

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
ESCUELA DE POSGRADO**

**SECCION DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE
INGENIERIA QUIMICA**



**OPTIMIZACION DEL MODELO DE
SIMULACION DE LA CINETICA DE SECADO
POR MICROONDAS DE LAMINAS DE
JENGIBRE (*Zingiber officinale*)**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADEMICO DE
MAESTRO EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

AUTOR: DOMINGO JAVIER NIETO FREIRE

CALLAO - 2015

PERU

La presenta tesis fue sustentada ante el **JURADO EXAMINADOR** conformado por los siguientes profesores ordinarios:

Dr. Carlos Alejandro Ancieta Dextre	Presidente
Dr. Julio Cesar Calderón Cruz	Secretario
Mg. María Estela Toledo Palomino	Miembro
Mg. Zoila Margarita Díaz Córdoba	Miembro

Según figura en el **Libro de Actas N°1 Folios N°006** asentado en el **Acta N°004** de fecha **tres de diciembre del dos mil quince**, para obtener el Grado Académico de Maestro en la modalidad de **Sustentación de Tesis**, de acuerdo a lo normado por el Reglamento de Estudios de Posgrado vigente.

DEDICATORIA

Doy gracias a Dios, por permitirme abrir las puertas del conocimiento.

AGRADECIMIENTO

A la **Universidad Nacional del Callao**, en especial a la sección de **Posgrado de la Facultad de Ingeniería Química**, por la formación académica brindada.

A todos los profesores de la maestría.

A mi asesor, maestro y amigo, el **Dr. David Vivanco Pezantes**, por sus enseñanzas, su motivación y ayuda desinteresada con sus aportes brindados a lo largo de esta tesis.

A mis amigos que me apoyaron en el desarrollo de la tesis.

Muchas gracias.

INDICE

	Pág.
RESUMEN	9
ABSTRACT	11
CAPITULO I	
PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACION	13
1.1. Identificación del problema	13
1.2. Formulación del problema	14
1.3. Objetivos de la Investigación	14
1.3.1 Objetivo General	14
1.3.2 Objetivos Específicos	15
1.4. Justificación	15
CAPITULO II	
MARCO TEORICO	17
2.1 Antecedentes	17
2.2 Marco Teórico	18
2.2.1 El Jengibre	18
2.2.2 Operación de Secado	26
2.2.3 Tecnología de las Microondas	31
2.3 Definiciones	35
CAPITULO III	
VARIABLES E HIPOTESIS	36

	Pág.
3.1 Definición de las variables	36
3.2 Operacionalización de variables	36
3.2.1 Método del Dr. Genichi Taguchi	36
3.3 Hipótesis General	37
3.3.1 Hipótesis Específica	37
CAPITULO IV	
METODOLOGIA	39
4.1. Tipo de investigación	39
4.2. Diseño de la investigación	39
4.3 Población y muestra	41
4.3.1 Población	41
4.3.2 Muestra	41
4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	41
4.4.1Técnicas	41
4.4.2 Instrumentos de Recolección de datos	44
4.5 Procedimiento de recolección de datos	46
4.6 Procedimiento estadístico y análisis de datos	46

	Pág.
CAPITULO V	
RESULTADOS	49
5.1 Optimización del modelamiento de la cinética de secado	49
5.2 Modelamiento del proceso de rehidratación	60
CAPITULO VI	
DISCUSION DE RESULTADOS	68
6.1 Contrastación de hipótesis con los resultados del Secado	68
6.2 Contrastación de la hipótesis con los resultados de la Rehidratación	69
6.3 Actividad de agua	70
CAPITULO VII	
CONCLUSIONES	71
CAPITULO VIII	
RECOMENDACIONES	73
CAPITULO IX	
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	74
ANEXOS	76

	Pág.
CONTENIDO DE TABLAS	
Tabla N° 4.1 Factores de Arreglo Ortogonal	40
Tabla N° 4.2 Diseño estadístico con arreglo $L_a(b)^K$	40
Tabla N° 4.3 Modelos cinéticos comparativos de secado	42
Tabla N° 4.4 Tratamiento estadístico de los puntos medios de secado y Análisis de Varianza	47
Tabla N° 5.1 Tiempos experimentales de Secado	49
Tabla N° 5.2 Valores estimados de los efectos de las variables Independientes Potencia y Espesor para la determinación del modelo óptimo de secado	51
Tabla N° 5.3 Efectos y Analisis de Varianza del tiempo entre espesor y potencia	51
Tabla N° 5.4 ANOVA Fuente de variación de la regresión para el tiempo de secado	52
Tabla N° 5.5 Coeficiente de Regresión para el modelo matemático	52
Tabla N° 5.6 Comparación de los coeficientes de correlación	56
Tabla N° 5.7 Comparando Modelos en relación al tiempo y el	

	Pág.
Coeficiente de determinación R^2	57
Tabla N° 5.8 Valores estimados de las variables independientes de Rehidratación	61
Tabla N° 5.9 Análisis de Varianza del % de Rehidratación	61
Tabla N° 5.10 ANOVA Fuente de variación de la regresión	62
Tabla N° 5.11 Coeficientes de regresión para el modelo matemático de la optimización del % de Rehidratación	
Respecto a las variables	62
Tabla N° 5.12 Resumen de Datos del % de Rehidratación	65
Tabla N° 5.13 Cinética de Rehidratación mediante modelo de Peleg	66
Tabla N° 5.14 Actividad de agua	67
CONTENIDO DE CUADROS	
Cuadro N° 2.1 Clasificación Taxonómica del Jengibre	18
Cuadro N° 3.1 Variables	37
Cuadro N° 3.2 Operacionalización de Variables	37

	Pág.
CONTENIDO DE FIGURAS	
Figura N° 2.1 Planta de Jengibre (Zingiber officinale)	19
Figura N° 2.2 El Jengibre	19
Figura N° 2.3 Reconocimiento de la planta del Jengibre	21
Figura N° 2.4 Composición química del Jengibre 6-Gingerols y 6-Shogaol	22
Figura N° 2.5 El Magnetron	33
Figura N° 2.6 El Magneto	34
Figura N° 4.1 Flujo del diseño experimental del secado de Jengibre	45
CONTENIDO DE GRAFICAS	
Grafica N° 2.1 Resultados de HPLC de los componentes de Jengibre	26
Grafica N° 2.2 Contenido de agua en celulosa	27
Grafica N° 2.3 Histéresis	29
Grafica N° 2.4 Tipos de humedad	30
Grafica N° 4.2 Control estadístico de Espesor de Muestra	48

	Pág.
Grafica N° 5.1 grafico de Pareto de los efectos del tiempo de Estándar de secado respecto a las variables independientes	50
Grafica N° 5.2 Superficie de respuesta para la determinación del tiempo de secado	53
Grafica N° 5.3 Superficie de contorno para la determinación de La región optima de secado	54
Grafica N° 5.4 Valores estimados y Observados para el tiempo de secado	55
Grafica N° 5.5 Curva experimental de secado según el modelo Page a 918W y 3,5mm espesor	57
Grafica N° 5.6 Curva experimental de secado según el modelo Page a 918W y 2mm espesor	58
Grafica N° 5.7 Curva experimental de secado según el modelo Henderson – Pabis a 918W y 2mm espesor	58
Grafica N° 5.8 Curva experimental de secado según el modelo de Logarítmico a 918W y 2mm espesor	59

	Pág.
Grafica N° 5.9 Curva experimental de secado según el modelo Newton a 918W y 2mm espesor	59
Grafica N° 5.10 Curvas experimentales y datos Modelados según Ecuación Page a 918 W y espesor 5mm	60
Grafica N° 5.11 Superficie de Respuesta para determinación del % de Rehidratación	63
Grafica N° 5.12 Superficie de contorno para región optima del proceso de Rehidratación de láminas secas de Jengibre	64
Grafica N° 5.13 Valores estimados y Observados para el % de Rehidratación de láminas secas de Jengibre	64
Grafica N° 5.14 Curva Cinética de Rehidratación	67

RESUMEN

El objetivo de la presente Tesis ha sido la optimización de un modelo que describa la simulación de la cinética de secado por microondas de láminas de Jengibre (*Zingiber officinale*) para lo cual se emplearon diversas herramientas, entre ellas se utilizaron: La Metodología del Dr Genichi Taguchi; la metodología Superficie Respuesta (**MSR**); software Minitab®; Microsoft Excel® y su complemento Solver para hoja de cálculo; así como el uso del software Statistica ®.

Utilizando el método **Taguchi** se determinó un arreglo de la forma $L_a(\mathbf{b})^K$ que permitió determinar que el número mínimo de pruebas que fueron nueve, que trabajadas por triplicado dieron veintisiete (27) pruebas mínimas realizadas. Se efectuó el tratamiento estadístico para determinar la media del espesor de la muestras utilizando el software Minitab®

Teniendo en consideración que la Metodología Superficie Respuesta (**MSR**) ubico a las variables independientes $X_2 = 3,5\text{mm}$ y $Y_2 = 918\text{W}$ como los puntos centrales óptimos. Los modelos comparados empleados en proceso de optimización fueron el de **Page, Henderson Pabis, Logarítmico y el de Newton** dichos modelos fueron analizados con Microsoft Excel® y su complemento Solver la finalidad de encontrar el modelo que describa de manera óptima la simulación de la cinética de secado. De los modelos evaluados el **modelo cinético de secado de Page** dio la aproximación ideal a los datos experimentales, con el valor

del coeficiente de determinación $R^2 = 0,9959$; la constante $k = 0,100$; y el coeficiente $n = 2,2619$ teniendo en consideración que el menor tiempo de secado fue de **4,33 minutos**, para una densidad de carga de **0,4 g/cm³**.

Para la modelación de operación de rehidratación se determinó que la ecuación de Peleg, describía de forma adecuada la curva cinética de rehidratación, dicha ecuación quedó definida por las constantes $K_1 = 6,5646$; $K_2 = 3,4271$ las cuales fueron determinadas utilizando la aplicación Microsoft Excel Solver® se ajustaron los datos experimentales determinándose un valor del coeficiente de determinación $R^2 = 0,672$.

ABSTRACT

The aim of this thesis has been the optimization of a model that describes the simulation of the kinetics of microwave drying sheets Ginger (*Zingiber officinale*) for which various tools were used, including were used: the methodology of Dr Genichi Taguchi; Response surface methodology (MSR); Minitab software; Microsoft Excel and its Solver add-in worksheet; and the use of Statistica ® software.

Taguchi method using an array of Form $L_a(b)^k$ which identified the minimum number of tests were nine, which gave triplicate worked twenty (27) minimum tests performed was determined. The statistical analysis was performed to determine the average thickness of the samples using the software Minitab®

Considering that the Response Surface Methodology (**MSR**) located to the independent variables $X_2 = 3.5$ mm and $Y_2 = 918$ W as the optimum focal points. Compared models used in the optimization process were Page, Henderson Pabis, logarithmic and Newton said models were analyzed using Microsoft Excel and its Solver add-in order to find the model that optimally describe the kinetics simulation drying. Models evaluated the drying kinetic model Page gave the ideal approach to the experimental data, with the coefficient of determination $R_2 = 0,9959$; the constant $k = 0,100$; and the coefficient $n = 2,2619$ considering that the reduced drying time was 4,33 minutes, for a charge density of $0,4$ g / cm³.

For modeling operation of rehydration it was determined that the equation Peleg, described adequately rehydration kinetic curve, the equation I remain defined by the constant $K_1 = 6,5646$; $K_2 = 3,4271$ which were determined using Microsoft Excel application Solver® adjusted experimental data determining a value of the coefficient of determination $R^2 = 0,672$.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACION

1.1 Identificación del Problema

Conservar los alimentos es una prioridad para el ser humano que data desde la antigüedad y está estrechamente relacionada con su evolución y su supervivencia frente a los diversos climas con los que se enfrentaba, pasando de recolectores a productores de alimentos.

Por miles de años, los seres humanos han secado carnes y otros alimentos como la papa (papa seca), hasta el año 1940 los microbiólogos pensaban que el porcentaje de agua en un alimento controlaba el crecimiento de microorganismos causantes del deterioro de los alimentos. Más tarde se determinó que la actividad del agua (a_w) era el parámetro a controlar en los alimentos, y una de las operaciones empleadas para disminuir la a_w a parámetros óptimos es la llamada operación de secado.

Debido a la producción masiva de alimentos es necesaria aplicar la operación de secado usando nuevas tecnologías, cada vez más eficientes y rápidas, como es el caso de la radiación por microondas, por lo que se torna importante desarrollar sus aplicaciones, específicamente en este caso se experimentó con la tecnología de radiación por microondas para el secado de láminas de Jengibre (*Zingiber officinale*) con la finalidad de conocer y desarrollar el modelo cinético de secado, para así poder

establecer la optimización del modelo de la operación y lograr abrir un campo de aplicación para otros alimentos.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Se logrará optimizar el modelo de simulación que describe la cinética de la operación de secado por radiación de microondas de láminas de Jengibre (*Zingiber officinale*)?

1.2.2 Problemas específicos

¿Variará el modelo cinético de secado si cambian el espesor de las láminas de Jengibre (*Zingiber officinale*)?

¿Variará el modelo cinético de secado si cambia la potencia de radiación de las microondas?

¿Cómo será la curva de rehidratación de Jengibre (*Zingiber officinale*) seco?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Optimizar el modelo que simule la cinética de la operación de secado por radiación de microondas de láminas Jengibre (*Zingiber officinale*).

1.3.2 Objetivos específicos

Determinar si el modelo que simula la cinética de secado por radiación de microondas varía en función al espesor de las láminas del Jengibre.

Determinar si se produce variación del modelo que simula la cinética de secado si la potencia de radiación de las microondas cambia.

Desarrollar la curva de la cinética de rehidratación de láminas de Jengibre (*Zingiber officinale*).

1.4 Justificación

La investigación permitió demostrar que la cinética del secado por microondas fue una operación unitaria factible de ser modelada matemáticamente en base a datos experimentales confiables, sometidos a análisis estadísticos, como la prueba de hipótesis con niveles significancia del 95%. Es el comienzo para pensar en desarrollar la implementación de esta tecnología para su aplicación a diversos alimentos y que sean de utilidad para la industria alimentaria.

La no existencia de información de tratados en nuestro país que permitan orientar el desarrollo del estudio para la modelación de secado por radiación microondas hace que esta tesis tome el impulso necesario para su ejecución. La modelación de la operación de secado para láminas de Jengibre (*Zingiber officinale*) empleó herramientas nuevas para su estudio como lo es el uso de Microsoft

Excel Solver®, además encontramos que este complemento se encuentra en la mayoría de los ordenadores, el cual permite calcular la posible optimización del modelo de simulación de la cinética de secado por microondas.

Así mismo, al determinar el tiempo mínimo de la operación de secado por microondas se puede comparar con otros procedimientos de secado y saber si existe ventaja comparativa con el uso de esta tecnología a una determinada densidad de carga.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes

Se encontraron los siguientes antecedentes relacionados con la presente Tesis.

(Della Rocca P, 2011). “Se enfocó en el estudio y análisis de las variables que afectan el secado de un producto como la papa, destinada a la elaboración de guisos. Desarrollándose primero la deshidratación osmótica (OD) y luego combinando el secado por microondas con convección con aire caliente. Luego se aplicaron diversos modelos matemáticos a fin de representar los datos cinéticos obtenidos durante el proceso de secado”.

(F.Andres & De los Rios M. Elena, 2011). “Se desarrolló el estudio del Jengibre (*Zingiber officinale*) con su identificación, clasificación taxonómica, pérdida de humedad mediante secado, determinación de sustancias solubles en agua y etanol como especie o droga curativa estudiada a nivel mundial”.

(Montenegro, M. A. 2011). “Aprovechamiento de las propiedades funcionales del Jengibre (*Zingiber officinale*) en la elaboración de condimento en polvo infusión filtrante y aromatizante para quema directa. “Con un contenido de agua de 86,50%, carbohidratos 8,30% y grasa 2,2 %. La deshidratación la realizo con estufa con velocidad de aire de 3 m/s a temperaturas de 55; 65 y 75 °C hasta llegar a peso

constante y se determinó la curva de la pérdida de peso y velocidad de secado”.

2.2 Marco teórico

2.2.1 El Jengibre (*Zingiber officinale*)

CUADRO N° 2.1

CLASIFICACION TAXONOMICA DEL JENGIBRE

Clasificación Taxonómica	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Zingiberales
Familia	Zingiberaceae
Genero	Zingiber
Especie	officinale



Fuente: USDA, 2013

FIGURA N° 2.1

Planta de Jengibre (*Zingiber officinale*)



Fuente: Propia

FIGURA N° 2.2

EI JENGIBRE



Fuente: Propia

El Jengibre es descrito por (Schumann 1904) como “Plantas herbáceas perennes, rizo matosas, a veces aromáticas; hojas dísticas o dispuestas en espiral sobre el tallo, sésiles o pecioladas, vainas foliares abiertas o cerradas, lígulas presentes, láminas lanceoladas, obovadas o ancha a angostamente elípticas o lineares, con un nervio medio prominente y por lo común numerosas venas laterales ascendentes, paralelas entre sí; inflorescencias capitadas, estrobiláceas, espigadas, racemosas o paniculadas, situadas en los ápices de tallos foliosos o sobre escapos que salen desde la base de la planta, flores bracteadas, una o varias por bráctea, las brácteas a menudo imbricadas, a veces coriáceas; flores hermafroditas, zigomorfas, con frecuencia grandes y vistosas; cáliz tubular a turbinado, usualmente trebolado, comúnmente con una hendidura a un lado; corola tubular trebolada; estambres 6, a veces algunos ausentes, sólo uno fértil, los demás consistiendo de estaminodios, uno o varios estaminodios unidos con frecuencia transformados en una estructura petaliforme, llamada labelo, antera introrsa, bilocular; ovario ínfero, normalmente trilocular y de placentación axilar; fruto en forma de cápsula, con el exocarpio a menudo carnoso; semillas ariladas, pocas a numerosas, variables en forma.

La familia Zingiberácea, es la más grande del orden, consiste aproximadamente de 50 géneros y 1000 especies. La distribución es pan tropical, pero con mayor concentración en el sureste de Asia. En la región de estudio se reconocen cuatro especies ubicadas en tres géneros, dos

de los cuales (*Hedychium* y *Zingiber*) están representados por plantas naturalizadas. Algunos autores separan el género *Costus* en la familia Costaceae, pero para el propósito de este estudio se le incluye en las Zingiberácea.

Muchas plantas pertenecientes a esta familia contienen aceites aromáticos. Son de importancia económica, como la raíz de jengibre (*Zingiber officinale*), que se usa como saborizante de vinos, cervezas, refrescos, pasteles, etc. Otras se utilizan en la industria de la perfumería, o bien, como medicinales u ornamentales (Schumann.1904).

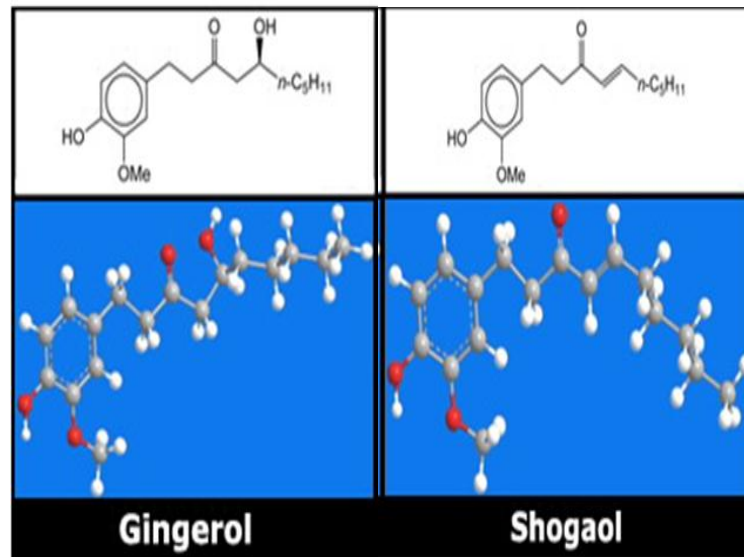
FIGURA Nº 2.3

RECONOCIMIENTO DE LA PLANTA DEL JENGIBRE



Fuente: Propia

Figura N° 2.4
COMPOSICION QUIMICA DEL JENGIBRE
(6-Gingerol y el 6-Shogaol)



Fuente: Schumann, K. in Engler Pflanzenreich 1904

La raíz de jengibre o rizoma (*Zingiber officinale* Roscoe, Zingiberaceae) es una de las sustancias alimenticias de mayor consumo en el mundo. El jengibre se cultivó por primera vez en Asia, y se ha utilizado como hierba medicinal durante al menos 2 000 años. En la medicina herbal occidental, el jengibre se utiliza como un estimulante circulatorio, un tratamiento de resfriados y gripe, y un remedio para los trastornos digestivos, incluyendo la dispepsia, cólicos, náuseas, vómitos, gastritis y diarrea.

En los últimos años, numerosos y prometedores estudios en humanos han explorado la eficacia y seguridad de dosis orales de raíz de jengibre como un agente anti-náuseas y para aliviar el dolor y la hinchazón.

Por otra parte, el jengibre se ha investigado *in vitro* y en modelos animales para su prevención del cáncer, anti-inflamatorios, y anti-diabéticos. Estos estudios se han incrementado el interés en los posibles beneficios medicinales de la raíz de jengibre y jengibre contribuido a ser uno de los veinte principales suplementos dietéticos que se venden en los Estados Unidos. Gingerol (correctamente, 6-Gingerol) es el fenol predominante y más importante de los componentes picantes en aceite de jengibre. Fue aislado por JC Thresh en 1879 a partir del rizoma de la planta de jengibre (*Zingiber officinale*). Él y su análogo deshidratado 6-Shogaol son los compuestos bioactivos del jengibre y sus derivados primarios. Shogaol y la zingerona molécula fragmentada se producen cuando el jengibre fresco es calentado o cocinado. Un análogo azagingerol recientemente sintetizado aumenta el metabolismo en ratones y puede reducir el riesgo de enfermedades asociadas a la obesidad.

El jengibre contiene aproximadamente 1,0 a 2,5% de componentes picantes (un líquido aceitoso no volátil que consiste en polifenoles homólogos) que dan su calidad de jengibre picante o caliente. Constituyentes picante de la raíz son responsables de anti-náusea de jengibre y efectos anti-inflamatorios. En jengibre, todos los compuestos picantes contienen el vanillyl (4-hidroxi-3-metoxifenil) radical y un grupo funcional cetona en sus estructuras. Gingerols, paradols, zingerones y shogaols son la clase principal de los compuestos o fenólicos en la raíz. Gingeroles son los compuestos más abundantes en raíces frescas y

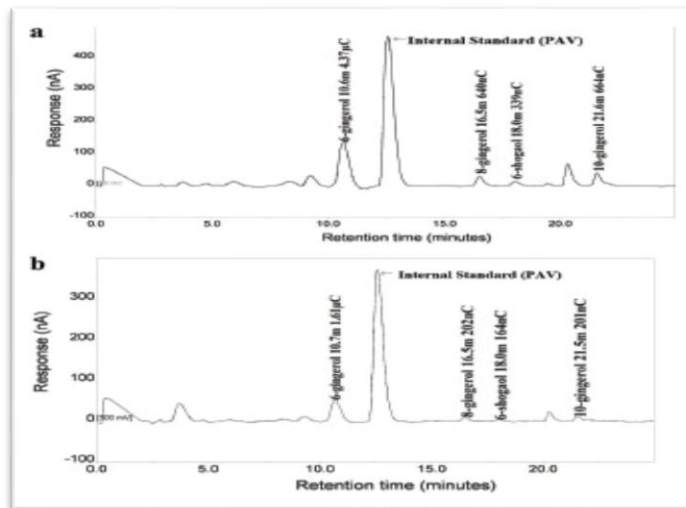
varios gingeroles de diversas longitudes de cadena (n_6 a n_{10}) están presentes en el jengibre, siendo el más abundante 6-gingerol. Los Shogaoles, que es la forma deshidratada de gingeroles, se encuentran en pequeñas cantidades en la raíz fresca y se encuentran principalmente en las raíces secas y tratadas térmicamente con 6-shogaol siendo el más abundante. A pesar que el jengibre se utilizó en más de 30 ensayos clínicos en seres humanos, y en más de 2 300 sujetos; sólo con un puñado de estudios en ratas y en voluntarios sanos se ha examinado la absorción, biodisponibilidad, metabolitos y de eliminación de componentes de jengibre. En estudios con ratas, sólo dos de los compuestos picantes, 6-gingerol y zingerona, han sido investigados, y en dos de los estudios en ratas el 6-gingerol se administró como un bolo intravenoso, que es poco probable que sea un reflejo de la dosificación oral usual. Por otra parte, hasta que se realizó un estudio en voluntarios sanos no se han realizado estudios farmacocinéticos en humanos ni había ningún estudio en mamíferos o *in vitro* examinando los otros principales componentes acres, es decir, de 8 y 10-gingeroles y 6-shogaoles.

Una limitación importante para la realización de estudios farmacocinéticos de los constituyentes de jengibre picante en los seres humanos es la falta actual de un procedimiento de extracción y el ensayo analítico que podría ser utilizado para detectar varios gingeroles y shogaoles en el plasma humano, la validación de una cromatografía (HPLC) ensayo de

líquidos de alta resolución con detector electroquímico para 6, 8 y 10 gingeroles y 6-Shogaol a partir de plasma humano. *Zingiber officinale* es una de las especias más utilizadas. Se ha desarrollado un método para determinar los principales constituyentes de jengibre picante, 6, 8 y 10 gingeroles y 6-Shogaol en el plasma humano. La cuantificación se logra usando una columna C₁₈ de fase inversa usando cromatografía líquida de alto rendimiento con detección electroquímica. El ensayo fue lineal de 0,1 a 5,0 g / mL. Los coeficientes dentro de días de variación para el ensayo a 5,0 mg / mL fueron $\leq 5\%$ para todos los analitos. La recuperación de los cuatro analitos era $> 99\%$ para 5.0 mg/mL. El límite inferior de cuantificación fue de 0,1 g / mL, excepto para 10-gingerol que era 0,25 g / mL. Actualmente, no existe ningún método analítico de detección de constituyentes de jengibre picante en el plasma humano. El método HPLC permite la detección de los cuatro componentes picantes de jengibre simultáneamente, en un tiempo de funcionamiento relativamente corto de 25 minutos. Este método debería ser útil para determinar los niveles plasmáticos de 6, 8, 10-gingerol y 6-shogaol en fase uno de ensayos clínicos. (Zick M., Ruffin , Djuric , Normolle , Brenner D . 2010).

Grafica N° 2.1

RESULTADOS DE HPLC DE LOS COMPONENTES DE JENGIBRE



Fuente: Zick M., Ruffin , Djuric , Normolle , Brenner . 2010

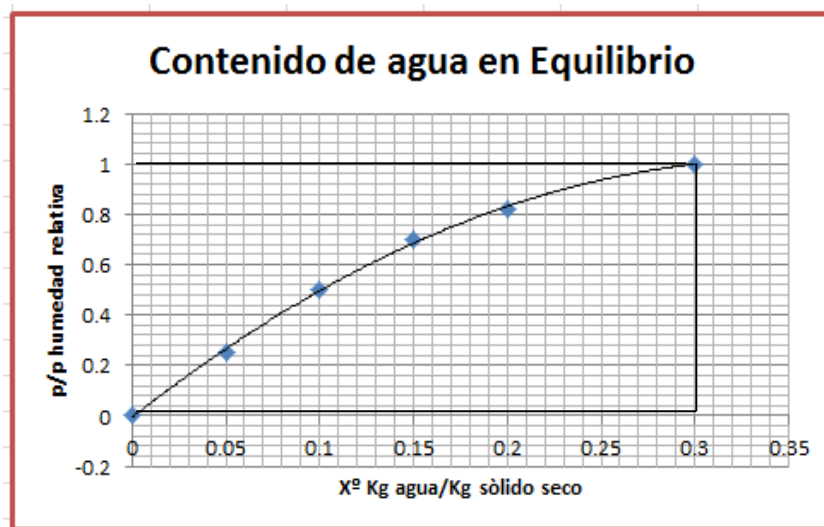
2.2.2 Operación de secado

Secado.- “La transferencia de masa entre fases se da en la mayoría de las operaciones unitarias, el secado se refiere a la eliminación de humedad de una sustancia por la acción de una corriente gaseosa que corrientemente es aire. Por ejemplo el secado de la madera”. (Robert E. Treybal, 2 011).

Pero existe la radiación por microondas, tecnología que genera calor por la fricción interna de aquellas moléculas que tengan el espacio y la polaridad necesaria para su rotación dentro del alimento a secar.

Equilibrio.- El grado de presión de vapor que ejerce la humedad contenida en un sólido húmedo depende de la naturaleza del sólido y la temperatura, si un sólido húmedo se pone en contacto con aire que contiene una presión parcial de vapor el sólido perderá humedad por evaporación o ganará humedad hasta una presión de equilibrio tal como se observa en la gráfica N° 2.2 cuando se llega a valores 1 p/p humedad relativa y 0,3 Kg agua/ Kg de sólido seco (Robert E. Treybal, 2 011).

**GRAFICA N° 2.2
CONTENIDO DE AGUA EN CELULOSA**



Fuente: Robert E. Treybal, 2 011

Histéresis.- Muchos sólidos exhiben diferentes características de humedad en el equilibrio según como se llegue a este estado, ya sea por absorción o desorción. Conocer el equilibrio de absorción tiene valor práctico si exponemos al material a aire con una humedad relativa mayor,

por lo que es importante su forma de almacenamiento para preservarlo. La isoterma es la curva que describe para una temperatura dada, la relación de equilibrio entre la cantidad de agua del alimento y la presión de vapor ó humedad relativa. La isoterma de sorción del agua relaciona, a una temperatura constante, el contenido de humedad con la actividad termodinámica del agua en el producto, en un intervalo dado de humedad o actividad. Es necesario recordar que en el equilibrio de la actividad de agua es igual a la humedad relativa del aire que rodea al producto a una temperatura determinada. Se puede graficar el contenido de agua (humedad) vs. a_w ó HR y la gráfica toma el nombre de isotermas de absorción y desorción. (Robert E. Treybal, 2 011).

Zona A.

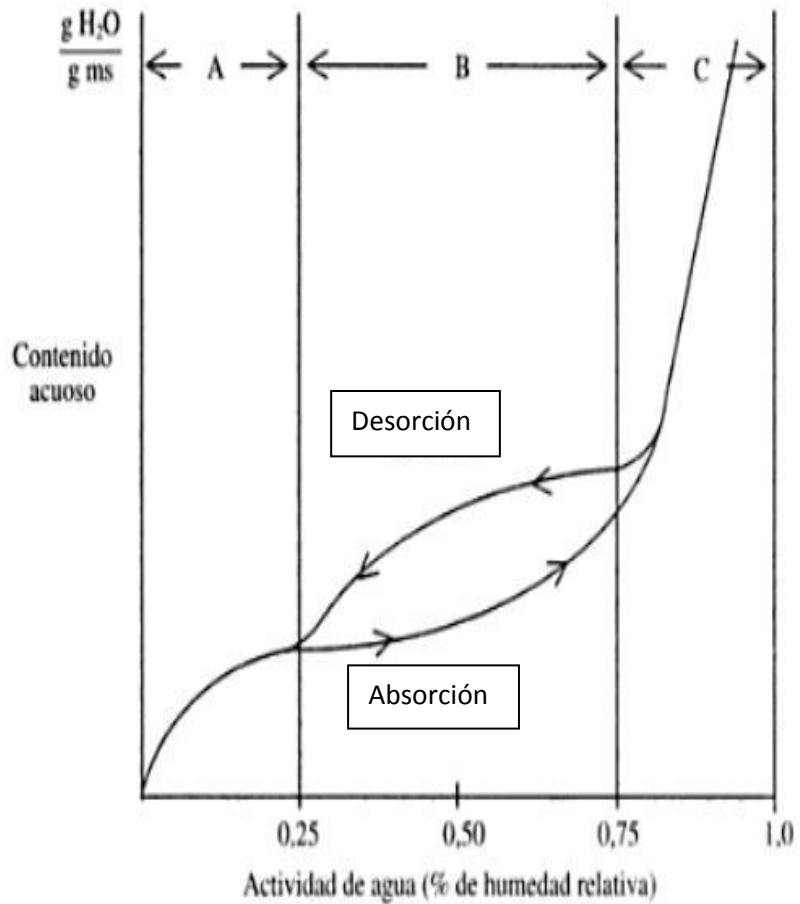
Agua fuertemente ligada correspondiente a una a_w de 0,2-0,25 ó inferior; el agua se encuentra en forma mono molecular, que se desarrolla cuando una fracción de agua presente interacciona con la superficie del alimento.

Zona B.

Agua moderadamente ligada $a_w = 0,25 - 0,75$; es la más interesante, corresponde a multicapas de agua y presenta características muy particulares. Es una zona en la que un pequeño cambio en el contenido acuoso se traduce en grandes variaciones de los valores de su actividad.

Grafica N° 2.3

HISTERESIS

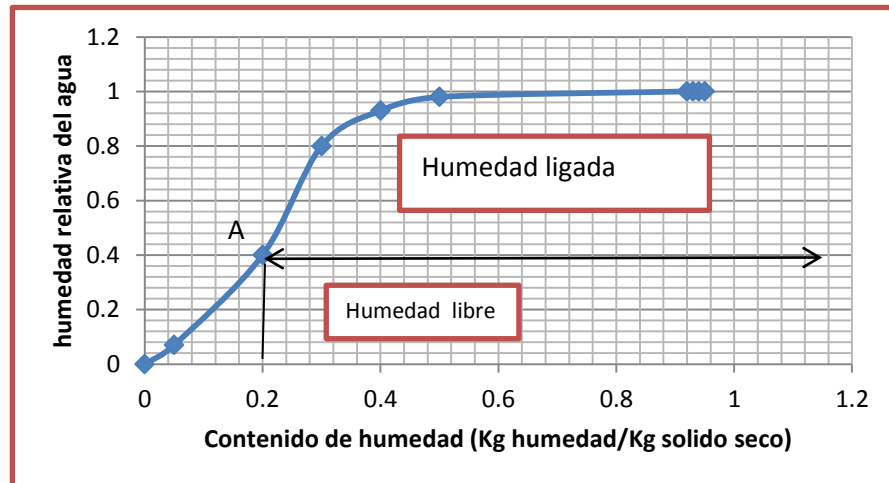


Fuente: Martínez, Nuria (2008).

Zona C: Agua poco ligada: correspondiente a una a_w de 0,75 – 0,9 y superior: el alimento presenta actividades bastantes próximas a la del agua pura. Se elimina con facilidad llegando sólo a un valor de 0,8 y es la responsable de cualquier tipo de reacción y crecimiento microbiano. (Robert E. Treybal, 2 011).

GRAFICA N° 2.4

TIPOS DE HUMEDAD



Fuente: Robert E. Treybal (2011)

Operación de secado.- La operación de secado puede clasificarse en dos formas por lotes o continua; siendo estos términos aplicados específicamente por la cantidad de material que se está secando.

La operación denominada por lotes, generalmente es un proceso de semi lotes, en donde cierta cantidad de sustancia que se va a secar se expone a una corriente de aire que fluye continuamente, en la cual se evapora la humedad. Este método de operación se trabaja intermitentemente o cíclicamente en condiciones de estado no estacionario. Donde el secador se carga con la materia a secar la cual permanece en el equipo hasta el término del secado entonces el secador se descarga y se vuelve a cargar con nueva materia a secar.

El método de obtención de calor necesario para la evaporación se da el caso del secado por microondas es por la exposición de la materia a secar por un campo dieléctrico de alta frecuencia.

Tipos secadores

Secador convencional de tunel.- Utilizados por un gran sector de la agroindustria, consumidores de energías convencional entre ellas gas,carbon y electricidad. Esta compuesto por un tunel de variable longitud y area transversal, donde el aire es calentado en flujo cruzado siendo su velocidad variable medida en unidades longitud sobre tiempo, estos a su vez se clasifican en paralelo o contracorriente. (Larrea Oswaldo, 1977) .

Secador de cabina o bandejas.- Consiste en una camara aislada que contiene un ventilador para circular el aire, que pasa atraves de un calefactor y el aire caliente pasa atraves de las bandejas donde se encuentra el producto a ser secado.

Secado tradicional al Sol.- Comunmente usado como secador tradicional exponiendo el alimento a la radiacion solar durante el dia utilizado comunmente para secar café, cacao y otros.

2.2.3 Tecnología de las microondas

Las microondas se generan por la acción de un magnetrón el cual transforma la energía eléctrica en energía electromagnética.

El magnetrón es una estructura tubular accionada por un circuito electrónico que permite dicha transformación. La radiación electromagnética con determinada frecuencia llamada microondas actúa sobre las moléculas del alimento y principalmente sobre el agua que contienen estos generando un aumento de su energía cinética.

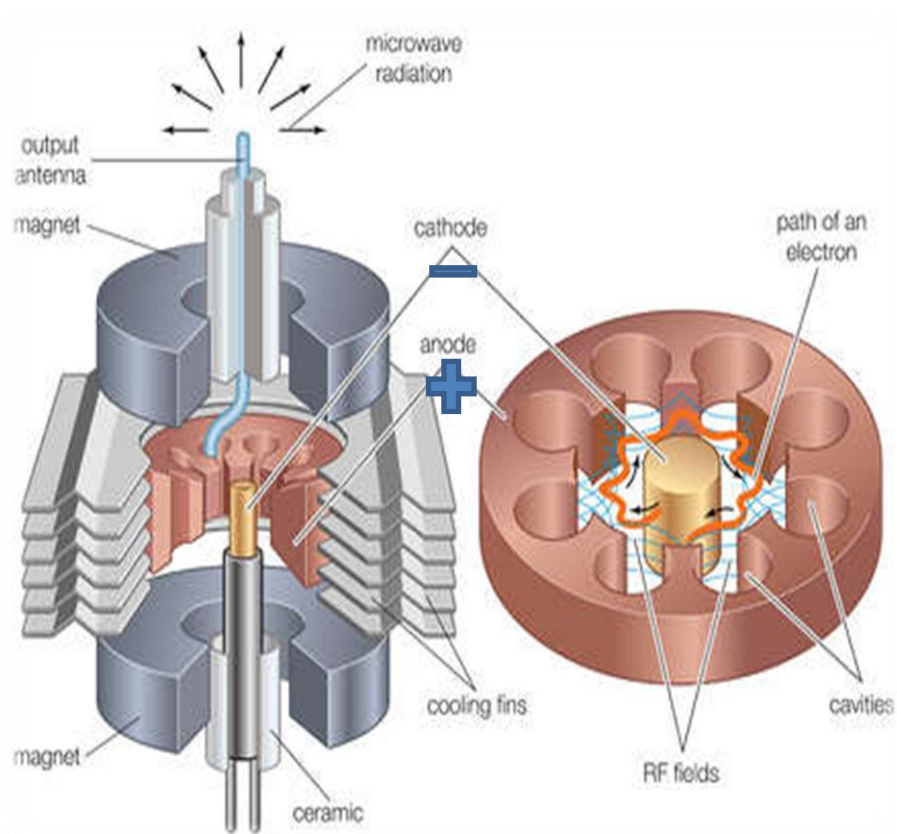
El magnetrón, es básicamente un tubo alimentado por un circuito electrónico capaz de transformar la energía eléctrica de frecuencia industrial en energía electromagnética con frecuencias localizadas en el espectro de banda comprendida entre los 300 MHz ($300 \cdot 10^6$ Hz) y los 300 GHz ($300 \cdot 10^9$ Hz) y con una longitud de onda de 122,4 mm siendo la frecuencia más usada la de 2,45 GHz con potencia de salida de 1 000 W.

El uso de las microondas en materiales constituidos por moléculas polares como el agua, permiten que la radiación electromagnética penetre los cuerpos, generando un calentamiento muy rápido según sea su tamaño sin importar su morfología y por lo tanto un calentamiento más rápido y eficiente. En la fig N° 2.5 se observa que dentro de ese cilindro de cobre hay un espacio vacío y en el centro un cátodo que al igual que en cualquier dispositivo de este tipo es quien proveerá los electrones debido al efecto Edison o emisión termoiónica. Esta forma parece demasiado elaborada para ejecutar la sencilla tarea que tubos de vacíos mucho más simples, como el diodo, pueden conseguir. Pero la diferencia, está en los imanes que hay fuera del tubo de vacío. Mientras la diferencia

de potencial entre cátodo y ánodo genera un campo eléctrico, la pareja de imanes le añade un campo magnético.

FIGURA Nº 2.5

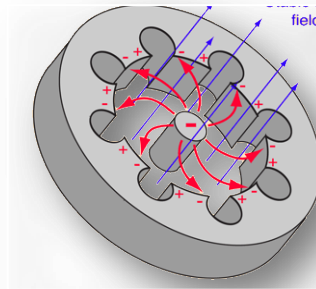
EL MAGNETRÓN



Fuente: Enciclopedia Britanica 2012

FIGURA N° 2.6

EL MAGNETO



Fuente: Enciclopedia Británica 2 012

Sin los magnetos la trayectoria sería en línea recta, mientras que con ellos el electrón viaja como en la figura N°2.6. Este movimiento helicoidal genera un campo eléctrico de polaridad variable. Si un alimento no tuviera ningún componente dipolo entonces sería absolutamente inmune a las microondas y, por otro lado, mientras más libres sean las moléculas mayor será su rotación y por tanto el calor generado. En este sentido el cálculo involucrado es distinto a otros sistemas termodinámicos. En comparación con el secado convencional en el que la morfología del alimento y su tamaño sí importa siendo esta técnica de secado aproximadamente 15 veces más lenta que la del microondas.

En los últimos años, las microondas han ganado importancia en el procesamiento de los alimentos. “Es necesario desarrollar un método de

secado rápido, eficiente y amigable con el medio ambiente que reemplace la tecnología existente, de tal forma que haga a las empresas más competitivas". En la actualidad, el secado de alimentos mediante el uso de microondas, se ha convertido en uno de los métodos más exitosos debido a las potenciales ventajas asociadas con la razón costo beneficio.

2.3 Definiciones

- **Contenido de humedad en base húmeda.-** Se entiende como $(\text{kg humedad} / \text{kg sólido húmedo}) * 100$ o $(\text{kg humedad} / \text{kg solido seco} + \text{kg humedad}) * 100$
- **Contenido de humedad, en base seca (X).-** Se expresa como $\text{kg humedad} / \text{kg solido seco}$.
- **Humedad en equilibrio.-** Es el contenido de humedad de una sustancia que está en equilibrio con una presión parcial dada de vapor (X^*).
- **Humedad Ligada.-** Se refiere a la humedad contenida en una sustancia que ejerce una presión de vapor en el equilibrio menor que la del líquido puro a la misma temperatura.
- **Humedad no Ligada.-** Se refiere a la humedad contenida en una sustancia que ejerce una presión de vapor en el equilibrio igual a la del líquido puro a la misma temperatura. (Robert E. Treybal, 2 011).
- **Humedad libre.-** Es la humedad contenida por una sustancia en exceso de la humedad en equilibrio ($X - X^*$). Donde solo se puede evaporar la humedad libre.

CAPITULO III
VARIABLES E HIPÒTESIS

3.1 Definición de las variables

Se trabajó con un diseño experimental de dos variables independientes que fueron el espesor de las láminas de Jengibre (*Zingiber officinale*) y la potencia de radiación de las microondas además dos variables dependientes que fueron, humedad final y el tiempo de operación de secado tal como se observa en el cuadro N° 3.1

Cuadro N° 3.1
VARIABLES

Independientes y Dependientes	
INDEPENDIENTES	1 ESPESOR DE LAMINAS = X_1 2 POTENCIA = X_2
DEPENDIENTES	1 HUMEDAD = Y_1 2 TIEMPO = Y_2

Fuente: Propia

3.2 Operacionalizacion de variables

3.2.1 Empleando método del Dr. Genichi Taguchi se genera el cuadro N° 3.2

CUADRO N° 3.2
OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

VARIABLE		TIPO	DIMENSION	INDICADOR	ESCALA
INDEPENDIENTE	ESPESOR	<i>Cuantitativa Discreta</i>	<i>Tamaño</i>	<i>Longitud</i>	<i>mm</i>
	POTENCIA	<i>Cuantitativa Discreta</i>	<i>Intensidad</i>	<i>Energía</i>	<i>Watts (W)</i>
DEPENDIENTE	<i>Humedad Final</i>	<i>Cuantitativa Discreta</i>	<i>MASA</i>	<i>Pérdida de peso</i>	<i>Porcentaje (%)</i>
	Tiempo	<i>Cuantitativa Discreta</i>	<i>Lapso</i>	<i>Tiempo transcurrido</i>	<i>minutos</i>

Fuente: Propia

3.3 Hipótesis general

Optimizando el modelo de simulación se determinara cómo es la cinética de secado por microondas de láminas de Jengibre.

3.3.1 Hipótesis específicas

Efectuando variaciones en el espesor de las láminas de Jengibre en la operación de secado por microondas se determinara el modelo cinético óptimo.

Efectuando variaciones en la potencia del microondas, se determinara el modelo cinético óptimo de secado.

Al efectuarse la rehidratación de las láminas de Jengibre, se obtendrá la curva de la cinética de esta operación.

CAPITULO IV METODOLOGIA

4.1 Tipo de investigación

Esta investigación se desarrolló en forma secuencial y probatoria, siguiendo un orden riguroso de ideas, con el planteamiento del problema, revisando la literatura, visualizando el estudio, elaborando la hipótesis, desarrollando el diseño, definiendo y seleccionando la muestra, recolectando datos experimentales, analizándolos efectuando el reporte de resultados, efectuando los cálculos de regresión para cada prueba, con la finalidad de encontrar la optimización del modelo.

Por lo tanto fue una investigación experimental aplicadaa.

4.2. Diseño de la investigación

Se trabajó un diseño con arreglo ortogonal recomendado por el Dr. Genichi Taguchi con la finalidad de desarrollar las matrices que contengan los controles para los factores de dos variables independientes; que corresponden a el espesor de la muestra (X_1), y a la potencia del microondas (X_2); teniendo como respuesta dos variables dependientes; la primera la humedad final (Y_1) y la segunda el tiempo de secado (Y_2) en minutos.

TABLA N° 4.1
FACTORES Y NIVELES DEL ARREGLO ORTOGONAL

FACTORES	NIVELES		
	Bajo	Medio	Alto
	-1	0	1
X₁ = Espesor (mm)	2	3,5	5
X₂ = Potencia (W)	515	918	1321

Fuente: Propia

TABLA N° 4.2
DISEÑO ESTADISTICO CON ARREGLO (L_a(b)^K)

X ₁ = Espesor (mm)		X ₂ = Potencia (W)	
2	-1	-1	515
2	-1	0	918
2	-1	1	1321
3,5	0	-1	515
3,5	0	0	918
3,5	0	1	1321
5	1	-1	515
5	1	0	918
5	1	1	1321

Fuente: Propia

4.3 Población y Muestra

4.3.1 Población

La disponibilidad de Jengibre (*Zingiber officinale*) es de todo el año, debido a que se cultiva en diversas regiones del país y anualmente su cosecha se estima en 2 200 TN/año.

4.3.2 Muestra

Para determinar el tamaño de muestra se desarrolló un diseño ortogonal de la forma $L_a(b)^c$

Donde

L= arreglo ortogonal

a= número de corridas experimentales

b= número de niveles en cada factor

c= número de variables independientes o columnas

Tomando el arreglo ortogonal la forma $L_9 3^2$.

Siendo la cantidad de corridas experimentales 9 que por triplicado dieron 27 pruebas mínimas.

4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

4.4.1 Técnicas

Se empleó la Metodología Superficie Respuesta o **MSR**. La cual es una colección de técnicas matemáticas y estadísticas útiles en el modelado y análisis de problemas en la que una respuesta de interés recibe la influencia de diversas variables y donde el objetivo

es optimizar esta respuesta (Montgomery 2004). Se inicia el proceso determinando la humedad inicial del Jengibre (*Zingiber officinale*) por lo que se procedió a pelar el Jengibre para luego cortarlo en láminas de 2 ; 3,5 y 5 mm de espesor, tomando los datos de los cortes con calibrador digital vernier para darle tratamiento estadístico a esta variable independiente (X_1) , luego se procedió a tomar el peso inicial por cada carga, que fueron llevadas al microondas a potencias baja 515 W ; media 918 W y alta 1321 W consideradas como variables (X_2) hasta llegar al peso constante, correspondiente a la humedad final o variable (Y1) en cada caso, con sus correspondientes tiempos (Y2). Los datos obtenidos se tabularon en Microsoft Excel para poder desarrollar la comparación entre la cinética experimental de secado y la simulación de la cinética de secado, utilizando los siguientes modelos matemáticos.

Tabla N° 4.3

MODELOS CINETICOS COMPARATIVOS DE SECADO

Modelo	Expresión Matemática
Page	$MR = \text{Exp} [-K \cdot t^n]$
Henderson Pabis	$MR = a \cdot \text{Exp} [-K \cdot t]$
Logarítmico	$MR = a \cdot \text{Exp} [-K \cdot t] + c$
Newton	$MR = \text{Exp} [-K \cdot t]$

Fuente: Richardson, Philip 2004

Dónde: MR =Modulo Adimensional de Humedad= $(X-X_e)/(X_0-X_e)$

t = tiempo de secado (minutos); K = constante de secado (minuto^{-1})

donde a, c, n = coeficientes de ajuste.

De tal forma se pudo determinar la humedad en base húmeda y en base seca experimental y seguidamente la humedad en base seca modelada así como diferencia cuadrática de ambos, con la finalidad de efectuar la aplicación Microsoft Excel Solver® y determinar el coeficiente de determinación (R^2) entre los valores experimentales y modelados.

Considerando que los modelos polinomiales comúnmente empleados para el análisis **MSR** son el modelo lineal y el modelo cuadrático.

El modelo lineal para dos factores se representa

$$\mu_y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 \quad F1$$

El modelo cuadrático

$$\mu_y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{12} x_1 x_2 \quad F2$$

Por lo general la superficie de respuesta se representa gráficamente, donde la respuesta está en función de las variables independientes. Para ayudar a visualizar la forma de una superficie de respuesta, con frecuencia se grafican los contornos (Kuehl 2 000).

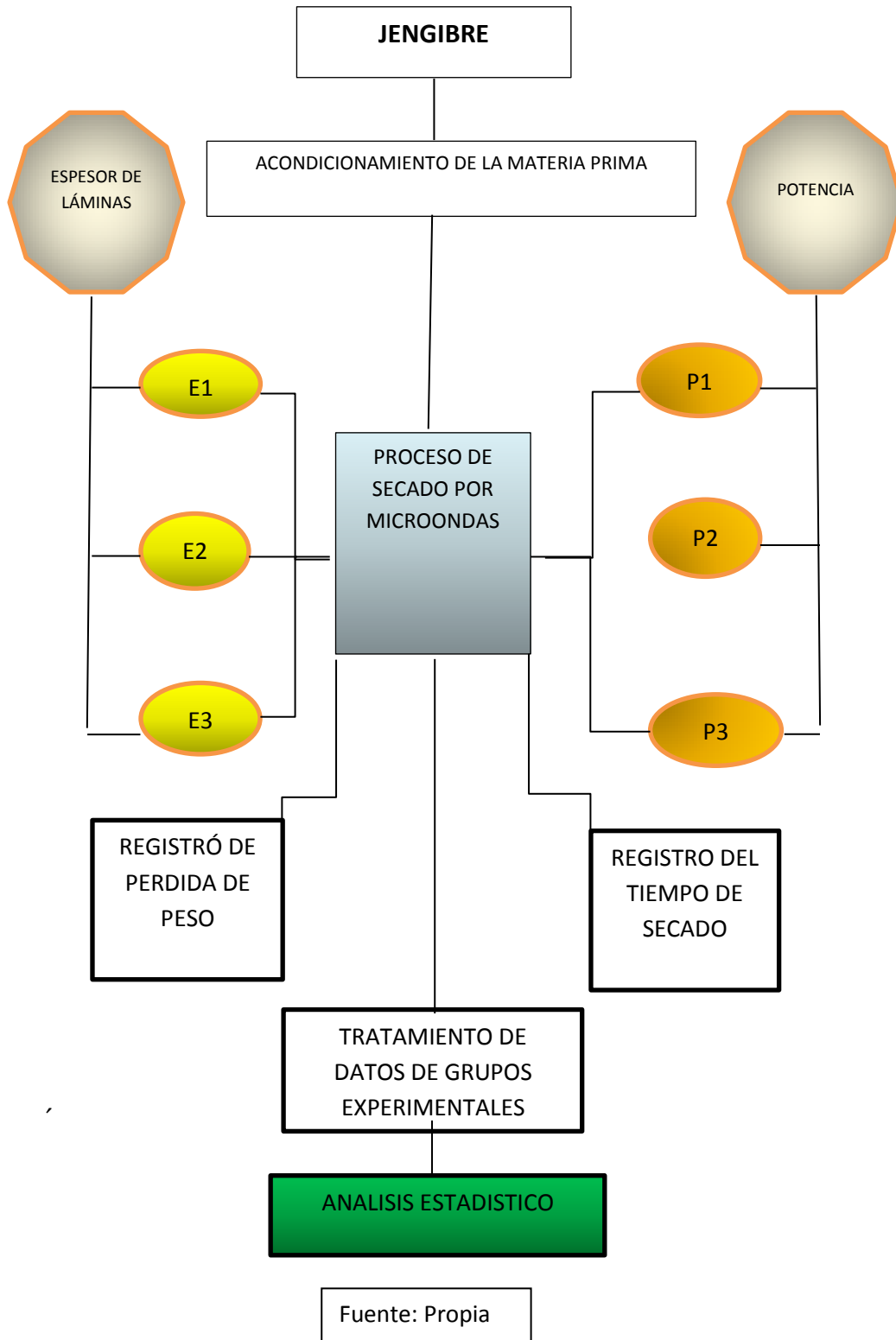
Para desarrollar la parte experimental se diseñó el Flujo que se observa en la Fig 4.1 el cual permitió determinar la relación entre el espesor de las laminas del Jengibre y la potencia del microondas, generándose la

información de pérdida de peso por la operación de secado y el lapso transcurrido.

4.4.2 Instrumentos de Recolección de Datos

- ✓ Microsoft Excel Solver[®] 2010
- ✓ Software Minitab16[®]
- ✓ Software Statistica[®]
- ✓ Cortador eléctrico marca Italika
- ✓ Calibrador vernier digital marca Tactix[®]
- ✓ Balanza digital marca ADAM[®] capacidad Max 2 500 g
- ✓ Microondas marca Panasonic modelo NN-ST653W
- ✓ Analizador de a_w AQUALAB[®]

FIGURA Nº 4.1
FLUJO DEL DISEÑO EXPERIMENTAL DEL SECADO DEL JENGIBRE



4.5 Procedimientos de recolección de datos

Los datos de pérdida de peso, en función al tiempo y la potencia fueron registrados para ser trabajados en hoja de cálculo (Excel) de tal forma que se pudo determinar la humedad en base húmeda y en base seca; la humedad en base seca modelada y la diferencia cuadrática de ambos con la finalidad de efectuar la aplicación Solver® y determinar el valor de R^2 .

Todos los datos y cálculos se encuentran en el Capítulo V y anexos.

4.6 Procesamiento estadístico y análisis de datos

Se desarrollaron procedimientos de análisis estadístico de espesores utilizando el software Minitab 16. Así de la gráfica N° 4.2 por ejemplo de 103 piezas se determinó el espesor medio 3,462 mm de 3,5 mm con desviación estándar 0,2385. y el valor de 18 para la frecuencia.

Tratamiento estadístico de puntos medios utilizando ANOVA considerando los valores de $P= 0,9468$ y $P =0,7320$ de la tabla N°4.4 mayores a un nivel de significancia $\alpha=0,05$ entonces aceptamos la hipótesis nula que nos indica la no existencia de la diferencia significativa entre los valores experimentales obtenidos. rechazando la hipótesis alternativa.

TABLA N° 4.4

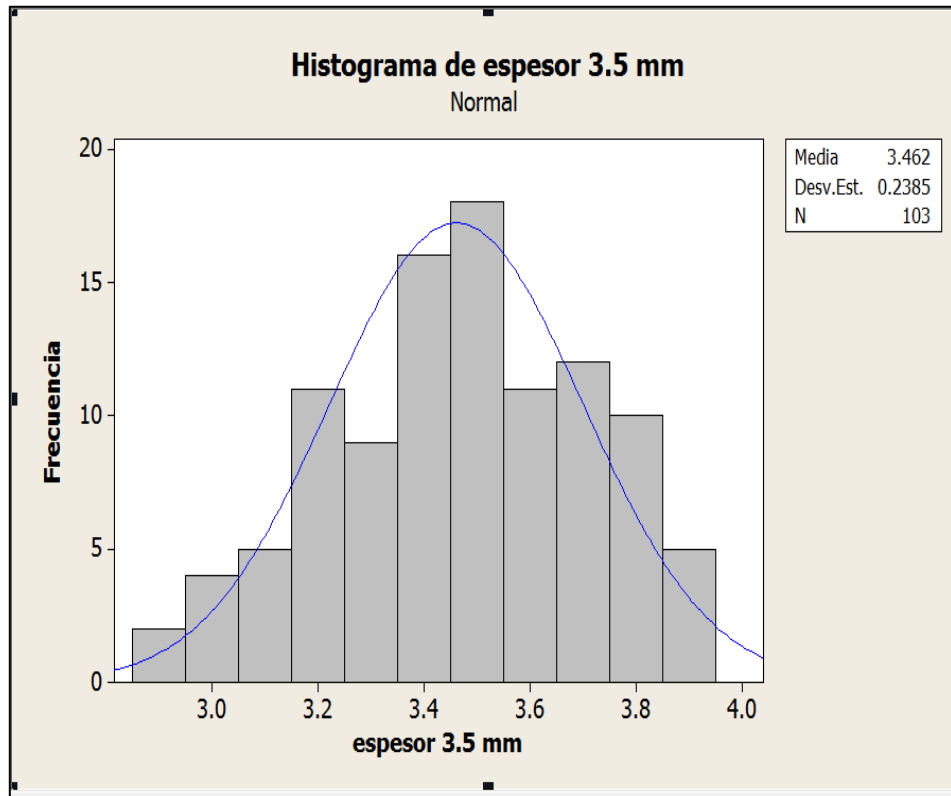
Tratamiento Estadístico de los Puntos Medios de Secado

	Espesor	Potencia	T1	T2
1	3.5	918	4.59827	3.81289
2	3.5	918	3.67532	4.75993
3	3.5	918	3.89765	4.03636
4	3.5	918	3.95	4.08589
VALORES DE:				
ANÁLISIS DE VARIANZA				
	<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>
	Filas	0.09877369	3	0.032924563
	Columnas	0.04116011	1	0.041160109
	Error	0.87429347	3	0.291431156
	Total	1.01422726	7	
	F	Probabilidad	Valor crítico para F	
	0.11297544	0.946800433	9.276628153	
	0.14123441	0.732057835	10.12796449	

Fuente: Propia

GRAFICA N° 4.2

CONTROL ESTADISTICO DE ESPESOR DE MUESTRA



Fuente: Propia

CAPITULO V

RESULTADOS

5.1 Optimización del modelamiento matemático de la Cinética de Secado.

En la tabla 5.1, se presenta los resultados de los tiempos de secado en función del espesor y la potencia, con repeticiones en su punto central.

Tabla N° 5.1

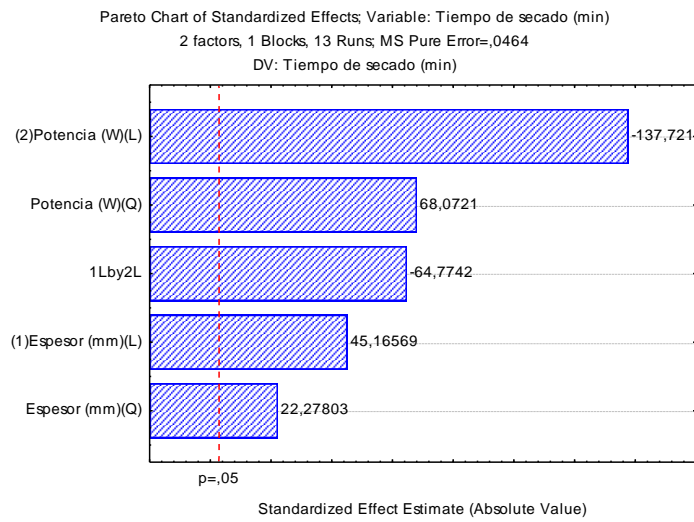
Tiempos de Secado en las láminas de Jengibre

Espesor(mm)	Potencia(W)	Tiempo (min)
2	515	17,0
2	515	16,5
2	918	6,3
2	1321	3,5
3,5	515	20,2
3,5	918	4,3
3,5	918	4,5
3,5	918	4,2
3,5	918	4,2
3,5	1321	3,2
5	515	41,5
5	918	5,1
5	1321	2,5

En la gráfica. 5.1, se presenta el diagrama de Pareto, para estudiar las interacciones y efectos de las variables independientes estudiadas. Se observa que las variables son significantes en sus efectos lineales, cuadráticos y combinados en forma lineal.

Grafica N°5.1

Gráfico de Pareto de los efectos del tiempo estándar de secado con respecto a las variables independientes Potencia (W) microondas y Espesor (L) de las láminas de Jengibre



En la tabla N° 5.2, en corroboración a los analizado en el diagrama de Pareto, puede observarse que las variables independientes espesor de las láminas (efecto lineal y cuadrático) así como la potencia (W) del microondas usado (efecto lineal y cuadrático) y en forma lineal combinada y para el diseño experimental desarrollado se comportan y son significativamente importantes $p < 0,05$).

Tabla N°5.2

**Valores Estimados de los efectos de las variables independientes de
Potencia (W) del Microondas y Espesor de las láminas de Jengibre**

Effect Estimates; Var.:Tiempo de secado (min); R-sqr=.9394; Adj.:.89611 (Spreadsheet8) 2 factors, 1 Blocks, 13 Runs; MS Pure Error=.0464 DV: Tiempo de secado (min)										
Factor	Effect	Std.Err. Pure Err	t(4)	p	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt
Mean/Interc.	3,7769	0,098090	38,504	0,000003	3,5046	4,0492	3,7769	0,098090	3,5046	4,0492
(1)Espesor (mm)(L)	7,5652	0,167499	45,166	0,000001	7,1001	8,0302	3,7826	0,083749	3,5501	4,0151
Espesor (mm)(Q)	5,8086	0,260732	22,278	0,000024	5,0847	6,5325	2,9043	0,130366	2,5423	3,2663
(2)Potencia (W)(L)	-23,0681	0,167499	-137,721	0,000000	-23,5332	-22,6031	-11,5341	0,083749	-11,7666	-11,3015
Potencia (W)(Q)	17,7486	0,260732	68,072	0,000000	17,0247	18,4725	8,8743	0,130366	8,5123	9,2363
1L by 2L	-12,9428	0,199814	-64,774	0,000000	-13,4976	-12,3880	-6,4714	0,099907	-6,7488	-6,1940

Fuente: Propia

En la tabla 5.3, se observa el análisis de varianza, a partir de la cual se obtiene la tabla principal, correspondiente al tiempo de secado.

Tabla N°5.3

**Efectos y Análisis de Varianza del Tiempo con los factores Espesor y
Potencia**

ANOVA; Var.:Tiempo de secado (min); R-sqr=.9394; Adj.:.89611 (Spreadsheet8) 2 factors, 1 Blocks, 13 Runs; MS Pure Error=.0464 DV: Tiempo de secado (min)					
Factor	SS	df	MS	F	p
(1)Espesor (mm)(L)	94,653	1	94,6532	2039,94	0,000001
Espesor (mm)(Q)	23,029	1	23,0288	496,31	0,000024
(2)Potencia (W)(L)	880,076	1	880,0761	18967,16	0,000000
Potencia (W)(Q)	215,009	1	215,0089	4633,81	0,000000
1L by 2L	194,681	1	194,6806	4195,70	0,000000
Lack of Fit	90,915	3	30,3049	653,12	0,000008
Pure Error	0,186	4	0,0464		
Total SS	1503,231	12			

Fuente: Propia

En la tabla N° 5.4 se obtuvo el valor de F con la finalidad de validación del análisis de regresión en la determinación de la ecuación para la optimización del tiempo de secado.

Tabla N° 5.4

ANOVA: Fuente de variación de la regresión, residuos, falta de ajuste y error puro para el tiempo de secado

<i>Factor</i>	<i>Suma cuadrática</i>	<i>Nº grados Libertad</i>	<i>Media cuadrática</i>	<i>F calculado</i>
Regresion	1412,13	5	282,43	21,701
Residuos	91,101	7	13,01	
falta de ajuste	90,915	3	30,305	651,72
Error Puro	0,186	4	0,0465	
Total	1503,231	12		

Fuente: Propia

Determinando el valor de F en tablas, $F_{0,95;5;7} = 3,97$

Por lo que comparando los valores F calculado y de tablas: $\frac{21,701}{3,97} = 5,47$

Es decir se puede concluir que el modelo es estadísticamente valido.

Luego, el modelo de regresión para el caso de la variable dependiente del tiempo de secado será, tal como se presenta en la tabla N° 5.5.

Tabla N° 5.5

Coefficientes de regresión para la determinación del tiempo máximo de secado

Regr. Coefficients; Var.:Tiempo de secado (min); R-sqr=,9394; Adj:,89611 (Spreadsheet8) 2 factors, 1 Blocks, 13 Runs; MS Pure Error=,0464 DV: Tiempo de secado (min)						
Factor	Regressn Coeff.	Std.Err. Pure Err	t(4)	p	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt
Mean/Interc.	48,68830	0,810000	60,1090	0,000000	46,43938	50,93723
(1)Espesor (mm)(L)	3,31365	0,422569	7,8417	0,001428	2,14041	4,48689
Espesor (mm)(Q)	1,29080	0,057941	22,2780	0,000024	1,12993	1,45167
(2)Potencia (W)(L)	-0,09147	0,001544	-59,2619	0,000000	-0,09576	-0,08719
Potencia (W)(Q)	0,00005	0,000001	68,0721	0,000000	0,00005	0,00006
1L by 2L	-0,01071	0,000165	-64,7742	0,000000	-0,01116	-0,01025

Fuente: Propia

El tiempo máximo de secado en función a las variables estudiadas será:

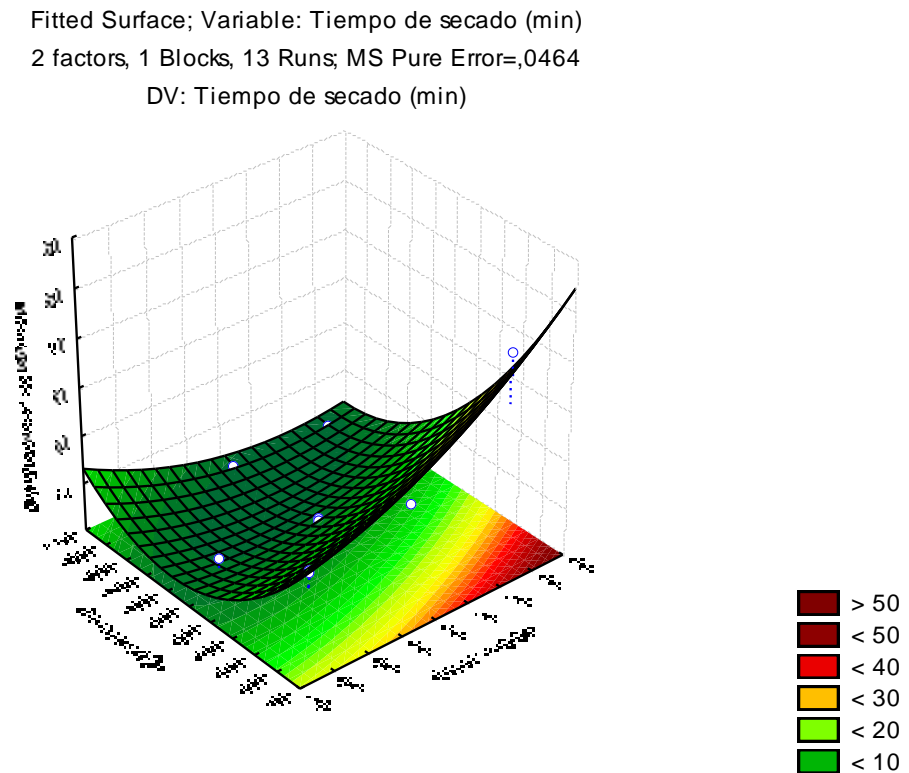
$$t = 48,68830 + 3,31365 \cdot L + 1,29080 \cdot L^2 - 0,09147 \cdot W + 0,00005 \cdot W^2 - 0,01071 \cdot L \cdot W \quad \mathbf{F3}$$

Que se aplica para 5mm de espesor y una potencia de 515W.

En la gráfica N°. 5.2, se observa la superficie de respuesta del tiempo de secado y las variables independientes , espesor de las láminas de Jengibre y la potencia del microondas del diseño experimental planteado.

Grafica N° 5.2

Superficie de respuesta para la determinación del tiempo de secado

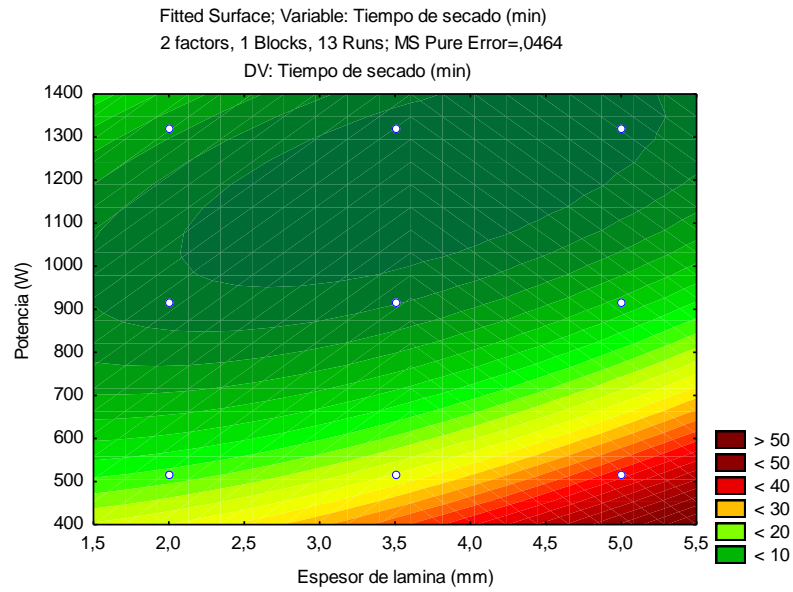


En la gráfica N° 5.3 se presenta la superficie de contorno para las variables involucradas en el estudio, es el espesor de las láminas de Jengibre y potencia del microondas. Puede observarse que las regiones que ofrecen tiempos mínimos de secado para el diseño experimental propuesto se encuentran en 2,0mm de espesor de lámina frente a la potencia de 1 321W en el microondas.

Fuente: Propia

Grafica N° 5.3

Superficie de contorno para la determinación de la región óptima de secado

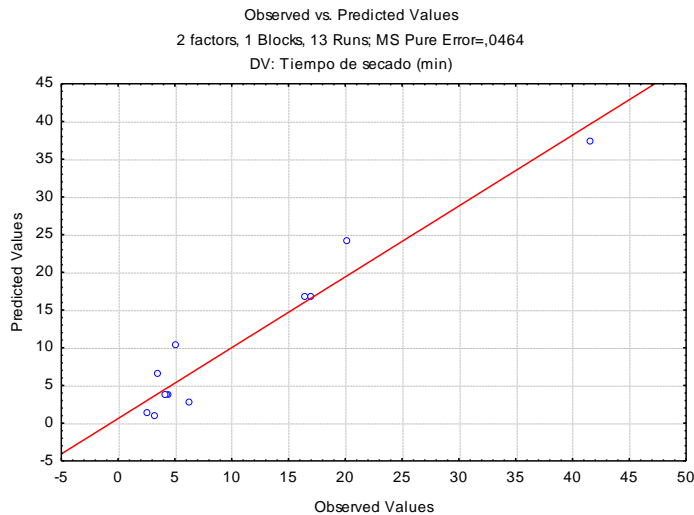


Fuente: Propia

En la gráfica N° 5.4 se observa la distribución de los valores observados experimentalmente y los valores que han sido estimados con el coeficiente de determinación.

Grafica N° 5.4

Valores estimados y Observados para el Tiempo de secado



Fuente: Propia

En la tabla N° 5.6 se registraron los datos calculados del coeficiente de dispersión R^2 utilizando para cada uno de los modelos comparados en relación a la potencia y espesor empleados.

En la tabla N° 5.7 se efectuaron los cálculos para determinar la humedad en base seca simulada mediante la ecuaciones de Page, Logarítmica y Henderson Pabis, que tiene la siguiente expresión donde se obtuvo un coeficiente de determinación $R^2 = 0,9959$. Con un espesor de 3,5mm, una potencia de 918 W con valores de $K = 0,1001$ y $n = 2,2619$ para el modelo de Page, además de la gráfica donde los valores experimentales se superponen con los valores modelados.

TABLA Nº 5.6

COMPARACION DE LOS COEFICIENTES DE DETERMINACION R^2 PARA DETERMINAR EL MODELO ÓPTIMO DE SECADO

Modelo matemático cinético de secado	Espesor muestras mm	Potencia μ ondas	Coefficiente R^2
Page $MR=Exp[-k \cdot t^n]$	2	Baja 515 W	0,9998
	3,5		0,9970
	5		0,9812
Page	2	Media 918 W	0,9883
	3,5		0,9959
	5		0,9812
Page	2	Alta 1321 W	0,9719
	3,5		0,9816
	5		0,8048
Henderson y Pabis $MR=a \cdot Exp[-k \cdot t]$	2	Baja 515 W	0,9717
	3,5		0,9816
	5		0,9517
Henderson y Pabis	2	Media 918 W	0,9492
	3,5		0,8980
	5		0,9256
Henderson y Pabis	2	Alta 1321 W	0,9168
	3,5		0,9243
	5		0,9870
Logarítmico $MR=a \cdot Exp[-k \cdot t]+c$	2	Baja 515 W	0,9990
	3,5		0,9257
	5		0,9518
Logarítmico	2	Media 918 W	0,9678
	3,5		0,8980
	5		0,4592
Logarítmico	2	Alta 1321 W	0,9160
	3,5		0,9225
	5		0,9257
Modelo de Newton $MR=Exp[-K \cdot t]$	2	Media 918 W	0,9752
	3,5		0,9658
	5		0,9644

Fuente: Propia

TABLA N° 5.7

COMPARANDO MODELOS EN RELACION AL TIEMPO Y AL VALOR DE DETERMINACION R²

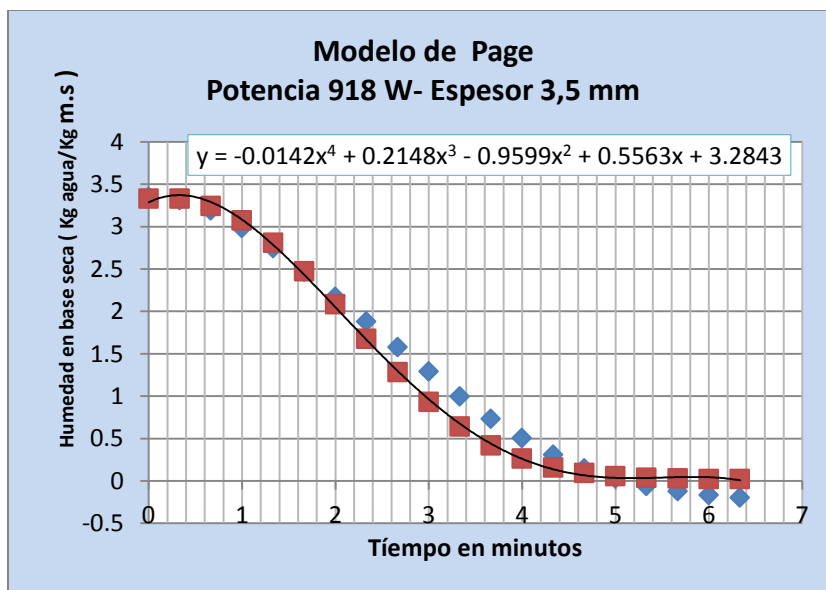
Tiempo		R ²	Espesor	Potencia	n	A	K	c	MODELO
22	minutos	0,9998	2	515	0.034		1.673		Page
22		0,999	2	515	0.11	5.2		0.7145	Log
22		0.97	2	515	4.72	0.16			H-P
3.83		0.97	2	1321	0.772				Page
3.83		0.92	2	1321	1.171	2.81		0	Log
3.83		0.92	2	1321	1.171	2.81			H-P
21		0.997	3.5	515	0.006		2.021		Page
21		0.99	3.5	515	0.01	18.6		14.917	Log
21		0.93	3.5	515	0.092	3.98			H-P
4.33		0.996	3.5	918	0.0892		2.4653		Page
4.33		0.898	3.5	918	0.401	2.73		0	Log
4.33		0.898	3.5	918	0.401	2.73			H-P

Fuente: Propia

MR= Exp (- 2,4653 t^{0,0892}) con R²= 0,9959

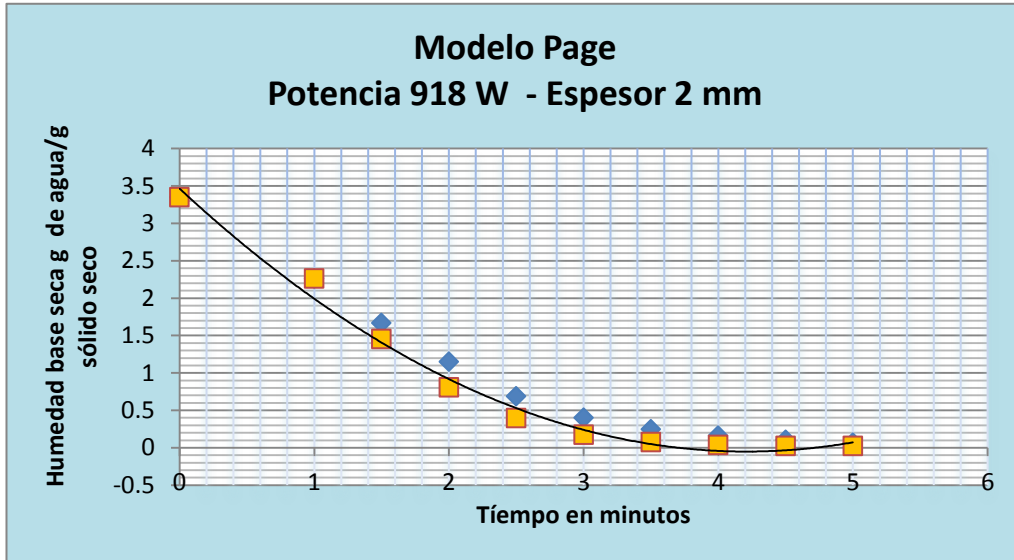
Grafica N°5.5

Curva Experimental de Secado según el modelo Page



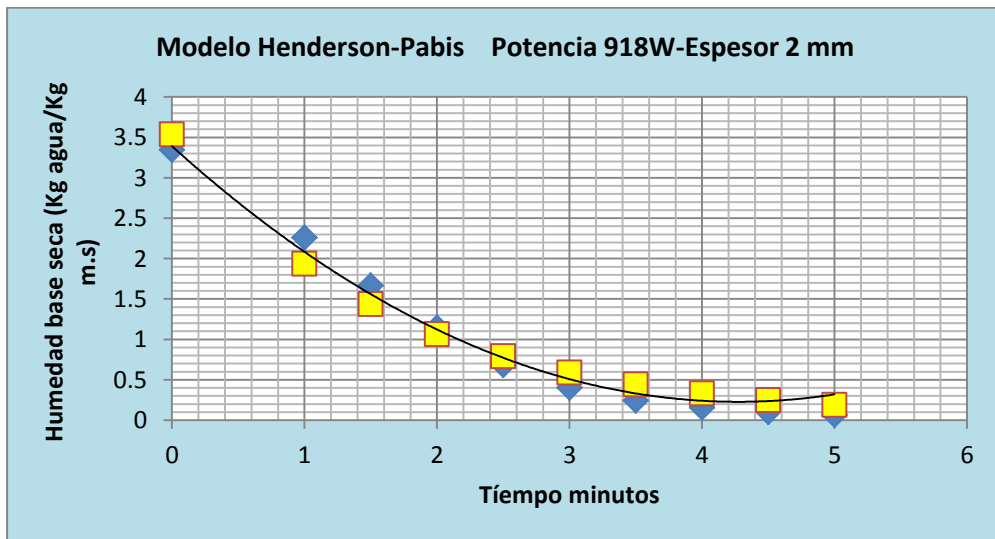
Grafica N°5.6

Datos Experimentales y datos Modelados según la ecuación de Page



Grafica N°5.7

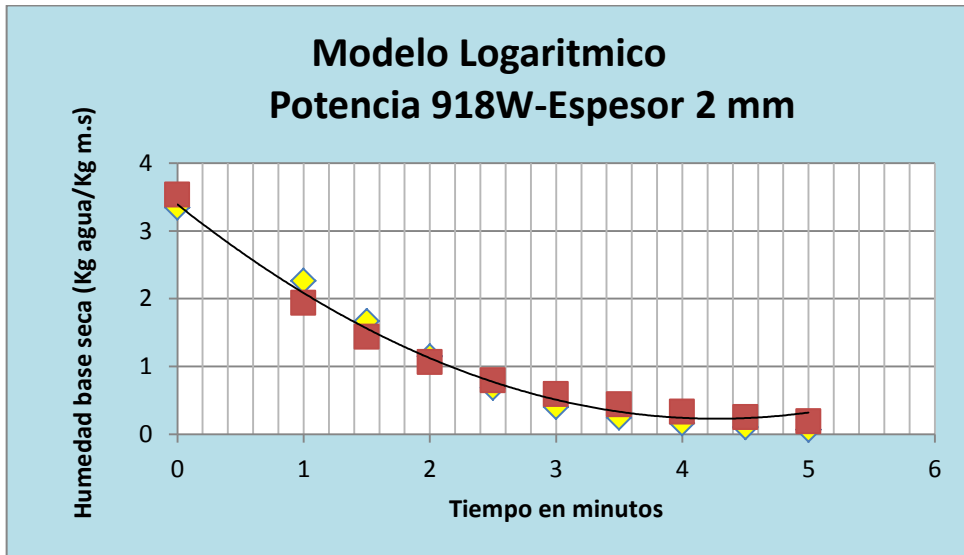
Datos Experimentales y datos Modelados según la ecuación de Henderson-Pabis



Fuente: Propia

Grafica N°5.8

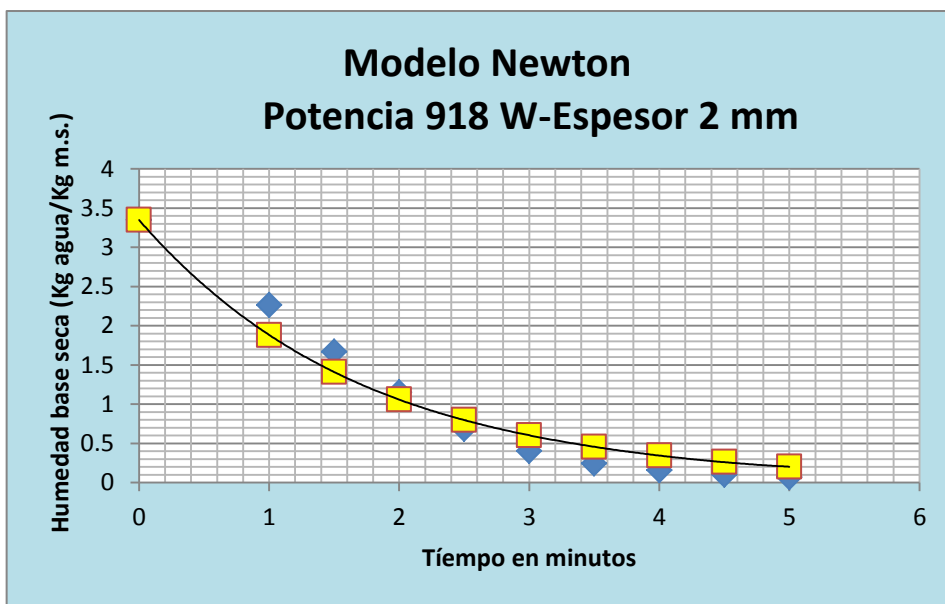
Curvas Experimentales y datos según el Modelo Logarítmico



Grafica N°5.9

Curvas Experimentales y datos Modelados según la ecuación

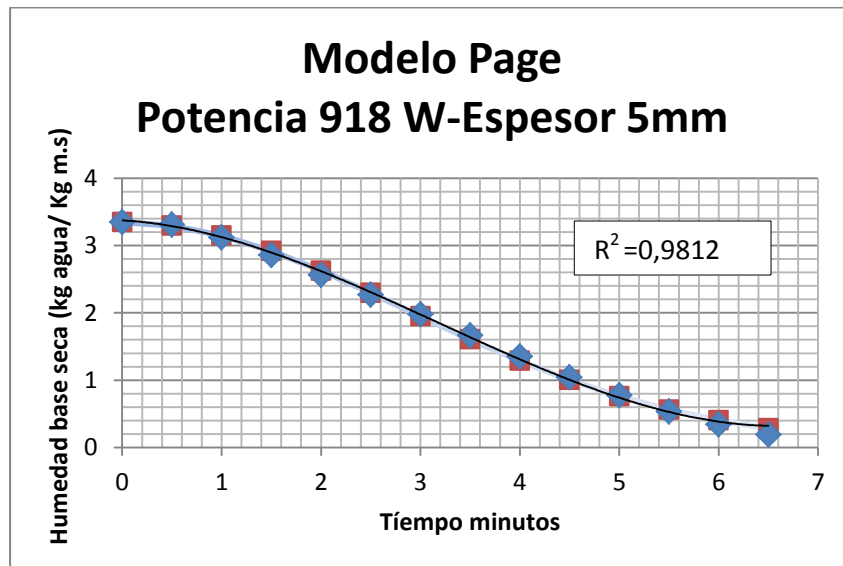
Newton



Fuente: Propia

Grafica N°5.10

Curvas Experimentales y datos Modelados según la ecuación de Page



Fuente: Propia

5.2 Optimización del modelamiento matemático del proceso de Rehidratación.

En la tabla N° 5.8, se corrobora el estudio de los efectos de las variables involucradas en el estudio de la optimización para maximizar la rehidratación de las láminas de Jengibre, observándose para este caso que la función cuadrática de la variable de espesor de lámina de Jengibre no tiene efecto significativo ($p > 0,05$).

Tabla N° 5.8

Valores Estimados de los efectos de las variables independientes de Potencia (W) del Microondas y Espesor de las láminas de Jengibre sobre el % de Rehidratación

Effect Estimates; Var.:Rehidratación (%); R-sqr=.89145; Adj.:.81392 (Spreadsheet8)										
2 factors, 1 Blocks, 13 Runs; MS Residual=27,70595										
DV: Rehidratación (%)										
Factor	Effect	Std.Err.	t(7)	p	-95,% Cnf.Limit	+95,% Cnf.Limit	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-95,% Cnf.Limit	+95,% Cnf.Limit
Mean/Interc.	33,2152	2,396920	13,85745	0,000002	27,5474	38,88301	33,21520	2,396920	27,5474	38,88301
(1)Espesor de lamina (mm)(L)	-16,2914	4,092974	-3,98034	0,005322	-25,9698	-6,61307	-8,14571	2,046487	-12,9849	-3,30654
Espesor de lamina (mm)(Q)	14,6738	6,371220	2,30314	0,054737	-0,3917	29,73936	7,33691	3,185610	-0,1959	14,86968
(2)Potencia (W)(L)	19,0496	4,092974	4,65422	0,002330	9,3712	28,72793	9,52479	2,046487	4,6856	14,36396
Potencia (W)(Q)	-17,6192	6,371220	-2,76543	0,027877	-32,6847	-2,55364	-8,80959	3,185610	-16,3424	-1,27682
1L by 2L	-16,8214	4,882623	-3,44515	0,010762	-28,3669	-5,27580	-8,41069	2,441311	-14,1835	-2,63790

Fuente: Propia

En la tabla 5.9, se observa el análisis de varianza, a partir del cual se obtiene la tabla principal 5.10 para la obtención del valor del F calculado para la validación del análisis de regresión en la determinación de la ecuación para la optimización del % de Rehidratación.

Tabla N° 5.9

Análisis de Varianza de las variables respecto al % de Rehidratación

ANOVA; Var.:Rehidratación (%); R-sqr=.89145; Adj.:.81392 (Spreadsheet8)					
2 factors, 1 Blocks, 13 Runs; MS Residual=27,70595					
DV: Rehidratación (%)					
Factor	SS	df	MS	F	p
(1)Espesor de lamina (mm)(L)	438,948	1	438,9478	15,84309	0,005322
Espesor de lamina (mm)(Q)	146,965	1	146,9650	5,30446	0,054737
(2)Potencia (W)(L)	600,159	1	600,1585	21,66172	0,002330
Potencia (W)(Q)	211,885	1	211,8847	7,64762	0,027877
1L by 2L	328,844	1	328,8437	11,86906	0,010762
Error	193,942	7	27,7060		
Total SS	1786,669	12			

Fuente: Propia

Tabla Nº 5.10

ANOVA: Fuente de variación de la regresión, residuos, falta de ajuste y error para el % de Rehidratación.

Factor	Suma cuadratica	Nº grados Libertad	Media cuadratica	F calculado
Regresion	1592,728	5	318,55	11,497
Residuos	193,941	7	27,71	
falta de ajuste	159,886	3	53,30	6,26
Error Puro	34,055	4	8,51375	
Total	1786,669	12		

Fuente: Propia

Determinando el valor de F en tablas, $F_{0,95;5;7} = 3,97$

Por lo que comparando los valores F calculado y de tablas: $\frac{11,497}{3,97} = 2,90$

Es decir se puede concluir que el modelo es estadísticamente valido.

Luego, el modelo de regresión para el caso de la variable dependiente del % de Rehidratación, tal como se presenta en la tabla 5.11.

$$R(\%) = -19,9455 - 15,4839 \cdot L + 3,2608 \cdot L^2 + 0,1719 \cdot W - 0,0001W^2 - 0,0139 \cdot L \cdot W \quad F4$$

Tabla Nº 5.11

Coefficientes de dispersión para el modelo matemático de la optimización del % de Rehidratación.

Regr. Coefficients; Var.:Rehidratación (%); R-sqr=,89145; Adj:,81392 (Spreadsheet8) 2 factors, 1 Blocks, 13 Runs; MS Pure Error=8,513842 DV: Rehidratación (%)						
Factor	Regressn Coeff.	Std.Err. Pure Err	t(4)	p	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt
Mean/Interc.	-19,9455	10,97208	-1,81784	0,143236	-50,4088	10,51789
(1)Espesor de lamina (mm)(L)	-15,4839	5,72402	-2,70507	0,053811	-31,3763	0,40857
Espeor de lamina (mm)(Q)	3,2608	0,78485	4,15474	0,014206	1,0818	5,43994
(2)Potencia (W)(L)	0,1719	0,02091	8,22257	0,001193	0,1139	0,22997
Potencia (W)(Q)	-0,0001	0,00001	-4,98870	0,007551	-0,0001	-0,00002
1L by 2L	-0,0139	0,00224	-6,21487	0,003412	-0,0201	-0,00770

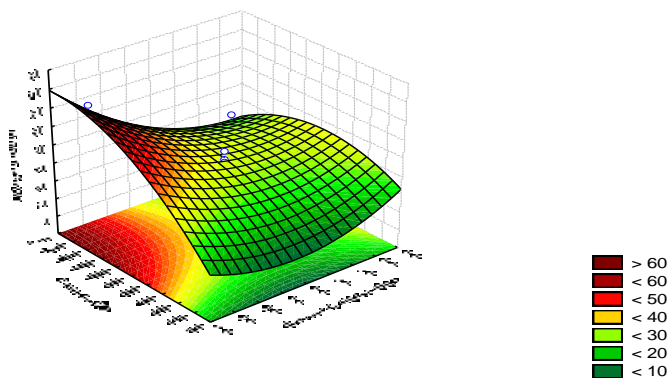
Fuente: Propia

En la gráfica. 5.11, se observa la superficie de respuesta del % de Rehidratación de las láminas de Jengibre y las variables independientes del espesor de las láminas de Jengibre y la Potencia del microondas del diseño experimental planteado.

Grafica N° 5.11

Superficie de respuesta para la determinación del % de Rehidratación

Fitted Surface; Variable: Rehidratación (%)
2 factors, 1 Blocks, 13 Runs; MS Pure Error=8,513842
DV: Rehidratación (%)



Fuente: Propia

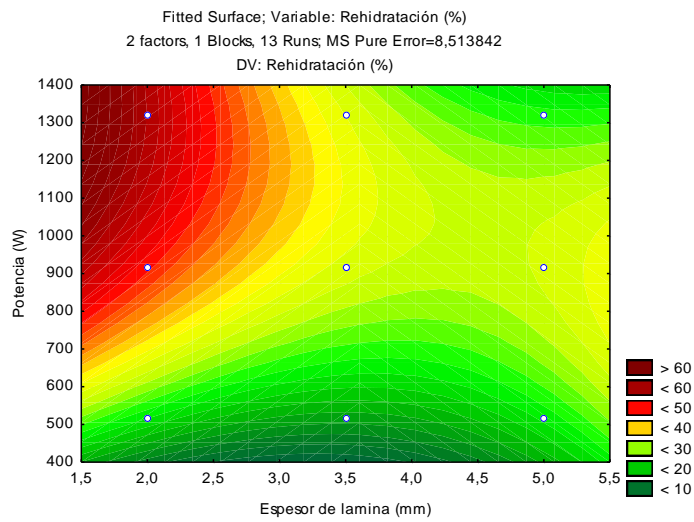
En la gráfica N°. 5.12 se presenta la superficie de contorno para las variables involucradas en el estudio; espesor de las láminas de Jengibre y potencia del microondas. Puede observarse que las regiones donde se obtiene una mayor tasa de Rehidratación corresponde a un menor espesor de lámina de Jengibre y una mayor potencia de microondas.

Al combinar un menor tiempo de secado para espesores de lámina de Jengibre de 2,0 mm de espesor y 1 321W de potencia de Microondas, en

relación al % de Rehidratación, éstas se estarían rehidratando con una aproximación del 50%.

Grafica N° 5.12

Superficie de contorno del Proceso de Rehidratación

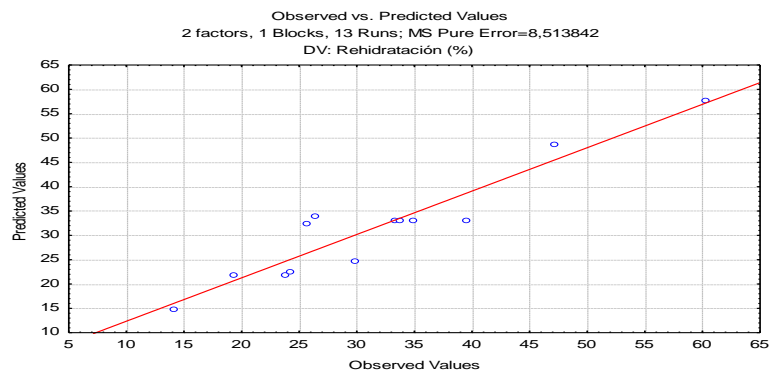


Fuente: Propia

En la gráfica N°. 5.14 se observan la distribución de los puntos experimentales y los valores estimados obtenidos con la ecuación de regresión para la optimización del proceso de rehidratación.

Grafica N° 5.13

Valores estimados y Observados del % de Rehidratación



Fuente: propia

**TABLA Nº5.12
RESUMEN DE DATOS DEL PORCENTAJE DE REHIDRATACION**

Nº	ESPESOR mm	POTENCIA W	%
1	2	515	19.31
2	2	515	23.68
3	2	918	47.16
4	2	1321	60.27
5	3,5	515	14.05
6	3,5	918	34.82
7	3,5	918	39.48
8	3,5	918	33.21
9	3,5	918	33.73
10	3,5	1321	26.38
11	5	515	24.22
12	5	918	25.57
13	5	1321	29.81

Fuente: Propia

NOTA:
%= PORCENTAJE DE
HIDRATACION

**TABLA Nº5.13
CINÉTICA DE REHIDRATACIÓN MEDIANTE EL
MODELO DE PELEG**

t	Mi	Ms	y ₀		y
			%RH	H ₂ O	
0					0.1
1	2.22	3.03	36.4865	0.81	0.194
2	2.34	3.39	44.8718	1.05	0.241
3	2.13	2.87	34.7418	0.74	0.184
4	1.64	2.25	37.1951	0.61	0.198
5	2.42	3.51	45.0413	1.09	0.242
6	2.22	3.32	49.5495	1.1	0.264
7	1.94	2.79	43.8144	0.85	0.235
8	1.64	2.51	53.0488	0.87	0.281
9	2.67	3.99	49.4382	1.32	0.264
10	2.9	4.36	50.3448	1.46	0.268
11	2.98	4.58	53.6913	1.6	0.284
12	2.11	3.13	48.3412	1.02	0.372
13	2.27	3.58	57.7093	1.31	0.303
14	1.71	2.58	50.8772	0.87	0.271
15	2.31	3.52	52.381	1.21	0.278

X	xMod	Dif ²
0.1111	0.111	0
0.2408	0.211	0.0009
0.317	0.26	0.0032
0.2249	0.289	0.0041
0.2472	0.308	0.0037
0.3186	0.322	1E-05
0.3595	0.332	0.0007
0.3074	0.34	0.0011
0.3914	0.347	0.002
0.3585	0.352	5E-05
0.3668	0.356	0.0001
0.3972	0.36	0.0014
0.3486	0.363	0.0002
0.2585	0.365	0.0114
0.4337	0.368	0.0043
0.3853	0.37	0.0002
Promedio		0.0021

Fuente: Propia

k1	6.5646
k2	3.4271

Ecuación de Peleg: $M = M_0 + \frac{t}{k_1 + k_2 \cdot t}$

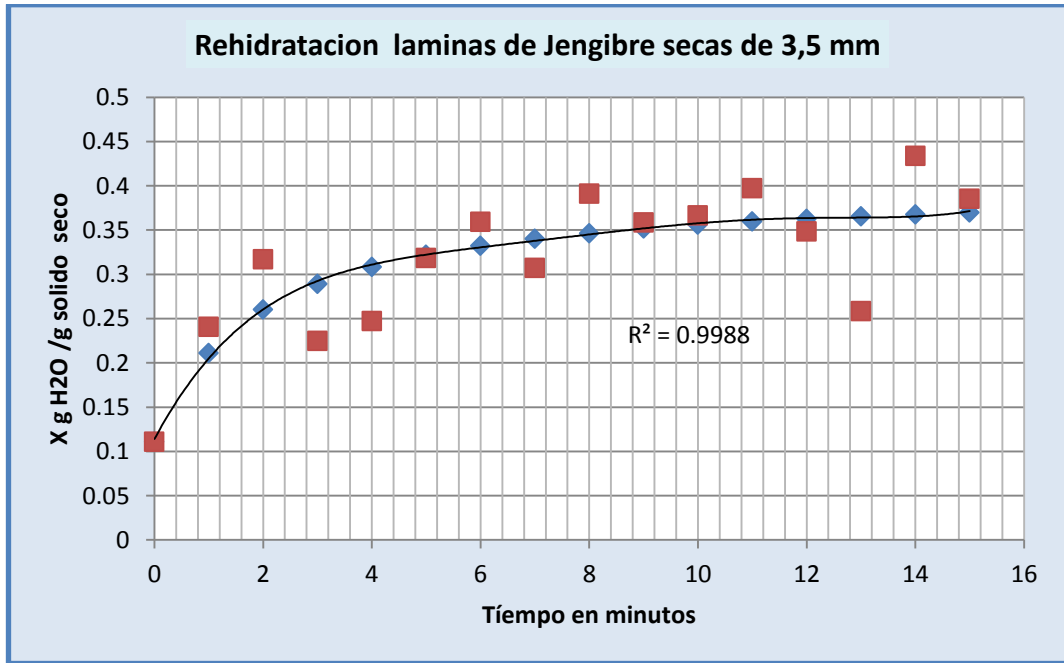
Donde M = masa final

M₀ = masa inicial

$$M = M_0 + (t / (6.5646 + 3.4271 \cdot t))$$

GRAFICA N° 5.14

CINÉTICA DE REHIDRATACIÓN



Fuente: Propia

En la gráfica N°5.14 se observó el comportamiento de ganancia de moléculas de agua progresivamente en un lapso de quince minutos.

TABLA N°5.14

Actividad de Agua

Jengibre	a _w	T°C
fresco	0,967	26,8
seco	0,792	27,3

Fuente: Propia

CAPITULO VI

DISCUSION DE RESULTADOS

6.1 Contrastación de hipótesis con los resultados del Secado

El estudio de la operación de optimización del modelo de simulación de la cinética de secado por microondas de láminas de Jengibre (*Zingiber officinale*) fue desarrollado en función de variables independientes como el espesor y la potencia cuya relación se determinó utilizando la metodología Taguchi proporcionándonos la cantidad muestral, con el tratamiento de la metodología superficie respuesta (**MSR**) se obtuvieron los datos de las gráficas N° 5,2 ; N° 5,3 ; N° 5,4 donde la gráfica de superficie de contorno, presenta como punto central de estudio, al espesor de 3,5mm y la potencia de 918W.

Utilizando el análisis estadístico de correspondencia según el gráfico N° 5.1 de Pareto, grafica que permitió establecer el grado dispersion entre el tiempo, el espesor y la potencia y así poder obtener datos experimentales de la cinética de secado tal como se muestra en las gráficas del N° 5.5 al N° 5.8 ; las cuales nos muestran la variación del comportamiento cinético según el modelo estudiado, que presenta diferentes valores del coeficiente de determinación donde se menciona, que se trabajó con espesores de 2, 3,5 y 5 mm y potencias de 515, 918 y 1 321W obteniendo los tiempos de secado hasta una humedad final (4 - 6 %) y una a_w de (0,7-0,76). Para la determinación de los coeficientes y constantes de cada una

de los modelos cinéticos de secado se utilizó el programa Microsoft Excel Solver®. De la Tabla N° 5.7 se observa que la cinética de secado que mejor se relacionan es a través del modelo cinético de secado de Page que se relacionan en función de las variables independientes espesor y potencia y las dependientes tiempo y humedad y el coeficiente de determinación (R^2).

Para finalmente expresar la ecuación correspondiente al tiempo máximo de secado. (F3).

6.2 Contrastación de la hipótesis con los resultados de la Rehidratación

El estudio de la operación curva cinética de rehidratación del Jengibre previamente secado por microondas fue desarrollado en función de variables independientes como el espesor y la potencia cuya relación se determina con el tratamiento estadístico de correspondencia entre el tiempo, el espesor y la potencia y así poder obtener datos experimentales de la cinética de rehidratación tal como se muestra en la tabla N° 5.8 ; la cual nos presenta los valores estimados de relación entre espesor y potencia sobre el 55 % de rehidratación, valor aceptable de rehidratación. Con la tabla N° 5.9 se presenta el análisis de varianza que permite obtener el valor de F_0 y la relación F calculada y el F tablas y en la tabla N° 5.10 la presentación de ANOVA como fuente de variación de dispersión y factor de ajuste en relación al % de Rehidratación y poder obtener la fórmula (F4):

$$R(\%) = -19,9455 - 15,4839 \cdot L + 3,2608 \cdot L^2 + 0,1719 \cdot W - 0,0001W^2 - 0,0139 \cdot L \cdot W \quad . \quad \text{F4}$$

Que representa el % de rehidratación en función al espesor y a potencia del microondas en la operación de secado.

El modelo cinético de rehidratación empleado fue el de Peleg:

$$M = M_0 + \frac{t}{k_1 + k_2 \cdot t}$$

Donde M = masa final

M_0 = masa inicial

$$M = M_0 + (t / (6.5646 + 3.4271 \cdot t))$$

Donde el coeficiente de determinación (R^2) es de 0,672

6.3. Actividad de Agua

Con respecto a la actividad de agua esta se redujo en 0,175 llegando a valores 0,7 zona de agua moderadamente ligada correspondiente a las multicapas, valor muy semejante al de frutas secas.

CAPITULO VII

CONCLUSIONES

A.- Los modelos cinéticos de secado que se emplearon en la optimización fueron:

Modelo de Page

Modelo Henderson Pabis

Modelo Logarítmico

Modelo Newton

Se determinó que el **Modelo de Page** es el modelo óptimo con un coeficiente de determinación $R^2 = 0,9957$ debido al análisis de los valores proporcionados en la tablas N° 5.6 y 5.7.

Teniendo en consideración que se observó que es el modelo óptimo, para un tiempo aproximado de **4,00 minutos**, un espesor de **3,5 mm** y una potencia de **918W** variables independientes previamente establecidas por la **MSR** como el valor medio estadísticamente valido y los datos del anexo T9, por lo se pudo concluir que el modelo de final de **Page** queda definido como:

$$MR = \text{Exp} (-2,4653 t^{0,0892}) \text{ con } R^2 = 0,9957$$

Donde la herramienta Excel Solver® permitió la determinación de la constante k y el coeficiente n propios de dicha ecuación.

B.- A través de la **MSR** se determinó que el espesor medio de 3,5 mm como el valor óptimo con respecto a la variación del espesor de 2 a 5 mm como se observa en anexos tablas T1 y T5, que el modelo de Page se modifica para la constantes k y el coeficiente n, con valores de n=1,865 a 1,9856 y de K=0,369 a 0,0614 por lo que se concluye que el espesor de la muestra modifica el modelo.

C.- A través de la **MSR** se determinó que la potencia de 918W como el valor óptimo respecto a las potencias de 515W y de 1 321W.

Con respecto al modelo de Page, la variación potencia como se observa en la tabla T6, por lo que se concluye que la potencia tuvo un efecto significativo en el modelo.

D.- De la tabla N° 5.13 se puede determinar que después de quince minutos las muestras se rehidrataron en un rango de 40 -60 % y con estos datos se pudo desarrollar la curva de rehidratación representada en la gráfica N°5.15 que se representó mediante Ecuación de Peleg.

Siendo la ecuación de **Peleg**

$$M = M_0 + (t / (6.5646 + 3.4271.t))$$

Que es la ecuación que modela la rehidratación del Jengibre generando una curva perfecta de hidratación, determinándose los coeficientes K_1 y K_2 utilizando la herramienta Microsoft Excel Solver ®.

CAPITULO VIII

RECOMENDACIONES

Se recomienda tener extremo cuidado con el corte del espesor de la muestra de Jengibre.

El Jengibre debe estar previamente sin la parénquima que conforma la epidermis.

Contar con un microondas con regulador que permita seleccionar en menores rangos la potencia.

Diseñar bandejas perforadas de vidrio al boro silicato (pírex).

Diseñar un microondas que pueda trabajar al vacío para efectuar investigaciones con alimentos sensibles a medianas y altas temperaturas.

CAPITULO IX

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1.- Azuara, E., & Berristain, C. . **Developmen mathematical model to predict Kinetics of osmotic dehydratacion** . *International Journal of Food Sciencie and Technology*, pág. 239-242. 2011.
- 2.-Barboza Canovas Gustavo. **Deshidratacion de Alimentos** pag. 297
2004.
- 3.-Beaudry C., R. G.. **Mocrowave finish drying of osmotically dehydrated cranberries**. *Drying Technology*,21(9), pág. 1810.
2003.
- 4.-Della Rocca P, M.. **Deshidratacion de papas por metodos combinados de secado : deshidrtacion osmotica,secado por microondasy conveccion de aire caliente**. *Proyecciones*, Vol. 9
Nº 2 Octubre, pág.11-26. 2011.
- 5.- F.Andres, E., V.Eliana, P., & De los Rios M. Elena, R. R. (s.f.)..**Estudio farmacognostico y fitoquimico del rizoma de Zingiber officinale Roscoe " Jengibre" de la Ciudad de Chanchamayo-Region Junin, Peru**. 2011
6. - Fito Pedro Barat Jose .**Introducción al Secado de Alimentos por aire caliente** . Ed.Universidad Politecnica de Valencia pág. 202. 2001.

- 7.- Incompera, F.P and Dewitt D.P **Fundamentos de Transferencia de Calor** Editorial Prentice Hall. 4ta ed. pág. 184-218. Mexico 1999
- 8.- Correa Cuevas Laura Paloma, Hernández Baltazar Efrén. **El uso de las microondas en la industria farmacéutica.** Rev. mex. cienc. farm vol.42 no.4 México oct./dic. 2011
- 9.-Richardson Philip .**Improving The Thermal Processing of food.** CRC.Press . pág. 507. 2004
- 10.- Treybal Robert . **Mass-Transfer Operations.** 3ra ed-Ed McGraw-Hill 1980.

ANEXOS

A1.-Figuras relacionadas a la Operación de Secado

Nº1 JENGIBRE



Nº2 PELADO DEL JENGIBRE



Nº3 CORTADOR ELECTRICO



Nº4 CONTROL DE ESPESOR DE MUESTRA



Nº5 DISPOSICION DE MUESTRA



Nº6 CALIBRADO DE BALANZA



Nº7 PESADO



Nº8 MICROONDAS



Nº9 PANEL DE CONTROL



Nº10 JENGIBRE SECO



A2 HIDRATACION

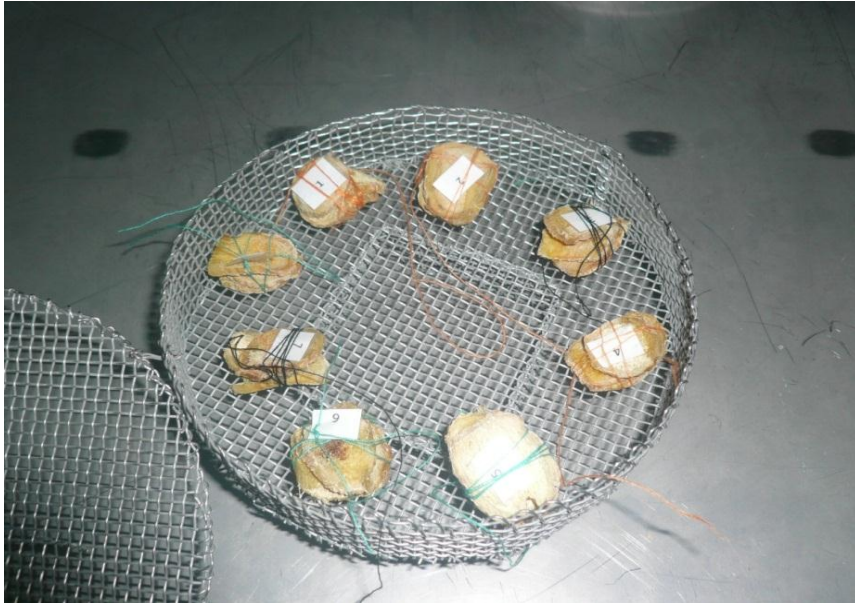
Nº1 GRUPO DE MUESTRAS SECAS PARA HIDRATAR



Nº2 CLASIFICACION POR GRUPO Y PESO



N° 3 MUESTRAS EN CANASTILLAS



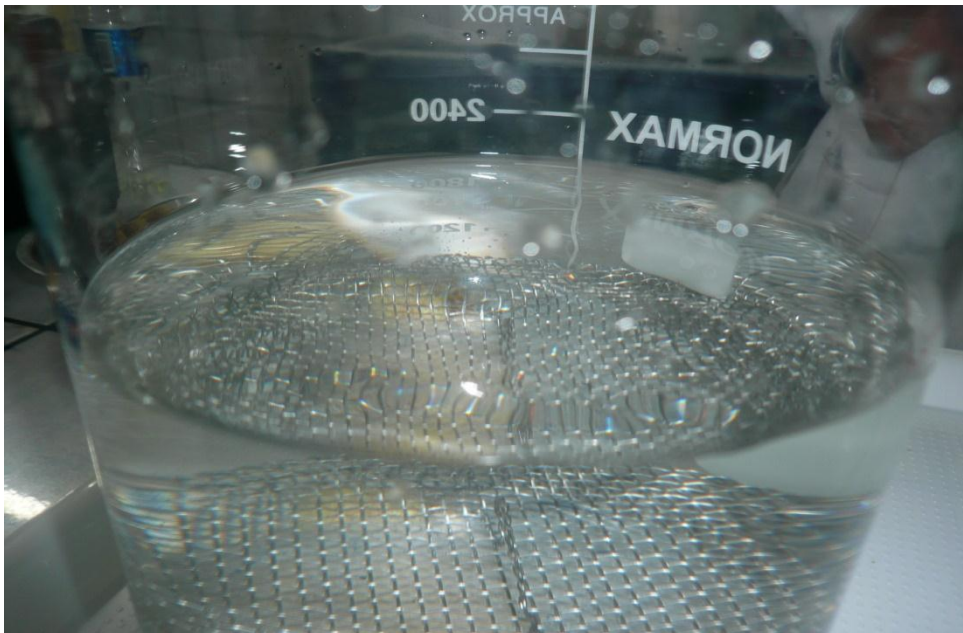
N°4 CANASTILLAS CON 16 MUESTRAS



N° 5 INMERSION



N°6 TIEMPO DE INMERSION



N°7 ESCURRIDO



N° 8 PESADO



Nº 9 ANTES Y DESPUES DEL SECADO POR MICROONDAS



Secado Jengibre

Potencia		918 W	n	1,865	W placa	98,35
Espesor		2 mm	K	0,396	H	0,77

Modelo : Page

segundos	minutos	W (p+m)	Wm	y	x	Page X	Dif^2	dif
0	0	121,5	23,15	0,77	3,34783	3,3478	0	0
60	1	115,72	17,37	0,693	2,26228	2,2598	6E-06	0,00243331
90	1,5	112,55	14,2	0,625	1,66692	1,4517	0,0463	0,21518743
120	2	109,79	11,44	0,535	1,14856	0,8065	0,117	0,34201338
150	2,5	107,32	8,97	0,406	0,68467	0,3935	0,0847	0,2911159
180	3	105,81	7,46	0,286	0,40107	0,174	0,0515	0,22703347
210	3,5	104,98	6,63	0,197	0,24519	0,0753	0,0288	0,16984548
240	4	104,52	6,17	0,137	0,15879	0,0374	0,0147	0,12142146
270	4,5	104,22	5,87	0,093	0,10245	0,0248	0,006	0,07767431
300	5	104,03	5,68	0,063	0,06677	0,0212	0,0021	0,04561413
R²						0,99515	Promedio	0,03513

T1

Secado Jengibre

Potencia		918 W	W placa	98,35
Espesor		2 mm	H	0,77

a	1,0562
K	0,6063

Modelo: Henderson-Pabis

segundos	minutos	W (p+m)	W m	y	x	H-P	Dif^2	dif
0	0	121,5	23,15	0,77	3,34783	3,5348	0,035	-0,18696931
60	1	115,72	17,37	0,693	2,26228	1,9368	0,1059	0,32545564
90	1,5	112,55	14,2	0,625	1,66692	1,4355	0,0535	0,23137487
120	2	109,79	11,44	0,535	1,14856	1,0654	0,0069	0,08320367
150	2,5	107,32	8,97	0,406	0,68467	0,792	0,0115	-0,10731233
180	3	105,81	7,46	0,286	0,40107	0,5901	0,0357	-0,18902233
210	3,5	104,98	6,63	0,197	0,24519	0,441	0,0383	-0,19581695
240	4	104,52	6,17	0,137	0,15879	0,3309	0,0296	-0,17211056
270	4,5	104,22	5,87	0,093	0,10245	0,2496	0,0217	-0,14714721
300	5	104,03	5,68	0,063	0,06677	0,1896	0,0151	-0,12278766
R²						0,97229	Promedio	0,0353

T2

Secado Jengibre

Potencia	918 W
Espesor	2 mm
W placa	98,35
H	0,77

a	1,0562
K	0,6063
c	0

Modelo : Logaritmico

segundos	minutos	W (p+m)	W m	y	x	LOG	dif^2	dif
0	0	121,5	23,15	0,77	3,34783	3,5348	0,035	-0,18697445
60	1	115,72	17,37	0,693	2,26228	1,9368	0,1059	0,32545749
90	1,5	112,55	14,2	0,625	1,66692	1,4355	0,0535	0,23137794
120	2	109,79	11,44	0,535	1,14856	1,0654	0,0069	0,08320721
150	2,5	107,32	8,97	0,406	0,68467	0,792	0,0115	-0,10730879
180	3	105,81	7,46	0,286	0,40107	0,5901	0,0357	-0,18901903
210	3,5	104,98	6,63	0,197	0,24519	0,441	0,0383	-0,195814
240	4	104,52	6,17	0,137	0,15879	0,3309	0,0296	-0,17210801
270	4,5	104,22	5,87	0,093	0,10245	0,2496	0,0217	-0,14714504
300	5	104,03	5,68	0,063	0,06677	0,1896	0,0151	-0,12278585
				R2	0,97229	Promedio	0,0353	

T3

Secado Jengibre

Potencia	918 W
Espesor	2 mm
W placa	98,35
H	0,77

K	0,5815
---	--------

Modelo : Newton

segundos	minutos	W (p+m)	W m	y	x	Modelo Newton	Dif^2	dif
0	0	121,5	23,15	0,77	3,34783	3,3478	0	0
60	1	115,72	17,37	0,693	2,26228	1,8804	0,1458	0,38186537
90	1,5	112,55	14,2	0,625	1,66692	1,411	0,0655	0,25589616
120	2	109,79	11,44	0,535	1,14856	1,0601	0,0078	0,08849948
150	2,5	107,32	8,97	0,406	0,68467	0,7976	0,0128	-0,11298151
180	3	105,81	7,46	0,286	0,40107	0,6014	0,0401	-0,20037188
210	3,5	104,98	6,63	0,197	0,24519	0,4547	0,0439	-0,2095541
240	4	104,52	6,17	0,137	0,15879	0,3451	0,0347	-0,18625965
270	4,5	104,22	5,87	0,093	0,10245	0,263	0,0258	-0,16059017
300	5	104,03	5,68	0,063	0,06677	0,2017	0,0182	-0,13495373
				R2	0,97589	Promedio	0,03947	

T4

Secado Jengibre

Potencia	918 W
Espesor	5 mm
W placa	98,35
H	0,77

n	1,9856
K	0,0614

Modelo : Page

segundos	minutos	W (p+m)	W m	y	x	Page	Dif^2	dif
0	0	167,01	68,75	0,77	3,34783	3,3478	0	0
30	0,5	166,41	68,15	0,768	3,30988	3,2966	0,0002	0,01328251
60	1	163,4	65,14	0,757	3,11953	3,1495	0,0009	-0,03000671
90	1,5	159,32	61,06	0,741	2,8615	2,9205	0,0035	-0,05903347
120	2	154,64	56,38	0,72	2,56553	2,6291	0,004	-0,06361015
150	2,5	150,01	51,75	0,694	2,27273	2,2982	0,0006	-0,02548137
180	3	145,35	47,09	0,664	1,97802	1,9511	0,0007	0,02691577
210	3,5	140,4	42,14	0,625	1,66498	1,6092	0,0031	0,05580711
240	4	135,45	37,19	0,575	1,35194	1,2897	0,0039	0,06219284
270	4,5	130,6	32,34	0,511	1,04522	1,0051	0,0016	0,04014967
300	5	126,33	28,07	0,437	0,77518	0,7621	0,0002	0,01311135
330	5,5	122,52	24,26	0,348	0,53423	0,5628	0,0008	-0,02860322
360	6	119,5	21,24	0,256	0,34324	0,4056	0,0039	-0,06237272
390	6,5	117,14	18,88	0,162	0,19399	0,286	0,0085	-0,09203089
				R²	0,9982	Promedio	0,0025	

T5

Secado Jengibre

Modelo : Page

Potencia		1321 W							
Espesor		3,5				n		0,1165	
W placa		98,35				K		2,3036	
H		0,77							
segundos	Minut.	W (p+m)	W m	y	x	Page	Dif^2	dif	
0	0	146,64	48,35	0,77	3,34783	3,3478	0	0	
10	0,1667	146,47	48,18	0,769	3,33254	3,3416	8E-05	-0,00904222	
20	0,3333	146,09	47,8	0,767	3,29837	3,3171	0,0004	-0,01874174	
30	0,5	145,35	47,06	0,764	3,23182	3,2702	0,0015	-0,03839281	
40	0,6667	144,31	46,02	0,758	3,1383	3,1989	0,0037	-0,06060988	
50	0,8333	143,06	44,77	0,752	3,0259	3,1026	0,0059	-0,07670439	
60	1	141,68	43,39	0,744	2,9018	2,9819	0,0064	-0,08006789	
70	1,1667	140,21	41,92	0,735	2,76961	2,8384	0,0047	-0,0687449	
80	1,3333	138,58	40,29	0,724	2,62304	2,6746	0,0027	-0,05160178	
90	1,5	136,93	38,64	0,712	2,47466	2,4941	0,0004	-0,01939861	
100	1,6667	135,3	37,01	0,7	2,32809	2,3006	0,0008	0,02751751	
110	1,8333	133,62	35,33	0,685	2,17702	2,0985	0,0062	0,07852168	
120	2	132,04	33,75	0,671	2,03494	1,8923	0,0203	0,14260873	
130	2,1667	130,36	32,07	0,653	1,88386	1,6865	0,039	0,1973593	
140	2,3333	128,6	30,31	0,633	1,7256	1,4852	0,0578	0,24040488	
150	2,5	127,08	28,79	0,614	1,58891	1,2921	0,0881	0,296802	
160	2,6667	125,46	27,17	0,591	1,44324	1,1104	0,1108	0,33284639	
170	2,8333	123,82	25,53	0,564	1,29576	0,9425	0,1248	0,35328573	
180	3	122,22	23,93	0,535	1,15188	0,7901	0,1309	0,36179858	
190	3,1667	120,72	22,43	0,504	1,017	0,6542	0,1316	0,36279021	
200	3,3333	119,18	20,89	0,468	0,87851	0,5352	0,1179	0,34336243	
210	3,5	117,76	19,47	0,429	0,75082	0,4326	0,1012	0,31819571	
220	3,6667	116,42	18,13	0,387	0,63032	0,3458	0,0809	0,28448296	
230	3,8333	115,18	16,89	0,342	0,51882	0,2736	0,0601	0,24519234	
240	4	113,98	15,69	0,291	0,41091	0,2146	0,0386	0,19635753	
250	4,1667	112,87	14,58	0,237	0,31109	0,167	0,0208	0,14404921	
260	4,3333	111,91	13,62	0,184	0,22477	0,1295	0,0091	0,09528187	
270	4,5	111,08	12,79	0,131	0,15013	0,1003	0,0025	0,04983767	
280	4,6667	110,4	12,11	0,082	0,08898	0,078	0,0001	0,01099453	
290	4,8333	109,83	11,54	0,036	0,03772	0,0612	0,0006	-0,0235089	
300	5	109,34	11,05	-0,006	-0,0063	0,0489	0,003	-0,05520273	
310	5,1667	108,96	10,67	-0,042	-0,0405	0,0399	0,0065	-0,08039786	
320	5,3333	108,64	10,35	-0,074	-0,0693	0,0335	0,0106	-0,10277148	
330	5,5	108,37	10,08	-0,103	-0,0936	0,029	0,015	-0,12256333	
				R2	0,98405	Promedio	0,0354		

T6

Secado Jengibre

Potencia 515W

Espesor 2mm

W placa 98,35

H 0,77

n	0,0217
K	1,8184

Modelo : Page

segundos	minutos	W (p+m)	W m	y	x	Page	Dif^2	dif
20	0,3333	128,57	30,28	0,7	2,33443	2,3306	1E-05	0,00385082
40	0,6667	128,39	30,1	0,698	2,31461	2,3227	7E-05	-0,00811227
60	1	128,25	29,96	0,697	2,2992	2,31	0,0001	-0,0108095
80	1,3333	128,01	29,72	0,694	2,27277	2,2926	0,0004	-0,01983826
100	1,6667	127,74	29,45	0,692	2,24303	2,2707	0,0008	-0,02766574
120	2	127,43	29,14	0,688	2,2089	2,2445	0,0013	-0,03557715
140	2,3333	127,1	28,81	0,685	2,17256	2,2141	0,0017	-0,04156694
160	2,6667	126,75	28,46	0,681	2,13402	2,1799	0,0021	-0,04584622
180	3	126,41	28,12	0,677	2,09658	2,1419	0,0021	-0,04533658
200	3,3333	126	27,71	0,672	2,05143	2,1005	0,0024	-0,04908606
220	3,6667	125,59	27,3	0,667	2,00628	2,0559	0,0025	-0,04963647
240	4	125,18	26,89	0,662	1,96113	2,0084	0,0022	-0,04724822
260	4,3333	124,77	26,48	0,657	1,91598	1,9582	0,0018	-0,04219
280	4,6667	124,35	26,06	0,652	1,86973	1,9056	0,0013	-0,035838
300	5	123,91	25,62	0,646	1,82128	1,8508	0,0009	-0,02957269
320	5,3333	123,47	25,18	0,639	1,77282	1,7943	0,0005	-0,02147315
340	5,6667	123,03	24,74	0,633	1,72437	1,7362	0,0001	-0,01182098
360	6	122,58	24,29	0,626	1,67482	1,6768	4E-06	-0,00199715
380	6,3333	122,07	23,78	0,618	1,61865	1,6164	5E-06	0,00221638
400	6,6667	121,61	23,32	0,611	1,568	1,5553	0,0002	0,01266245
420	7	121,11	22,82	0,602	1,51294	1,4938	0,0004	0,01916726
440	7,3333	120,62	22,33	0,593	1,45898	1,432	0,0007	0,02698276
460	7,6667	119,68	21,39	0,575	1,35547	1,3703	0,0002	-0,01478995
480	8	119,18	20,89	0,565	1,30041	1,3088	7E-05	-0,00837605
500	8,3333	118,69	20,4	0,555	1,24645	1,2478	2E-06	-0,00134636
520	8,6667	118,22	19,93	0,544	1,19469	1,1875	5E-05	0,00719488
540	9	117,75	19,46	0,533	1,14294	1,1281	0,0002	0,01485437
560	9,3333	117,27	18,98	0,522	1,09008	1,0697	0,0004	0,02035516
580	9,6667	116,82	18,53	0,51	1,04052	1,0126	0,0008	0,02794194
600	10	116,38	18,09	0,498	0,99207	0,9568	0,0012	0,03526804
620	10,333	115,97	17,68	0,486	0,94692	0,9025	0,002	0,04440765
640	10,667	115,5	17,21	0,472	0,89517	0,8498	0,0021	0,04533769
660	11	115,07	16,78	0,459	0,84781	0,7988	0,0024	0,04897374

680	11,333	114,65	16,36	0,445	0,80156	0,7496	0,0027	0,05193126
700	11,667	114,24	15,95	0,431	0,75641	0,7023	0,0029	0,0541444
720	12	113,85	15,56	0,416	0,71347	0,6568	0,0032	0,05666305
740	12,333	113,42	15,13	0,4	0,66612	0,6133	0,0028	0,05284265
760	12,667	113	14,71	0,383	0,61987	0,5717	0,0023	0,04816505
780	13	112,61	14,32	0,366	0,57692	0,5321	0,002	0,04482097
800	13,333	112,19	13,9	0,347	0,53067	0,4945	0,0013	0,03620312
820	13,667	111,82	13,53	0,329	0,48992	0,4588	0,001	0,03113177
840	14	111,47	13,18	0,311	0,45138	0,4251	0,0007	0,02632385
860	14,333	111,07	12,78	0,289	0,40733	0,3932	0,0002	0,0141004
880	14,667	110,7	12,41	0,268	0,36659	0,3633	1E-05	0,00330846
900	15	110,34	12,05	0,246	0,32695	0,3352	7E-05	-0,00820983
920	15,333	109,99	11,7	0,224	0,2884	0,3088	0,0004	-0,02040378
940	15,667	109,67	11,38	0,202	0,25317	0,2842	0,001	-0,031015
960	16	109,31	11,02	0,176	0,21352	0,2612	0,0023	-0,04769148
980	16,333	109,01	10,72	0,153	0,18049	0,2398	0,0035	-0,0593572
1000	16,667	108,68	10,39	0,126	0,14415	0,22	0,0058	-0,07585612
1020	17	108,39	10,1	0,101	0,11221	0,2016	0,008	-0,08941091
1040	17,333	108,11	9,82	0,075	0,08138	0,1846	0,0107	-0,10325481
1060	17,667	107,84	9,55	0,049	0,05165	0,169	0,0138	-0,11731671
1080	18	107,59	9,3	0,024	0,02412	0,1545	0,017	-0,13042409
1100	18,333	107,34	9,05	-0,003	-0,0034	0,1413	0,0209	-0,14470837
1120	18,667	107,12	8,83	-0,028	-0,0276	0,1292	0,0246	-0,15679576
				R2	0,99568	Promedio	0,0028	

T7

Secado Jengibre

Potencia 1321W

Espesor 2mm

W placa 98,35

H 0,77

n	0,7716
K	2,0498

Modelo : Page

segundos	minutos	W (p+m)	W m	y	x	Page	Dif^2	dif
0	0	116,69	18,43	0,7	2,33333	2,3333	0	0
10	0,1667	116,38	18,12	0,695	2,27727	2,2884	0,0001	-0,01115652
20	0,3333	115,45	17,19	0,678	2,10906	2,153	0,0019	-0,04390853
30	0,5	114,08	15,82	0,651	1,86128	1,94	0,0062	-0,07871863
40	0,6667	112,65	14,39	0,616	1,60264	1,673	0,005	-0,07035824
50	0,8333	111,28	13,02	0,575	1,35486	1,3803	0,0006	-0,02539388
60	1	109,96	11,7	0,527	1,11612	1,0893	0,0007	0,02677018
70	1,1667	108,77	10,51	0,474	0,90089	0,8228	0,0061	0,0781227
80	1,3333	107,62	9,36	0,409	0,69289	0,5953	0,0095	0,09761978
90	1,5	106,42	8,16	0,322	0,47585	0,4134	0,0039	0,06244938
100	1,6667	105,44	7,18	0,23	0,29861	0,2767	0,0005	0,0219416
110	1,8333	104,57	6,31	0,124	0,14126	0,1797	0,0015	-0,03846106
120	2	103,94	5,68	0,027	0,02731	0,1148	0,0076	-0,08746273
130	2,1667	103,48	5,22	-0,059	-0,0559	0,0736	0,0168	-0,12950241
140	2,3333	103,11	4,85	-0,14	-0,1228	0,0489	0,0295	-0,17171874
150	2,5	102,84	4,58	-0,207	-0,1716	0,0349	0,0426	-0,20649861
160	2,6667	102,6	4,34	-0,274	-0,215	0,0273	0,0587	-0,2423239
170	2,8333	102,42	4,16	-0,329	-0,2476	0,0234	0,0734	-0,2709981
180	3	102,25	3,99	-0,386	-0,2784	0,0215	0,0899	-0,29985913
190	3,1667	102,11	3,85	-0,436	-0,3037	0,0206	0,1052	-0,32431013
200	3,3333	101,99	3,73	-0,482	-0,3254	0,0203	0,1195	-0,34563271
210	3,5	101,94	3,68	-0,502	-0,3344	0,0201	0,1257	-0,35451733
220	3,6667	101,87	3,61	-0,532	-0,3471	0,02	0,1348	-0,36711515
230	3,8333	101,82	3,56	-0,553	-0,3561	0,02	0,1415	-0,37613483
				R ²	0,99041	Promedio	0,0409	

T8

Secado Jengibre

Potencia 918W

Espesor 3,5mm

W placa 98,35

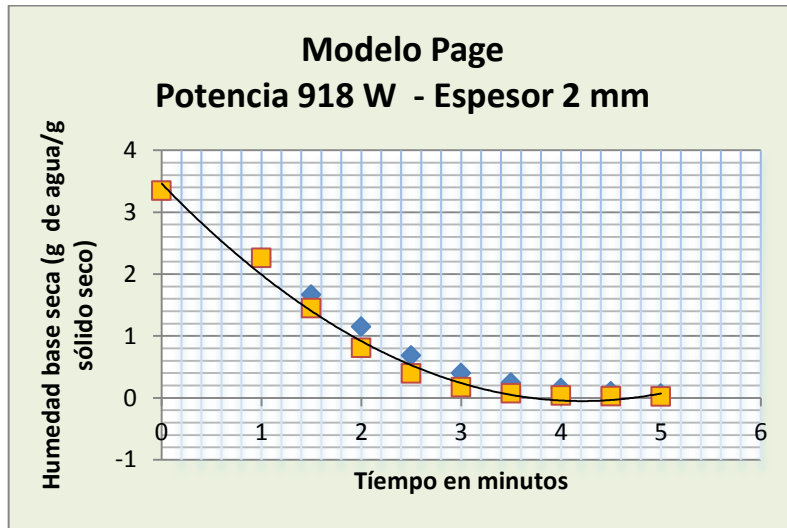
H 0,77

Modelo : Page

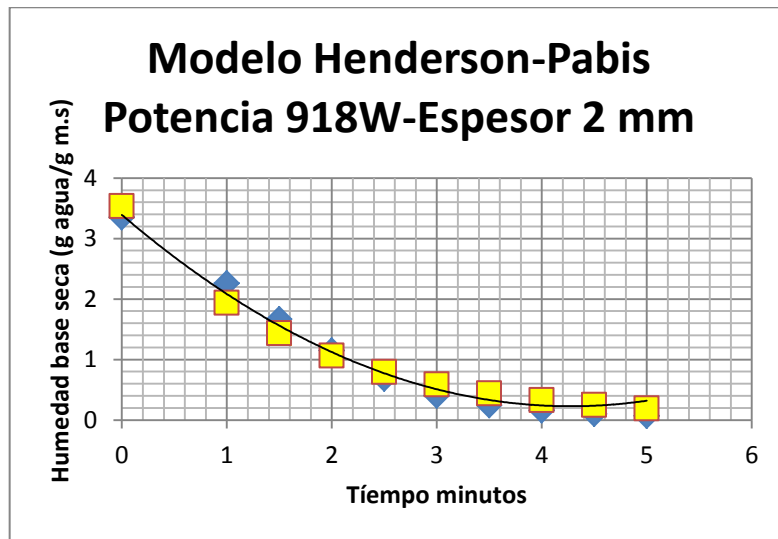
n	0,0892
K	2,4653

segundos	minutos	W (p+m)	W m	y	x	Page	Dif^2	dif
0	0	144,25	45,98	0,7	2,33333	2,3333	0	0
20	0,3333	143,88	45,61	0,698	2,30651	2,3196	0,0002	-0,01310778
40	0,6667	142,56	44,29	0,689	2,21082	2,2586	0,0023	-0,04778389
60	1	140,41	42,14	0,673	2,05495	2,1359	0,0065	-0,08090913
80	1,3333	137,67	39,4	0,65	1,85631	1,9497	0,0087	-0,09334383
100	1,6667	134,7	36,43	0,621	1,641	1,7093	0,0047	-0,06833167
120	2	131,64	33,37	0,587	1,41917	1,4333	0,0002	-0,01415418
140	2,3333	128,4	30,13	0,542	1,18428	1,1454	0,0015	0,03888575
160	2,6667	125,21	26,94	0,488	0,95302	0,8698	0,0069	0,08323474
180	3	122,01	23,74	0,419	0,72104	0,6264	0,009	0,09461578
200	3,3333	118,95	20,68	0,333	0,4992	0,4277	0,0051	0,07152665
220	3,6667	116,18	17,91	0,23	0,29839	0,2774	0,0004	0,02098003
240	4	113,85	15,58	0,115	0,12948	0,1722	0,0018	-0,04274406
				R2	0,99573	Promedio	0,0036	

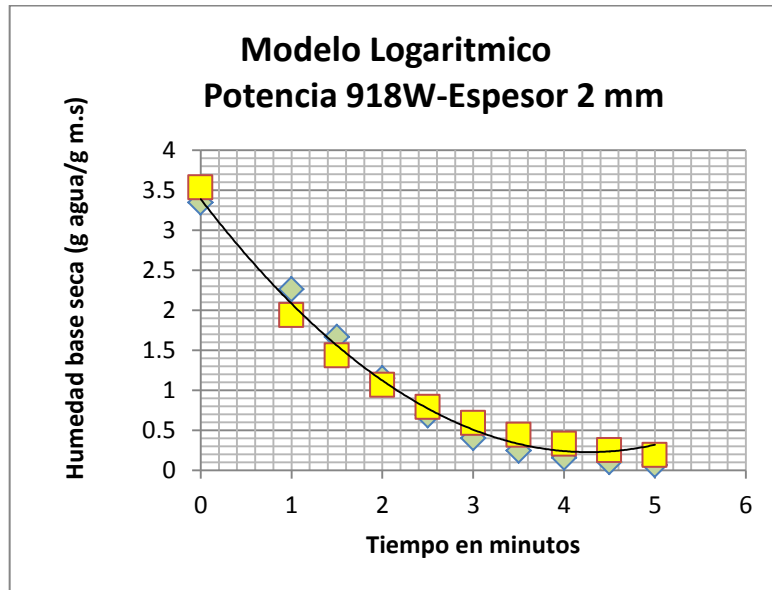
T9



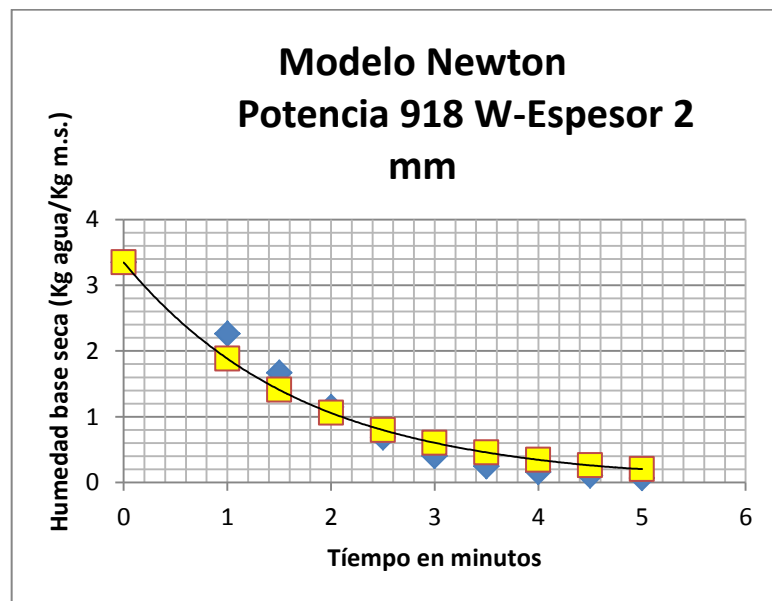
G1



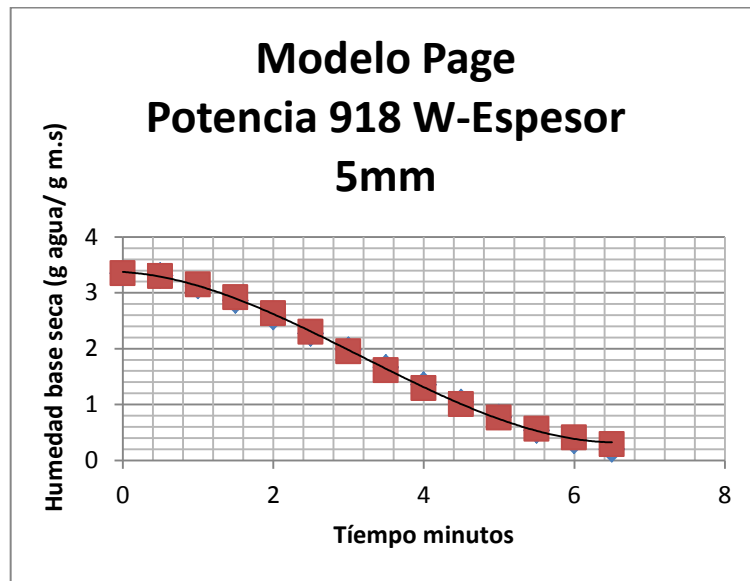
G2



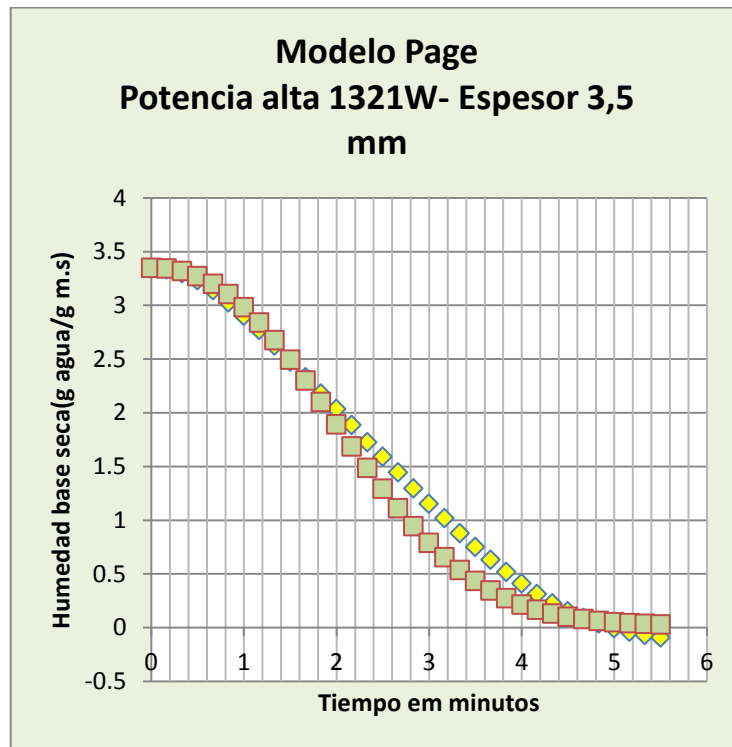
G3



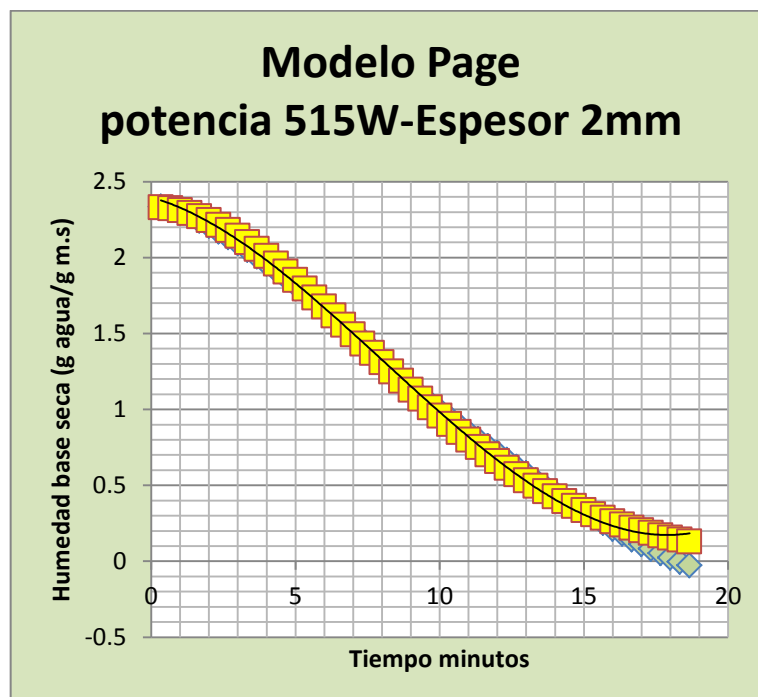
G4



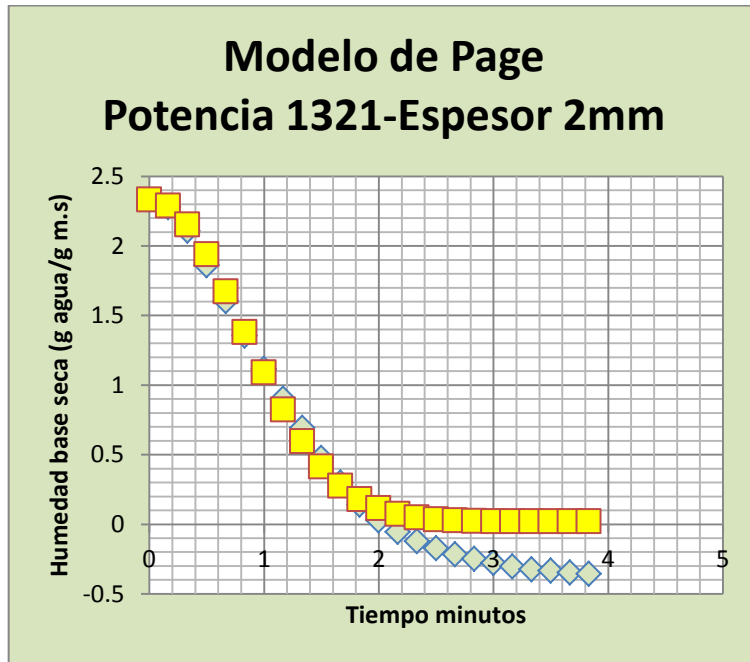
G5



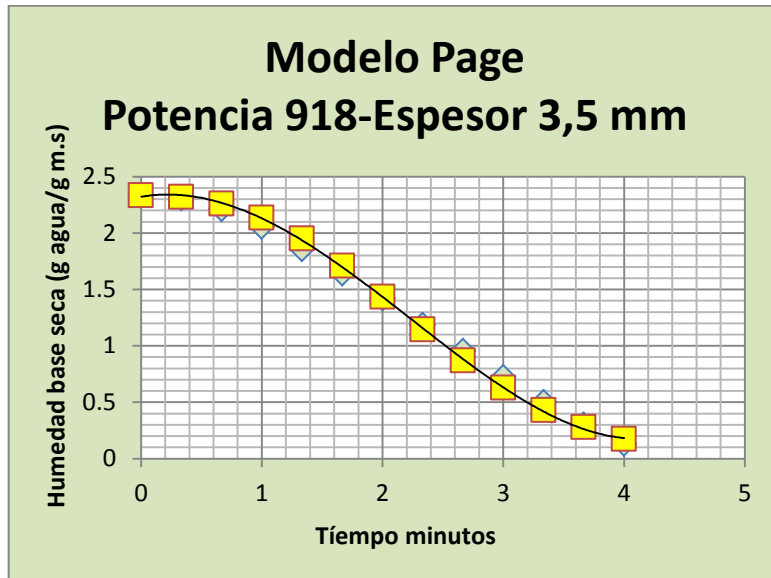
G6



G7



G8



G9

MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES	Método
<p style="text-align: center;">General</p> <p>¿Se puede optimizar el modelo cinético de secado por microondas?</p>	<p style="text-align: center;">General</p> <p>Optimizar el modelo de secado por microondas de láminas de Jengibre</p>	<p style="text-align: center;">General</p> <p>Es factible optimizar el modelo de secado por microondas de láminas de Jengibre.</p>	<p>Independiente :</p> <p>Espesor</p> <p>Nivel de Potencia de operación</p> <p>Alta</p> <p>Media</p> <p>Baja</p>	<p>Milímetros</p> <p>Potencia en Watts (W)</p>	Experimental
<p style="text-align: center;">Específicos</p> <p>¿El modelo cinético de secado variara con el espesor de las láminas de Jengibre?</p> <p>¿El modelo cinético de secado variara con la potencia del microondas?</p> <p>¿Se obtendrá la curva de rehidratación del Jengibre?</p>	<p style="text-align: center;">Específico</p> <p>Determinar si al variar el espesor de las láminas del Jengibre el modelo cinético de secado cambia.</p> <p>Determinar si al variar la potencia de las microondas el modelo cinético de secado cambia.</p> <p>Desarrollar la curva de rehidratación</p>	<p style="text-align: center;">Específica</p> <p>Es factible que al variar el espesor de las láminas del Jengibre el modelo cinético de secado cambie</p> <p>Es factible que al variar la potencia del microondas el modelo cinético de secado cambie</p> <p>Es factible desarrollar la curva de rehidratación.</p>	<p>Dependientes</p> <p>Humedad</p> <p>Tiempo</p> <p>Humedad</p>	<p>Gramos (g) de agua extraída, hasta la humedad de equilibrio.</p> <p>Minutos,</p> <p>Gramos (g) de agua reabsorbida.</p>	