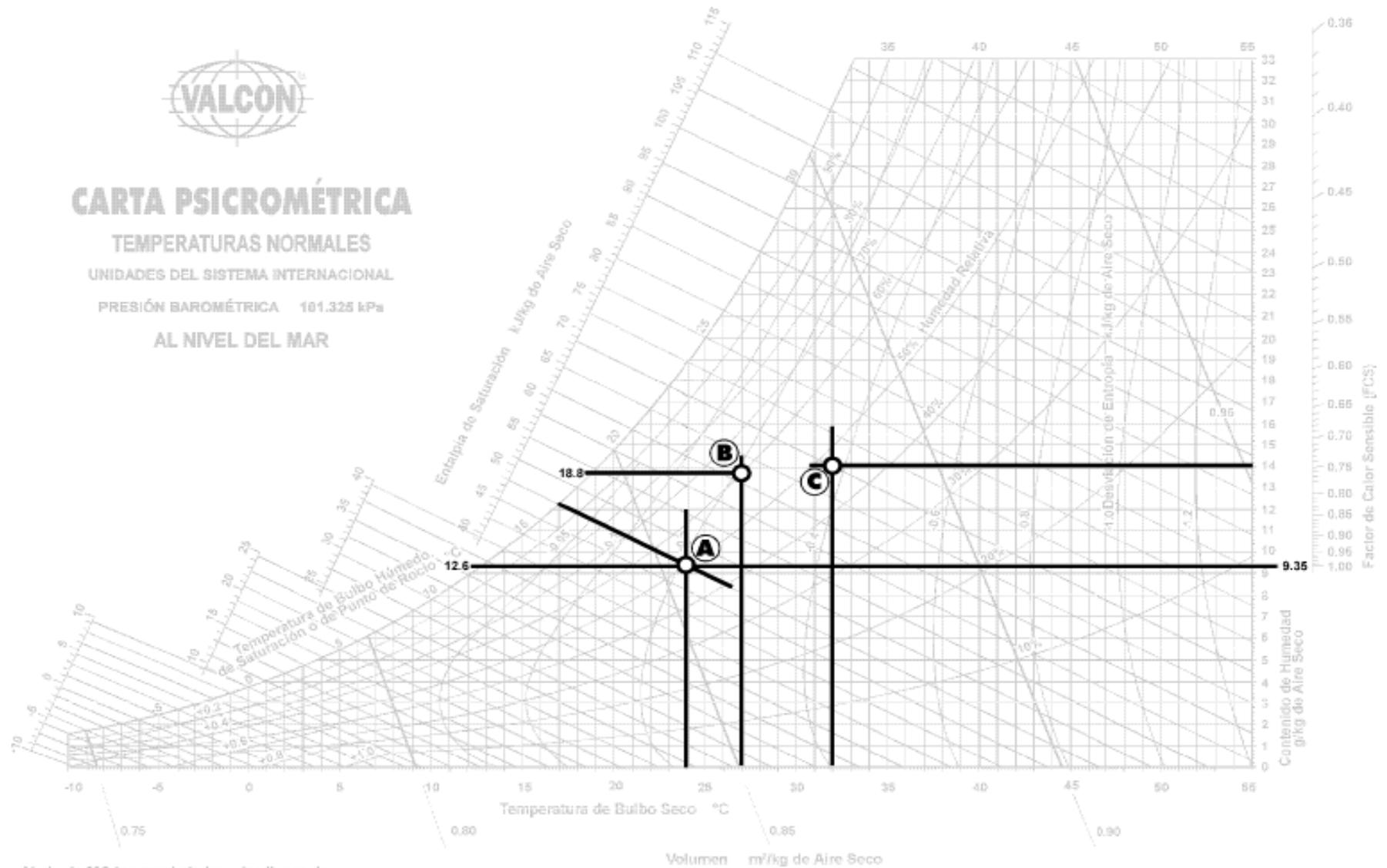
### ANEXO N° 07. Carta psicrométrica a P= 800 mmHg



### ANEXO N° 08. Diagrama de entalpias a 800 mmHg

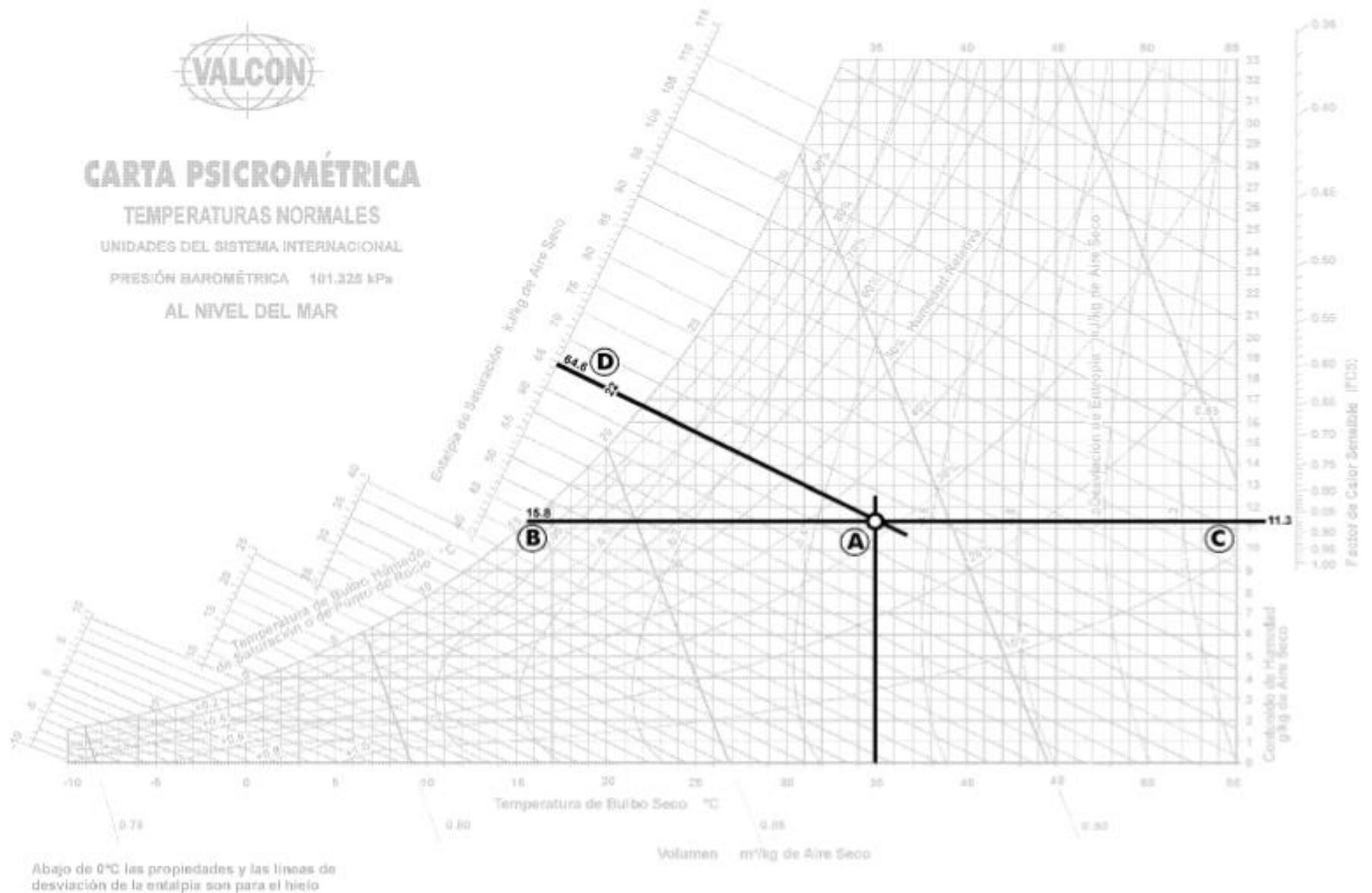


## ANEXO N° 09. Ejemplo del uso de la carta psicrométrica.

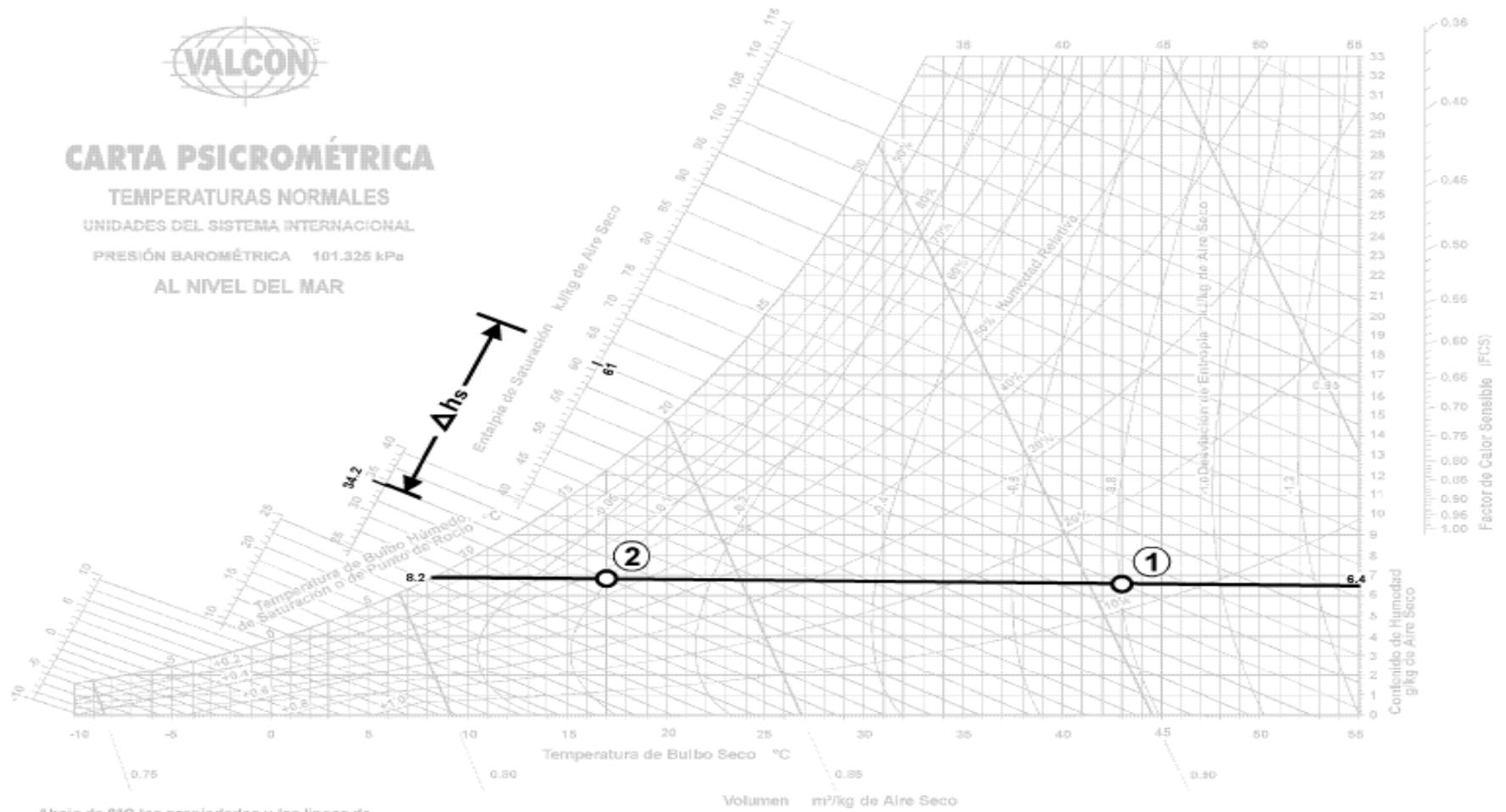


Abajo de 0°C las propiedades y las líneas de desviación de la entalpia son para el hielo

**ANEXO N° 10. Ejemplo del uso de la carta psicrométrica para encontrar las propiedades del aire.**

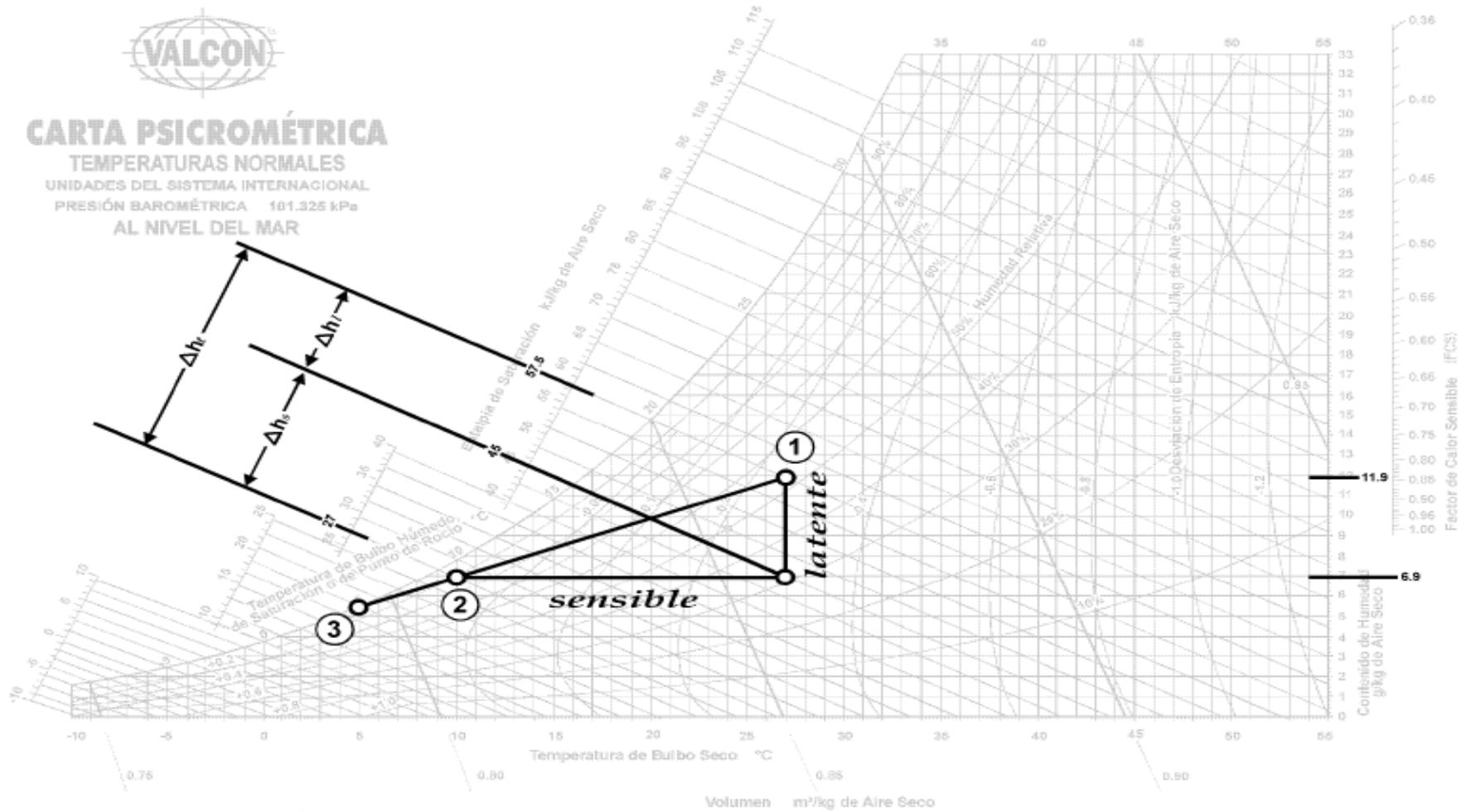


# ANEXO N° 11. Ejemplo de un enfriamiento sensible del aire.

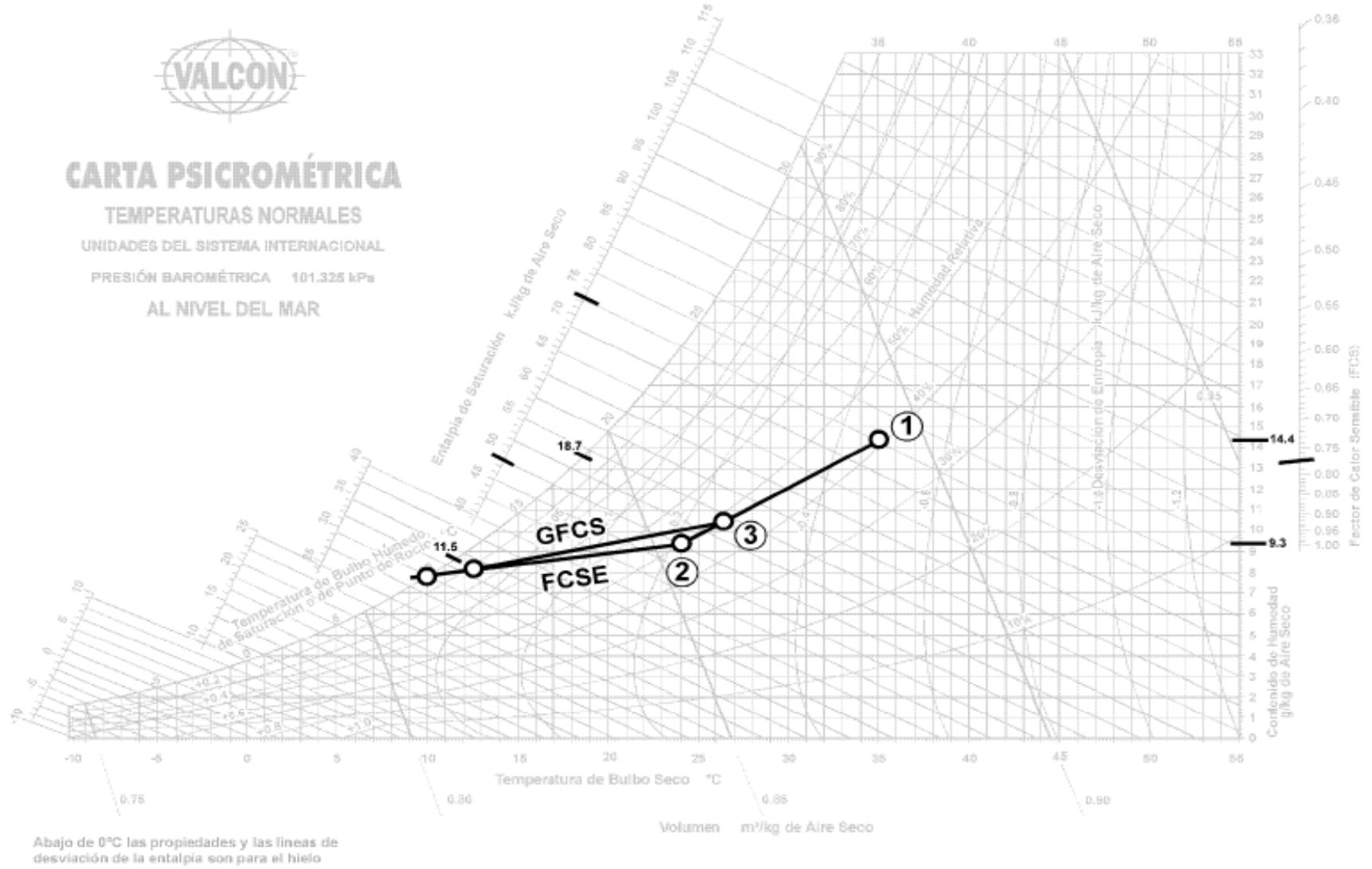


Abajo de 0°C las propiedades y las líneas de desviación de la entalpia son para el hielo

## ANEXO N° 12. Ejemplo de cambios de calor sensible y calor latente.



# ANEXO N° 13. Proceso de aire acondicionado típico, mostrando las líneas de FCSC y GFCS.



## ANEXO N° 14. Propiedades del aire seco a la presión atmosférica

TEMP. °C	Volumen Específico	Densidad	Entalpía
	(m³/kg)	(kg/m³)	(kcal/kg)
-15	0.7304	1.3691	0.6722
-14	0.7332	1.3638	0.9123
-13	0.7363	1.3581	1.1523
-12	0.7391	1.3530	1.3923
-11	0.7422	1.3473	1.6323
-10	0.7453	1.3416	1.8779
-9	0.7480	1.3369	2.1179
-8	0.7511	1.3313	2.3579
-7	0.7538	1.3266	2.5980
-6	0.7563	1.3222	2.8390
-5	0.7591	1.3173	3.0835
-4	0.7619	1.3125	3.3235
-3	0.7650	1.3072	3.5636
-2	0.7678	1.3024	3.8036
-1	0.7706	1.2977	4.0447
0	0.7734	1.2928	4.2892
1	0.7756	1.2893	4.5292
2	0.7790	1.2837	4.7692
3	0.7822	1.2784	5.0148
4	0.7850	1.2739	5.2547
5	0.7878	1.2693	5.4948
6	0.7908	1.2645	5.7404
7	0.7933	1.2605	5.9803
8	0.7961	1.2562	6.2204
9	0.7988	1.2518	6.4615
10	0.8015	1.2476	6.7060
11	0.8044	1.2431	6.9460
12	0.8076	1.2381	7.1860
13	0.8104	1.2339	7.3983
14	0.8131	1.2297	7.6716
15	0.8159	1.2256	7.9116
16	0.8188	1.2213	8.1183
17	0.8217	1.2168	8.3972

TEMP. °C	Volumen Específico	Densidad	Entalpía
	(m³/kg)	(kg/m³)	(kcal/kg)
18	0.8244	1.2130	8.6372
19	0.8274	1.2086	8.8772
20	0.8302	1.2044	9.1228
21	0.8329	1.2006	9.3628
22	0.8360	1.1961	9.6028
23	0.8389	1.1920	9.8484
24	0.8418	1.1880	10.0706
25	0.8446	1.1839	10.3284
26	0.8474	1.1800	10.5740
27	0.8501	1.1763	10.7640
28	0.8529	1.1725	11.0540
29	0.8556	1.1687	11.2996
30	0.8583	1.1650	11.5396
31	0.8612	1.1611	11.7796
32	0.8645	1.1567	12.0252
33	0.8672	1.1531	12.2652
34	0.8700	1.1494	12.5052
35	0.8727	1.1458	12.7564
36	0.8756	1.1420	12.9908
37	0.8786	1.1382	13.2308
38	0.8816	1.1343	13.4764
39	0.8843	1.1308	13.7164
40	0.8871	1.1273	13.9620
41	0.8900	1.1236	14.2020
42	0.8932	1.1196	14.4420
43	0.8957	1.1164	14.6820
44	0.8987	1.1127	14.9276
45	0.9014	1.1093	15.1676
46	0.9042	1.1059	15.4132
47	0.9073	1.1021	15.6532
48	0.9100	1.0988	15.8955
49	0.9129	1.0954	16.1400
50	0.9158	1.0919	16.3900

## ANEXO N° 15. Conductividad Térmica de algunos

### Tabla de conductividad térmica

[www.vaxasoftware.com](http://www.vaxasoftware.com)

Material	$\lambda$ W/(m·K)	Material	$\lambda$ W/(m·K)
Acero	47 - 58	Hielo	2
Acero inoxidable	12 - 45	Hierro	80,2
Agua	0,58	Hormigón	1,7
Aire	0,025	Ladrillo	0,80
Alcohol	0,16	Ladrillo refractario	0,47 - 1,05
Alpaca	29,1	Latón	81 - 116
Aluminio puro	237	Litio	301,2
Amianto	0,04	Madera	0,04 - 0,4
Bronce	116 - 186	Mercurio	83,7
Caucho	0,16	Mica	0,35
Cemento Portland	0,29	Níquel	52,3
Cinc	106 - 140	Oro	318
Cobre	401	Parafina	0,21
Corcho	0,03 - 0,04	Piedra arenisca	2,4
Diamante	900 - 2300	Plata	429
Estaño	64,0	Plomo	35,0
Fibra de vidrio	0,03 - 0,07	Polipropileno	0,12
Glicerina	0,29	Tierra húmeda	0,8
Helio (superfluidez)	infinito	Vidrio	0,6 - 1,1

Tabla N°.

## ANEXO N° 16. Calores específicos de algunos alimentos

Producto	Agua (%).	Proteínas (%).	Carbohidratos (%).	Lípidos (%).	Cenizas (%).	Calor específico experimental (kJ/kg °K).	Cp entregado por programa (kJ/kg °K) <sup>(3)</sup>
Mantequilla	15.5	0.6	0.4	81	2.5	2.051-2.135 <sup>(1)</sup> 2.050 <sup>(2)</sup>	2.315
Leche entera pasteurizada	14 87	- 3.5	- 4.9	- 3.9	- 0.7	3.852 <sup>(1)</sup>	3.866
Pescado fresco	76	19	-	-	1.4	3.600 <sup>(1)</sup>	3.577
Papas	79.8	2.1	17.1	0.1	0.9	3.517 <sup>(1)</sup>	3.661
<b>Manzana</b>	<b>84.4</b>	<b>0.2</b>	<b>14.5</b>	<b>0.6</b>	<b>0.3</b>	<b>3.726-4.019<sup>(1)</sup></b> <b>3.370<sup>(2)</sup></b>	<b>3.814</b>
Cordero	68	21	0	10	1	3.223 <sup>(1)</sup>	3.481
Sardinas	57.4	25.7	1.2	11	0	3.0.14 <sup>(1)</sup>	3.162
Queso	65	25	1	2	7	3.265 <sup>(1)</sup>	3.336
Zanahoria	88.2	1.2	9.3	0.3	1.1	3.810-3.935 <sup>(1)</sup> 3.890 <sup>(2)</sup>	3.875
Cerdo	88	-	-	-	-	2.850 <sup>(2)</sup>	3.879
Pollo	60	-	-	-	-	3.310 <sup>(2)</sup>	3.208
Espinaca	74	-	-	-	-	3.800 <sup>(2)</sup>	3.383
Pan	87	-	-	-	-	2850 <sup>(2)</sup>	3.91
Harina	48.5	-	-	-	-	1800 <sup>(2)</sup>	2.547
Huevo	13	-	-	-	-	3.850 <sup>(2)</sup>	1.982
	87	-	-	-	-		3.34

## ANEXO N° 17. Parámetros colorimétricos de algunos alimentos

°C)	kg g/Kg aire seco	kgH <sub>2</sub> O/Kg aire seco	Vapor Saturado por Temperatura			Aire Saturado Húmedo		
			kJ/kg Entalpia vap sat	kJ/kg Entalpia liq sat	kJ/kg*K Cs	g/kg Humedad abs	kPa abs Presion parcial vapor	m <sup>3</sup> /kg Vs
T								
1.0°C	5	0.005	2502.73	4.17665		4.05696	0.656725	0.781742
2.0°C	5.3	0.0053	2504.57	8.3916		4.36103	0.705527	0.784926
3.0°C	6.5	0.0065	2506.4	12.6035		4.68532	0.757537	0.788154
4.0°C	6.9	0.0069	2508.24	16.8127		5.03098	0.81293	0.791425
5.0°C	7.3	0.0073	2510.07	21.0194		5.40078	0.871891	0.794741
6.0°C	7.6	0.0076	2511.91	25.2237		5.79099	0.934612	0.798102
7.0°C	8.1	0.0081	2513.74	29.4258		6.20672	1.00129	0.801507
8.0°C	8.3	0.0083	2515.57	33.626		6.64941	1.07213	0.804959
9.0°C	9.1	0.0091	2517.4	37.8244		7.12059	1.14735	0.808456
10.0°C	9.6	0.0096	2519.23	42.0211		7.62186	1.22717	0.812001
11.0°C	10.4	0.0104	2521.06	46.2162		8.15488	1.31181	0.815592
12.0°C	11.2	0.0112	2522.89	50.41		8.7214	1.40151	0.81923
13.0°C	11.8	0.0118	2524.71	54.6024		9.32324	1.49652	0.822917
14.0°C	12.5	0.0125	2526.54	58.7936		9.9623	1.59709	0.826651
15.0°C	13.1	0.0131	2528.36	62.9837		10.6406	1.70347	0.830435
16.0°C	13.6	0.0136	2530.19	67.1727		11.3601	1.81768	0.834268
17.0°C	14.1	0.0141	2532.01	71.3608		12.123	1.93662	0.83815
18.0°C	14.7	0.0147	2533.83	75.5479		12.9315	2.06245	0.842083
19.0°C	15.3	0.0153	2535.65	79.7343		13.788	2.1955	0.846066
20.0°C	16.4	0.0164	2537.47	83.9199		14.6949	2.33611	0.8501
21.0°C	17	0.017	2539.29	88.1048		15.6546	2.48466	0.854185
22.0°C	17.2	0.0172	2541.1	92.289		16.6698	2.6415	0.858323
23.0°C	18.3	0.0183	2542.92	96.4727		17.7432	2.80702	0.863056
24.0°C	18.6	0.0186	2544.73	100.656		18.8774	2.98162	0.867406
25.0°C	19	0.019	2546.54	104.838		20.0755	3.16571	0.871886
26.0°C	19.2	0.0192	2548.35	109.021		21.3404	3.3597	0.876469
27.0°C	19.6	0.0196	2550.16	113.202		22.6752	3.56403	0.881239
28.0°C	19.9	0.0199	2551.97	117.384		24.083	3.77914	0.886116
29.0°C	20.2	0.0202	2553.78	121.565		25.5866	4.0055	0.89113
30.0°C	20.6	0.0206	2555.58	125.745		27.1822	4.24357	0.896281
31.0°C	21.1	0.0211	2557.39	129.926		28.8641	4.49383	0.901573
32.0°C	21.5	0.0215	2559.19	134.106		30.6374	4.75679	0.907006
33.0°C	21.9	0.0219	2560.99	138.286		32.5074	5.03295	0.912582

34.0°C	22	0.022	2562.79	142.465	34.4801	5.32283	0.918304
35.0°C	22.4	0.0224	2564.58	146.645	36.5613	5.62696	0.924173
36.0°C	22.8	0.0228	2566.38	150.824	38.7575	5.94589	0.930191
37.0°C	23.3	0.0233	2568.17	155.004	41.0756	6.28016	0.93636
38.0°C	23.8	0.0238	2569.96	159.183	43.5227	6.63034	0.943402
39.0°C	24	0.024	2571.75	163.362	46.1065	6.99701	0.949955
40.0°C	24.2	0.0242	2573.54	167.541	48.835	7.38075	0.956799
41.0°C	24.6	0.0246	2575.33	171.72	51.7169	7.78215	0.963937
42.0°C	24.8	0.0248	2577.11	175.899	54.7613	8.20182	0.971372
43.0°C	25.2	0.0252	2578.89	180.079	57.9779	8.64036	0.979109
44.0°C	25.6	0.0256	2580.67	184.258	61.3768	9.10343	0.98715
45.0°C	25.9	0.0259	2582.45	188.437	64.969	9.58551	0.9955
46.0°C	26.1	0.0261	2584.23	192.617	68.766	10.0896	1.00416
47.0°C	26.5	0.0265	2586	196.796	72.7802	10.6164	1.01314
48.0°C	26.8	0.0268	2587.77	200.976	77.0244	11.1668	1.02243
49.0°C	27.3	0.0273	2589.54	205.156	81.5126	11.7416	1.03205
50.0°C	27.5	0.0275	2591.31	209.336	87.2594	12.3417	1.042

## ANEXO N° 18. Propiedades del agua como gas ideal

Temperatura (K)	h (kJ/kmol)	u (kJ/kmol)	s (kJ/kmol)
0	0	0	0
270	8961	6716	185399
290	9631	7219	187791
298	9904	7425	188720
320	10639	7978	191098
360	11992	8998	195081
380	12672	9513	196920
420	14043	10551	200350
460	15428	11603	203497
480	16126	12135	204982
520	17534	13211	207799
600	20402	15413	212920
640	21862	16541	215285
720	24840	18854	219668
800	27896	21245	223693
840	29454	22470	225592
920	32629	24980	229202
1000	35882	27568	232597
1040	37542	28895	234223
1120	40923	31611	237352
1200	44380	34403	240333
1240	46137	35827	241773
1320	49707	38732	244564
1400	53351	41711	247241
1440	55198	43226	248543
1520	58942	46304	251074
1600	62748	49445	253513
1640	64475	51039	254703
1720	68567	54267	257022
1800	72513	57547	259262
1840	74506	59207	260357
1920	78527	62564	262497
2000	82593	65965	264571
2050	85156	68111	265838
2150	90330	72454	268301
2250	95562	76855	270679
2300	98199	79076	271839
2400	103508	83553	274098
2500	108868	88082	276286
2550	111565	90364	277354
2650	116991	94958	279441
2750	122453	99588	281464
2800	125198	101917	282453
2900	130717	106605	284390
3000	136264	111321	286273
3050	139051	113692	287194
3150	144648	118458	288999
3250	150272	123250	290756

## ANEXO N° 19. Propiedades del aire (M=28.964 kg/kmol)

T (K)	Capacidades caloríficas		Energía interna	Entalpia	Entropía absoluta	Exergía entálpica
	$\bar{c}_v _0^T$ (kJ / kmol K)	$\bar{c}_p _0^T$ (kJ / kmol K)	$u = \bar{c}_v _0^T T$ (kJ / kmol)	$h = \bar{c}_p _0^T T$ (kJ / kmol)	$s_p = 1 \text{ bar}$ (kJ / kmol K)	$e_p = 1 \text{ bar}$ (kJ / kmol)
273	20,7582	29,0725	5667,0	7936,8	195,383	16 ,6
300	20,7707	29,0850	6231,2	8725,5	198,124	2,0
350	20,7964	29,1107	7278,7	10188,7	202,660	135 ,5
400	20,8251	29,1394	8330,1	11655,8	206,497	477,6
450	20,8712	29,1855	9392,0	13133,5	210,009	925,9
500	20,9298	29,2441	10464,9	14622,1	213,071	1518,9
550	21,0026	29,3169	11551,4	16124,3	215,965	2170,7
600	21,0889	29,4032	12653,3	17641,9	218,597	2916,7
650	21,1889	29,5032	13772,8	19177,1	221,078	3724,6
700	21,3024	29,6167	14911,7	20731,7	223,370	4607,3
750	21,4202	29,7345	16065,1	22300,9	225,537	5541,3
800	21,5453	29,8596	17236,2	23887,7	227,557	6535,9
850	21,6761	29,9904	18424,7	25491,8	229,509	7567,8
900	21,8132	30,1275	19631,9	27114,8	231,367	8646,1
950	21,9488	30,2631	20851,3	28749,9	233,131	9764,2
1000	22,0854	30,3997	22085,4	30399,7	234,800	10924,5
1050	22,2230	30,5373	23334,2	32064,2	236,422	12113,4
1100	22,3617	30,6760	24597,9	33743,6	237,982	13335,7
1150	22,4967	30,8110	25871,2	35432,7	239,495	14581,4
1200	22,6297	30,9440	27155,6	37132,7	240,955	15853,4
1250	22,7621	31,0764	28452,6	38845,5	242,347	17158,0
1300	22,8934	31,2077	29761,4	40570,0	243,676	18492,9
1350	23,0175	31,3318	31073,6	42297,9	244,974	19840,3
1400	23,1363	31,4506	32390,8	44030,8	246,230	21205,0
1450	23,2561	31,5704	33721,4	45777,1	247,413	22604,5
1500	23,3749	31,6892	35062,4	47533,8	248,533	24032,9
1550	23,4895	31,8038	36408,8	49295,9	249,700	25452,9
1600	23,6010	31,9153	37761,6	51064,5	250,877	26876,3
1650	23,7093	32,0236	39120,4	52839,0	251,987	28325,5
1700	23,8145	32,1288	40484,7	54619,0	253,055	29792,6
1750	23,9181	32,2324	41856,8	56406,8	254,080	31279,7
1800	24,0197	32,3340	43235,4	58201,2	255,064	32785,6
1850	24,1191	32,4334	44620,4	60001,8	256,053	34296,3
1900	24,2165	32,5308	46011,3	61808,4	257,032	35816,0
1950	24,3117	32,6260	47407,8	63620,7	257,969	37353,7
2000	24,4049	32,7192	48809,7	65438,3	258,874	38905,9
2050	24,4928	32,8071	50210,2	67254,5	259,780	40456,6
2100	24,5765	32,8908	51610,7	69070,7	260,674	42010,5
2150	24,6608	32,9751	53020,7	70896,4	261,543	43581,5
2200	24,7440	33,0583	54436,8	72728,2	262,391	45164,8
2250	24,8246	33,1389	55855,3	74562,5	263,202	46761,2
2300	24,9031	33,2174	57277,1	76400,0	263,982	48370,2
2350	24,9811	33,2954	58705,5	78244,1	264,778	49981,1
2400	25,0580	33,3723	60139,2	80093,5	265,573	51597,3
2450	25,1323	33,4466	61574,2	81944,2	266,337	53224,0
2500	25,2045	33,5188	63011,3	83797,1	267,080	54859,0
2550	25,2747	33,5890	64450,4	85651,9	267,834	56492,9
2600	25,3427	33,6570	65891,0	87508,2	268,588	58128,3
2650	25,4102	33,7245	67337,1	89370,0	269,294	59782,9
2700	25,4767	33,7910	68787,0	91235,6	269,969	61450,7
2750	25,5421	33,8564	70240,8	93105,1	270,660	63117,6
2800	25,6065	33,9208	71698,1	94978,2	271,351	64788,2
2850	25,6682	33,9825	73154,4	96850,2	272,010	66466,9
2900	25,7279	34,0422	74610,9	98722,3	272,649	68151,9
2950	25,7870	34,1013	76071,7	100598,9	273,282	69842,8
3000	25,8451	34,1594	77535,3	102478,3	273,905	71539,6
3050	25,9022	34,2165	79001,6	104360,2	274,521	73240,8
3100	25,9582	34,2725	80470,3	106244,6	275,130	74946,7
3150	26,0131	34,3274	81941,3	108131,3	275,731	76657,2
3200	26,0670	34,3813	83414,4	110020,2	276,325	78372,1
3250	26,1199	34,4342	84889,6	111911,1	276,911	80091,3

T (K)	Capacidades caloríficas		Energía interna	Entalpía	Entropía absoluta	Exergía entálpica
	$\bar{c}_v _0^T$ (kJ / kmol K)	$\bar{c}_p _0^T$ (kJ / kmol K)	$u = \bar{c}_v _0^T T$ (kJ / kmol)	$h = \bar{c}_p _0^T T$ (kJ / kmol)	$s_0 = 1 \text{ bar}$ (kJ / kmol K)	$e_0 = 1 \text{ bar}$ (kJ / kmol)
3300	26,1687	34,4830	86356,6	113793,8	277,482	81806,5
3350	26,2198	34,5341	87836,4	115689,3	278,053	83534,5
3400	26,2702	34,5845	89318,5	117587,2	278,617	85267,0
3500	26,3685	34,6828	92289,6	121389,7	279,724	88745,0
3600	26,4636	34,7779	95268,9	125200,4	280,803	92239,5
3700	26,5555	34,8698	98255,5	129018,4	281,853	95749,7
3800	26,6423	34,9566	101240,7	132835,0	282,860	99271,3
3900	26,7285	35,0428	104241,3	136667,0	283,858	102810,7
4000	26,8123	35,1266	107249,1	140506,3	284,832	106364,2
4100	26,8935	35,2078	110263,3	144351,9	285,784	109931,0
4200	26,9722	35,2865	113283,3	148203,3	286,711	113510,4
4300	27,0474	35,3617	116303,8	152055,3	287,601	117101,7
4400	27,1214	35,4357	119334,3	155917,2	288,487	120703,8
4500	27,1933	35,5076	122369,7	159784,0	289,354	124316,4
4600	27,2629	35,5772	125409,5	163655,3	290,203	127938,7
4700	27,3304	35,6447	128453,0	167530,2	291,034	131570,2
4800	27,3957	35,7100	131499,5	171408,2	291,846	135210,0
4900	27,4589	35,7732	134548,5	175288,5	292,640	138857,7
5000	27,5198	35,8341	137599,2	179170,7	293,415	142512,5

### PROPIEDADES DEL AIRE

Temperatura (K)	Densidad $\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	Calor específico cp kJ/kg°C	Conductividad. témica k W/m°C	Visc. dinám. $\eta \cdot 10^5$ (Kg/m.seg)	Visc. cinem. $\nu \cdot 10^6$ (m <sup>2</sup> /seg)
100	3,6010	1,027	0,0092	0,692	1,92
150	2,3675	1,010	0,0137	1,028	4,34
200	1,7684	1,006	0,0181	1,329	7,49
250	1,4128	1,005	0,0223	1,488	10,53
300	1,1774	1,006	0,0262	1,983	16,84
400	0,8826	1,014	0,0336	2,286	25,90
500	0,7048	1,030	0,0404	2,671	37,90
600	0,5879	1,055	0,0466	3,018	51,34
700	0,5030	1,075	0,0523	3,332	66,25
800	0,4405	1,098	0,0578	3,625	82,29
900	0,3925	1,121	0,0628	3,899	99,30
1000	0,3524	1,142	0,0675	4,152	117,80
1200	0,2947	1,179	0,0782	4,690	159,10
1400	0,2515	1,214	0,0891	5,170	205,50
1600	0,2211	1,248	0,1000	5,630	254,50
1800	0,1970	1,287	0,1110	6,070	308,10
2000	0,1762	1,338	0,1240	6,500	369,00
2500	0,1394	1,688	0,1750	7,570	543,50

## ANEXO N° 20. Propiedades del agua sobrecalentada

$T$ °C	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ / kg	$h$ kJ / kg	$s$ kJ / kg K
<b><math>P = 0,06 \text{ bar} = 0,006 \text{ MPa}</math> (<math>T_{\text{sat}} = 36,16^\circ\text{C}</math>)</b>				
Sat	23,739	2425,0	2567,4	8,3304
80	27,132	2487,3	2650,1	8,5804
120	30,219	2544,7	2726,0	8,7840
160	33,302	2602,7	2802,5	8,9693
200	36,383	2661,4	2879,7	9,1398
240	39,462	2721,0	2957,8	9,2982
280	42,540	2781,5	3036,8	9,4464
320	45,618	2843,0	3116,7	9,5859
360	48,696	2905,5	3197,7	9,7180
400	51,774	2969,0	3279,6	9,8435
440	54,851	3033,5	3362,6	9,9633
500	59,467	3132,3	3489,1	10,1336

$v$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ / kg	$h$ kJ / kg	$s$ kJ / kg K
<b><math>p = 0,35 \text{ bar} = 0,035 \text{ MPa}</math> (<math>T_{\text{sat}} = 72,69^\circ\text{C}</math>)</b>			
4,526	2473,0	2631,4	7,7158
4,625	2483,7	2645,6	7,7564
5,163	2542,4	2723,1	7,9644
5,696	2601,2	2800,6	8,1519
6,228	2660,4	2878,4	8,3237
6,758	2720,3	2956,8	8,4828
7,287	2780,9	3036,0	8,6314
7,815	2842,5	3116,1	8,7712
8,344	2905,1	3197,1	8,9034
8,872	2968,6	3279,2	9,0291
9,400	3033,2	3362,2	9,1490
10,192	3132,1	3488,8	9,3194

$v$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ / kg	$h$ kJ / kg	$s$ kJ / kg K	
<b><math>p = 0,70 \text{ bar} = 0,07 \text{ MPa}</math> (<math>T_{\text{sat}} = 89,95^\circ\text{C}</math>)</b>				
Sat	2,365	2494,5	2660,0	7,4797
100	2,434	2509,7	2680,0	7,5341
120	2,571	2539,7	2719,6	7,6375
160	2,841	2599,4	2798,2	7,8279
200	3,108	2659,1	2876,7	8,0012
240	3,374	2719,3	2955,5	8,1611
280	3,640	2780,2	3035,0	8,3162
320	3,905	2842,0	3115,3	8,4504
360	4,170	2904,6	3196,5	8,5828
400	4,434	2968,2	3278,6	8,7086
440	4,698	3032,9	3361,8	8,8286
500	5,095	3131,8	3488,5	8,9991

$v$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ / kg	$h$ kJ / kg	$s$ kJ / kg K
<b><math>p = 1,0 \text{ bar} = 0,10 \text{ MPa}</math> (<math>T_{\text{sat}} = 99,63^\circ\text{C}</math>)</b>			
1,694	2506,1	2675,5	7,3594
1,696	2506,7	2676,2	7,3614
1,793	2537,3	2716,6	7,4668
1,984	2597,8	2796,2	7,6597
2,172	2658,1	2875,3	7,8343
2,359	2718,5	2954,5	7,9949
2,546	2779,6	3034,2	8,1445
2,732	2841,5	3114,6	8,2849
2,917	2904,2	3195,9	8,4175
3,103	2967,9	3278,2	8,5435
3,288	3032,6	3361,4	8,6636
3,565	3131,6	3488,1	8,8342

$v$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ / kg	$h$ kJ / kg	$s$ kJ / kg K	
<b><math>p = 1,5 \text{ bar} = 0,15 \text{ MPa}</math> (<math>T_{\text{sat}} = 111,37^\circ\text{C}</math>)</b>				
Sat	1,159	2519,7	2693,6	7,2233
120	1,188	2533,3	2711,4	7,2693
160	1,317	2595,2	2792,8	7,4665
200	1,444	2656,2	2872,9	7,6433
240	1,570	2717,2	2952,7	7,8052
280	1,695	2778,6	3032,8	7,9555
320	1,819	2840,6	3113,5	8,0964
360	1,943	2903,5	3195,0	8,2293
400	2,067	2967,3	3277,4	8,3555
440	2,191	3032,1	3360,7	8,4757
500	2,376	3131,2	3487,6	8,6466
600	2,685	3301,7	3704,3	8,9101

$v$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ / kg	$h$ kJ / kg	$s$ kJ / kg K
<b><math>p = 3,0 \text{ bar} = 0,30 \text{ MPa}</math> (<math>T_{\text{sat}} = 133,55^\circ\text{C}</math>)</b>			
0,606	2543,6	2725,3	6,9919
0,651	2587,1	2782,3	7,1276
0,716	2650,7	2865,5	7,3115
0,781	2713,1	2947,3	7,4774
0,844	2775,4	3028,6	7,6299
0,907	2838,1	3110,1	7,7722
0,969	2901,4	3192,2	7,9061
1,032	2965,6	3275,0	8,0330
1,094	3030,6	3358,7	8,1538
1,187	3130,0	3486,0	8,3251
1,341	3300,8	3703,2	8,5892

$v$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ / kg	$h$ kJ / kg	$s$ kJ / kg K	
<b><math>P = 5,0 \text{ bar} = 0,50 \text{ MPa}</math> (<math>T_{\text{sat}} = 151,86^\circ\text{C}</math>)</b>				
Sat	0,3749	2561,2	2748,7	6,8213
180	0,4045	2609,7	2812,0	6,9656
200	0,4249	2642,9	2855,4	7,0592
240	0,4646	2707,6	2939,9	7,2307
280	0,5034	2771,2	3022,9	7,3865
320	0,5416	2834,7	3105,6	7,5308
360	0,5796	2898,7	3188,4	7,6660
400	0,6173	2963,2	3271,9	7,7938
440	0,6548	3028,6	3356,0	7,9152
500	0,7109	3128,4	3483,9	8,0873
600	0,8041	3299,6	3701,7	8,3522
700	0,8969	3477,5	3925,9	8,5952

$v$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ / kg	$h$ kJ / kg	$s$ kJ / kg K
<b><math>p = 7,0 \text{ bar} = 0,70 \text{ MPa}</math> (<math>T_{\text{sat}} = 164,97^\circ\text{C}</math>)</b>			
0,2729	2572,5	2763,5	6,7080
0,2847	2599,8	2799,1	6,7880
0,2999	2634,8	2844,8	6,8865
0,3292	2701,8	2932,2	7,0641
0,3574	2766,9	3017,1	7,2233
0,3852	2831,3	3100,9	7,3697
0,4126	2895,8	3184,7	7,5063
0,4397	2960,9	3268,7	7,6350
0,4667	3026,6	3353,3	7,7571
0,5070	3126,8	3481,7	7,9299
0,5738	3298,5	3700,2	8,1956
0,6403	3476,6	3924,8	8,4391

T	v	u	h	s
°C	m <sup>3</sup> /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg K
<b>p = 10,0 bar = 1,0 MPa</b> (T <sub>sat</sub> = 179,91°C)				
Sat	0,1944	2583,6	2778,1	6,5865
200	0,2060	2621,9	2827,9	6,6940
240	0,2275	2692,9	2920,4	6,8817
280	0,2480	2760,2	3008,2	7,0465
320	0,2678	2826,1	3093,9	7,1962
360	0,2873	2891,6	3178,9	7,3349
400	0,3066	2957,3	3263,9	7,4651
440	0,3257	3023,6	3349,3	7,5883
500	0,3541	3124,4	3478,5	7,7622
540	0,3729	3192,6	3565,6	7,8720
600	0,4011	3296,8	3697,9	8,0290
640	0,4198	3367,4	3787,2	8,1290

T	v	u	h	s
°C	m <sup>3</sup> /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg K
<b>p = 20,0 bar = 2,0 MPa</b> (T <sub>sat</sub> = 212,42°C)				
Sat	0,0996	2600,3	2799,5	6,3409
240	0,1085	2659,6	2876,5	6,4952
280	0,1200	2736,4	2976,4	6,6828
320	0,1308	2807,9	3069,5	6,8452
360	0,1411	2877,0	3159,3	6,9917
400	0,1512	2945,2	3247,6	7,1271
440	0,1611	3013,4	3335,5	7,2540
500	0,1757	3116,2	3467,6	7,4317
540	0,1853	3185,6	3556,1	7,5434
600	0,1996	3290,9	3690,1	7,7024
640	0,2091	3362,2	3780,4	7,8035
700	0,2232	3470,9	3917,4	7,9487

T	v	u	h	s
°C	m <sup>3</sup> /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg K
<b>p = 40 bar = 4,0 MPa</b> (T <sub>sat</sub> = 250,4°C)				
Sat	0,04978	2602,3	2801,4	6,0701
280	0,05546	2680,0	2901,8	6,2568
320	0,06199	2767,4	3015,4	6,4553
360	0,06788	2845,7	3117,2	6,6215
400	0,07341	2919,9	3213,6	6,7690
440	0,07872	2992,2	3307,1	6,9041
500	0,08643	3099,5	3445,3	7,0901
540	0,09145	3171,1	3536,9	7,2056
600	0,09885	3279,1	3674,4	7,3688
640	0,1037	3351,8	3766,6	7,4720
700	0,1110	3462,1	3905,9	7,6198
740	0,1157	3536,6	3999,6	7,7141

T	v	u	h	s
°C	m <sup>3</sup> /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg K
<b>p = 80 bar = 8,0 MPa</b> (T <sub>sat</sub> = 295,06°C)				
Sat	0,02352	2569,8	2758,0	5,7432
320	0,02682	2662,7	2877,2	5,9489
360	0,03089	2772,7	3019,8	6,1819
400	0,03432	2863,8	3138,3	6,3634
440	0,03742	2946,7	3246,1	6,5190
480	0,04034	3025,7	3348,4	6,6586
520	0,04313	3102,7	3447,7	6,7871
560	0,04582	3178,7	3545,3	6,9072
600	0,04845	3254,4	3642,0	7,0206
640	0,05102	3330,1	3738,3	7,1283
700	0,05481	3443,9	3882,4	7,2812
740	0,05729	3520,4	3978,7	7,3782

T	v	u	h	s
°C	m <sup>3</sup> /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg K
<b>p = 120 bar = 12,0 MPa</b> (T <sub>sat</sub> = 324,75°C)				
Sat	0,01426	2513,7	2684,9	5,4924
360	0,01811	2678,4	2895,7	5,8361
400	0,02108	2798,3	3051,3	6,0747
440	0,02355	2896,1	3178,7	6,2586
480	0,02576	2984,4	3293,5	6,4154
520	0,02781	3068,0	3401,8	6,5555
560	0,02977	3149,0	3506,2	6,6840
600	0,03164	3228,7	3608,3	6,8037
640	0,03345	3307,5	3709,0	6,9164
700	0,03610	3425,2	3858,4	7,0749
740	0,03781	3503,7	3957,4	7,1746

T	v	u	h	s
°C	m <sup>3</sup> /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg K
<b>p = 15,0 bar = 1,5 MPa</b> (T <sub>sat</sub> = 198,32°C)				
0,1318	2594,5	2792,2	6,4448	
0,1325	2598,1	2796,8	6,4546	
0,1483	2676,9	2899,3	6,6628	
0,1627	2748,6	2992,7	6,8381	
0,1765	2817,1	3081,9	6,9938	
0,1899	2884,4	3169,2	7,1363	
0,2030	2951,3	3255,8	7,2690	
0,2160	3018,5	3342,5	7,3940	
0,2352	3120,3	3473,1	7,5698	
0,2478	3189,1	3560,9	7,6805	
0,2668	3293,9	3694,0	7,8385	
0,2793	3364,8	3783,8	7,9391	

T	v	u	h	s
°C	m <sup>3</sup> /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg K
<b>p = 30,0 bar = 3,0 MPa</b> (T <sub>sat</sub> = 233,90°C)				
0,0667	2604,1	2804,2	6,1869	
0,0682	2619,7	2824,3	6,2265	
0,0771	2709,9	2941,3	6,4462	
0,0850	2788,4	3043,4	6,6245	
0,0923	2861,7	3138,7	6,7801	
0,0994	2932,8	3230,9	6,9212	
0,1062	3002,9	3321,5	7,0520	
0,1162	3108,0	3456,5	7,2338	
0,1227	3178,4	3546,6	7,3474	
0,1324	3285,0	3682,3	7,5085	
0,1388	3357,0	3773,5	7,6106	
0,1484	3466,5	3911,7	7,7571	

T	v	u	h	s
°C	m <sup>3</sup> /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg K
<b>p = 60 bar = 6,0 MPa</b> (T <sub>sat</sub> = 257,64°C)				
0,03244	2589,7	2784,3	5,8892	
0,03317	2605,2	2804,2	5,9252	
0,03876	2720,0	2952,6	6,1846	
0,04331	2811,2	3071,1	6,3782	
0,04739	2892,9	3177,2	6,5408	
0,05122	2970,0	3277,3	6,6853	
0,05665	3082,2	3422,2	6,8803	
0,06015	3156,1	3517,0	6,9999	
0,06525	3266,9	3658,4	7,1677	
0,06859	3341,0	3752,6	7,2731	
0,07352	3453,1	3894,1	7,4234	
0,07677	3528,3	3989,2	7,5190	

T	v	u	h	s
°C	m <sup>3</sup> /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg K
<b>p = 100 bar = 10,0 MPa</b> (T <sub>sat</sub> = 311,06°C)				
0,01803	2544,4	2724,7	5,6141	
0,01925	2588,8	2781,3	5,7103	
0,02331	2729,1	2962,1	6,0060	
0,02641	2832,4	3096,5	6,2120	
0,02911	2922,1	3213,2	6,3805	
0,03160	3005,4	3321,4	6,5282	
0,03394	3085,6	3425,1	6,6622	
0,03619	3164,1	3526,0	6,7864	
0,03837	3241,7	3625,3	6,9029	
0,04048	3318,9	3723,7	7,0131	
0,04358	3434,7	3870,5	7,1687	
0,04560	3512,1	3968,1	7,2670	

T	v	u	h	s
°C	m <sup>3</sup> /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg K
<b>p = 140 bar = 14,0 MPa</b> (T <sub>sat</sub> = 336,75°C)				
0,01149	2476,8	2637,6	5,3717	
0,01422	2617,4	2816,5	5,6602	
0,01722	2760,9	3001,9	5,9448	
0,01954	2868,6	3142,2	6,1474	
0,02157	2962,5	3264,5	6,3143	
0,02343	3049,8	3377,8	6,4610	
0,02517	3133,6	3486,0	6,5941	
0,02683	3215,4	3591,1	6,7172	
0,02843	3296,0	3694,1	6,8326	
0,03075	3415,7	3846,2	6,9939	
0,03225	3495,2	3946,7	7,0952	

T	v	u	h	s
°C	m <sup>3</sup> /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg K
<b>p = 10.0 bar = 1.0 MPa</b> (T <sub>sat</sub> = 179.91 °C)				
Sat	0.1944	2583.6	2778.1	6.5865
200	0.2060	2621.9	2827.9	6.6940
240	0.2275	2692.9	2920.4	6.8817
280	0.2480	2760.2	3008.2	7.0465
320	0.2678	2826.1	3093.9	7.1962
360	0.2873	2891.6	3178.9	7.3349
400	0.3066	2957.3	3263.9	7.4651
440	0.3257	3023.6	3349.3	7.5883
500	0.3541	3124.4	3478.5	7.7622
540	0.3729	3192.6	3565.6	7.8720
600	0.4011	3296.8	3697.9	8.0290
640	0.4198	3367.4	3787.2	8.1290
<b>p = 20.0 bar = 2.0 MPa</b> (T <sub>sat</sub> = 212.42 °C)				
Sat	0.0996	2600.3	2799.5	6.3409
240	0.1085	2659.6	2876.5	6.4952
280	0.1200	2736.4	2978.4	6.6828
320	0.1308	2807.9	3069.5	6.8452
360	0.1411	2877.0	3159.3	6.9917
400	0.1512	2945.2	3247.6	7.1271
440	0.1611	3013.4	3335.5	7.2540
500	0.1757	3116.2	3467.6	7.4317
540	0.1853	3185.6	3556.1	7.5434
600	0.1996	3290.9	3690.1	7.7024
640	0.2091	3362.2	3780.4	7.8035
700	0.2232	3470.9	3917.4	7.9487
<b>p = 40 bar = 4.0 MPa</b> (T <sub>sat</sub> = 250.4 °C)				
Sat	0.04978	2602.3	2801.4	6.0701
280	0.05546	2680.0	2901.8	6.2568
320	0.06199	2767.4	3015.4	6.4553
360	0.06788	2845.7	3117.2	6.6215
400	0.07341	2919.9	3213.6	6.7690
440	0.07872	2992.2	3307.1	6.9041
500	0.08643	3099.5	3445.3	7.0901
540	0.09145	3171.1	3536.9	7.2056
600	0.09885	3279.9	3674.4	7.3688
640	0.1037	3351.8	3766.6	7.4720
700	0.1110	3462.1	3905.9	7.6198
740	0.1157	3536.6	3999.6	7.7141
<b>p = 80 bar = 8.0 MPa</b> (T <sub>sat</sub> = 295.06 °C)				
Sat	0.02352	2569.8	2758.0	5.7432
320	0.02682	2662.7	2877.2	5.9489
360	0.03089	2772.7	3019.8	6.1819
400	0.03432	2863.8	3138.3	6.3634
440	0.03742	2946.7	3246.1	6.5190
480	0.04034	3025.7	3348.4	6.6586
520	0.04313	3102.7	3447.7	6.7871
560	0.04582	3178.7	3545.3	6.9072
600	0.04845	3254.4	3642.0	7.0206
640	0.05102	3330.1	3738.3	7.1283
700	0.05481	3443.9	3882.4	7.2812
740	0.05729	3520.4	3978.7	7.3782
<b>p = 120 bar = 12.0 MPa</b> (T <sub>sat</sub> = 324.75 °C)				
Sat	0.01426	2513.7	2684.9	5.4924
360	0.01811	2678.4	2895.7	5.8361
400	0.02108	2798.3	3051.3	6.0747
440	0.02355	2896.1	3178.7	6.2586
480	0.02576	2984.4	3293.5	6.4154
520	0.02781	3068.0	3401.8	6.5555
560	0.02977	3149.0	3506.2	6.6840
600	0.03164	3228.7	3608.3	6.8037
640	0.03345	3307.5	3709.0	6.9164
700	0.03610	3425.2	3858.4	7.0749
740	0.03781	3503.7	3957.4	7.1746

v	u	h	s
m <sup>3</sup> /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg K
<b>p = 15.0 bar = 1.5 MPa</b> (T <sub>sat</sub> = 198.32 °C)			
0.1318	2594.5	2792.2	6.4448
0.1325	2598.1	2796.8	6.4546
0.1483	2676.9	2899.3	6.6628
0.1627	2748.6	2992.7	6.8381
0.1765	2817.1	3081.9	6.9938
0.1899	2884.4	3169.2	7.1363
0.2030	2951.3	3255.8	7.2690
0.2160	3018.5	3342.5	7.3940
0.2352	3120.3	3473.1	7.5698
0.2478	3189.1	3560.9	7.6805
0.2668	3293.9	3694.0	7.8385
0.2793	3364.8	3783.8	7.9391
<b>p = 30.0 bar = 3.0 MPa</b> (T <sub>sat</sub> = 233.90 °C)			
0.0667	2604.1	2804.2	6.1869
0.0682	2619.7	2824.3	6.2265
0.0771	2709.9	2941.3	6.4462
0.0850	2788.4	3043.4	6.6245
0.0923	2861.7	3138.7	6.7801
0.0994	2932.8	3230.9	6.9212
0.1062	3002.9	3321.5	7.0520
0.1162	3108.0	3456.5	7.2338
0.1227	3178.4	3546.6	7.3474
0.1324	3285.0	3682.3	7.5085
0.1388	3357.0	3773.5	7.6106
0.1484	3466.5	3911.7	7.7571
<b>p = 60 bar = 6.0 MPa</b> (T <sub>sat</sub> = 257.64 °C)			
0.03244	2589.7	2784.3	5.8892
0.03317	2605.2	2804.2	5.9252
0.03876	2720.0	2952.6	6.1846
0.04331	2811.2	3071.1	6.3782
0.04739	2892.9	3177.2	6.5408
0.05122	2970.0	3277.3	6.6853
0.05665	3082.2	3422.2	6.8803
0.06015	3156.1	3517.0	6.9999
0.06525	3266.9	3658.4	7.1677
0.06859	3341.0	3752.6	7.2731
0.07352	3453.1	3894.1	7.4234
0.07677	3528.3	3989.2	7.5190
<b>p = 100 bar = 10.0 MPa</b> (T <sub>sat</sub> = 311.06 °C)			
0.01803	2544.4	2724.7	5.6141
0.01925	2588.8	2781.3	5.7103
0.02331	2729.1	2962.1	6.0060
0.02641	2832.4	3096.5	6.2120
0.02911	2922.1	3213.2	6.3805
0.03160	3005.4	3321.4	6.5282
0.03394	3085.6	3425.1	6.6622
0.03619	3164.1	3526.0	6.7864
0.03837	3241.7	3625.3	6.9029
0.04048	3318.9	3723.7	7.0131
0.04358	3434.7	3870.5	7.1687
0.04560	3512.1	3968.1	7.2670
<b>p = 140 bar = 14.0 MPa</b> (T <sub>sat</sub> = 336.75 °C)			
0.01149	2476.8	2637.6	5.3717
0.01422	2617.4	2816.5	5.6602
0.01722	2760.9	3001.9	5.9448
0.01954	2868.6	3142.2	6.1474
0.02157	2962.5	3264.5	6.3143
0.02343	3049.8	3377.8	6.4610
0.02517	3133.6	3486.0	6.5941
0.02683	3215.4	3591.1	6.7172
0.02843	3296.0	3694.1	6.8326
0.03075	3415.7	3846.2	6.9939
0.03225	3495.2	3946.7	7.0952



T	v	u	h	s
°C	m <sup>3</sup> /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg K

p = 160 bar = 16,0 MPa (T <sub>sat</sub> = 347,44°C)				
Sat	0,00931	2431,7	2580,6	5,2455
360	0,01105	2539,0	2715,8	5,4614
400	0,01426	2719,4	2947,6	5,8175
440	0,01652	2839,4	3103,7	6,0429
480	0,01842	2939,7	3234,4	6,2215
520	0,02013	3031,1	3353,3	6,3752
560	0,02172	3117,8	3465,4	6,5132
600	0,02323	3201,8	3573,5	6,6399
640	0,02467	3284,2	3678,9	6,7580
700	0,02674	3406,0	3833,9	6,9224
740	0,02808	3486,7	3935,9	7,0251

p = 200 bar = 20,0 MPa (T <sub>sat</sub> = 365,81°C)				
Sato	0,00583	2293,0	2409,7	4,9269
400	0,00994	2619,3	2818,1	5,5540
440	0,01222	2774,9	3019,4	5,8450
480	0,01399	2891,2	3170,8	6,0518
520	0,01551	2992,0	3302,2	6,2218
560	0,01689	3085,2	3423,0	6,3705
600	0,01818	3174,0	3537,6	6,5048
640	0,01940	3260,2	3648,1	6,6286
700	0,02113	3386,4	3809,0	6,7993
740	0,02224	3469,3	3914,1	6,9052

p = 280 bar = 28,0 MPa				
400	0,00383	2223,5	2330,7	4,7494
440	0,00712	2613,2	2812,6	5,4494
480	0,00885	2780,8	3028,5	5,7446
520	0,01020	2906,8	3192,3	5,9566
560	0,01136	3015,7	3333,7	6,1307
600	0,01241	3115,6	3463,0	6,2823
640	0,01338	3210,3	3584,8	6,4187
700	0,01473	3346,1	3758,4	6,6029
740	0,01558	3433,9	3870,0	6,7153
800	0,01680	3563,1	4033,4	6,8720
900	0,01873	3774,3	4298,8	7,1084

v	u	h	s
m <sup>3</sup> /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg K

p = 180 bar = 18,0 MPa (T <sub>sat</sub> = 357,06°C)			
0,00749	2374,3	2509,1	5,1044
0,00809	2418,9	2564,5	5,1922
0,01190	2672,8	2887,0	5,6887
0,01414	2808,2	3062,8	5,9428
0,01596	2915,9	3203,2	6,1345
0,01757	3011,8	3378,0	6,2960
0,01904	3101,7	3444,4	6,4392
0,02042	3188,0	3555,6	6,5696
0,02174	3272,3	3663,6	6,6905
0,02362	3396,3	3821,5	6,8580
0,02483	3478,0	3925,0	6,9623

p = 240 bar = 24,0 MPa			
0,00673	2477,8	2639,4	5,2393
0,00929	2700,6	2923,4	5,6506
0,01100	2838,3	3102,3	5,8950
0,01241	2950,5	3248,5	6,0842
0,01366	3051,1	3379,0	6,2448
0,01481	3145,2	3500,7	6,3875
0,01588	3235,5	3616,7	6,5174
0,01739	3366,4	3783,8	6,6947
0,01835	3451,7	3892,1	6,8038

p = 320 bar = 32,0 MPa			
0,00236	1980,4	2055,9	4,3239
0,00544	2509,0	2683,0	5,2327
0,00722	2718,1	2949,2	5,5968
0,00853	2860,7	3133,7	5,8357
0,00963	2979,0	3287,2	6,0246
0,01061	3085,3	3424,6	6,1858
0,01150	3184,5	3552,5	6,3290
0,01273	3325,4	3732,8	6,5203
0,01350	3415,9	3847,8	6,6361
0,01460	3548,0	4015,1	6,7966
0,01633	3762,7	4285,1	7,0372

### PROPIEDADES DEL AGUA

Temperatura (°C)	Densidad ρ (kg/m <sup>3</sup> )	Calor Especifico c <sub>p</sub> (J/kg°C)	Conductiv. térmica k (W/m°C)	Visc. dinám. η · 10 <sup>6</sup> (N·seg/m <sup>2</sup> )	Visc. cinem. ν · 10 <sup>6</sup> (m <sup>2</sup> /seg)
0	999,9	4226	0,558	1794	1,789
20	998,2	4182	0,597	1004	1,006
40	992,3	4178	0,633	653,0	0,658
60	983,2	4181	0,658	470,0	0,478
80	971,8	4194	0,673	353,7	0,364
100	958,4	4211	0,682	281,0	0,294
140	926,1	4279	0,687	198,2	0,214
180	887,0	4413	0,678	153,5	0,173
220	840,5	4606	0,656	126,0	0,150
260	784,0	4944	0,614	107,5	0,137
300	712,5	6594	0,543	94,1	0,132

## ANEXO N° 21. Propiedades del agua saturada, liquido subenfriado

T	$v \times 10^3$	u	h	s
°C	m <sup>3</sup> /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg K

P = 25 bar = 2,5 MPa (T <sub>sat</sub> = 223,99 °C)				
20	1,0006	83,80	86,30	0,2961
40	1,0067	167,25	169,77	0,5715
80	1,0280	334,29	336,86	1,0737
100	1,0423	418,24	420,85	1,3050
140	1,0784	587,82	590,52	1,7369
180	1,1261	761,16	763,97	2,1375
200	1,1555	849,9	852,8	2,3294
220	1,1898	940,7	943,7	2,5174
Sat.	1,1973	959,1	962,1	2,5546

P = 75 bar = 7,5 MPa (T <sub>sat</sub> = 290,59 °C)				
20	0,9984	83,50	90,99	0,2950
40	1,0045	166,64	174,18	0,5696
80	1,0256	333,15	340,84	1,0704
100	1,0397	416,81	424,62	1,3011
140	1,0752	585,72	593,78	1,7317
180	1,1219	758,13	766,55	2,1308
220	1,1835	936,2	945,10	2,5083
260	1,2696	1124,4	1134,0	2,8763
Sat.	1,3677	1282,0	1292,2	3,1649

P = 150 bar = 15,0 MPa (T <sub>sat</sub> = 342,24 °C)				
20	,9950	83,06	97,99	,2934
40	1,0013	165,76	180,78	,5666
80	1,0222	331,48	346,81	1,0656
100	1,0361	414,74	430,28	1,2955
140	1,0707	582,66	598,72	1,7242
180	1,1159	753,76	770,50	2,1210
220	1,1748	929,9	947,5	2,4953
260	1,2550	1114,6	1133,4	2,8576
300	1,3770	1316,6	1337,3	3,2260
Sato	1,6581	1585,6	1610,5	3,6848

P = 250 bar = 25,0 MP				
20	,9907	82,47	107,24	,2911
40	,9971	164,60	189,52	,5626
100	1,0313	412,08	437,85	1,2881
200	1,1344	834,5	862,8	2,2961
300	1,3442	1296,6	1330,2	3,1900

$v \times 10^3$	u	h	s
m <sup>3</sup> /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg K

p = 50 bar = 5,0 MPa (T <sub>sat</sub> = 263,99 °C)			
0,9995	83,65	88,65	0,2956
1,0056	166,95	171,97	0,5705
1,0268	333,72	338,85	1,0720
1,0410	417,52	422,72	1,3030
1,0768	586,76	592,15	1,7343
1,1240	759,63	765,25	2,1341
1,1530	848,1	853,9	2,3255
1,1866	938,4	944,4	2,5128
1,2859	1147,8	1154,2	2,9202

p = 100 bar = 10,0 MPa (T <sub>sat</sub> = 311,06 °C)			
0,9972	83,36	93,33	0,2945
1,0034	166,35	176,38	0,5686
1,0245	332,59	342,83	1,0688
1,0385	416,12	426,5	1,2992
1,0737	584,68	595,42	1,7292
1,1199	756,65	767,84	2,1275
1,1805	934,1	945,9	2,5039
1,2645	1121,1	1133,7	2,8699
1,4524	1393,0	1407,6	3,3596

p = 200 bar = 20,0 MPa (T <sub>sat</sub> = 365,81 °C)			
,9928	82,77	102,62	,2923
,9992	165,17	185,16	,5646
1,0199	330,40	350,80	1,0624
1,0337	413,39	434,06	1,2917
1,0678	580,69	602,04	1,7193
1,1120	750,95	773,20	2,1147
1,1693	925,9	949,3	2,4870
1,2462	1108,6	1133,5	2,8459
1,3596	1306,1	1333,3	3,2071
2,036	1785,6	1826,3	4,0139

p = 300 bar = 30,0 MPa			
,9886	82,17	111,84	,2899
,9951	164,04	193,89	,5607
1,0290	410,78	441,66	1,2844
1,1302	831,4	865,3	2,2893
1,3304	1287,9	1327,8	3,1741

## ANEXO N° 22. Propiedades del agua saturada (liquido-vapor): Tabla

Presión bar	Temp. °C	Volumen específico m <sup>3</sup> / kg		Energía interna kJ / kg		Entalpia kJ / kg			Entropía kJ / kg , K	
		Líquido sat.	Vapor sat.	Líquido sat.	Vapor sat.	Líquido sat.	Vapor vaporiz.	Vapor sat.	Líquido sat.	Vapor sat.
		$v_f \times 10^3$	$v_g$	$u_f$	$u_g$	$h_f$	$h_{fg}$	$h_g$	$s_f$	$s_g$
0.04	28,96	1,0040	34,800	121,45	2415,2	121,46	2432,9	2554,4	0,4226	8,4746
0.06	36,16	1,0064	23,739	151,53	2425,0	151,53	2415,9	2567,4	0,5210	8,3304
0.08	41,51	1,0084	18,103	173,87	2432,2	173,88	2403,1	2577,0	0,5926	8,2287
0.10	45,81	1,0102	14,674	191,82	2437,9	191,83	2392,8	2584,7	0,6493	8,1502
0.20	60,06	1,0172	7,649	251,38	2456,7	251,40	2358,3	2609,7	0,8320	7,9085
0.30	69,10	1,0223	5,229	289,20	2468,4	289,23	2336,1	2625,3	0,9439	7,7686
0.40	75,87	1,0265	3,993	317,53	2477,0	317,58	2319,2	2636,8	1,0259	7,6700
0.50	81,33	1,0300	3,240	340,44	2483,9	340,49	2305,4	2645,9	1,0910	7,5939
0.60	85,94	1,0331	2,732	359,79	2489,6	359,86	2293,6	2653,5	1,1453	7,5320
0.70	89,95	1,0360	2,365	376,63	2494,5	376,70	2283,3	2660,0	1,1919	7,4797
0.80	93,50	1,0380	2,087	391,58	2498,8	391,66	2274,1	2665,8	1,2329	7,4346
0.90	96,71	1,0410	1,869	405,06	2502,6	405,15	2265,7	2670,9	1,2695	7,3949
1.00	99,63	1,0432	1,694	417,36	2506,1	417,46	2258,0	2675,5	1,3026	7,3594
1.50	111,4	1,0528	1,159	466,94	2519,7	467,11	2226,5	2693,6	1,4336	7,2233
2.00	120,2	1,0605	0,8857	504,49	2529,5	504,70	2201,9	2706,7	1,5301	7,1271
2.50	127,4	1,0672	0,7187	535,10	2537,2	535,37	2181,5	2716,9	1,6072	7,0527
3.00	133,6	1,0732	0,6058	561,15	2543,6	561,47	2163,8	2725,3	1,6718	6,9919
3.50	138,9	1,0786	0,5243	583,95	2546,9	584,33	2148,1	2732,4	1,7275	6,9405
4.00	143,6	1,0836	0,4625	604,31	2553,6	604,74	2133,8	2738,6	1,7766	6,8959
4.50	147,9	1,0882	0,4140	622,25	2557,6	623,25	2120,7	2743,9	1,8207	6,8565
5.00	151,9	1,0926	0,3749	639,68	2561,2	640,23	2108,5	2748,7	1,8607	6,8212
6.00	158,9	1,1006	0,3157	669,90	2567,4	670,56	2086,3	2756,8	1,9312	6,7600
7.00	165,0	1,1080	0,2729	696,44	2572,5	697,22	2066,3	2763,5	1,9922	6,7080
8.00	170,4	1,1148	0,2404	720,22	2576,8	721,11	2048,0	2769,1	2,0462	6,6628
9.00	175,4	1,1212	0,2150	741,83	2580,5	742,83	2031,1	2773,9	2,0946	6,6226
10.0	179,9	1,1273	0,1944	761,68	2583,6	762,81	2015,3	2778,1	2,1387	6,5863
15.0	198,3	1,1539	0,1318	843,16	2594,5	844,84	1947,3	2792,2	2,3150	6,4448
20.0	212,4	1,1767	0,09963	906,44	2600,3	908,79	1890,7	2799,5	2,4474	6,3409
25.0	224,0	1,1973	0,07998	959,11	2603,1	962,11	1841,0	2803,1	2,5547	6,2575
30.0	233,9	1,2165	0,06668	1004,8	2604,1	1008,4	1795,7	2804,2	2,6457	6,1869
35.0	242,6	1,2347	0,05707	1045,4	2603,7	1049,8	1753,7	2803,4	2,7253	6,1253
40.0	250,4	1,2522	0,04978	1082,3	2602,3	1087,3	1714,1	2801,4	2,7984	6,0701
45.0	257,5	1,2692	0,04406	1116,2	2600,1	1121,9	1676,4	2798,3	2,8610	6,0199
50.0	264,0	1,2859	0,03944	1147,8	2597,1	1154,2	1640,1	2794,3	2,9202	5,9734
60.0	275,6	1,3187	0,03244	1205,4	2589,7	1213,4	1571,0	2784,3	3,0267	5,8892
70.0	285,9	1,3513	0,02737	1257,6	2580,5	1267,0	1505,1	2772,1	3,1211	5,8133
80.0	295,1	1,3842	0,02352	1305,6	2569,8	1316,6	1441,3	2758,0	3,2068	5,7432
90.0	303,4	1,4178	0,02048	1350,5	2557,8	1363,3	1378,9	2742,1	3,2858	5,6772
100	311,1	1,4524	0,01803	1393,0	2544,4	1407,6	1317,1	2724,7	3,3596	5,6141
110	318,2	1,4886	0,01599	1433,7	2529,8	1450,1	1255,5	2705,6	3,4295	5,5527
120	324,8	1,5267	0,01426	1473,0	2513,7	1491,3	1193,6	2684,9	3,4962	5,4924
130	330,9	1,5671	0,01278	1511,1	2496,1	1531,5	1130,7	2662,2	3,5606	5,4323
140	336,8	1,6107	0,01149	1548,6	2476,8	1571,1	1066,5	2637,6	3,6232	5,3717
150	342,2	1,6581	0,01034	1585,6	2455,5	1610,5	1000,0	2610,5	3,6848	5,3098
160	347,4	1,7107	0,009306	1622,7	2431,7	1650,1	930,6	2580,6	3,7461	5,2455
170	352,4	1,7702	0,008364	1660,2	2405,0	1690,3	856,9	2547,2	3,8079	5,1777
180	357,1	1,8397	0,007489	1698,9	2374,3	1732,0	777,1	2509,1	3,8715	5,1044
190	361,5	1,9243	0,006657	1739,9	2338,1	1776,5	688,0	2464,5	3,9388	5,0228
200	365,8	2,036	0,005834	1785,6	2293,0	1826,3	583,4	2409,7	4,0139	4,9269
220,9	374,1	3,155	0,003155	2029,6	2029,6	2099,3		2099,3	4,4298	4,4298

## ANEXO N° 23. Propiedades del agua saturada (líquido vapor): Tabla de Temperaturas

Temp.	Presión	Volumen específico		Energía interna		Entalpia			Entropía	
		m <sup>3</sup> /kg		kJ/kg		kJ/kg			kJ/kg, K	
		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Vapor	Líquido	Vapor
°C	bar	v <sub>f</sub> x 10 <sup>3</sup>	v <sub>g</sub>	u <sub>f</sub>	u <sub>g</sub>	h <sub>f</sub>	h <sub>g</sub>	h <sub>g</sub>	s <sub>f</sub>	s <sub>g</sub>
.01	0.00611	1.0002	206.136	0.00	2375.3	0.01	2501.3	2501.4	0.0000	9.1562
4	0.00613	1.0001	157.232	16.77	2380.9	16.78	2491.9	2508.7	0.0610	9.0614
5	0.00872	1.0001	147.120	20.97	2382.3	20.98	2489.6	2510.6	0.0761	9.0257
6	0.00935	1.0001	137.734	25.19	2383.6	25.20	2487.2	2512.4	0.0912	9.0003
8	0.01072	1.0002	120.917	33.59	2386.4	33.60	2482.5	2516.1	0.1212	8.9601
10	0.01228	1.0004	106.379	42.00	2389.2	42.01	2477.7	2519.8	0.1510	8.9008
11	0.01312	1.0004	99.857	46.20	2390.5	46.20	2475.4	2521.6	0.1658	8.8765
12	0.01402	1.0005	93.784	50.41	2391.9	50.41	2473.0	2523.4	0.1806	8.8524
13	0.01497	1.0007	88.124	54.60	2393.3	54.60	2470.7	2525.3	0.1953	8.8285
14	0.01598	1.0008	82.848	58.79	2394.7	58.80	2468.3	2527.1	0.2099	8.8048
15	0.01705	1.0009	77.926	62.99	2396.1	62.99	2465.9	2528.9	0.2245	8.7814
16	0.01818	1.0011	73.333	67.18	2397.4	67.19	2463.6	2530.8	0.2390	8.7582
17	0.01938	1.0012	69.044	71.38	2398.8	71.38	2461.2	2532.6	0.2535	8.7351
18	0.02064	1.0014	65.038	75.57	2400.2	75.58	2458.8	2534.4	0.2679	8.7123
19	0.02198	1.0016	61.293	79.76	2401.6	79.77	2456.5	2536.2	0.2823	8.6897
20	0.02339	1.0018	57.791	83.95	2402.9	83.96	2454.1	2538.1	0.2966	8.6672
21	0.02487	1.0020	54.514	88.14	2404.3	88.14	2451.8	2539.9	0.3109	8.6450
22	0.02645	1.0022	51.447	92.32	2405.7	92.33	2449.4	2541.7	0.3251	8.6229
23	0.02810	1.0024	48.574	96.51	2407.0	96.52	2447.0	2543.5	0.3393	8.6011
24	0.02985	1.0027	45.883	100.70	2408.4	100.70	2444.7	2545.4	0.3534	8.5794
25	0.03169	1.0029	43.360	104.88	2409.8	104.89	2442.3	2547.2	0.3674	8.5580
26	0.03363	1.0032	40.994	109.06	2411.1	109.07	2439.9	2549.0	0.3814	8.5367
27	0.03567	1.0035	38.774	113.25	2412.5	113.25	2437.6	2550.8	0.3954	8.5156
28	0.03782	1.0037	36.690	117.42	2413.9	117.43	2435.2	2552.6	0.4093	8.4946
29	0.04008	1.0040	34.733	121.60	2415.2	121.61	2432.8	2554.4	0.4231	8.4739
30	0.04246	1.0043	32.894	125.78	2416.6	125.79	2430.5	2556.3	0.4369	8.4533
31	0.04496	1.0046	31.165	129.96	2418.0	129.97	2428.1	2558.1	0.4507	8.4329
32	0.04759	1.0050	29.540	134.14	2419.3	134.15	2425.7	2559.9	0.4644	8.4127
33	0.05034	1.0053	28.011	138.32	2420.7	138.33	2423.4	2561.7	0.4781	8.3927
34	0.05324	1.0056	26.571	142.50	2422.0	142.50	2421.0	2563.5	0.4917	8.3728
35	0.05628	1.0060	25.216	146.67	2423.4	146.68	2418.6	2565.3	0.5053	8.3531
36	0.05947	1.0063	23.940	150.85	2424.7	150.86	2416.2	2567.1	0.5188	8.3336
38	0.06632	1.0071	21.602	159.20	2427.4	159.21	2411.5	2570.7	0.5458	8.2950
40	0.07384	1.0078	19.523	167.56	2430.1	167.57	2406.7	2574.3	0.5725	8.2570
45	0.09593	1.0099	15.258	188.44	2436.8	188.45	2394.8	2583.2	0.6387	8.1648
50	0.12335	1.0121	12.032	209.32	2443.5	209.33	2382.7	2592.1	0.7038	8.0763
55	0.1576	1.0146	9.568	230.21	2450.1	230.23	2370.7	2600.9	0.7679	7.9913
60	0.1994	1.0172	7.671	251.11	2456.6	251.13	2358.5	2609.6	0.8312	7.9096
65	0.2503	1.0199	6.197	272.02	2463.1	272.06	2346.2	2618.3	0.8935	7.8310
70	0.3119	1.0228	5.042	292.95	2469.6	292.98	2333.8	2626.8	0.9549	7.7553
75	0.3858	1.0259	4.131	313.90	2475.9	313.93	2321.4	2635.3	1.0155	7.6824
80	0.4739	1.0291	3.407	334.86	2482.2	334.91	2308.8	2643.7	1.0753	7.6122
85	0.5783	1.0325	2.828	355.84	2488.4	355.90	2296.0	2651.9	1.1343	7.5445
90	0.7014	1.0360	2.361	376.85	2494.5	376.92	2283.2	2660.1	1.1925	7.4791
95	0.8455	1.0397	1.982	397.88	2500.6	397.96	2270.2	2668.1	1.2500	7.4159
100	1.014	1.0435	1.673	418.94	2506.5	419.04	2257.0	2676.1	1.3069	7.3549
110	1.433	1.0516	1.210	461.14	2518.1	461.30	2230.2	2691.5	1.4185	7.2387
120	1.965	1.0603	0.8919	503.50	2529.3	503.71	2202.6	2706.3	1.5276	7.1296
130	2.701	1.0697	0.6685	546.02	2539.9	546.31	2174.2	2720.5	1.6344	7.0269
140	3.613	1.0797	0.5089	588.74	2550.0	589.13	2144.7	2733.9	1.7391	6.9299
150	4.758	1.0905	0.3928	631.68	2559.5	632.20	2114.3	2746.5	1.8418	6.8379
160	6.178	1.1020	0.3071	674.86	2568.4	675.55	2082.6	2758.1	1.9427	6.7502
170	7.917	1.1143	0.2428	718.33	2576.5	719.21	2049.5	2768.7	2.0419	6.6663
180	10.02	1.1274	0.1941	762.09	2583.7	763.22	2015.0	2778.2	2.1396	6.5857
190	12.54	1.1414	0.1565	806.19	2590.0	807.62	1978.8	2786.4	2.2359	6.5079
200	15.54	1.1565	0.1274	850.65	2595.3	852.45	1940.7	2793.2	2.3309	6.4323
210	19.06	1.1726	0.1044	895.53	2599.5	897.76	1900.7	2798.5	2.4248	6.3585
220	23.18	1.1900	0.08619	940.87	2602.4	943.62	1858.5	2802.1	2.5178	6.2861
230	27.95	1.2088	0.07158	986.74	2603.9	990.12	1813.8	2804.0	2.6099	6.2146
240	33.44	1.2291	0.05976	1033.2	2604.0	1037.3	1766.5	2803.8	2.7015	6.1437
250	39.73	1.2512	0.05013	1080.4	2602.4	1085.4	1716.2	2801.5	2.7927	6.0730
260	46.88	1.2755	0.04221	1128.4	2599.0	1134.4	1662.5	2796.6	2.8838	6.0019
270	54.99	1.3023	0.03564	1177.4	2593.7	1184.5	1605.2	2789.7	2.9751	5.9301
280	64.12	1.3321	0.03017	1227.5	2586.1	1236.0	1543.7	2779.6	3.0668	5.8571
290	74.36	1.3656	0.02557	1278.9	2576.0	1289.1	1477.1	2766.2	3.1594	5.7921

## ANEXO N° 24. Algoritmo de análisis de térmico espesores en Matlab

### Algoritmo implementado en Matlab

```
% Define dominio y grilla
p=0; % Inicio dominio en x
q=20; % Fin dominio en x
r=0; % Inicio dominio en y
s=20; % Fin dominio en y

vx=0.15; % Difusión en x
vy=0.15; % Difusión en y
NX=51; % Cantidad puntos grilla en x
NY=51; % Cantidad puntos grilla en y
dx=((q-p)/(NX-1)); % Incrementos en x
dy=((s-r)/(NY-1)); % Incrementos en y

x=p:dx:q; % Vector puntos grilla en x
y=r:dy:s; % Vector puntos grilla en y
Tv=24; % Tiempo simulación
dt=0.5; % Incrementos tiempo
NT=round(Tv/dt); % Cantidad iteraciones en el tiempo
E=((dt*vx)/(dx*dx)); % Factor de estabilidad
T=zeros(NX,NY); % Inicializa grilla

% Define condiciones Iniciales

To=T;
for j=1:NY
for i=1:NX
To(j,i)=100*Gauss2D(x(i),y(j),p, q, r, s);

end

end
```

## **ANEXO N° 25. Algoritmo de análisis de térmico usando Laplaciano para un espesor de acero en Matlab**

### **Algoritmo Laplaciano**

```
ToL=To; % Condiciones iniciales Laplaciano
Ttemp=zeros(NY+2,NX+2); % Grilla mas nodos de sombra
Ttemp(2:NY+1,2:NX+1)=ToL; % Condiciones iniciales
ToL=Ttemp; % Condiciones iniciales mas nodos de sombra
clear Ttemp % Borra Ttemp del espacio de trabajo

b= (dx/dy); % Factor de avance
Den=2*(1+(b*b)); % Denominador

T=ToL; % Carga condiciones iniciales
for j=2:NY+1
for i=2:NX+1

T(j,i)=(T(j+1,i)+T(j-1,i)+ ((b*b)*(T(j,i+1)+ T(j,i-1))))/Den;

end % Lazo dirección x
end % Lazo dirección y
% Algoritmo propuesto
ToP=To; % Condiciones iniciales solución parabólica
V=0.0; % Promedio vecindad punto en iteración

for k=1:NT
Ttemp=zeros(NY+2,NX+2); % Grilla mas nodos de sombra
Ttemp(2:NY+1,2:NX+1)=ToP; % Condiciones iniciales
ToP=Ttemp; % Condiciones iniciales mas nodos de sombra
clear Ttemp % Borra Ttemp del espacio de trabajo

for j=2:NY+1
for i=2:NX+1

V = (ToP(j,i+1)+ ToP(j,i-1)+ ToP(j+1,i)+ ToP(j-1,i))/2;
T(j,i)=((1-2*E)* ToP(j,i))+ E*V;
end % Lazo en la dirección x
```

```

end % Lazo en la dirección y
ToP=T(2:NY+1,2:NX+1); % Memoriza solución estimada
end % Lazo de tiempo
%L1 comparar resultados solución parabólica Vs. Laplaciano
L1=0;
for j=2:NY
for i=2:NX
L1= L1 + abs(ToL(j,i)-ToP(j,i));
end

```

## **ANEXO N° 26. Algoritmo de análisis gráfico del proceso termodinámico de secado.**

end

```

matriz1=xlsread('Lenin.xlsx','A2:A1024')
matriz2=xlsread('Lenin.xlsx','B2:B1024')
plot(matriz1,matriz2)
xlabel('Drying Time (min)');
ylabel('Temperature of the drying chamber');
title('Temporal Variation of the Temperature Inside the Drying Chamber');

matriz3=xlsread('Lenin.xlsx','G2:G1024')
plot(matriz1,matriz3)
xlabel('Drying Time (min)');
ylabel('Humidity of the drying chamber');
title('Temporal Variation of the Humidity Inside the Drying Chamber');

matriz4=xlsread('Lenin.xlsx','G2:G1024')
plot(matriz1,matriz4)
xlabel('Drying Time (min)');
ylabel('Humidity Relative of the drying chamber');
title('Temporal Variation of the Humidity Relative Inside the Drying Chamber');

matriz5=xlsread('Secado.xlsx','C45:C69')
matriz6=xlsread('Secado.xlsx','H45:H69')
plot(matriz5,matriz6)
xlabel('Drying Time (min)');
ylabel('Humidity Relative the apple of the drying chamber');
title('Temporal Variation of the Humidity Relative the apple Inside the Drying Chamber');

matriz7=xlsread('Secado.xlsx','C45:C69')
matriz8=xlsread('Secado.xlsx','I45:I69')
plot(matriz7,matriz8)
xlabel('Drying Time (min)');
ylabel('Humidity Humidity on Wet Basis the apple of the drying chamber');
title('Temporal Variation of the Humidity on Wet Basis the apple Inside the Drying Chamber');

matriz9=xlsread('Secado.xlsx','C45:C69')
matriz10=xlsread('Secado.xlsx','J45:J69')

```

```

plot(matriz9,matriz10)
xlabel('Drying Time (min)');
ylabel('Humidity Humidity on Dry Basis the apple of the drying chamber');
title('Temporal Variation of the Humidity on Dry Basis the apple Inside the Drying Chamber');

matriz11=xlsread('Secado.xlsx','C45:C69')
matriz12=xlsread('Secado.xlsx','K45:K69')
plot(matriz11,matriz12)
xlabel('Drying Time (min)');
ylabel('Humidity Humidity Free the apple of the drying chamber');
title('Temporal Variation of the Humidity Free the apple Inside the Drying Chamber');

matriz11=xlsread('Secado.xlsx','C80:C103')
matriz12=xlsread('Secado.xlsx','I80:I103')
plot(matriz11,matriz12,'s:r')
xlabel('Drying Time (h)');
ylabel('Drying Rate (N.kg/m2.h)');
title('Temporary Variation of Drying Rate');

matriz13=xlsread('Secado.xlsx','C80:C103')
matriz14=xlsread('Secado.xlsx','J80:J103')
plot(matriz13,matriz14,'s:r')
xlabel('Drying Time (h)');
ylabel('Drying Rate 1/(N.kg/m2.h)');
title('Temporary Variation Inverse of Drying Rate');

matriz11=xlsread('Secado.xlsx','C80:C103')
matriz12=xlsread('Secado.xlsx','I80:I103')
matriz13=xlsread('Secado.xlsx','C80:C103')
matriz14=xlsread('Secado.xlsx','J80:J103')
plot(matriz11,matriz12,matriz13,matriz14,'s:g')

```

## ANEXO N° 27. Algoritmo de análisis gráfico del te la transferencia de calor entre las placas de acero.

```
%Calculo transferencia de calor entre la placa.
format short
fprintf('\n Complete los datos que se muestran a continuación\n');
total=input('\n Cantidad de placas dispuesta para el análisis: ');
Ti=input('\n Temperatura Inicial en (°C): ');
Tf=input('\n Temperatura Final en (°C): ');
L=input('\n Altura de la placa en metros (m): ');
a=input('\n Ancho de la placa en metros (m): ');
A=L*a;
r=0;
xff=0;
Ta=Ti;

xt=[];
kt=[];
xf=[];
for nn=1:1:total;
    if nn <=total
        x=input('\n Introduzca en espesor de la placa en metros (m): ');
        k=input('\n Introduzca la conductividad termica de la placa en (W/m°C) : ');

        r=((x)/(k*A))+r;
        xff=x+xff;

    end
    xt=[xt x];
    kt=[kt k];
    xf=[xf xff];
end

q=(Ti-Tf)/r;
s1=(q*xt)./(kt*A);

Tb=[];
for n=1:1:total;

    Ta=Ta-s1(n);
    Tb=[Tb Ta];
end

plot(xf, Tb, 'rx-');
```

```
grid on
hold on

plot(0,Ti,'rx-');
grid on
hold on
xlabel('Espesor en (m)');
ylabel('Temperatura de la placa en (°C)');
title('Perfil de Temperaturas');

fprintf('\n La resistencia termica total es (°C/m)=%g\n',r);
fprintf('\n El flujo del calor del sistema es (W)=%g \n',q);
fprintf('\n La temperaturas del sistema son=\n');
fprintf('\n %g ',Ti);
fprintf('\n %g ',Tb);
```

**ANEXO N° 28. Detalle del presupuesto de la construcción del secador homogéneo de flujo de aire caliente controlado.**

<b>PRESUPUESTO PARA LA CONSTRUCCION DEL SECADOR HOMOGENEO</b>	
<b>DESCRIPCION</b>	<b>COSTO (S./)</b>
Plancha de acero galvanizado 1.20m x 2.40m x 1mm	130.00
Tubo Galvanizado de 4"	22.00
Tubo Galvanizado de 2"	7.50
Sierra Sanflex	2.80
Masilla velozflex anypsa	6.00
Lijas para fierro #50	1.80
Lija al agua #120	1.20
Lija al agua #180	1.20
Base para pintura térmica	35.00
Pintura Térmica	47.00
Bisagras de 2"	3.50
Bisagras de 1"	2.50
Soldadura	2.50
Electrodos punto azul 1/8"	4.00
Alquiler de Maquina Soldadora Tipo Electrodo - MIG	35.00
Dispositivos electrónicos	45.00
Arduino tipo simple	110.00
Cable de datos usb	5.00
Cable de comunicación digital	5.00
Lana de Vidrio	50.00
Tarjeta de potencia	30.00
Sensor de temperatura LM35	15.00
Sensor de temperatura tipo DHT111	10.00
Enchufe	1.00
Llave térmica	15.00
Enchufes	1.00
Herramientas manuales	50.00
Arco de sierra	7.50
Desarmador punta plana	5.50
Desarmador punta estrella	5.50

Alquiler de Amoladora manual de 5"	25.00
Extensión de 5 ml	5.00
Guantes de Cuero	3.50
Guantes de cuero para soldar, escarpines	25.30
Careta para soldar	12.90
Lentes transparentes	2.50
Mascarilla antipartículas	1.50
Tapones auditivos	0.50
<b>SUB TOTAL</b>	<b>733.70</b>
Mano De Obra Construcción De Equipo	300.00
<b>TOTAL</b>	<b>1033.70</b>

## PLANOS





