

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO



FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Proyecto de investigación previo a la obtención del título de INGENIERO
INDUSTRIAL

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TÍTULO DEL PROYECTO:

**“AUTOMATIZACIÓN DEL SECADOR DE BANDEJAS DEL LABORATORIO
DE OPERACIONES UNITARIAS - FACULTAD DE INGENIERÍA, PARA
CONTROLAR EL PROCESO DE SECADO”**

AUTOR: Loza Zambrano Diego Andrés

TUTOR: Ing. Mario Cabrera PhD

RIOBAMBA – ECUADOR

AÑO 2019

REVISIÓN DEL TRIBUNAL

Los miembros del tribunal de Graduación del Proyecto de investigación de Título “AUTOMATIZACIÓN DEL SECADOR DE BANDEJAS DEL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS – FACULTAD DE INGENIERÍA PARA CONTROLAR EL PROCESO DE SECADO” Presentado por: Loza Zambrano Diego Andrés y dirigido por: PhD. Mario Cabrera. Una vez escuchando la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de ingeniería de la UNACH.

Para constancia de lo expuesto firman:

Ing. Fabián Silva Frey MsC
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



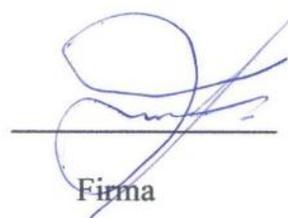
Firma

Ing. Mario Cabrera PhD
TUTOR



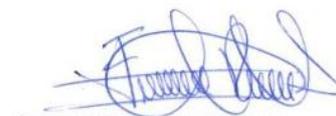
Firma

Ing. Wilfrido Salazar PhD
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



Firma

Ing. Fernanda Romero MsC
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



Firma

AUTORÍA DE INVESTIGACIÓN

Yo, **LOZA ZAMBRANO DIEGO ANDRÉS**, portador de la C.I. 060398034-3, soy responsable de gran parte de las ideas, doctrinas, resultados y propuestas expuestas en el presente trabajo de investigación titulado **“AUTOMATIZACIÓN DEL SECADOR DE BANDEJAS DEL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS – FACULTAD DE INGENIERÍA PARA CONTROLAR EL PROCESO DE SECADO”**, dirigido por el Ing. Mario Vicente Cabera Vallejo PhD.

En virtud de ello manifiesto la originalidad de la conceptualización del trabajo, interpretación de datos y la elaboración de conclusiones, con el aporte de varios autores que se han referenciado adecuadamente en el contenido del documento.



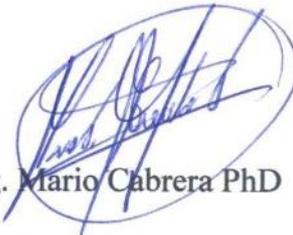
Diego Andrés Loza Zambrano

C.C: 060398034-3

DECLARACIÓN EXPRESA DE TUTORÍA

Yo, Ing. Mario Cabrera PhD, portador de la C.I. 060212705-2, en calidad de tutor de tesis, **“AUTOMATIZACIÓN DEL SECADOR DE BANDEJAS DEL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS – FACULTAD DE INGENIERÍA PARA CONTROLAR EL PROCESO DE SECADO”** certifico que el informe final del trabajo investigativo, ha sido revisado y corregido, razón por la cual autorizo a el estudiante Diego Andrés Loza Zambrano, portador de la C.I. 060398034-3 para que se lleve a cabo la sustentación de su tesis.

Atentamente;



Ing. Mario Cabrera PhD

Tutor de tesis

DEDICATORIA

Dios por sobre todo, mi padre Diego y mi madre Julia que con su apoyo y sus oraciones me han cuidado, mi novia Daniela y su familia por su apoyo incondicional, mi tío John Zambrano por su conocimiento transmitido con mucha paciencia, mi tío Luis Valverde por inculcarme valores y estar siempre pendiente de mi familia y mi persona, mi tío Luis Zambrano y familia, mi gato pancho compañero de tareas y estudio.

AGRADECIMIENTO

A la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo, a la plantilla de docentes de la escuela de Ingeniería Industrial

RESUMEN

La automatización industrial es una herramienta fundamental para el control y mejoramiento de procesos, enfocándose en la eliminación de errores.

En el laboratorio de operaciones unitarias de la facultad de ingeniería existe un secador de bandejas con fines didácticos, pero que lamentablemente no brinda datos confiables para poder realizar investigaciones de calidad debido a que no existen las condiciones de temperatura adecuadas que demanda cada producto a secar.

En la presente investigación se escogió los elementos adecuados para automatizar este tipo de secador, considerando el control para temperatura y tiempo de secado necesarios, pero sin alterar al diseño inicial del equipo; por lo tanto, se determinaron los parámetros técnicos con los que fue construido el equipo para seleccionar cada uno de los elementos necesarios para el sistema de Control Lógico Programable (PLC); asociando elementos de medición como una termocupla pt100, un módulo de expansión para interpretación de señales analógicas para LOGO!, una fuente de alimentación 220v-12v-24v para el funcionamiento de la consola, contactores asociados a las resistencias y un relé asociado para el ventilador

Como resultado se obtiene un proceso de secado bajo control que cumple con las recomendaciones establecidas, brindando así datos confiables para cada producto.

Palabras clave: Automatización, secado, PLC, temperatura específica, tiempo de secado

ABSTRACT

Industrial automation is a fundamental tool for the control and improvement of processes, focusing on the elimination of errors. In the unitary operations laboratory at the engineering faculty there is a trays dryer for educational purposes, but unfortunately does not provide reliable data to be able to carry out quality research because there are no adequate temperature conditions that each product requires to be dry.

In the present investigation the appropriate elements were chosen to automate this type of dryer, considering the necessary control for temperature and drying time, but without altering the initial design of the equipment; therefore, the technical parameters with which the equipment was built to select each of the necessary elements for the Programmable Logic Control (PLC) system; associating measurement elements such as a pt100 thermocouple, an expansion module for a LOGO!, analog signals interpretation a 220v-12v-24v power supply for the operation of the console, contactors associated with the resistors and an associated relay for the fan.

As a result, a drying process under control that complies with the established recommendations is obtained, thus providing reliable data for each product.

Keywords: Automation, drying, PLC, specific temperature, time of drying

Translation reviewed by:



MsC. Edison Damian

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	xvi
ÍNDICE DE TABLAS	xviii
1 PROBLEMATIZACIÓN	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.3 OBJETIVO GENERAL	1
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.5 JUSTIFICACIÓN	2
2 MARCO TEÓRICO	2
2.1 ANTECEDENTES DE INVESTIGACIONES ANTERIORES	2
2.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	4
2.2.1 Proceso de Secado	4
2.2.1.1 Presión de vapor del agua y humedad.	5
2.2.1.1.1 Humidificación.	6
2.2.1.1.2 Presión de vapor del agua y estados físicos.	6
2.2.1.1.3 Humedad.	7
2.2.1.1.4 Humedad de saturación.	7
2.2.1.1.5 Porcentaje de humedad.	8
2.2.1.1.6 Porcentaje de humedad relativa.	8
2.2.1.1.7 Punto de Rocío de una mezcla de aire y vapor de agua.	9
2.2.1.1.8 Calor húmedo en una mezcla de aire-vapor de agua.	9
2.2.1.1.9 Volumen húmedo de una mezcla de aire-vapor de agua.	9

2.2.1.1.10	Entalpía total de una mezcla aire-vapor de agua.	10
2.2.1.1.11	Psicrometría.	10
2.2.1.1.12	Diagrama Psicrométrico.	11
2.2.1.2	Temperatura de saturación adiabática.	12
2.2.1.3	Temperatura de bulbo húmedo.	13
2.2.1.4	Temperatura de bulbo seco.	14
2.2.1.5	Agua combinada y sin combinar en los sólidos.	15
2.2.1.6	Humedad libre y en equilibrio en una sustancia.	15
2.2.1.7	Curvas de velocidad de secado.	15
2.2.1.7.1	Determinación experimental de la velocidad de secado.	15
2.2.1.7.2	Curvas de velocidad de secado para condiciones de secado constante.	16
2.2.1.7.3	Movimiento de humedad en los sólidos en secado durante el período de Velocidad decreciente.	20
2.2.1.8	Métodos de cálculo para el período de secado de velocidad constante.	22
2.2.1.8.1	Método de curvas experimentales de secado	22
2.2.1.8.2	Métodos de curva de secado.	22
2.2.1.8.3	Método de curva de velocidad de secado para el período de velocidad constante	23
2.2.1.8.4	Método que emplea predicciones de coeficientes de transferencia para el período de velocidad constante	23
2.2.1.8.5	Efecto de las variables del proceso sobre el período de velocidad constante.	26

2.2.1.9	Métodos para calcular el período de secado de velocidad	
decreciente_	_____	27
2.2.1.9.1	Método de integración numérica _____	27
2.2.1.9.2	Métodos de cálculo para casos especiales en la región de	
velocidad decreciente.	_____	27
2.2.1.10	Transferencia de calor por combinación de convección, radiación y	
conducción durante el período de velocidad constante	_____	29
2.2.1.10.1	Deducción de la ecuación para convección, conducción y	
radiación_____	_____	29
2.2.1.11	Secado por difusión y flujo capilar durante el período de velocidad	
decreciente_	_____	31
2.2.1.11.1	Difusión líquida y humedad en el secado _____	31
2.2.1.11.2	Movimiento capilar de la humedad durante el secado. _____	32
2.2.2	Automatización de procesos y equipos. _____	33
2.2.2.1	Introducción. _____	33
2.2.2.2	Razones principales para aplicar automatización de procesos y	
equipos. _____	_____	34
2.2.2.3	Niveles de automatización _____	34
2.2.2.3.1	Nivel de Sensado _____	35
2.2.2.3.2	Nivel de control _____	35
2.2.2.3.3	Nivel de supervisión. _____	35
2.2.2.3.4	Nivel de gestión. _____	35
2.2.2.4	Antecedentes de automatización de secadores de bandejas en el	
Ecuador _____	_____	35
2.2.2.5	Elementos para automatizar secadores _____	36

2.2.2.5.1	PLC	36
2.2.2.5.2	HMI	36
2.3	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	37
3	MARCO METODOLÓGICO	38
3.1	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	38
3.2	TIPO DE INVESTIGACIÓN	38
3.3	POBLACIÓN Y MUESTRA	38
3.4	TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN	38
3.5	PROCEDIMIENTO	39
3.5.1	Determinación de los parámetros técnicos del secador	39
3.5.1.1	Diagrama eléctrico – control de temperatura	39
3.5.1.2	Ventilador	40
3.5.1.3	Niquelinas	40
3.5.1.4	Caudal	41
3.5.2	Selección del equipo de control PLC adecuado para controlar el proceso de secado	41
3.5.2.1	Planteamiento	41
3.5.2.2	Decisión	43
3.5.3	Procedimiento de colocación y puesta a punto del PLC seleccionado	43
3.5.3.1	Revisión de conexiones	43
3.5.3.2	Requerimientos	44
3.5.3.3	Materiales	44
3.5.3.4	Colocación del panel de mando (caja de control)	45

3.5.3.5	Configuración de la temperatura y el tiempo deseado por el usuario_____	47
3.5.4	Comprobación de la mejora en la precisión de los datos _____	47
3.5.4.1	Obtención de datos de secado para los 3 productos _____	47
3.5.4.1.1	Materiales _____	48
3.5.4.1.2	Máquinas y equipos _____	48
3.5.4.1.3	Procedimiento_____	49
3.6	ANÁLISIS DE DATOS _____	49
3.7	PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS_____	50
3.7.1	OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES _____	51
4	<i>RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN ANTES DE LA APLICACIÓN</i> _____	54
4.1	Datos del secado de la papa _____	54
4.2	Datos del secado de la manzana verde _____	55
4.3	Datos del secado de la zanahoria _____	55
4.4	ANÁLISIS, INTERPRETACIÓN Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS _____	56
4.5	LINEA BASE _____	58
5	<i>ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN (DISEÑO Y APLICACIÓN)</i> _____	58
5.1	DESCRIPCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN _____	58
5.2	DISEÑO _____	59
5.2.1	Diagrama eléctrico final _____	59
5.3	PRESUPUESTO _____	59
5.4	APLICACIÓN _____	60

5.4.1	Toma de datos después de la implementación del sistema de control	60
5.5	ANÁLISIS, INTERPRETACIÓN Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	62
5.5.1	Resultados de la papa	63
5.5.2	Resultados de la Zanahoria	64
5.5.3	Resultados de la manzana verde	66
5.6	LÍNEA BASE	68
6	MARCO HIPOTÉTICO	69
6.1	PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS	69
6.1.1	HIPÓTESIS ESTADÍSTICA	69
6.1.2	NIVEL DE SIGNIFICACIÓN	69
6.1.3	CRITERIO	69
6.1.4	CALCULO	69
6.1.5	DECISIÓN	72
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	73
7.1	Conclusiones	73
7.2	Recomendaciones	74
8	Bibliografía	74
9	Anexos	76
9.1	Anexo 1; Secado de papa sin PLC	76
9.1.1	Materiales	76
9.1.2	Máquinas y equipos	76
9.1.3	Procedimiento	77

9.1.4	Resultados	77
9.1.5	Evidencia	78
9.2	Anexo 2; Secado de papa con PLC	87
9.2.1	Materiales	87
9.2.2	Máquinas y equipos	87
9.2.3	Procedimiento	88
9.2.4	Resultados	88
9.2.5	Evidencia	92
9.3	Anexo 3 Secado de Zanahoria sin PLC	104
9.3.1	Materiales	104
9.3.2	Máquinas y equipos	104
9.3.3	Procedimiento	105
9.3.4	Resultados	105
9.3.5	Evidencia	106
9.4	Anexo 4 Secado de Zanahoria con PLC	114
9.4.1	Materiales	114
9.4.2	Máquinas y equipos	114
9.4.3	Procedimiento	115
9.4.4	Resultados	115
9.4.5	Evidencia	119
9.5	Anexo 5 Secado de manzana verde sin PLC	131
9.5.1	Materiales	131
9.5.2	Máquinas y equipos	131
9.5.3	Procedimiento	132
9.5.4	Resultados	132

9.5.5	Evidencia	133
9.6	Anexo 6 Secado de manzana verde con PLC	141
9.6.1	Materiales	141
9.6.2	Máquinas y equipos	141
9.6.3	Procedimiento	142
9.6.4	Resultados	142
9.6.5	Evidencia	147
9.7	Anexo 7: MANUAL DE OPERACIÓN DEL SECADOR	158
9.8	Anexo 8; Costos	161

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Diagrama de fases del agua.</i>	6
<i>Figura 2. Diagrama psicrométrico.</i>	12
<i>Figura 3. Saturador adiabático de aire-vapor de agua.</i>	13
<i>Figura 4. Medición de la temperatura de bulbo húmedo.</i>	14
<i>Figura 5. Curva típica de velocidad de secado para condiciones de secado constante: a) Gráfica de los datos como humedad libre en función del tiempo; b) curva de velocidad de secado en función del contenido de humedad libre.</i>	17
<i>Figura 6. Curva típica de velocidad de secado: a) Período de velocidad decreciente controlado por difusión; b) Período de velocidad decreciente controlado por la capilaridad de un sólido fino y poroso.</i>	21
<i>Figura 7. Transferencia de masa y calor durante el período de velocidad de secado constante.</i>	24
<i>Figura 8. Transferencia de calor y de masa en el secado de un sólido en la superficie superior.</i>	29
<i>Figura 9. Niveles de automatización.</i>	34
<i>Figura 10. Diagrama eléctrico y control de temperatura del secador de bandejas de la facultad de ingeniería.</i>	40
<i>Figura 11. Diagnóstico de conexiones para ventilador y niquelinas.</i>	44
<i>Figura 12. Parte externa de la caja de mando</i>	46
<i>Figura 13. Colocación de los elementos de control</i>	46
<i>Figura 14. Conexiones de acuerdo al diagrama eléctrico</i>	47
<i>Figura 15. Configuraciones de temperatura y tiempo deseadas por el usuario.</i>	47
<i>Figura 16. Análisis de temperaturas en la manzana verde.</i>	56
<i>Figura 17 Análisis de temperaturas en la papa.</i>	57

<i>Figura 18 Análisis de temperaturas en la zanahoria.</i>	57
<i>Figura 19. Diagrama eléctrico final del secador.</i>	59
<i>Figura 20. Temperatura de secado de la papa con PLC.</i>	64
<i>Figura 21. Temperatura de secado de la zanahoria con PLC.</i>	66
<i>Figura 22. Temperatura de secado de la manzana verde con PLC.</i>	68

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1</i> Parámetros técnicos del ventilador. _____	40
<i>Tabla 2</i> Parámetros técnicos de las niquelinas. _____	41
<i>Tabla 3</i> Obtención del caudal en el secador de bandejas _____	41
<i>Tabla 4</i> Análisis comparativo entre LOGO 6 y LOGO 8. _____	42
<i>Tabla 5</i> Descripción de materiales y funcionamiento _____	44
<i>Tabla 6</i> Medidor de estrés térmico. _____	48
<i>Tabla 7</i> Porcentajes de humedad inicial y temperaturas máximas permisibles para la manzana, papa y zanahoria. _____	50
<i>Tabla 8</i> Operacionalización de las variables _____	51
<i>Tabla 9</i> Medición de temperatura de bulbo seco, bulbo húmedo, cámara de secado, peso de bandeja; para determinar el tiempo de secado de la papa. _____	54
<i>Tabla 10</i> Medición de temperatura de bulbo seco, bulbo húmedo, cámara de secado, peso de bandeja; para determinar el tiempo de secado de la manzana verde _____	55
<i>Tabla 11</i> Medición de temperatura de bulbo seco, bulbo húmedo, cámara de secado, peso de bandeja; para determinar el tiempo de secado de la manzana verde _____	55
<i>Tabla 12</i> Descripción de alternativa de solución _____	58
<i>Tabla 13</i> Presupuesto del sistema _____	59
<i>Tabla 14</i> Medidor de estrés térmico con fecha de calibración actualizada. _____	61
<i>Tabla 15</i> Resultados del proceso de secado de la papa _____	63
<i>Tabla 16</i> Resultados del proceso de secado de la zanahoria. _____	65
<i>Tabla 17</i> Resultados del proceso de secado de la manzana verde. _____	67
<i>Tabla 18</i> T-Student para la papa _____	70
<i>Tabla 19</i> T-Student para la zanahoria _____	71
<i>Tabla 20</i> T-Student para la manzana verde _____	72

1 PROBLEMATIZACIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Ecuador está atravesando un cambio en su matriz productiva, por lo que las empresas e instituciones tanto públicas como privadas requieren ser más competitivas y mejorar su tecnología implica a uno de varios factores de mejora y evolución; y toman a la automatización como herramienta para control de procesos y así eliminar errores.

En la provincia de Chimborazo se destaca la agricultura, y en sus productos encontramos materias primas para la elaboración de varios productos alimenticios que se involucran ciertas operaciones unitarias aprendidas a lo largo de la formación académica.

La Universidad Nacional de Chimborazo, a través de su facultad de ingeniería posee un secador de bandejas que sirve para realizar las diferentes demostraciones didácticas con fines académicos, pero dados los nuevos convenios cooperativos que brinda la universidad a productores y empresarios, y dada la necesidad de mejora y evolución en sus equipos de medición y ejecución de procesos industriales con fines de investigación y desarrollo, se ha considerado indispensable contar con un secador de bandejas automatizado que brinde datos con un muy alto nivel de confianza y un control total del proceso de secado

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿De qué manera la automatización del secador de bandejas del laboratorio de operaciones unitarias de la facultad de ingeniería influye en el mejoramiento del proceso de secado?

1.3 OBJETIVO GENERAL

Automatizar el secador de bandejas del laboratorio de operaciones unitarias - facultad de ingeniería.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los parámetros técnicos con los que fue diseñado el secador.
- Seleccionar el equipo de control PLC más apropiado.
- Colocar el equipo PLC al secador.
- Comprobar la mejora en la precisión de los datos obtenidos en 3 productos.

1.5 JUSTIFICACIÓN

La justificación de esta investigación está centrada en la influencia de la automatización industrial enfocada a la mejora de procesos, lo cual es un pilar fundamental para cualquier ingeniero industrial. La automatización está ligada directamente a una mejora de procesos debido a que esta reduce el número de errores que pueden ser causados por operarios.

Otra justificación de la presente investigación es la evolución tecnológica que tendrá un impacto muy positivo dentro de la facultad de ingeniería, debido a que el secador de bandejas brindará datos muy confiables para cualquier investigación que se involucre con el proceso de secado, brindando una ventaja competitiva por sobre otras instituciones educativas, con fines a una correcta acreditación.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE INVESTIGACIONES ANTERIORES

Chata, Andrés, realiza un proyecto de investigación denominado “Implementación de un sistema automático para la determinación de pérdida de humedad en el secador de bandejas de operaciones unitarias”, en la Universidad de Guayaquil, para la obtención del título de Ingeniero Químico, y ejecutó la adaptación de un sistema de pérdida de humedad en el secador de bandejas del laboratorio de operaciones unitarias de la facultad de Ingeniería Química, logrando que la materia prima no sea expuesta al

ambiente cada cierto límite de tiempo para que esta no absorba la humedad del ambiente, mejorando así el desempeño del equipo.

La adaptación de este sistema permitió simplificar el manejo de forma que el operario no requiera grandes conocimientos para la manipulación del proceso.

Maza, Elvira, realiza un proyecto de investigación denominado “Repotenciación y automatización del secador de túnel didáctico del laboratorio de operaciones unitarias” en la Universidad de Guayaquil, para la obtención del título de Ingeniero Químico, y ejecutó la repotenciación y automatización del secador de túnel didáctico del laboratorio de operaciones unitarias de la facultad de Ingeniería Química; este secador cuenta con una capacidad para 12 libras de materia prima, mediante análisis se logró acoplarlo para su mayor desempeño y funcionamiento.

Un grupo de investigadores de la Universidad Politécnica de Valencia sostienen que la mayoría de secadores son calentados con vapor para evitar el contacto entre el producto y los elementos de combustión; aplicándose así a temperaturas de hasta 150°C, pero al secar con vapor se generan problemas de mantenimiento debido a la obstrucción de las aletas del intercambiador de calor a causa de la formación de depósitos. No se recomienda la combustión directa de aceite debido a que existe un alto riesgo de contaminación al producto.

El calentamiento eléctrico rara vez se usa para la generación de aire caliente, debido a su baja eficacia y costo elevado. Las aplicaciones están generalmente condicionadas a aquellos casos en los que es necesario obtener temperaturas muy elevadas para el secado de productos en los que la contaminación debida a los productos de la combustión deba ser evitada. (Maupoey, Andrés, Barat, & Albors, 2016, p.12)

En el año 2008 un grupo de investigación de la Universidad Católica de Valparaíso, en Chile, muestra un diseño y montaje de un dispositivo experimental para automatizar

un secador de aire caliente convectivo con flujo paralelo. Este propone un diseño de un sistema de automatización para posteriormente validar su sistema con métodos estadísticos. Con un HMI que incluso permite transmitir la información a través de internet, registrando las variables del proceso de secado y de imagen de la muestra deshidratada en tiempo real. (Saavedra, Puente, González, & Camousseigt, 2008)

En la facultad de ingeniería de la Universidad Surcolombiana, se presenta la automatización de un secador de café para laboratorio, en este caso utilizando elementos de sensado y microcontroladores; pero también ponen a consideración el uso de sensores de temperatura, humedad relativa, y una HMI asociada a un computador utilizando el software Labview, el cual permite desplegar, registrar, y graficar la información captada durante su funcionamiento. (Henaó, Soto, Góngora, & Cortés, 2010)

En la Escuela Superior Politécnica del Litoral se plantea un diseño de automatización de una secadora de arroz. Teniendo en cuenta que se utilizan elementos similares para la implementación pero, cabe mencionar que el costo del sistema está en los 2500 dólares para elementos electrónicos y de 784 dólares para elementos eléctricos, dando un total de 3284 dólares sirviendo para control de temperatura y tiempo. (Galeas, 2016)

Es evidente que existen diseños de sistemas automáticos con diferentes características en sus elementos de comunicación y configuración, pero por versatilidad, economía, facilidades de programación y puesta a punto, incluso por contar con un interfaz más amigable con el usuario, se ha decidido seleccionar los elementos en la presente investigación; demostrando así su fiabilidad en la obtención de datos para cada producto que el usuario escoja.

2.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.2.1 Proceso de Secado

Seader, Henley, Roper, (2011) Afirma: “El secado es la eliminación de la humedad (ya sea agua u otros compuestos volátiles) de sólidos, soluciones, lodos y pastas para obtener productos sólidos” (Seader, 2011 p.726)

Cuando hablamos de secado, no debemos vincularlo con la evaporación, debido a que en este último se debe llegar a una temperatura de ebullición para que el líquido sea eliminado. Mientras que en el secado el líquido es arrastrado por corrientes de aire a una temperatura elevada, considerando que es menor que la de ebullición.

Actualmente, el secado con aire caliente es uno de los métodos más utilizados dentro de la industria; pero hay que suponer que este método provoca, en determinados momentos, ciertos cambios en las propiedades organolépticas, físicas y químicas de los productos alimenticios; y esto tiene una consecuencia directa para la aceptación o rechazo del producto por parte de los interesados.

Una de las propiedades más importantes que sufre alteraciones en los procesos de secado utilizando aire caliente es el color. Este factor es influyente y muy significativo en cuanto a la comercialización del producto se refiere; podemos tomar un ejemplo al caso de las frutas.

En la presente investigación consideramos a la manzana verde, la zanahoria y la papa. La manzana es una fruta muy utilizada en la gastronomía a nivel nacional. Se la puede ingerir directamente luego de cosecharla, o se la puede utilizar como ingrediente para la elaboración de comidas en general. La zanahoria es utilizada para la obtención de harinas y derivados, debido a su alto contenido de vitamina A. La papa es considerada como uno de los alimentos de consumo masivo más demandada.

En los ensayos del laboratorio estos tres productos son los más utilizados.

2.2.1.1 Presión de vapor del agua y humedad.

2.2.1.1.1 Humidificación.

La humidificación se da cuando existe traspaso de agua hallándose en un estado líquido, a una mezcla en fase gaseosa de vapor de agua y aire. Si habláramos de una deshumidificación tenemos un proceso opuesto, lo cual significa que el vapor de agua se traspa de una fase gaseosa a una fase líquida. (Geankoplis, 2006)

2.2.1.1.2 Presión de vapor del agua y estados físicos.

El agua en estado puro se puede mostrar en tres estados físicos distintos: sólido, líquido, y gaseoso; y estos estarán en dependencia tanto de la temperatura como de la presión.

La figura 1 nos indica los estados físicos del agua y las relaciones presión-temperatura en equilibrio.

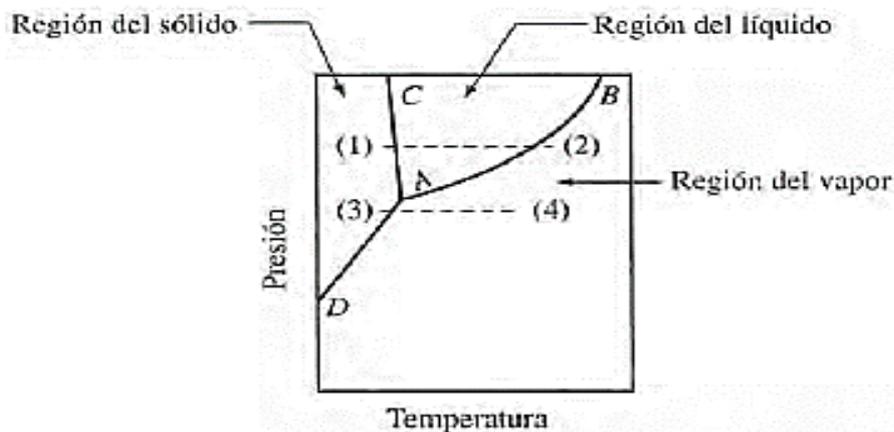


Figura 1. Diagrama de fases del agua.

Fuente: Procesos de transporte y principios de procesos de separación.
Geankoplis Christie, 2006, página 578.

Geankoplis (2006) afirma:

A lo largo de la línea AB coexisten las fases líquido y vapor. En la línea AC las fases que coexisten son hielo y líquido. A lo largo de la línea AD, coexisten el hielo y el vapor. Si en hielo en el punto (1) se calienta a presión constante, la temperatura se eleva y la condición física se desplaza horizontalmente. En cuanto la línea cruzada AC, el sólido se funde, y al cruzar AB el líquido se vaporiza. Al 30 desplazarse del

punto (3) al punto (4), el hielo se sublima (se vaporiza) para formar vapor sin pasar por el estado líquido.

El líquido y el vapor pueden existir mutuamente en equilibrio a lo largo de la línea AB, que es la línea de presión de vapor del agua. La ebullición se presenta cuando la presión de vapor del agua, es igual a la presión total por encima de la superficie de dicha agua. Por ejemplo, a 100° C (212°F), la presión de vapor del agua es 101.3 Kpa. (1.0 atm), y por lo tanto, hervirá a 1 atm de presión. A 65.6°C (150°F), las tablas de vapor anexo 1 indican que la presión de vapor del agua es 25.7 Kpa. (3.72lb/pul). Por consiguiente, el agua también hierve a 25.7 Kpa y 65.6°C. 2

Una propiedad muy importante de la presión del vapor del agua es que la presión del vapor del agua es independiente de la presión total del sistema. (Geankoplis, 2006, p.578)

2.2.1.1.3 *Humedad.*

Geankoplis (2006) afirma:

La humedad (H) cuando existe una mezcla vapor de agua-aire se define como cierta cantidad de kilogramos de vapor de agua por cada kilogramo de aire seco. Cabe mencionar que esta definición es dependiente de la presión parcial (PA) del vapor de agua en el aire y de la presión total (P) la cual es de 101,325 kilo pascales; 1 atmósfera absoluta o 760 mm de mercurio.

Utilizando el peso molecular del agua de 18,02 moles y el del aire de 28,97 moles, y a la humedad en Kg H2O / Kg aire seco, también en unidades inglesas como lb H2O / lb aire seco, se consigue con la siguiente fórmula: (Geankoplis, 2006, p.578)

$$H = \frac{18,02}{28,97} \frac{P_A}{P - P_A} \quad \text{Ec.1}$$

2.2.1.1.4 *Humedad de saturación.*

Geankoplis (2006) afirma:

El aire saturado es aquel en el cual el vapor de agua está en equilibrio con el agua líquida en las condiciones prevalecientes de presión y temperatura. En esta mezcla, la presión parcial del vapor del agua en la mezcla aire-agua, es igual a la presión de vapor (PAS) del agua pura a la temperatura establecida. La humedad de saturación es (HS). (Geankoplis, 2006, p.579)

$$H = \frac{18,02}{28,97} \frac{P_{AS}}{P - P_{AS}} \quad \text{Ec.2}$$

2.2.1.1.5 Porcentaje de humedad.

Geankoplis (2006) afirma: “(HP) se define como 100 multiplicado por la humedad real del aire, dividida entre la humedad de saturación que tendría el aire si fuera saturado a esa misma temperatura y presión” (p.579).

$$H_P = 100 \frac{H}{H_S} \quad \text{Ec.3}$$

Donde:

(HP) = Porcentaje de Humedad.

(H) = Humedad de una mezcla aire-vapor de agua.

(HS) = Humedad de saturación

2.2.1.1.6 Porcentaje de humedad relativa.

Geankoplis (2006) afirma que “la cantidad de saturación de una mezcla de aire-vapor de agua; también suele articularse como porcentaje de humedad relativa (HR), usando presiones parciales” (Geankoplis, 2006, p.579).

$$H_R = 100 \frac{p_A}{P_{AS}} \quad \text{Ec.4}$$

Donde:

(HR) = Humedad relativa.

(PA) = Presión parcial del vapor de agua en el aire.

(PAS) = Presión del vapor de agua pura a la temperatura establecida (verificar en tablas).

NOTA: Se debe advertir que (HR) \neq (HP)

2.2.1.1.7 *Punto de Rocío de una mezcla de aire y vapor de agua.*

Se conoce como punto de rocío, o temperatura de rocío, a la temperatura en la cual la mezcla brindada entre aire y vapor de agua debe enfriarse hasta que se pueda conseguir la saturación. Se puede decir que es la cantidad máxima de humedad que puede darse en la superficie sin que se produzca la condensación. (Geankoplis, 2006)

2.2.1.1.8 *Calor húmedo en una mezcla de aire-vapor de agua.*

El calor húmedo CS es la cantidad de calor, en Joules (o Kilo Joules), que se requiere para poder aumentar la temperatura de un Kilogramo de aire seco, más el vapor de agua presente en un grado centígrado o en un grado Kelvin. La capacidad calorífica del aire y del vapor del agua se las pueden aceptar como constantes en el intervalo normas de temperaturas e iguales a 1,005 KJ/Kg de aire seco, K y 1,88 KJ/Kg de vapor de agua K y obtenemos para unidades SI e inglesas: (Geankoplis, 2006, p.580)

$$C_s \text{ KJ/Kg aire seco. K} = 1,005 + 1,88H \quad \text{S. Internacional} \quad \text{Ec.5}$$

$$C_s \text{ btu/lb}_m \text{ aire seco. } ^\circ\text{F} = 0,24 + 0,45H \quad \text{S. Inglés}$$

2.2.1.1.9 *Volumen húmedo de una mezcla de aire-vapor de agua.*

El volumen húmedo (VH) es el volumen total en metros cúbicos de 1 Kilogramo de aire seco más el vapor que contiene a 101,325 Kilo Pascales (1 atm) abs de presión y a la temperatura del gas. Usando la ley de los gases ideales. (Geankoplis, 2006, p.580)

$$V_H \text{ m}^3 / \text{Kg aire seco} = \frac{22,41}{273} \text{ TK} \left(\frac{1}{29} + \frac{1}{18} H \right) = (2,83 \times 10^{-3} + 4,56 \times 10^{-3} H) \text{ TK}$$

$$\text{S. Internacional} \quad \text{Ec.6}$$

$$V_H \text{ pie}^3 / \text{lb}_m \text{ Aire seco} = \frac{359}{492} \text{ T}^\circ\text{R} \left(\frac{1}{29} + \frac{1}{18} H \right) = (0,0252 + 0,0405 H) \text{ T}^\circ\text{R}$$

Sistema Inglés

Para una mezcla saturada de aire-vapor de agua, $H = H_S$, y, V_H es el volumen saturado.

2.2.1.1.10 *Entalpía total de una mezcla aire-vapor de agua.*

La entalpía total de 1 Kilogramo de aire más su vapor de agua es (H_Y) J/Kg. O KJ/Kg de aire seco. Si T_O es la temperatura base seleccionada para ambos componentes, la entalpía total es el calor sensible a la mezcla aire-vapor de agua más el calor latente (λ_o) en J/Kg o KJ/Kg de vapor de agua, del vapor de agua a T_O , Tomar en cuenta que $(T-T_O) ^\circ C = (T-T_O) K$. (Geankoplis, 2006, p.581).

$$H_y \text{ KJ / Kg aire seco} = C_S (T - T_o) + H\lambda_o = (1,005 + 1,88H)(T - T_o ^\circ C) + H\lambda_o$$

S.I Ec.7

$$H_y \text{ btu / lb}_m \text{ aire seco} = (0,24 + 0,45H)(T - T_o ^\circ F) + H\lambda_o \quad \text{S. Inglés}$$

2.2.1.1.11 *Psicrometría.*

Seader, Henley, Roper (2011) afirma:

Si la humedad se evapora de un sólido húmedo, debe calentarse a una temperatura a la cual su presión de vapor exceda la presión parcial de la humedad en el gas en contacto con el sólido húmedo. En un secador de calor indirecto, donde se usa poco o ningún gas para transportar la humedad como vapor, la presión parcial de la humedad se acerca a la presión total, y la temperatura de evaporación se acerca al punto de ebullición de la humedad en la presión prevaleciente, siempre que la humedad sea líquido libre en la superficie del sólido. (p.741)

Si la interfaz de humedad retrocede hacia el sólido, se necesita una temperatura por encima del punto de ebullición en la interfaz sólido-gas para trasladar el calor para la evaporación a la interfaz líquido-gas. Si el nivel de humedad cae hasta un punto en el que está completamente absorbido, su presión de vapor es menor que la presión de vapor puro y se requiere una temperatura aún mayor para evaporarla. En un secador

de calor directo, ocurren situaciones similares, excepto que la temperatura a la que se evapora la humedad depende del contenido de gas y humedad. (Seader, 2011, p.741)

2.2.1.1.12 *Diagrama Psicrométrico.*

En el diagrama psicrométrico de la figura 8, tenemos una representación ilustrada de las propiedades de las mezclas aire-vapor de agua a una presión de 1 atm abs.

Se grafica la humedad (H) en función de la temperatura real de la mezcla aire-vapor de agua, conocida como temperatura de bulbo seco.

Geankoplis (2006) afirma:

Cualquier punto por debajo de la línea de saturación representa una mezcla no saturada de aire-vapor de agua. Las líneas curvas por debajo de la línea de saturación de 100% que corren hacia arriba y a la derecha representan a las mezclas no saturadas con un porcentaje no definido de humedad HP. Al ir hacia abajo verticalmente, desde la línea de saturación a cierta temperatura, la línea entre la de saturación 100% y la humedad H cero (la horizontal en la parte inferior) se divide de manera uniforme en 10 incrementos de 10% cada uno. Todas las líneas de humedad de saturación HS, se pueden calcular con base en los datos de presión de vapor de agua. (Geankoplis, 2006, pp.581, 582)

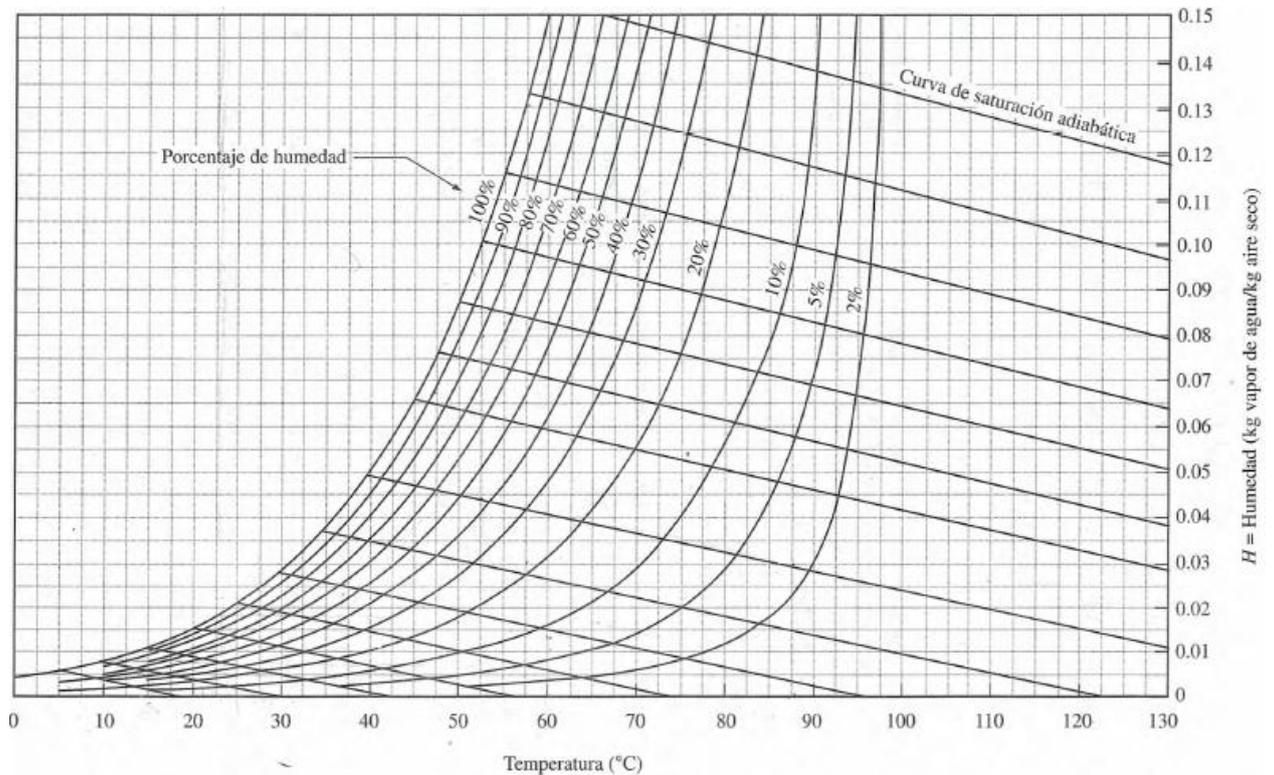


Figura 2. Diagrama psicrométrico.

Fuente: Procesos de transporte y principios de procesos de separación. Geankoplis, 2006, p.582.

2.2.1.2 Temperatura de saturación adiabática.

Seader, Henley, Roper (2011) afirma:

Para establecer el cambio en la temperatura del bulbo húmedo de un sólido húmedo, mientras se seca en la secadora, es necesario considerar los cambios en la temperatura y la humedad del gas cuando se enfría, debido a la transferencia de calor al sólido húmedo y la transferencia de humedad del sólido húmedo. Una relación simplificada entre la temperatura y la humedad del gas se puede derivar considerando la saturación adiabática de un gas con un exceso de líquido. (Seader, 2011, p.745)

Geankoplis (2006) afirma:

Al integrar una mezcla gaseosa de aire-vapor de agua en un saturador adiabático como muestra la figura 3 y se pone en contacto con un pulverizador de agua, el gas sale con una humedad y temperatura diferentes y el proceso es adiabático.

El agua de recirculación alcanza una temperatura estable que se llama temperatura de saturación adiabática (T_S). Si el gas de entrada de una temperatura (T) que tiene una humedad H no está saturada (T_S) T será inferior a T . Si el contacto entre el gas de entrada y el rocío de gotas es suficiente para que el gas y el líquido alcancen un equilibrio, el aire de salida está saturado a (T_S), con una humedad H_S .

Los valores de saturación de (T) y (H) adiabáticas se determinan persiguiendo la línea de saturación adiabática (ver diagrama psicrométrico de la figura 8) hasta que intersecte a la línea del 100% de saturación. Si el contacto no es suficiente, la mezcla de salida tendrá un % de saturación inferior al 100% pero en la misma línea. (Geankoplis, 2006, p.583,584)

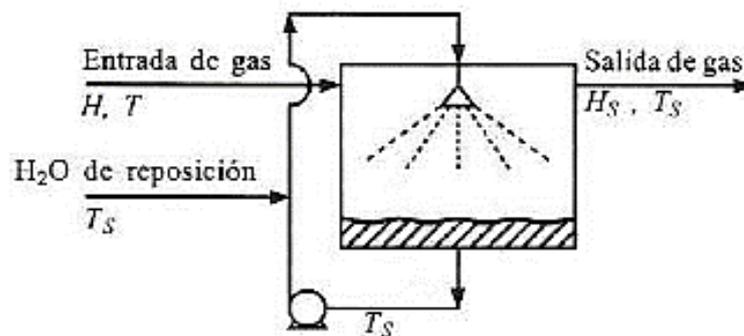


Figura 3. Saturador adiabático de aire-vapor de agua.

Fuente: Procesos de transporte y principios de procesos de separación.
Geankoplis, 2006, p.583.

2.2.1.3 Temperatura de bulbo húmedo.

Geankoplis (2006) afirma:

Es la temperatura de estado estable y no de equilibrio que se alcanza cuando se pone en contacto una pequeña cantidad de agua con una corriente continua de gas en condiciones adiabáticas. Puesto que la cantidad de líquido es pequeña la temperatura y la humedad del gas no cambian, contrariamente a lo que sucede en el caso de saturación adiabática donde la temperatura y la humedad del gas sí varían.

En la figura 4 se explica el método usado para medir la temperatura de bulbo húmedo, consiste en recubrir un termómetro con una mecha retorcida de tela. La mecha se mantiene húmeda con agua y se introduce en el flujo de corriente de aire-vapor de agua cuya temperatura es (T) (temperatura de bulbo seco) y con una humedad (H). En estado estable, el agua se evapora incorporándose a la corriente de gas; la mecha y el agua se enfrían a (T_w) y se mantienen a esta temperatura constante. El calor latente de vaporización queda exactamente balanceado por el calor convectivo que fluye de la corriente gaseosa a (T) a la mecha a una temperatura (T_w), que es inferior.

Las líneas de saturación adiabática también pueden usarse como líneas de bulbo húmedo, pero esto solo es posible en el caso del agua y no de otro líquido.

(Geankoplis, 2006, p.584)

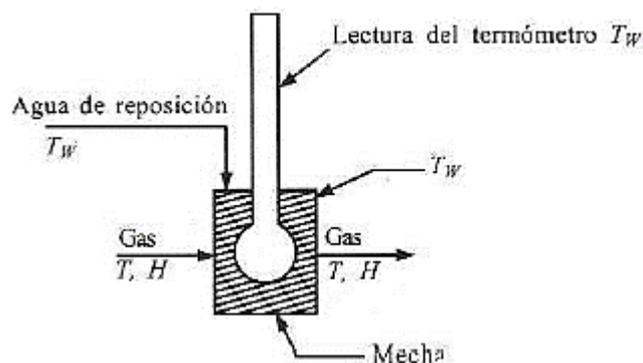


Figura 4. Medición de la temperatura de bulbo húmedo.

Fuente: Procesos de transporte y principios de procesos de separación, 2006, p. 584.

2.2.1.4 Temperatura de bulbo seco.

Es la temperatura calificada como ambiental, se puede medir con un termómetro de mercurio. Para poder hallar un punto en el diagrama psicrométrico, se debe hallar primero la temperatura de bulbo húmedo en el diagrama desde la línea de saturación, luego se desplaza hacia abajo hasta hallar la temperatura de bulbo seco. (Geankoplis, 2006)

2.2.1.5 Agua combinada y sin combinar en los sólidos.

Si el contenido de humedad de equilibrio en un material se prolonga hasta intersectar la línea de humedad del 100%, se consigue la humedad llamada agua combinada. Esta agua en el sólido desarrolla una presión inferior a la del agua líquida a la misma temperatura. Si dicho material contiene más agua que la que indica la intersección con la línea de humedad de 100%, solo podrá desarrollar una presión de vapor tan alta como la del agua común a la misma temperatura. (Geankoplis, 2006)

A este exceso de humedad se le denomina agua sin combinar, y dicha agua existe principalmente en los espacios vacíos en el sólido. A las sustancias que poseen agua combinada se les conoce como materiales higroscópicos. (Geankoplis, 2006)

2.2.1.6 Humedad libre y en equilibrio en una sustancia.

El contenido de humedad libre de una muestra es la humedad que está por encima del contenido de humedad de equilibrio. Esta humedad libre es la que puede eliminarse por secado con las condiciones dadas de porcentaje de humedad relativa. (Geankoplis, 2006)

2.2.1.7 Curvas de velocidad de secado.

2.2.1.7.1 Determinación experimental de la velocidad de secado.

El contenido de humedad de equilibrio de diversos materiales no se puede pronosticar, por lo que se hace obligatorio determinarlo por la vía experimental.

Para determinar la velocidad de secado de un material, se procede colocando una muestra en una bandeja. Si se trata de material sólido, debe llenar por completo la base de la bandeja de tal manera que solo quede expuesta a la corriente de aire de secado la superficie de dicho sólido. La pérdida en peso de humedad durante el secado puede determinarse a diferentes intervalos sin interrumpir la operación,

colgando la bandeja en una balanza adaptada a un gabinete o a un ducto a través del cual fluye el aire se secado. (Geankoplis, 2006)

Al ejecutar experimentos de secado por lotes, debemos observar determinadas precauciones para obtener datos útiles en condiciones que se asemejen lo más posible a las que imperarán en las operaciones a gran escala. La muestra no debe ser demasiado pequeña y debe introducirse en una bandeja similar a la que se usará en producción. La relación de superficie de secado a superficie de no secado (superficie aislada) así como la profundidad del lecho del sólido deben ser idénticas. La velocidad, la humedad, la temperatura y la dirección del aire deben ser los mismos y constantes para simular un secado en condiciones invariables. (Geankoplis, 2006)

2.2.1.7.2 *Curvas de velocidad de secado para condiciones de secado constante.*

Conversión de los datos a curva de velocidad de secado.

Geankoplis (2006) afirma:

Los datos que se obtienen de un experimento de secado por lotes generalmente se expresan como W del sólido húmedo (sólido seco sumado la humedad) a diferentes tiempos de t horas en el período de secado. Estos valores pueden convertirse a datos de velocidad de secado con los siguientes procedimientos:

Primero se recalculan los datos; si W es el peso del sólido húmedo en Kilogramos totales de agua más sólido seco, y WS es el peso del sólido seco en Kilogramos.

$$X_t = \frac{W - W_s}{W_s} \frac{\text{Kg totales agua}}{\text{Kg sólido seco}} \left(\frac{\text{lb totales agua}}{\text{lb sólido seco}} \right) \quad \text{Ec.8}$$

Habiendo establecido las condiciones de secado constante, se determina el contenido de humedad de equilibrio (X^*) kg de humedad de equilibrio/kg de sólido seco. Con este se procede a calcular el valor del contenido de humedad libre (X) en kg de agua libre/kg de sólido seco para cada valor de (X_t). (Geankoplis, 2006,p.589)

$$X = X_t - X^* \quad \text{Ec.9}$$

Reemplazamos los datos calculados en la fórmula 9 y realizamos la gráfica del contenido de humedad libre en función del tiempo en horas como se indica en la figura

5

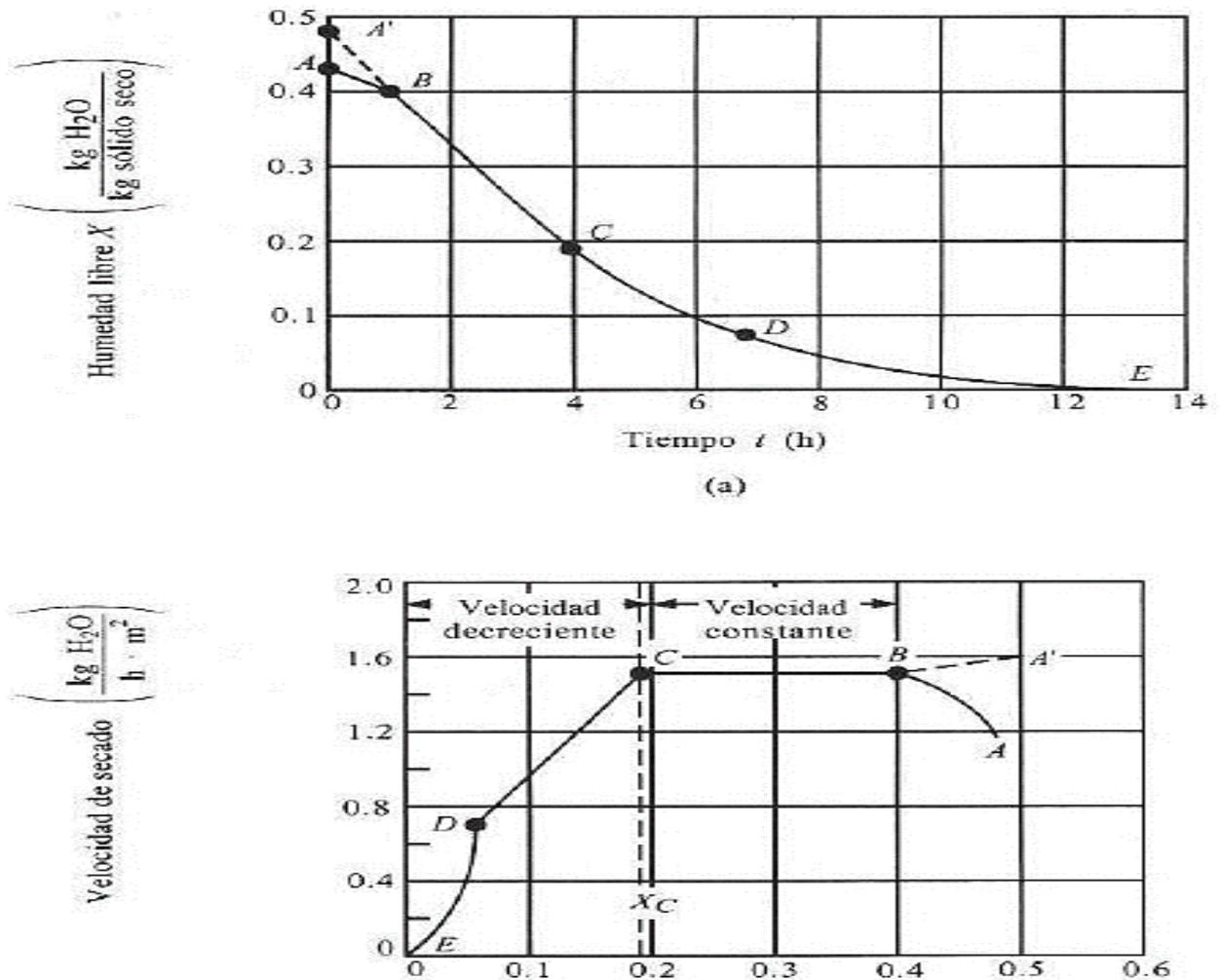


Figura 5. Curva típica de velocidad de secado para condiciones de secado constante: a) Gráfica de los datos como humedad libre en función del tiempo; b) curva de velocidad de secado en función del contenido de humedad libre.

Fuente: Procesos de transporte y principios de procesos de separación. Geankoplis, 2006, página 590.

Para obtener la curva de secado a partir de esta gráfica se miden las pendientes de las tangentes a la curva en la figura 5-a, lo cual proporciona valores de dX/dt para ciertos valores de t . Se calcula entonces la velocidad R para cada punto con la expresión: (Geankoplis, 2006, p.590)

$$R = - \frac{L_S}{A} \frac{dX}{dt} \quad \text{Ec.10}$$

Donde:

R = velocidad de secado.

L_S = Kg de sólido seco usado.

A = Área superficial expuesta al secado

En la Fig.5-b. Se muestra la curva de velocidad de secado para condiciones de secado constante. Empezando con un tiempo cero, el contenido inicial de humedad libre corresponde al punto A. Al principio el sólido suele estar a una temperatura inferior a la que tendrá al final, y la velocidad de evaporación irá en aumento. Al llegar al punto B, la temperatura de la superficie alcanza su valor de equilibrio. Por otra parte, si el sólido está bastante caliente al principiar la operación, la velocidad de secado puede iniciarse en el punto A'. Este periodo inicial de ajuste con estado inestable suele ser bastante corto y generalmente se ignora en el análisis de los tiempos de secado.

La curva de la figura 5-a, es recta entre los puntos B y C, por lo que la pendiente y la velocidad son constantes durante este periodo. Este periodo de velocidad constante de secado corresponde a la línea BC (ver figura 5-b).

En el punto C de ambas gráficas, la velocidad de secado comienza a disminuir durante el periodo de velocidad decreciente, hasta llegar el punto D. En este primer periodo de velocidad decreciente, la velocidad corresponde a la línea CD en la figura 11-b y por lo general es lineal.

En el punto D, la velocidad de secado disminuye con más rapidez aún, hasta que llega al punto E, donde el contenido de humedad de equilibrio es X^* , y $X = X^* - X^* = 0$. En el secado de algunos materiales, la región CD puede no existir bien constituir la totalidad del periodo de velocidad decreciente.

El secado de diferentes tipos de sólidos, bajo desiguales condiciones invariables de secado casi siempre produce curvas de forma variables en el periodo de velocidad decreciente, pero en general siempre están presentes las dos zonas principales de la curva de velocidad de secado; el periodo de velocidad constante y el periodo de velocidad decreciente. (Geankoplis, 2006)

Secado durante el período de velocidad constante

Durante este periodo, la superficie del sólido está muy húmeda al inicio y sobre ella existe una capa de agua. Esta capa se encuentra siempre sin estar combinada y actúa como si el sólido no estuviera presente. La velocidad de evaporación con las condiciones establecidas para el proceso, no depende del sólido y es en esencia igual a la velocidad que tendría un área líquida en estado puro. Sin embargo, las ondulaciones y hendiduras sobre la superficie del sólido ayudan a obtener una velocidad más alta que la que tendría una superficie completamente plana.

Si el sólido es poroso, la mayoría del agua que se evapora durante el periodo de velocidad constante proviene del interior del sólido. Este periodo continuo mientras el agua continúe llegando a la superficie con la misma rapidez con la que se evapora. La evaporación durante este periodo es similar a la que existe cuando se determina la temperatura de bulbo húmedo, y en ausencia de transferencia de calor por radiación o conducción, la temperatura de la superficie equivale en forma aproximada, a la temperatura de bulbo húmedo. (Geankoplis, 2006)

Secado durante el período de velocidad decreciente

El punto C de la figura 5-b corresponde al contenido crítico del contenido de humedad libre X_C en este punto no hay agua en la superficie para mantener una capa continua. La superficie ya no está totalmente húmeda, y la porción húmeda empieza a

bajar durante este periodo de velocidad decreciente, hasta que la superficie queda seca en su totalidad en el punto D.

El segundo periodo de velocidad decreciente parte en el punto D cuando la superficie está totalmente seca. El plano de evaporación comienza a desplazarse con lentitud por debajo de la superficie. El calor para la evaporación se trasfiere a través del sólido hasta la zona de vaporación. El agua vaporizada traspasa el sólido para llegar hasta el flujo de aire.

En algunos casos no hay discontinuidad definida en el punto D, y el cambio de condiciones de secado de una superficie con humedad parcial a una superficie completamente seca, es tan gradual que no detecta un punto de inflexión.

Es posible que la cantidad de humedad que se elimina durante el periodo de velocidad decreciente sea bastante pequeña, no obstante, el tiempo requerido puede ser bastante largo; en la figura 5 se ilustra este efecto. El periodo BC para un secado de velocidad constante dura unas 3h. Y hace que X disminuya de 0.40 a 0.19, esto es una reducción de 0.21 kg. H₂O / kg sólido seco. El periodo de velocidad decreciente CE continúa durante unas 9.0h y X disminuye solamente de 0.19 a 0. (Geankoplis, 2006)

2.2.1.7.3 Movimiento de humedad en los sólidos en secado durante el período de Velocidad decreciente.

Teoría de la difusión del líquido

Concordando con esta teoría, la difusión de la humedad líquida se comprueba cuando existe una diferencia de concentración entre el interior del sólido y la superficie. Este método de transporte de humedad es el que casi siempre se presenta con sólidos no

porosos, donde se forman soluciones de una sola fase con la humedad, así sucede en una pasta, un jabón, una gelatina y una sustancia gomosa, madera, harina, cuera, papel. En el secado de muchos materiales alimenticios, el movimiento del agua durante el periodo de velocidad decreciente se comprueba por difusión. (Geankoplis, 2006)

Movimiento capilar en los sólidos porosos

Cuando se están secando sólidos con características porosas y granulares tales como tierra, arcilla, arena, pigmentos para pintura y minerales, la humedad libre se mueve a través de capilares y espacios vacíos de los sólidos por acción capilar, mas no por difusión. Este mecanismo, en el cual intervienen la tensión superficial, es similar al desplazamiento del combustible en una mecha.

Un sólido poroso tiene poros y canales conectados entre sí de diferentes tamaños. A medida que se evapora el agua se forma un menisco de líquido en cada poro en el interior del sólido. Esto origina las fuerzas capilares por la tensión interfacial entre el agua y el sólido. Estas fuerzas constituyen el impulso para desplazar el agua a través de los poros hasta la superficie. Hay que considerar que los poros pequeños poseen fuerzas mayores que la producida por poros más grandes. (Geankoplis, 2006,p.593)

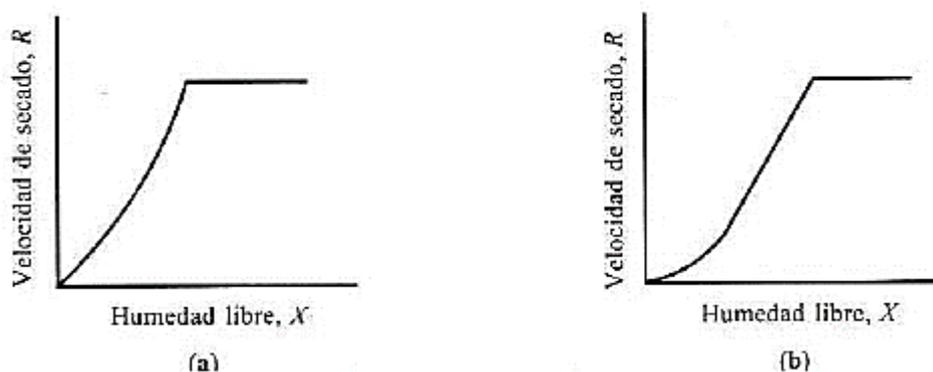


Figura 6. Curva típica de velocidad de secado: a) Período de velocidad decreciente controlado por difusión; b) Período de velocidad decreciente controlado por la capilaridad de un sólido fino y poroso.

Fuente: Procesos de transporte y principios de procesos de separación, Geankoplis, 2006, p.593.

Efecto de la contracción

Un factor que afecta con frecuencia a la velocidad de secado es la contracción del sólido al eliminarse la humedad. Los sólidos rígidos no se contraen de manera apreciable, pero los materiales coloidales y fibrosos, como vegetales y otros productos alimenticios, sí se contraen. El efecto más prominente es que puede desarrollarse una capa dura en la superficie del sólido (endurecimiento superficial), que resulta impermeable al flujo del líquido o del vapor y disminuye la velocidad de secado, otro efecto de la contracción es la causa de que el material se deforme y cambie su estructura, para disminuir este efecto es aconsejable secar con aire húmedo. (Geankoplis, 2006, p.593).

2.2.1.8 Métodos de cálculo para el período de secado de velocidad constante.

2.2.1.8.1 Método de curvas experimentales de secado

El factor más importante en los cálculos del secado es a lo mejor, la duración del tiempo requerido para secar un material a partir de un contenido inicial de humedad libre X_1 , hasta alcanzar un contenido de humedad X_2 . Para el secado en el periodo de velocidad constante, es posible estimar el tiempo necesario mediante curvas de secado obtenidas con lotes experimentales, o por predicciones de coeficientes de transferencia de masa y de calor. (Geankoplis, 2006)

2.2.1.8.2 Métodos de curva de secado.

Para estimar el tiempo de secado de determinado lote de material, el mejor método consiste en obtener datos experimentales reales bajo condiciones de alimentación, área superficial relativa expuesta, velocidad del gas, temperatura y humedad, que sean, en esencia, las mismas que tendrá el secador que se usará en la práctica. De esta manera, el tiempo requerido para el periodo de velocidad constante puede

determinarse directamente con la curva de secado de contenido de humedad libre en función del tiempo. (Geankoplis, 2006, p.594)

$$t = t_2 - t_1 \quad \text{Ec.11}$$

2.2.1.8.3 *Método de curva de velocidad de secado para el período de velocidad constante*

En lugar de la curva de secado, se puede usar la curva de velocidad de secado. La velocidad de secado (R) se encuentra en la ecuación 10 (ver ecuación 10).

Esta expresión se puede ordenar e integrar con respecto al intervalo para secar desde X_1 a $t_1 = 0$ hasta X_2 a $t_2 = t$

$$t = \int_{t_1=0}^{t_2=t} dt = \frac{L_S}{A} \int_{X_2}^{X_1} \frac{dX}{R} \quad \text{Ec.12}$$

Si el secado se verifica dentro del período de velocidad constante, de tal manera que tanto X_1 como X_2 sean mayores que el contenido de humedad crítica X_C , entonces: $R = \text{constante} = R_C$. Al integrar la ecuación anterior para el período de velocidad constante tenemos: (Geankoplis, 2006,p.594)

$$t = \frac{L_S}{AR_C} (X_1 - X_2) \quad \text{Ec.13}$$

2.2.1.8.4 *Método que emplea predicciones de coeficientes de transferencia para el período de velocidad constante*

Durante el periodo de velocidad constante, las irregularidades de la superficie pueden aumentar la velocidad de evaporación. La velocidad de evaporación de un material poroso se verifica por medio del mismo mecanismo que el que existe en un termómetro de bulbo húmedo. (Geankoplis, 2006)

Ecuaciones para predecir el secado de velocidad constante

El secado de un material se verifica por transferencia de masa del vapor de agua de la superficie saturada del material a través de la película de aire hasta la fase gaseosa

general del ambiente circundante. La velocidad del movimiento de humedad dentro del sólido es suficiente para mantener la superficie saturada. La velocidad de eliminación del vapor de agua (secado) está controlada por la velocidad de transferencia de calor hasta la superficie de evaporación, que suministra el calor latente de evaporación para el líquido. Cuando se opera en estado estable, la velocidad de transferencia de masa equivale a la velocidad de transferencia de calor. (Geankoplis, 2006,p.595)

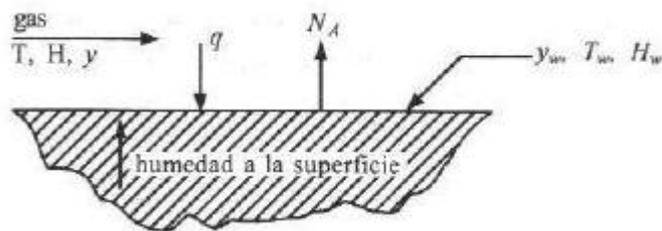


Figura 7. Transferencia de masa y calor durante el período de velocidad de secado constante.

Fuente: Procesos de transporte y principios de procesos de separación. Geankoplis, 2006, página 595.

La velocidad de transferencia convectiva de calor q en W (J/S o btu/h) desde el gas a T en $^{\circ}\text{C}$ o $^{\circ}\text{F}$ a la superficie del sólido a T_w $^{\circ}\text{C}$, donde $(T-T_w)$ $^{\circ}\text{C} = (T-T_w)$ K, es:

$$q = h(T - T_w)A \quad \text{Ec.14}$$

Donde h es el coeficiente de transferencia de calor $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ o $\text{btu}/\text{hr} \cdot \text{pie}^2 \cdot ^{\circ}\text{F}$; y A es el área de secado expuesta en m^2 o pie^2 . La ecuación del flujo específico del vapor de agua desde la superficie es igual a:

$$N_A = K_y \frac{M_B}{M_A} (H_w - H) \quad \text{Ec.15}$$

La cantidad de calor necesario para vaporizar N_A $\text{mol} \cdot \text{kg}/\text{s} \cdot \text{m}^2$ ($\text{mol} \cdot \text{lb}/\text{hr} \cdot \text{pie}^2$) de agua, despreciando los pequeños cambios de calor sensible.

$$q = M_A N_A \lambda_w A \quad \text{Ec.16}$$

Donde λ_w es el calor latente a T_w en J/kg (btu/lb_m). Entonces la velocidad de secado R_C es:

$$R_C = \frac{q}{A\lambda_W} = \frac{h(T-T_W)}{\lambda_W} = K_Y M_B (H_W - H) \quad \text{Ec.17}$$

(1) (2)

Tanto (1) como (2) sirven para velocidad de secado

Es posible calcular la R_C mediante la ecuación de transferencia de calor (1) o la ecuación de transferencia de masa (2), es más confiable la de transferencia de calor.

$$R_C \cdot KgH_2O / hr \cdot m^2 = \frac{h}{\lambda_w} (T - T_W \text{ } ^\circ C)(3600) \quad (SI) \quad \text{Ec.18}$$

$$R_C \cdot lb_m H_2O / hr \cdot pie^2 = \frac{h}{\lambda_w} (T - T_W \text{ } ^\circ F) \quad (Inglesa)$$

Para predecir el valor de R_C debe conocerse el coeficiente de transferencia de calor. Para el caso de que el aire fluya paralelo a la superficie de secado a una temperatura de aire entre 45 y 150 °C y una velocidad-masa (G) entre 2450 – 29300 Kg/hr.m² (entre 500 – 600 lb_m / hr.pie²) o una velocidad entre 0,61 – 7,6 m/s (2,25 pie/s); h es igual a:

$$h = 0,0204G^{0,8} \quad (SI) \quad \text{Ec.19}$$

$$h = 0,0128G^{0,8} \quad (Inglesa)$$

Donde en unidades SI, G es v_p kg/hr.m² y h está en W/m² . K. En unidades inglesas, G está en lb_m/hr.pie² y h en btu/hr.pie² °F.

Cuando el aire fluye perpendicular a la superficie para un valor de G entre 3900 – 19500 Kg/hr.m² o a una velocidad entre 0,9 – 4,6 m/s (entre 3 – 15 pie/s).

$$h = 1,17G^{0,37} \quad (SI) \quad \text{Ec.20}$$

$$h = 0,37G^{0,37} \quad (Inglesa)$$

Para estimar el tiempo de secado durante el período de velocidad constante tenemos la siguiente ecuación

$$t = \frac{L_S \lambda_W (X_1 - X_2)}{A h (T - T_W)} = \frac{L_S \lambda_W (X_1 - X_2)}{A k_Y M_B (H_W - H)} \quad \text{Ec.21}$$

Donde:

(t) = Tiempo.

$L_S = \text{Kg}$ de sólido seco usado.

$(\lambda_w) = \text{Calor latente a } T_w \text{ en J / Kg de H}_2\text{O}$

$A = \text{Área de secado expuesta en m}^2 \text{ (pie}^2\text{)}$

$(h) = \text{Coeficiente de transferencia de calor W/m}^2\cdot\text{K (btu/hr.pie}^2 \text{ °F)}$

$T_w = \text{Temperatura de bulbo húmedo J / Kg}$

$(K_Y) = \text{Coeficiente de transferencia de masa (mol.kg/s.m}^2\cdot\text{fracmol)}$

$M_B = \text{Peso molecular del aire}$

$H_w = \text{Humedad saturada (Geankoplis, 2006,pp.596,597)}$

2.2.1.8.5 Efecto de las variables del proceso sobre el período de velocidad constante.

Efecto de la velocidad del aire.

Cuando no hay transferencia de calor por conducción y radiación, la velocidad R_C de secado en la región de velocidad constante es proporcional a h y, por tanto, a $G^{0.8}$. El efecto de la velocidad del gas es menos importante cuando sí hay conducción y radiación. (Geankoplis, 2006)

Efecto de la humedad del gas

“Si la humedad del gas H disminuye para determinado valor T en el gas, la temperatura de bulbo húmedo T_w , tal como se obtiene de la carta de humedad también disminuirá, donde:” (Geankoplis, 2006,p. 598).

$$R_{C2} = R_{C1} \frac{T - T_{W2}}{T - T_{W1}} = R_{C1} \frac{H_{W2} - H_2}{H_{W1} - H_1} \quad \text{Ec.22}$$

Efecto de la temperatura del gas

“Si se eleva la temperatura del gas T , T_w también aumenta algo, pero no tanto como el aumento de T . por consiguiente R_C aumenta:” (Geankoplis, 2006,p.598).

$$R_{C2} = R_{C1} \frac{T_2 - T_{W2}}{T_1 - T_{W1}} = R_{C1} \frac{H_{W2} - H_2}{H_{W1} - H_1} \quad \text{Ec.23}$$

Efecto del espesor del lecho sólido que se está secando

Cuando solo hay transferencia de calor por convección, la velocidad R_C es independiente del espesor x_1 del sólido. Sin embargo, el tiempo t necesario para secar entre los contenidos de humedad fijos X_1 y X_2 será directamente proporcional a este espesor (ver fórmula 13). (Geankoplis, 2006)

Efecto experimental de las variables de proceso

“Los resultados experimentales tienden a confirmar las conclusiones señaladas para los efectos de espesor de material, humedad, velocidad del aire y $T - T_w$.” (Geankoplis, 2006)

2.2.1.9 Métodos para calcular el período de secado de velocidad decreciente

2.2.1.9.1 Método de integración numérica

En el período de secado de velocidad decreciente la velocidad de secado R no es constante, sino que disminuye cuando el secado pasa por la zona de contenido crítico de humedad libre X_C . Cuando el contenido de humedad libre X es cero, la velocidad también lo es.

El tiempo de secado para cualquier región entre X_1 y X_2 se obtiene mediante la ecuación 12. (Geankoplis, 2006)

2.2.1.9.2 Métodos de cálculo para casos especiales en la región de velocidad decreciente.

La velocidad en una función lineal de X

Si tanto X_1 como X_2 son inferiores a X_C y la velocidad R es lineal con respecto a X en esta región.

$$R = aX + b \quad \text{Ec.24}$$

Donde a es la pendiente de la línea y b es una constante, al diferenciar la ecuación se obtiene $dR = a dX$ y sustituyendo la ecuación 12 tenemos:

$$t = \frac{L_S}{aA} \int_{R_2}^{R_1} \frac{dR}{R} = \frac{L_S}{aA} \ln \frac{R_1}{R_2} \quad \text{Ec.25}$$

Sustitución de la ecuación 12

Puesto que $R_1 = aX_1 + b$ y $R_2 = aX_2 + b$

$$a = \frac{R_1 - R_2}{X_1 - X_2} \quad \text{Ec.26}$$

Sustituyendo tenemos: (Geankoplis, 2006,p. 600)

$$t = \frac{L_S (X_1 - X_2)}{A (R_1 - R_2)} \ln \frac{R_1}{R_2} \quad \text{Ec.27}$$

La velocidad en una función lineal que pasa a través del origen

Para ciertos casos, una recta proyectada desde el contenido crítico de humedad pasando a través del origen, incorpora la manera adecuada a la totalidad del periodo de velocidad decreciente. La suposición anterior se establece con bastante frecuencia cuando se carece de datos más detallados. Entonces para una recta a través del origen, donde la velocidad de secado es directamente proporcional al contenido de humedad libre:

$$R = aX \quad \text{Ec.28}$$

Diferenciando $dX = dR/a$ y sustituyendo en la fórmula 12 tenemos:

$$t = \frac{L_S}{aA} \int_{R_1}^{R_2} \frac{dR}{R} = \frac{L_S}{aA} \ln \frac{R_1}{R_2} \quad \text{Ec.29}$$

La pendiente a de la línea es R_C / X_C y para $X_1 = X_C$ cuando $R_1 = R_C$

$$t = \frac{L_S X_C}{A R_C} \ln \frac{R_C}{R_2} \quad \text{Ec.30}$$

Observando también que $R_C/R_2 = X_C/X_2$

$$t = \frac{L_S X_C}{A R_C} \ln \frac{X_C}{X_2} \quad \text{Ec.31}$$

O a su vez (Geankoplis, 2006,p. 601)

$$R = R_C \frac{X}{X_C} \quad \text{Ec.32}$$

2.2.1.10 Transferencia de calor por combinación de convección, radiación y conducción durante el período de velocidad constante

En una etapa de secado el calor solo se transmite al sólido por el método de convección, desde el aire que está rodeándolo hasta la superficie de secado.

Con frecuencia, el secado se lleva a cabo en un gabinete cerrado, en donde las paredes irradian calor al sólido que está secado. Además, en algunos casos, el sólido puede estar depositado en una bandeja metálica, y también existe una transferencia de calor por conducción a través del metal hacia el fondo del lecho sólido.

(Geankoplis, 2006)

2.2.1.10.1 Deducción de la ecuación para convección, conducción y radiación

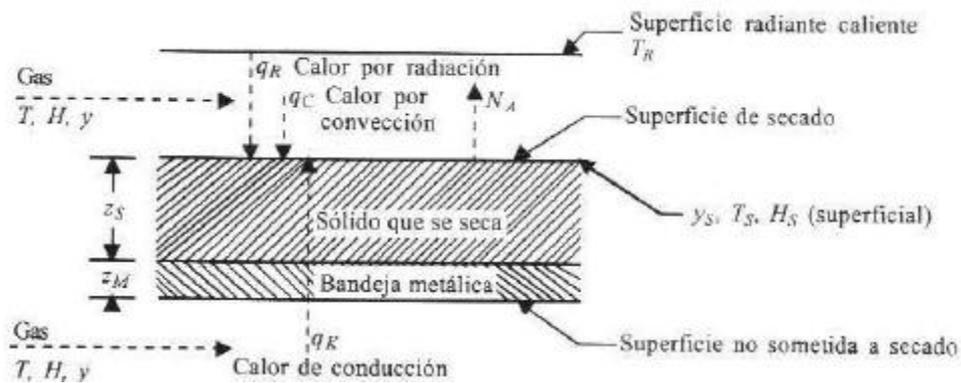


Figura 8. Transferencia de calor y de masa en el secado de un sólido en la superficie superior.

Fuente: Procesos de transporte y principios de procesos de separación. Geankoplis, 2006, página 602.

En la figura 8 se muestra un material sólido, que está secando por medio de una corriente de aire. La velocidad total de transferencia de calor hasta la superficie de secado es:

$$q = q_C + q_R + q_K \quad \text{Ec.33}$$

Dónde:

(q_c) es la transferencia convectiva de calor desde el gas a T en °C hasta la superficie sólida a T_s en °C en W (J/s).

(q_R) es la transferencia radiante de calor desde la superficie a T_R hasta T_s en W (J/s).

(q_K) es la velocidad de transferencia de calor por conducción desde el fondo en W.

La velocidad de transferencia de calor convectiva es expresada así, donde $(T-T_s)$ °C = $(T-T_s)$ K

$$q_c = h_c (T - T_s)A \quad \text{Ec.34}$$

Transferencia convectiva de calor desde el gas a T , hasta la superficie sólida

Donde:

A = es el área de la superficie expuesta en m^2

La transferencia de calor por radiación es:

$$q_R = h_R (T_R - T_s)A \quad \text{Ec.35}$$

(h_R) = Es el coeficiente de transferencia de calor por radiación, definido por

$$h_r = \varepsilon(5,676) \frac{\left(\frac{T_R}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_s}{100}\right)^4}{T_R - T_s} \quad \text{Ec.36}$$

Nótese que T_R y T_s están en K. En la transferencia de calor por conducción desde el fondo, dicha transferencia de calor se verifica primero, por convección desde el gas al metal, después por conducción a través del metal y finalmente, por conducción a través del sólido. La radiación del fondo de la bandeja suele ser bastante pequeña, sobre todo cuando dicha bandeja está encima de otra, por lo que despreciaremos este efecto en nuestras consideraciones. Geankoplis (2006)

Además, si las temperaturas del gas no son muy altas, la radiación desde la superficie superior a la bandeja será pequeña. Por consiguiente, no es necesario tomar muy en cuenta el calor por radiación. Y el calor por conducción es:

$$q_K = U_K (T - T_s)A \quad \text{Ec.37}$$

$$U_K = \frac{1}{\frac{1}{h_C} + \frac{Z_M}{K_M} + \frac{Z_S}{K_S}}$$

Donde:

Z_M = Es el espesor del metal en metros

K_M = Es la conductividad térmica del metal en W/M

Z_S = Es el espesor del sólido en metros

K_S = es la conductividad térmica del sólido (Geankoplis, 2006,p. 602)

2.2.1.11 Secado por difusión y flujo capilar durante el período de velocidad

decreciente

“Hay muchos casos en los que la velocidad de desplazamiento de la humedad durante el periodo de velocidad decreciente, está dictado por la velocidad del movimiento interno del líquido por difusión líquida o por movimiento capilar” (Geankoplis, 2006)

2.2.1.11.1 Difusión líquida y humedad en el secado

Esta variedad de difusión por lo general es característica de los secados que son lentos, de materiales que no son granulares como la gelatina, jabones, y sustancias gomosas, así como en las últimas fases del secado de agua combinada en textiles, cuero, papel, alimentos arcillas, madera, almidones y demás sólidos hidrófilos.

Una de las principales dificultades para analizar los datos de secado por difusión consiste en que la distribución inicial de la humedad no es uniforme en todo el sólido al principio, cuando este periodo de velocidad decreciente va antecedido por otro de secado a velocidad constante.

Durante el secado de tipo difusión, la resistencia a la transferencia de masa del vapor de agua desde la superficie suele ser bastante pequeña, y la difusión en el sólido controla la velocidad de secado. (Geankoplis, 2006)

Entonces el tiempo de secado es:

$$t = \frac{4x_1^2}{\pi^2 D_L} \frac{8X_1}{\pi^2 X} \quad \text{Ec.38}$$

Dónde:

D_L = Es el coeficiente de difusión líquida en m^2 / hr

X = Contenido de humedad libre en hr

X_1 = Contenido de humedad libre al $t = 0$

(X_1) = Espesor total del lecho cuando el secado solo se verifica desde la cara superior.

La velocidad de secado es directamente proporcional a la humedad libre X y a la difusividad líquida, y que la velocidad de secado es inversamente proporcional al cuadrado del espesor.

En otras palabras, quiere decir que cuando el factor limitativo entre humedades fijas es el tiempo de secado, dicho tiempo varía directamente con el cuadrado del espesor. La velocidad de secado no debe depender de la velocidad del gas y de humedad, entonces la velocidad R es:

$$R = - \frac{L_S}{A} \frac{dX}{dt} = \frac{\pi^2 L_S D_L}{4x_1^2 A} X \quad \text{Ec.39}$$

2.2.1.11.2 Movimiento capilar de la humedad durante el secado.

Geankoplis (2006) afirma:

El agua puede fluir desde regiones de concentraciones elevadas hasta las bajas concentraciones como resultado de una acción capilar en lugar de difusión, cuando los tamaños de los poros de los materiales granulares son adecuados para ello.

La teoría capilar supone que un lecho empacado de esferas no porosas contiene espacios vacíos entre dichas esferas que se llaman poros.

A medida que se evapora el agua, las fuerzas capilares se ponen en acción debido a la tensión interfacial entre el agua y el sólido. Estas fuerzas proporcionan el impulso para desplazar el agua a través de los poros hasta la superficie de secado.

La ecuación de definición para la velocidad de secado es:

(Ver ecuación 10)

Cuando la velocidad R varía linealmente con X tenemos

(Ver ecuación 31)

El t es igual a:

$$t = \frac{X_1 \rho_S \lambda_W X_C}{h(T - T_W)} \ln \frac{X_C}{X} \quad \text{Ec.40}$$

Cuando el flujo capilar es el factor que controla durante el periodo de velocidad decreciente, la velocidad de secado es inversamente proporcional al espesor. El tiempo de secado entre límites fijos de humedad varía directamente con el espesor y depende de la velocidad, la temperatura y la humedad del gas. (Geankoplis, 2006, p.608)

2.2.2 Automatización de procesos y equipos.

2.2.2.1 Introducción.

La automatización de procesos y equipos en la actualidad es catalogado como un campo que vincula tanto conocimiento como experiencia, de distintas áreas de la

ingeniería globalizada, ya sean: electrónica, mecánica, industrial, química, comunicaciones, etc.

Esta disciplina tiene como finalidad mejorar procesos, ya sea que estos brinden productos o servicios, con el afán que no existan errores dentro de los mismos.

2.2.2.2 Razones principales para aplicar automatización de procesos y equipos.

En la industria, la automatización de procesos y equipos tiene como principal razón el control de los mismos, de los cuales podemos derivar algunos como:

- Operar el proceso de una manera segura y confiable, evitando así desviaciones que sean causadas por perturbaciones.
- Optimizar el proceso para buscar cumplir los parámetros de calidad en cada producto o servicio.
- Evitar estancamientos en el proceso (cuellos de botella).
- Optimizar el consumo de energía y recursos.

2.2.2.3 Niveles de automatización

En la industria se dan los siguientes niveles de automatización:

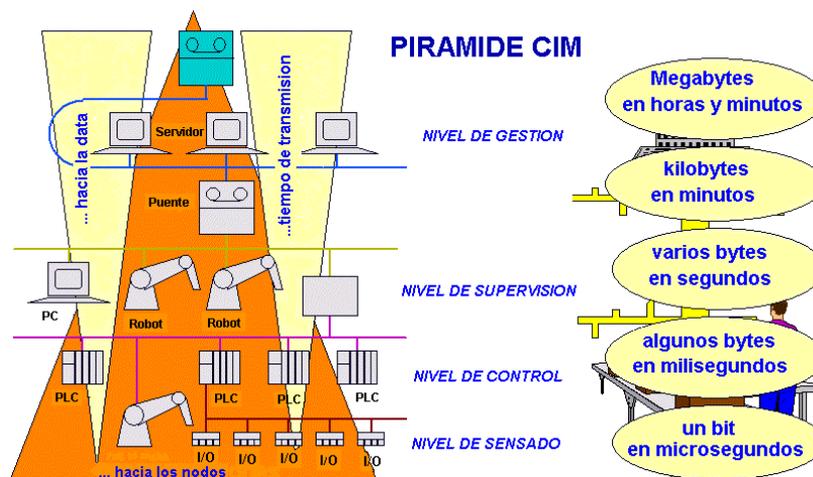


Figura 9. Niveles de automatización.

Fuente: (Gonzales, 2010, p.18)

2.2.2.3.1 Nivel de Sensado

En este nivel hablamos de la instrumentación, conociendo los elementos a utilizar para recolectar la información, considerando a los sensores como elementos de medición, y a los actuadores como los elementos de mando. Estos elementos están directamente vinculados con los procesos productivos.

2.2.2.3.2 Nivel de control

En este nivel asociamos a los actuadores y sensores para generar una gestión o almacenamiento de datos.

El elemento a utilizar en la presente investigación será una consola PLC (Control Lógico Programable), los cuales son elementos que están sujetos a una programación acorde a las necesidades de casos específicos.

2.2.2.3.3 Nivel de supervisión.

En este nivel se inspeccionan a todos los mecanismos de control asociados existentes en una planta. Nos encontraremos con computadores asignados para estas tareas, o a su vez pantallas de monitoreo en tiempo real.

2.2.2.3.4 Nivel de gestión.

Nos encontramos con computadoras que nos brindan datos para recopilar y relacionar la información que involucra a la producción y a toda gestión vinculada, ya sea cantidades de producción, de materias primas, de tiempos de procesos, etc.

2.2.2.4 Antecedentes de automatización de secadores de bandejas en el Ecuador

Chata, Andrés (2018) en la Universidad de Guayaquil desarrolla un tema de investigación denominado “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PARA LA DETERMINACIÓN DE PÉRDIDA DE HUMEDAD EN EL SECADOR DE BANDEJAS DE OPERACIONES UNITARIAS” en la cual tiene como objetivo

principal instalar un sistema de pérdida de humedad en el secador de tunes didáctico repotenciado de operaciones unitarias de la facultad de ingeniería química, para deshidratación de alimentos sólidos.

En su investigación presenta un sistema de control de humedad, y al ser un equipo repotenciado consta de ciertos elementos como un PLC, potenciómetros de humedad y temperatura.

Maza, Elvira (2017) en la universidad de Guayaquil desarrolla un tema de investigación denominado “REPOTENCIACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DEL SECADOR DE TUNEL DIDÁCTICO DEL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS” y en este caso tiene como objetivo principal realizar una repotenciación y automatización del secador. Fue un equipo diseñado para secado de sólidos con medición manual de temperatura, presión, pérdida de humedad. Se implementan medidores de temperatura y humedad digitales asociados a un PLC que permitirá tener un proceso más estable y especialmente bajo control.

2.2.2.5 Elementos para automatizar secadores

2.2.2.5.1 PLC

Conocido como control lógico programable, es un elemento que ha venido ganando aceptación para el control de procesos industriales, al ser un dispositivo que procesa datos como temperatura, tiempo, vibraciones, ruido.

2.2.2.5.2 HMI

Conocido como Interfaz Hombre Máquina (Human Machine Interface); este dispositivo o conjunto de dispositivos va a permitir una comunicación óptima entre el operario y la máquina.

Generalmente estos sistemas implicaban el uso de indicadores o comandos, entre los cuales existen las luces piloto, indicador de señal digital, indicador de señal analógica,

pulsadores, selectores, entre otros. La electrónica aplicada ha permitido el desarrollo de estos sistemas HMI que son mucho más amigables con el operario, favoreciendo así a un control efectivo del proceso.

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Secado. – “El secado es la eliminación de la humedad (ya sea agua u otros compuestos volátiles) de sólidos, soluciones, lodos y pastas para obtener productos sólidos” (Seader et al.,2011).

Humedad. – “La humedad (H) cuando existe una mezcla vapor de agua-aire se precisa como la cantidad de kilogramos de vapor de agua por cada kilogramo de aire seco” (Geankoplis,2006).

Calor. – “Es un tipo de energía que se produce por la vibración de moléculas, y esto provoca la subida de las temperaturas, dilatación de cuerpos, la fundición de sólidos y la evaporación de líquido” (significados.com, s.f.).

Calor específico. – “Es la cantidad de calor necesaria a brindad a una unidad de masa de una sustancia para aumentar la temperatura en una unidad” (significados.com, s.f.).

Calor latente. – “Cantidad de calor transferido a una unidad de masa de una sustancia para cambiar su estado” (significados.com, s.f.).

Temperatura. – “Magnitud física que indica la intensidad de calor o frío de un cuerpo, de un objeto o del medio ambiente, el cual es medido por un termómetro” (significados.com, s.f.).

PLC. – “Control Lógico Programable; dispositivo encargado de procesar y almacenar señales tanto digitales como analógicas” (significados.com, s.f.).

HMI. - Interfaz Hombre Máquina; conjunto de dispositivos que van a permitir una comunicación óptima entre el operario y la máquina o conjunto de máquinas.

3 MARCO METODOLÓGICO

3.1 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Experimental: Vamos a obtener datos de manera directa, haciendo mediciones y comparaciones en el secador del laboratorio de operaciones unitarias en un ambiente cerrado, y con productos escogidos al azar que tienen una temperatura específica de secado.

Cada producto posee una temperatura específica para poder realizar el proceso de secado en óptimas condiciones, por lo que se obtuvieron datos tanto antes, como después, de la automatización del secador

3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Descriptiva: El problema es poco conocido, y va dirigida al área de controles industriales y operaciones unitarias de manera combinada.

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

El siguiente estudio no posee población y muestra, dado que es una investigación desarrollada en el laboratorio de operaciones unitarias, en el secador de bandejas. Sin embargo se tomó como base de investigación un promedio de 7 lecturas de temperatura por cada producto, tanto antes como después de automatizar el secador.

3.4 TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

Las técnicas que se utilizarán serán:

- Observaciones de las posibles variables que afecten al funcionamiento del secador.
- Tabulación de datos.
- Análisis de datos a través de los sistemas informáticos Microsoft Excel y SPSS.

3.5 PROCEDIMIENTO

Es necesario primero determinar los parámetros técnicos con los que fue diseñado el secador, es decir, de cada uno de sus elementos. El secador está constituido de un ventilador, el cual lo abastece de una corriente de aire; dos niquelinas de fabricación artesanal en el túnel de secado, las cuales van a elevar la temperatura del aire. Y así entonces, se han obtenido datos de caudal y un diagrama eléctrico.

El secador no posee ningún tipo de control tanto de temperatura como de tiempo, por lo que en estas condiciones se determina un promedio de temperatura de 89°C para cualquier producto que sea parte de un ensayo determinado, y se considera un proceso fuera de control.

Luego de determinar los parámetros técnicos del secador, se escogieron los elementos asociados al sistema de control compatibles e ideales para el secador, y se los coloca y calibra para posteriormente realizar ensayos y comprobar si existe o no el control tanto de temperatura como de tiempo.

3.5.1 Determinación de los parámetros técnicos del secador

3.5.1.1 Diagrama eléctrico – control de temperatura

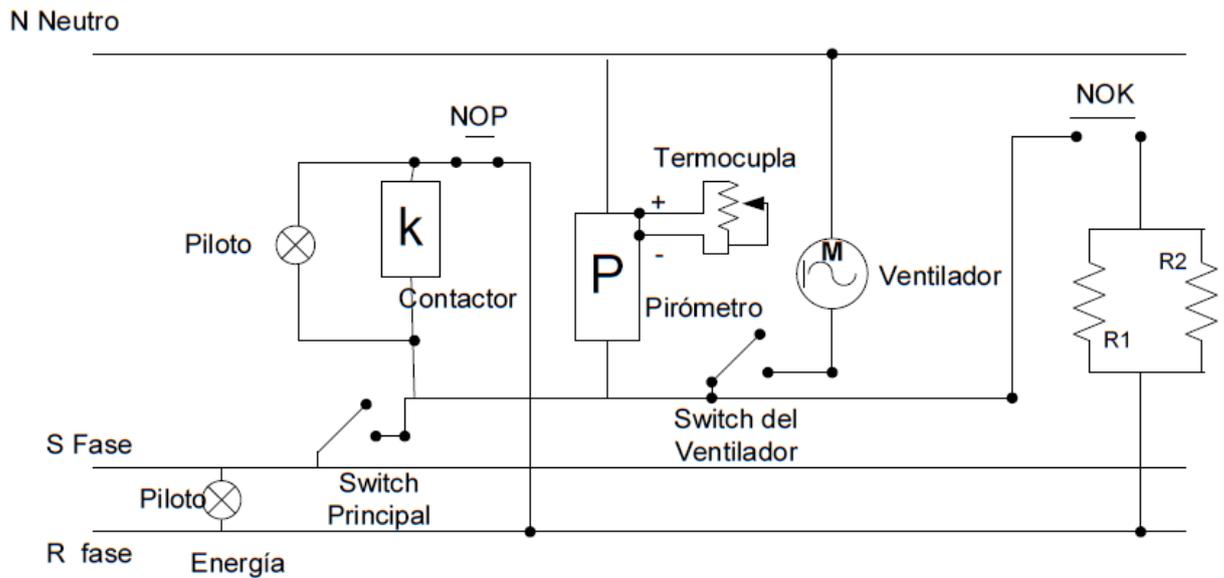


Figura 10. Diagrama eléctrico y control de temperatura del secador de bandejas de la facultad de ingeniería.

Fuente: Álvarez, Cazar. Diseño y construcción de un secador de bandejas. Universidad Nacional de Chimborazo, 2006 (p.162)

3.5.1.2 Ventilador

Tabla 1
Parámetros técnicos del ventilador.

MARCA	S&P
RPM	1550rpm
Vo	870 m ³ /h = 0,242 m ³ / s
VOLTAJE	127 v
FRECUENCIA	60 Hz
POTENCIA	1/40 HP
MODELO	5HXM – 250
MATRÍCULA	050626613

Fuente: Elaboración propia.

3.5.1.3 Niquelinas

Tabla 2
Parámetros técnicos de las niquelinas.

TIPO DE FABRICACIÓN	Artesanal
VOLTAJE RECIBIDO	220 v
CORRIENTE SUMINISTRADA	20 A (10 A para cada una)
POTENCIA	2200 W

Fuente: Elaboración propia.

3.5.1.4 Caudal

“El caudal de aire con el cual fue diseñado el secador es de 2,11 m³/min (0,035 m³/seg).” (Álvarez, 2006).

Cabe recalcar que al tomar la velocidad del viento con el anemómetro, y medir el área de salida del túnel de secado, se obtiene un caudal diferente al expuesto en el proyecto de investigación asociado al diseño y construcción del secador de bandejas, y se obtienen los siguientes datos:

Tabla 3
Obtención del caudal en el secador de bandejas

Velocidad del Viento	1,92 m / s
Área	(0,545x0,44) m ²
Caudal	0,460 m ³ /s (27,6 m ³ /min)

Fuente: Elaboración propia.

3.5.2 Selección del equipo de control PLC adecuado para controlar el proceso de secado

3.5.2.1 Planteamiento

Existen dos alternativas posibles para automatizar de manera correcta el secador de bandejas, para ello vamos a analizar cuatro modelos de PLC existentes en el mercado.

Se ha escogido la marca Siemens debido a su alto grado de confiabilidad, durabilidad, y la calidad de sus elementos tanto de trabajo como de medición.

Tabla 4
Análisis comparativo entre LOGO 6 y LOGO 8.

		LOGO 6		LOGO 8	
Modelo		12/24RC	230RC	12/24RCE	230 RCE
Alimentación		12/24VD C	110/220VA C	12/24VDC	110/220VA C
Ancho		72mm	72mm	72mm	72mm
Interfaz de comunicación/ programación		Serial (LOGO)	Serial (LOGO)	Ethernet RJ45	Ethernet RJ45
Memoria externa		LOGO! Memory Card	LOGO! Memory Card	Micro SD card (estándar)	Micro SD card (estándar)
Super capacitor interno		80 horas de backup de programa	80 horas de backup de programa	480 horas de backup de programa	480 horas de backup de programa
FUNCIONALIDAD					
Bloques de programa (máximo)		200	200	400	400
COMUNICACIONES					
Redes de comunicación		NO	NO	Si, hasta 9 dispositivos Ethernet	Si, hasta 9 dispositivos Ethernet
Modo Maestro/Esclavo		NO	NO	Si, hasta 8 LOGO! Ethernet en modo esclavo	Si, hasta 8 LOGO! Ethernet en modo esclavo
Conectividad HMI a		LOGO! TD	LOGO! TD	LOGO! TDE / SIMATIC HMI (con puerto Ethernet)	LOGO! TDE / SIMATIC HMI (con puerto Ethernet)
ENTRADAS/SALIDAS INTEGRADAS					

Entradas digitales (DI)	8	8	8	8
Entradas analógicas (de las DI integradas)	4 (entradas 0-10VCD) I1, I2, I7, I8	NO	4 (entradas 0-10VCD) I1, I2, I7, I8	NO
Salidas digitales (DO) a relé	4	4	4	4
Software programación de	LOGO! Soft comfort V6 o superior	LOGO! Soft comfort V6 o superior	LOGO! Soft comfort V8,1 o superior	LOGO! Soft comfort V8,1 o superior

Fuente: Siemens Ecuador

3.5.2.2 Decisión

Se ha escogido el modelo 12/24 RCE, por las siguientes razones:

- Mayor número de horas de Backup de programa.
- Compatibilidad con memorias SD estándar.
- Cantidad de entradas analógicas necesarias para el control del proceso de secado.
- Software más versátil.
- Accesibilidad a redes de comunicación.
- Accesibilidad al modo maestro – esclavo hasta con 8 dispositivos en modo esclavo.

3.5.3 Procedimiento de colocación y puesta a punto del PLC seleccionado

3.5.3.1 Revisión de conexiones

En esta etapa se procede a revisar la cantidad de voltaje que se recibe de las líneas para una selección correcta tanto de los contactores para las niquelinas, como para el relé asociado al ventilador.



Figura 11. Diagnóstico de conexiones para ventilador y niquelinas.

Fuente: Elaboración propia.

3.5.3.2 *Requerimientos*

Para poder controlar la temperatura y el tiempo de secado es necesario asociar elementos auxiliares que permitan una lectura correcta de ambos.

Para la temperatura se coloca un sensor PT-100, escogido por su precisión en lo que a rangos de temperatura se refiere, no mayores a 180°C.

Para el control de tiempo tenemos asociado un relé y un contador, que nos permite observar la cantidad de tiempo que está el producto en el proceso de secado, pero que también nos permite configurar el tiempo de secado en caso de que el usuario lo conozca; mejorando así su precisión.

3.5.3.3 *Materiales*

Entre los materiales asociados tenemos:

Tabla 5
Descripción de materiales y funcionamiento

ELEMENTO		FUNCIÓN	
Gabinete	metálico	BEAUC	Protección y organización de todos los elementos.
400x400x200(mm)			

Breaker Riel EBAS 2p 20 A	Protección para los contactores y el relé asociado a las niquelinas y al ventilador
Breaker Riel EBAS 2p 4 A	Protección para la consola PLC, el módulo de expansión, y la LOGO TD
Interruptor 32 A on-off	Encendido y apagado del sistema completo
Contactador 4,5KW 220V(AC) 1NO + 1NC	Activación o desactivación de las niquelinas acorde a la temperatura seteada.
Riel 35mm Acero perforado	Ordenamiento de cables de conexión
Pulsador tipo simple verde 22mm	Puesta en marcha de las niquelinas y del ventilador
Pulsador tipo hongo rojo 40mm de giro	Botón de paro
Cable Ethernet 0,5m	Comunicación entre la consola PLC y la configuración requerida por el usuario
Termo cupla tipo pt-100	Sensor que va a permitir la medición de temperatura en tiempo real

Fuente: Elaboración propia

3.5.3.4 Colocación del panel de mando (caja de control)

En la parte externa colocamos la LOGO TD y los pulsadores tanto de marcha como de paro



Figura 12. Parte externa de la caja de mando

Fuente: Elaboración propia

Al retirar la parte interna (colchoneta) colocamos los elementos de control asociados tanto al ventilador (relé) como a las niquelinas (contactores)



Figura 13. Colocación de los elementos de control

Fuente: Elaboración propia

Realizamos las conexiones respectivas de la manera indicada en el diagrama eléctrico, colocando así el interruptor de 32 A, al final, debido a que este permite el arranque o apagado general del sistema.



Figura 14. Conexiones de acuerdo al diagrama eléctrico

Fuente: Elaboración propia

3.5.3.5 Configuración de la temperatura y el tiempo deseado por el usuario

Para poder configurar tanto la temperatura como el tiempo, vamos a utilizar la HMI (interfaz hombre máquina) asociada al sistema de control. (Anexo X, manual de operación)

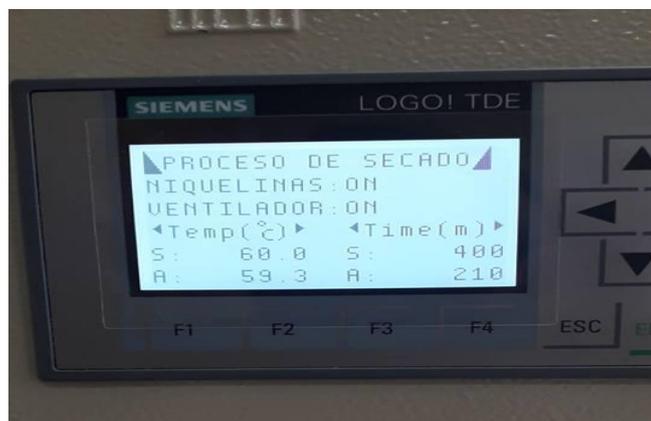


Figura 15. Configuraciones de temperatura y tiempo deseadas por el usuario.

Fuente: Elaboración propia

3.5.4 Comprobación de la mejora en la precisión de los datos

3.5.4.1 Obtención de datos de secado para los 3 productos

Se han seleccionado 3 productos que son comunes dentro de las prácticas de secado, en la cátedra de operaciones unitarias. A continuación, se plantea el procedimiento para la obtención de datos.

3.5.4.1.1 Materiales

- 1 Bandeja. Su área es de $(0,32 \times 0,285) \text{ m}^2$
- Cuchillo o estilete
- Cronómetro
- 100 gramos de papa, 100 gramos de manzana verde y 100 gramos de zanahoria.

3.5.4.1.2 Máquinas y equipos

- Anemómetro.
- Balanza digital.
- Medidor de estrés térmico con las siguientes características:

Tabla 6
Medidor de estrés térmico.

MARCA	QUESTemp de 3M
MODELO	34
MATRICULA	13053043147
CERTIFICACION	921
FECHA DE ULTIMA CALIBRACIÓN	29-08-2012
SIGUIENTE CALIBRACIÓN	29-08-2013

Fuente: Laboratorio de servicios ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo,

- Secador de bandejas

3.5.4.1.3 Procedimiento

- Colocar el medidor de estrés térmico QUESTemp a la salida del secador 30 minutos antes de iniciar con la práctica.
- Colocar la bandeja en la balanza para pesarla.
- Encerar la balanza con la bandeja puesta
- Colocar 100 gramos de papa, 100 gramos de manzana verde y 100 gramos de zanahoria. Se realizará un producto a la vez.
- Encender el secador y colocar la bandeja.
- Volver a encerar la balanza.
- Cada 30 minutos (0,5 horas) realizar mediciones de peso, tomando la lectura y restándola del peso de la balanza.
- Cada 30 minutos (0,5 horas) verificar las mediciones de temperatura tanto de bulbo seco como de bulbo húmedo a la salida del secador.
- Cuando en un intervalo exista una variación entre 1 a 3 gramos se considera que el peso se ha vuelto constante, por lo que ahí se determinará el tiempo real de secado.

En el último intervalo medir la velocidad del aire a la salida del secador.

3.6 ANÁLISIS DE DATOS

Antes de automatizar el secador hay que considerar que no existe ningún tipo de control, tanto de temperatura como de tiempo de uso del secador en función de cada producto a secar.

La temperatura a la salida del secador según el medidor de estrés térmico oscila entre los 85 y 90 grados centígrados, por lo que no se pueden obtener datos confiables en los ensayos debido a que los productos sufren cambios físicos y químicos dañinos.

Un grupo de investigación en el año 2005, avalado por la UNESCO, desarrolló un manual para secado de frutas, legumbres, hortalizas, carnes y plantas medicinales; el cual indica las condiciones de temperatura bajo las cuales se recomienda secar los diferentes productos. (Almada, Cáceres, Machaín-Singer, & Pulfer, 2005)

Tabla 7

Porcentajes de humedad inicial y temperaturas máximas permisibles para la manzana, papa y zanahoria.

PRODUCTO	TEMPERATURA
	MÁXIMA PERMISIBLE (°C)
Manzana	50
Papa	55
Zanahoria	60

Fuente: Guía de uso de secaderos solares para frutas, legumbres, hortalizas, plantas medicinales y carnes. Almada et al. Paraguay 2005 (pag.27)

3.7 PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS

La automatización del secador de bandejas influye en el control del proceso de secado en el laboratorio de operaciones unitarias de la escuela de ingeniería industrial.

3.7.1 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Tabla 8

Operacionalización de las variables

VARIABLES	DEFINICIÓN	DIMENSIÓN	INDICADOR	TECNICA E INSTRUMENTO
				Técnicas
				Uso de software LOGO V.8.1 Siemens. (por actualizar)
				Instrumento
Variable Independiente Automatización	Aplicación de máquinas o de procedimientos automáticos en la realización de un proceso o en una industria.	Procedimiento s automáticos en la realización de un proceso.	Interpretación de señales digitales y analógicas según la necesidad en el proceso	Secador de bandejas del laboratorio. LOGO! 12/24RCE, mód. Lógico, disp. Módulo ampl. LOGO! AM2 RTD, alimentación: DC 12/24V, 2 AI -50...+200 °C Pt100/1000 para LOGO! 8. LOGO! TD Display texto, 6 LOGO!POWER 24 V / 2,5 A Fuente de alimentación estabilizada entrada: AC 100-240 V salida: DC 24 V / 2,5 A

VARIABLES	DEFINICIÓN	DIMENSIÓN	INDICADOR	TECNICA E INSTRUMENTO
<p>Variable Dependiente</p> <p>Control del proceso de secado</p>	<p>El control de procesos implica un conjunto de conocimientos, métodos, herramientas, tecnologías, aparatos y experiencia que se necesitan para medir y regular automáticamente las variables que afectan a cada proceso de producción, hasta lograr su optimización en cuanto a mejoras del control,</p>	<p>Conjunto de conocimientos, métodos, herramientas, tecnologías, aparatos y experiencia necesarios para el proceso de secado</p>	<p>Temperatura de secado.</p> <p>Humedad.</p> <p>Tiempo de secado.</p>	<p>Técnica</p> <p>Observaciones de las posibles variables que afecten al funcionamiento del secador.</p> <p>Tabulación de datos.</p> <p>Análisis de datos a través de un sistema informático SPSS Y Microsoft Excel.</p> <p>Instrumento</p> <p>Medidor de estrés térmico marca QUESTemp de 3M Modelo 34 con matrícula N° 13053043147</p> <p>Termómetro infrarrojo</p> <p>Balanza digital</p> <p>Anemómetro</p>

VARIABLES	DEFINICIÓN	DIMENSIÓN	INDICADOR	TECNICA E INSTRUMENTO
	productividad, Calidad, seguridad, u otros criterios.			

Fuente: Elaboración propia

4 RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN ANTES DE LA APLICACIÓN

Considerando cada toma en un intervalo de 0,5 horas y que en un intervalo exista una variación entre 1 a 3 gramos como peso constante, obtenemos:

4.1 Datos del secado de la papa

Tabla 9

Medición de temperatura de bulbo seco, bulbo húmedo, cámara de secado, peso de bandeja; para determinar el tiempo de secado de la papa.

PRO D	P (g)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Papa	100	88	76	58	42	34	27	23	21
T. bulbo húmedo	19, 8	26, 6	31, 1	75, 2	76, 2	76, 8	77, 3	80 ,9	66, 9
T. bulbo seco	19, 7	60, 3	78, 5	82, 9	83, 3	84	83	85 ,9	84, 3
T. cámara de secado	19, 8	64	75, 1	79, 2	83, 2	87, 8	83, 5	92 ,2	83, 8
Peso bandeja	37	37	37	37	37	37	37	37	37

Fuente: Elaboración propia

El tiempo de secado para la papa es de 4 horas, pero se debe considerar que la temperatura llega hasta los 85,9 °C.

4.2 Datos del secado de la manzana verde

Tabla 10

Medición de temperatura de bulbo seco, bulbo húmedo, cámara de secado, peso de bandeja; para determinar el tiempo de secado de la manzana verde

Fuente: Elaboración propia

El tiempo de secado para la manzana verde es de 3,5 horas, pero se debe considerar que la temperatura llega hasta 86,4 °C.

4.3 Datos del secado de la zanahoria

Tabla 11

Medición de temperatura de bulbo seco, bulbo húmedo, cámara de secado, peso de bandeja; para determinar el tiempo de secado de la manzana verde

PROD	(g)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Zanahoria	100	80	61	38	27	16	12	11
T. bulbo húmedo	16,6	25,1	67,6	76,9	78,4	80	82,3	80,9
T. bulbo seco	18,2	56,2	75,6	82,4	83,9	86,1	87,2	85,9
T. cámara de secado	17,4	48,6	71,1	84	83,9	83,8	87,4	87,8
Peso bandeja	37	37	37	37	37	37	37	37

Fuente: Elaboración propia

El tiempo de secado para la zanahoria es de 3,5 horas, pero se debe considerar que la temperatura llega hasta 87,2 °C.

4.4 ANÁLISIS, INTERPRETACIÓN Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

El proceso de secado está absolutamente fuera de control. No se pueden obtener las curvas de secado correctas en los ensayos mientras no se respete la temperatura constante y adecuada para cada producto. La temperatura es totalmente creciente y no existe una nivelación en función a un tiempo de secado real.

Al secar los productos a temperaturas fuera del límite permisible que brinda la norma, estaríamos degradando al producto, y como consecuencia este pierde sus propiedades físicas, químicas y nutricionales que los caracterizan.

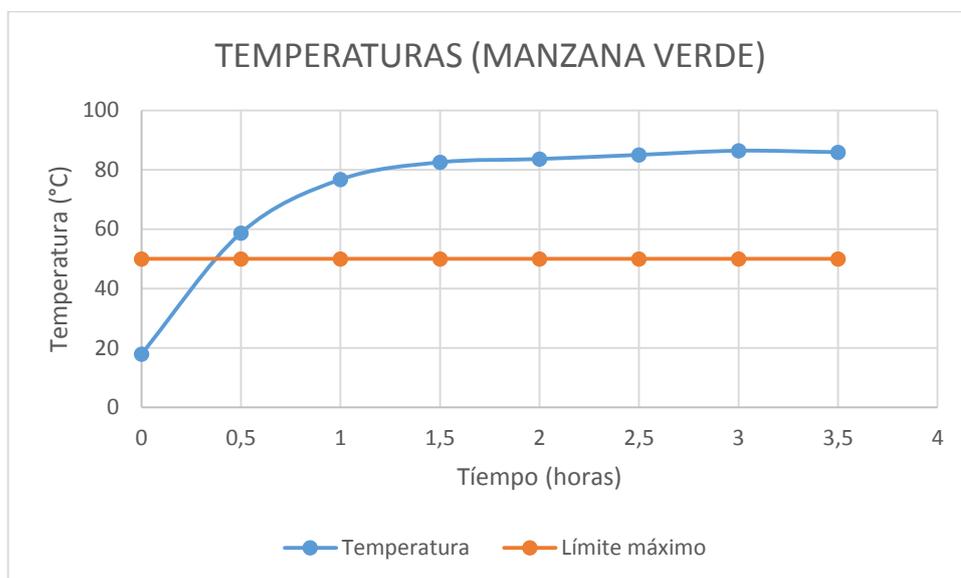


Figura 16. Análisis de temperaturas en la manzana verde.

Fuente: Elaboración propia

Las temperaturas están fuera del límite máximo permisible que recomienda la UNESCO, en este caso para manzana de 50°C; por lo que se considera un proceso fuera de control.

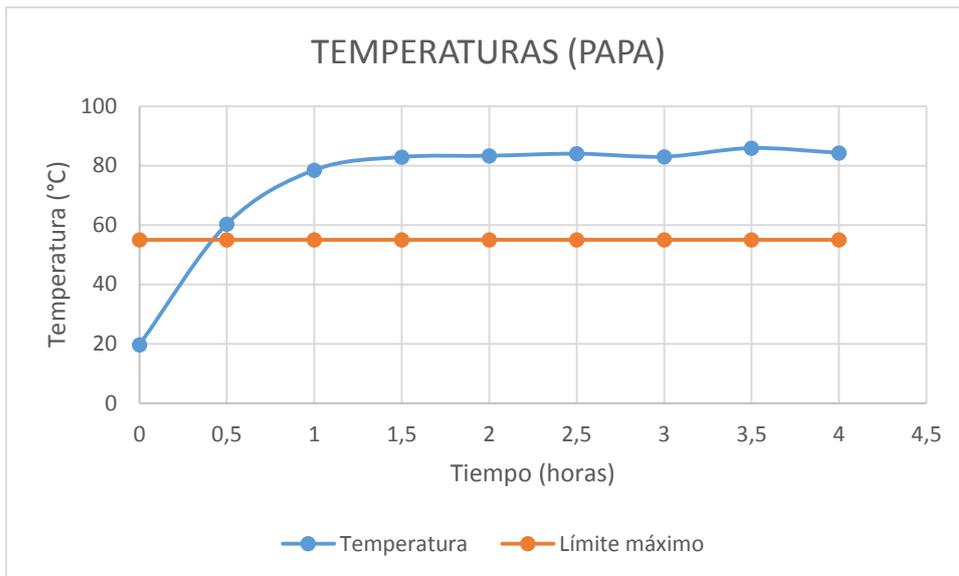


Figura 17 Análisis de temperaturas en la papa.

Fuente: Elaboración propia

Las temperaturas están fuera del límite máximo permisible que recomienda la UNESCO, en este caso para la papa de 55°C; por lo que se considera un proceso fuera de control.

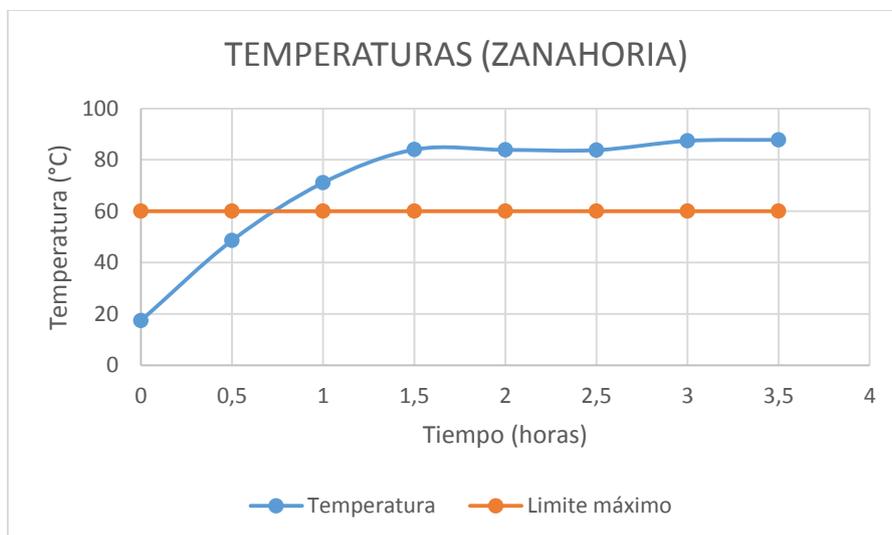


Figura 18 Análisis de temperaturas en la zanahoria.

Fuente: Elaboración propia

Las temperaturas están fuera del límite máximo permisible que recomienda la UNESCO, en este caso para zanahoria de 60°C; por lo que se considera un proceso fuera de control.

4.5 LINEA BASE

Existen varios parámetros que están fuera de control:

- La temperatura sufre un incremento significativo por cada ensayo realizado, lo cual perjudica a un óptimo proceso de secado llegando a temperaturas de hasta 87,2°C, lo cual causa la degradación de los sólidos a secar.
- El tiempo de trabajo del secador es controlado manualmente.

5 ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN (DISEÑO Y APLICACIÓN)

5.1 DESCRIPCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN

Tabla 12

Descripción de alternativa de solución

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
LOGO! 12/24 RCE, mód. Lógico, disp.	Compatible con señales digitales y analógicas (4 salidas con relé y 4 salidas analógicas adaptables)
Módulo ampl. LOGO! AM2 RTD, alimentación: DC 12/24V, 2 al - 50...+200°C pt100/1000 para LOGO!8	Apto para 2 entradas analógicas, compatibles con termo resistencias para sensores pt100 y pt1000
LOGO! TD Display texto 6	Elemento para configuración de datos requeridos por el usuario
LOGO! POWER 24V / 2,5 A Fuente de alimentación estabilizada entrada: AC 100-240V salida: DC 24 V / 2,5 A	Fuente de alimentación para la consola
Termo cupla tipo pt-100	Sensor que va a permitir la medición de temperatura en tiempo real

Fuente: Elaboración propia

5.2 DISEÑO

Se ha realizado un nuevo diagrama eléctrico, considerando los elementos del sistema de control asociados al secador de bandejas.

5.2.1 Diagrama eléctrico final

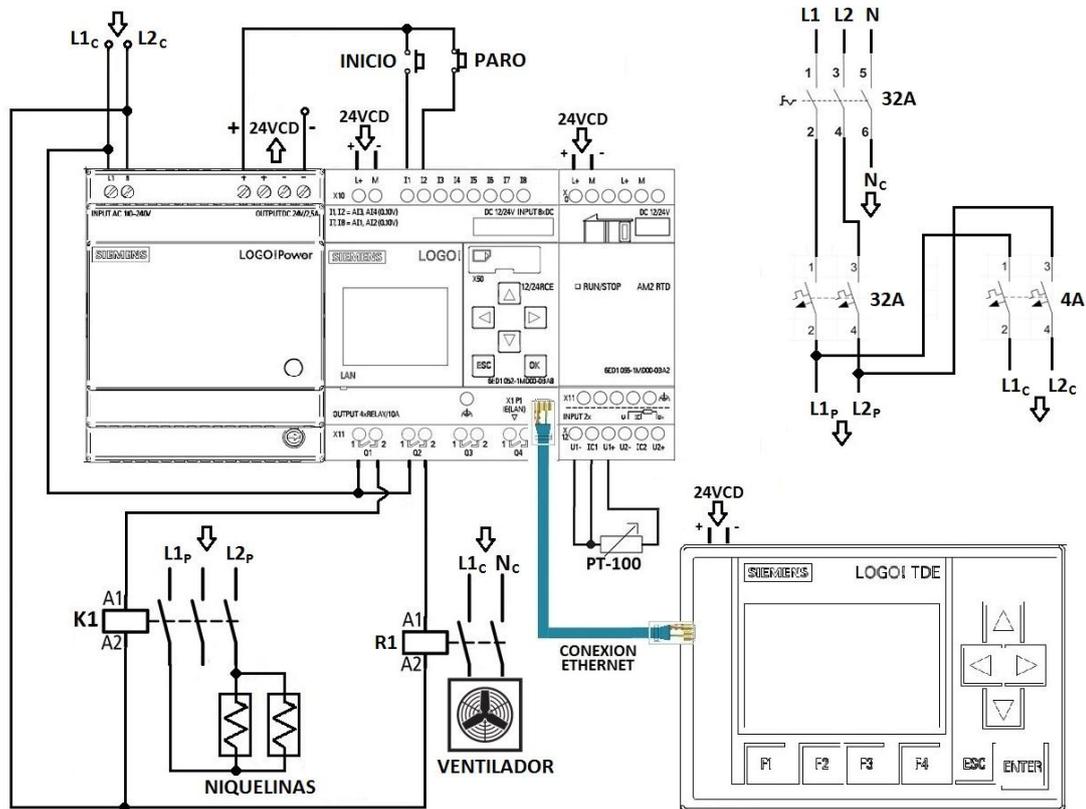


Figura 19. Diagrama eléctrico final del secador.

Fuente: Elaboración propia

5.3 PRESUPUESTO

Considerando los elementos necesarios para el control del proceso de secado obtenemos el siguiente presupuesto:

Tabla 13

Presupuesto del sistema

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	1	LOGO! 12/24 RCE, mód. Lógico, disp.	149,80

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	VALOR
2	1	Módulo ampl. LOGO! AM2 RTD, alimentación: DC 12/24V, 2 al -50...+200°C pt100/1000 para LOGO!8	106,40
3	1	LOGO! TD Display texto 6	161,00
4	1	LOGO! POWER 24V / 2,5 A Fuente de alimentación estabilizada entrada: AC 100-240V salida: DC 24 V / 2,5 A	84,00
5	1	Termocupla tipo Pt-100	53,20
6	1	FLETE	5,00
		Subtotal	559,40
		IVA 12%	67,13
		TOTAL	626,53

Fuente: Empresa INDUMATIC Quito - Ecuador

5.4 APLICACIÓN

Luego de la debida instalación se procedió a realizar un instructivo de uso y operación, y tras la implementación de este sistema ahora es posible controlar el proceso de secado acorde a la temperatura y tiempo recomendados para cada producto, o que le usuario del mismo lo considere en cada ensayo.

5.4.1 Toma de datos después de la implementación del sistema de control

En este caso se realizan ensayos tanto con una bandeja sin perforar, como con una bandeja perforada, y así comprobar si el tiempo de secado varía entre las dos bandejas.

Los materiales a utilizar son:

Materiales

- 1 bandeja una perforada con orificios de 0,635 cm de diámetro, distribuidos en el área de la misma. Su área es de $(0,32 \times 0,285) m^2$
- 1 bandeja sin perforar. Su área es de $(0,32 \times 0,285) m^2$
- Cuchillo o estilete
- 100 gramos de papa, 100 gramos de manzana verde y 100 gramos de zanahoria.

Máquinas y equipos

- Anemómetro.
- Balanza digital.
- Sistema de control con PLC.
- Medidor de estrés térmico con las siguientes características:

Tabla 14

Medidor de estrés térmico con fecha de calibración actualizada.

MARCA	QUESTemp de 3M
MODELO	34
MATRICULA	13053043147
CERTIFICACION	921
FECHA DE ULTIMA CALIBRACIÓN	7 de enero, 2019
SIGUIENTE CALIBRACIÓN	S/E

Fuente: Laboratorio de servicios ambientales. Universidad Nacional de Chimborazo,

- Secador de bandejas

Procedimiento

- Colocar el medidor de estrés térmico QUESTemp a la salida del secador 30 minutos antes de iniciar con la práctica.
- Conectar el secador.
- Colocar en ON el interruptor de paso para encender el sistema
- Configurar la temperatura deseada. En caso de conocer el tiempo de secado se puede configurarlo.
- Colocar 100 gramos de papa, 100 gramos de manzana verde y 100 gramos de zanahoria. Se realizará un producto a la vez, se colocarán los 100 gramos tanto para la bandeja perforada como para la bandeja sin perforar.
- Colocar la muestra en la bandeja
- Encender el secador y colocar la bandeja.
- Cada 30 minutos (0,5 horas) realizar mediciones de peso respectivo, esto se lo realizará sin considerar a la bandeja, se pesará solamente la muestra.
- Cada 30 minutos (0,5 horas) verificar las mediciones de temperatura tanto de bulbo seco como de bulbo húmedo a la salida del secador, y comprobarlas con la lectura en la LOGO TD

Cuando en un intervalo exista una variación entre 1 a 3 gramos se considera que el peso se ha vuelto constante, por lo que ahí se determinará el tiempo real de secado.

En el último intervalo medir la velocidad del aire a la salida del secador.

5.5 ANÁLISIS, INTERPRETACIÓN Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Luego de la implementación del sistema de control notamos que la temperatura escogida por el usuario según el producto que vaya a secar, ahora es estable y controlada, brindando así datos verídicos aptos para poder realizar las curvas de secado que implican humedad vs tiempo, y, velocidad de secado vs humedad.

5.5.1 Resultados de la papa

Tabla 15
Resultados del proceso de secado de la papa

PAPA	P(g)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
PESO SIN BANDEJA PERFORADA	0,1	0,086	0,072	0,062	0,053	0,046	0,040	0,035	0,032	0,029	0,026
PESO CON BANDEJA PERFORADA	0,1	0,083	0,069	0,058	0,048	0,040	0,035	0,03	0,028	0,026	0,026
T. bulbo húmedo	15,8	48,5	48	48,9	49,3	48,2	49,1	49,1	48	48,9	49,3
T. bulbo seco	18,2	51,3	52,2	52	52,3	51,3	51,5	52,1	52,2	52	52,3
T bulbo seco PLC	18,1	54,4	53,3	53,3	53,3	53,8	53,5	54,4	53,3	53,3	53,3
T. cámara de secado	18,2	48,9	49,8	49,2	49	49,9	49,6	49,9	49,7	49	49,9

Fuente: Elaboración propia

Se estabiliza la temperatura de bulbo seco

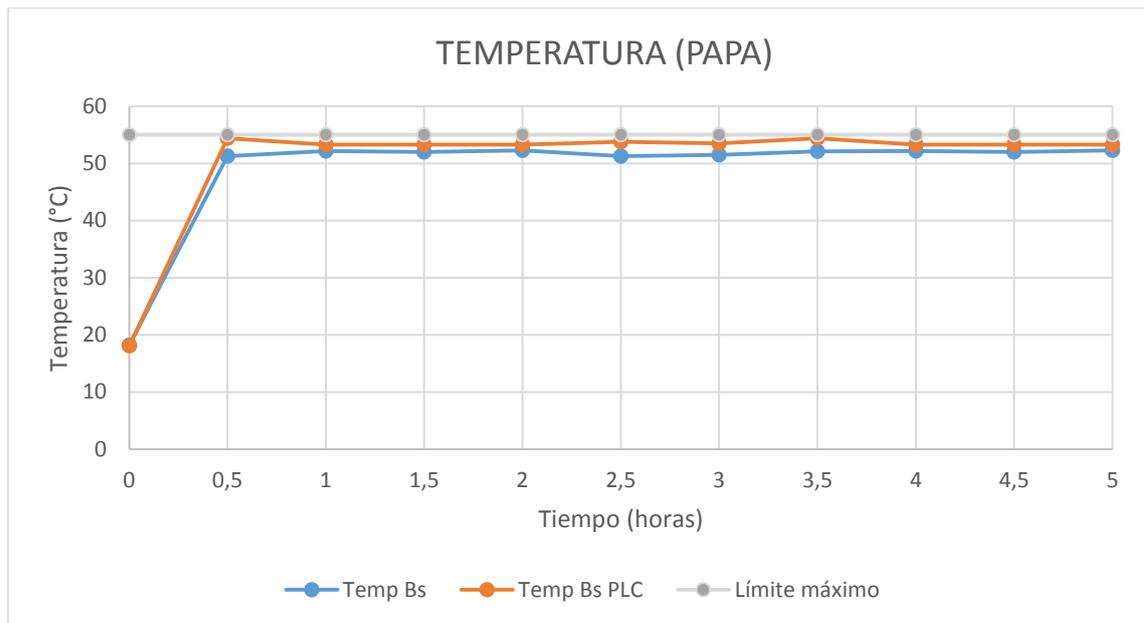


Figura 20. Temperatura de secado de la papa con PLC.

Fuente: Elaboración propia

La temperatura máxima de secado recomendada por la UNESCO para la papa es de 55°C, tanto las lecturas del medidor de estrés térmico como del termo sensor asociado al PLC son muy cercanas, con un margen de error de $\pm 0,5$ grados.

Es posible obtener las curvas de secado en condiciones de temperatura constante, de este producto (Anexo 2)

5.5.2 Resultados de la Zanahoria

Tabla 16
Resultados del proceso de secado de la zanahoria.

ZANAHORI A	P(g)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
PESO SIN BANDEJA PERFORADA	0,1	0,088	0,071	0,059	0,048	0,039	0,031	0,025	0,02	0,017	0,015
PESO CON BANDEJA PERFORADA	0,1	0,081	0,061	0,047	0,037	0,028	0,021	0,018	0,015	0,014	
T. bulbo húmedo	15,8	52,7	55,3	55	55,4	55,3	55,6	55	55,4	55,3	55,6
T. bulbo seco	18,2	56,2	56,8	57,5	57,1	57,2	57,3	57,5	57,1	57,2	57,3
T bulbo seco PLC	18,1	57,8	57,8	58,5	58,8	57,5	60	58,5	58,8	57,5	60
T. cámara de secado	18,2	60	58	57,1	57,1	58,6	59,5	57,1	57,1	58,6	59,5

Fuente: Elaboración propia

Se estabiliza la temperatura de bulbo seco.

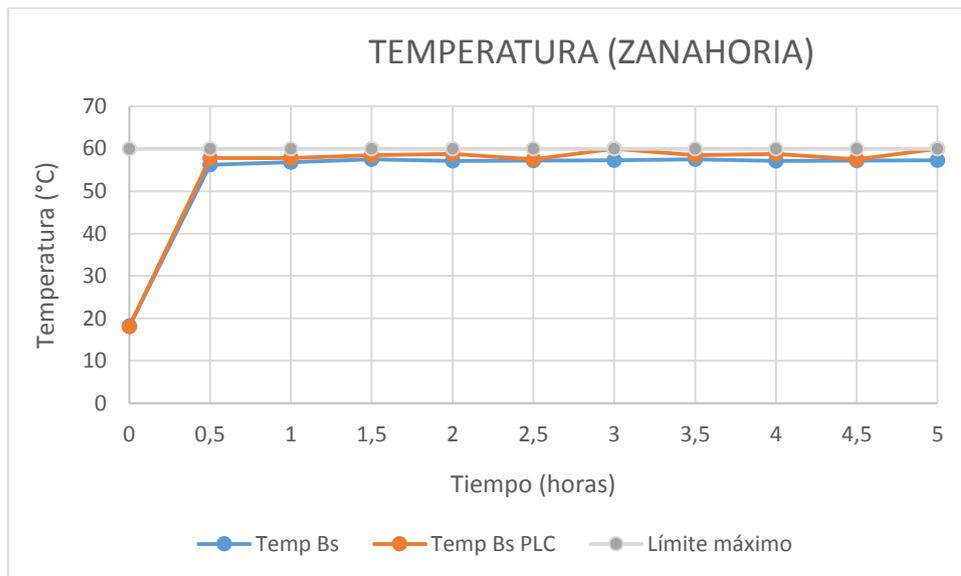


Figura 21. Temperatura de secado de la zanahoria con PLC.

Fuente: Elaboración propia

La temperatura máxima de secado recomendada por la UNESCO para la zanahoria es de 60°C, tanto las lecturas del medidor de estrés térmico como del termo sensor asociado al PLC son muy cercanas, con un margen de error de +- 0,5 grados.

Es posible obtener las curvas de secado en condiciones de temperatura constante, de este producto (Anexo 4)

5.5.3 Resultados de la manzana verde

Tabla 17
Resultados del proceso de secado de la manzana verde.

MANZANA VERDE	P(g)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
PESO SIN BANDEJA PERFORADA	0,1	0,09	0,08	0,071	0,062	0,054	0,048	0,041	0,035	0,031	0,029
PESO CON BANDEJA PERFORADA	0,1	0,086	0,076	0,066	0,057	0,05	0,044	0,038	0,033	0,029	0,028
T. bulbo húmedo	15,8	40,4	46,4	47,3	47,5	47,8	47,9	47,3	47,6	49,3	47,3
T. bulbo seco	18,2	47,4	48,1	48,7	48,9	48,9	49,1	48,7	49,4	52,3	48,7
T bulbo seco PLC	18,1	48,8	49,5	49,3	49,5	48,8	49,5	49,5	49,3	53,3	49,5
T. cámara de secado	18,2	50,8	50,3	51,9	50,5	48,2	50	47,4	48,1	48,3	47,4

Fuente: Elaboración propia

Se estabiliza la temperatura de bulbo seco

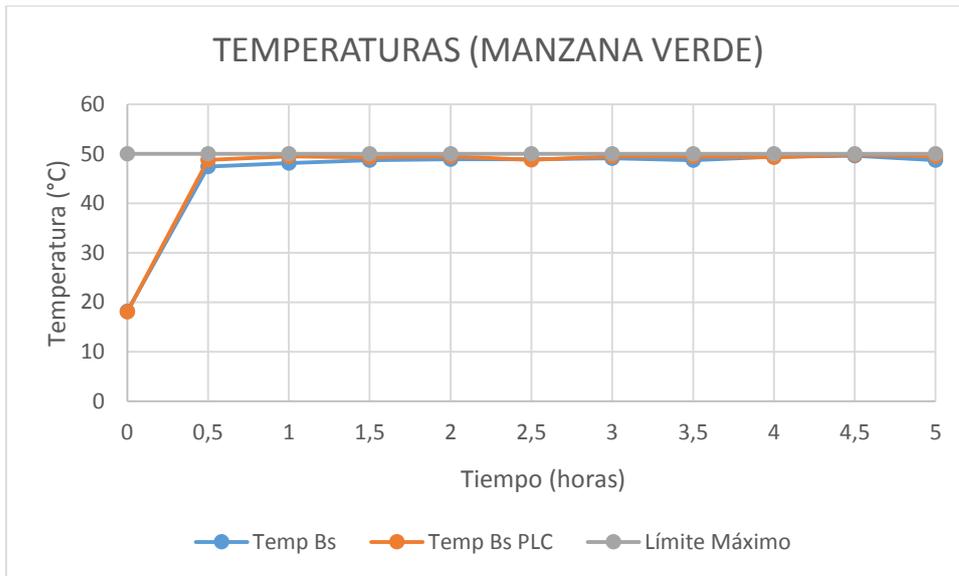


Figura 22. Temperatura de secado de la manzana verde con PLC.

Fuente: Elaboración propia

La temperatura máxima de secado recomendada por la UNESCO para la manzana verde es de 50°C, tanto las lecturas del medidor de estrés térmico como del termo sensor asociado al PLC son muy cercanas, con un margen de error de +- 0,5 grados.

Es posible obtener las curvas de secado en condiciones de temperatura constante, de este producto (Anexo 6)

5.6 LÍNEA BASE

Ahora los parámetros del proceso de secado ya se encuentran bajo control:

- La temperatura ya no sufre incremento ni variaciones por cada ensayo realizado, lo cual ahora favorece al control del proceso de secado acorde a las necesidades de cada usuario y de cada producto
- El tiempo de trabajo del secador es monitoreado a través de la LOGO TD, y ahora es configurable acorde a cada condición del usuario.

6 MARCO HIPOTÉTICO

6.1 PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS

La automatización del secador de bandejas del laboratorio de operaciones unitarias de la facultad de ingeniería influye en el mejoramiento del proceso de secado.

6.1.1 HIPÓTESIS ESTADÍSTICA

$H_i: U_1 \neq U_2$: La media de temperatura antes de automatizar el secador es diferente a la media de temperatura después de automatizar el secador; por lo que la automatización del secador de bandejas influye en el control del proceso de secado.

$H_o: U_1 = U_2$: La media de temperatura antes de automatizar el secador es igual a la media de temperatura después de automatizar el secador; por lo que la automatización del secador de bandejas no influye en el control del proceso de secado.

6.1.2 NIVEL DE SIGNIFICACIÓN

El nivel de significación será del 5%. ($\alpha = 5\%$).

6.1.3 CRITERIO

Se considera la aplicación de T-Student, debido a que tenemos entre 7 y 8 lecturas de temperatura para cada producto, y consideramos los siguientes aspectos:

- Considerando al SIG bilateral resultante inferior a 0,05 se aceptará la hipótesis de investigación y se rechazará la hipótesis nula.
- Considerando al SIG bilateral resultante igual o superior a 0,05, se aceptará la hipótesis nula, y se rechazará la hipótesis de investigación.

6.1.4 CALCULO

Para el caso de la papa tenemos:

Tabla 18
T-Student para la papa

Estadísticas de muestras emparejadas

		Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
Par 1	SIN_PLC	80,2750	8	8,34382	2,94998
	CON_PL C	51,8625	8	,42405	,14993

Correlaciones de muestras emparejadas

		N	Correlación	Sig.
Par 1	SIN_PLC & CON_PL C	8	,482	,227

Prueba de muestras emparejadas

		Diferencias emparejadas				t	gl	Sig. (bilateral)	
		Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
					Inferior				Superior
Par 1	SIN_PLC - CON_PL C	28,41250	8,14799	2,88075	21,60061	35,22439	9,863	7	,000

Fuente: Software SPSS

El SIG bilateral es de 0,000; sin la automatización del secador la media de temperatura llega a los 80,27°C, mientras que con la automatización del secador la media de temperatura es de 51,86°C, y no excede el límite máximo permisible de 55°C recomendado por el grupo de investigación de la UNESCO.

Para el caso de la zanahoria tenemos:

Tabla 19
T-Student para la zanahoria

Estadísticas de muestras emparejadas

		Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
Par 1	SIN_PLC	79,6143	7	11,02715	4,16787
	CON_PL C	57,0857	7	,45981	,17379

Correlaciones de muestras emparejadas

		N	Correlación	Sig.
Par 1	SIN_PLC & CON_PL C	7	,923	,003

Prueba de muestras emparejadas

		Diferencias emparejadas				t	gl	Sig. (bilateral)	
		Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
					Inferior				Superior
Par 1	SIN_PLC - CON_PL C	22,52857	10,60436	4,00807	12,72118	32,33597	5,621	6	,001

Fuente: Software SPSS

El SIG bilateral es de 0,001; sin la automatización del secador la media de temperatura llega a los 79,61°C, mientras que con la automatización del secador la media de temperatura es de 57,08°C, y no excede el límite máximo permisible de 60°C recomendado por el grupo de investigación de la UNESCO.

Para el caso de la manzana verde tenemos:

Tabla 20
T-Student para la manzana verde

Estadísticas de muestras emparejadas

		Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
Par 1	SIN_PLC	79,8286	7	9,86876	3,73004
	CON_PL C	48,5429	7	,59402	,22452

Correlaciones de muestras emparejadas

		N	Correlación	Sig.
Par 1	SIN_PLC & CON_PL C	7	,960	,001

Prueba de muestras emparejadas

	Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)	
	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia					
				Inferior	Superior				
Par 1	SIN_PLC - CON_PL C	31,28571	9,30008	3,51510	22,68458	39,88685	8,900	6	,000

Fuente: Software SPSS

El SIG bilateral es de 0,000; sin la automatización del secador la media de temperatura llega a los 79,82°C, mientras que con la automatización del secador la media de temperatura es de 48,54°C, y no excede el límite máximo permisible de 50°C recomendado por el grupo de investigación de la UNESCO.

6.1.5 DECISIÓN

En los 3 casos, el SIG bilateral oscila entre 0 y 0,01; y $U_1 \neq U_2$ Por lo tanto aceptamos la hipótesis de investigación planteada.

H_i : La media de temperatura antes de automatizar el secador es diferente a la media de temperatura después de automatizar el secador; por lo que la automatización del secador de bandejas influye en el control del proceso de secado.

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

Se han determinado los parámetros técnicos reales del secador, que han servido para la selección correcta de los elementos para el sistema de Control Lógico Programable (PLC) en el equipo.

Se ha seleccionado el equipo de Control Lógico Programable (PLC) LOGO! 12/24 RCE, al ser el adecuado para el secador de bandejas, asociando tanto los elementos de sensado como los elementos de control, brindando un proceso de secado estable con un margen de error de $\pm 0,5^\circ\text{C}$.

Se ha colocado el equipo PLC LOGO! 12/24 RCE y los accesorios correctos, considerando las características del secador de bandejas, y el usuario puede configurar tanto la temperatura como el tiempo deseados dentro de cada ensayo, y para cada producto específico.

Se ha comprobado la mejora en el proceso de secado de la manzana verde, la papa y la zanahoria, manteniendo una temperatura estable, que no infringe las recomendaciones en los límites máximos permisibles que plantea la UNESCO.

La automatización del secador influye de una manera muy positiva para mejorar el proceso de secado, debido a que ahora es posible configurar las temperaturas enfocadas en la necesidad de cada producto:

- Para el caso de la papa, tenemos un SIG bilateral es de 0,000; sin el secador automatizado teníamos una media de temperatura de $80,27^\circ\text{C}$, mientras que

con el secador automatizado tenemos una media de temperatura de 51,86°C, y está situada debajo del límite máximo permisible (55°C) recomendado por el grupo de investigación de la UNESCO, considerándose así, un proceso bajo control.

- Para el caso de la zanahoria tenemos un SIG bilateral es de 0,001; sin el secador automatizado teníamos una media de temperatura de 79,61°C, mientras que con el secador automatizado tenemos una media de temperatura de 57,08°C, y está situada debajo del límite máximo permisible (60°C) recomendado por el grupo de investigación de la UNESCO, considerándose así, un proceso bajo control.
- Para el caso de la manzana verde tenemos un SIG bilateral es de 0,000; sin el secador automatizado teníamos una media de temperatura de 79,82°C, mientras que con el secador automatizado tenemos una media de temperatura de 48,54°C, y está situada debajo del límite máximo permisible (50°C) recomendado por el grupo de investigación de la UNESCO, considerándose así, un proceso bajo control.

7.2 Recomendaciones

Seguir de manera correcta las instrucciones del manual de operación del secador., para así precautelar los elementos de sensado como de control.

Realizar un plan de mantenimiento para el secador de bandejas del laboratorio

8 Bibliografía

Almada, M., Cáceres, M., Machaín-Singer, M., & Pulfer, J. (2005). Guía de uso de Secaderos Solares para frutas, legumbres, hortalizas, plantas medicinales y carnes. Asunción - Paraguay: Comunicación Visual. Obtenido de

<http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Montevideo/pdf/ED-Guiasecaderosolar.pdf>

Álvarez, C. (2006). *Universidad Nacional de Chimborazo*. Obtenido de Diseño y construcción de un secador de bandejas.

Galeas, C. (2016). *Diseño de Automatización de una Secadora de Arroz*. Guayaquil.

Geankoplis. (2006). Procesos de transporte y principios de procesos de separación. En Geankoplis, *Humedad* (págs. 578-581;581,583,584,589,593,594,596-598,600,602). México: Compañía Editorial Continental.

Gonzales, A. (2010). *Automatización Industrial*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/silvianomberarea/automatizacion-industrial-21484132>

Henao, J., Soto, A., Góngora, M., & Cortés, F. (2010). Automatización de Secador de Café (tipo silo) de Laboratorio. *Ingeniería y Región*, 1.

Maupoey, F., Andrés, A. M., Barat, J., & Albors, A. (2016). Introducción al secado de alimentos por aire caliente. España: Universitat Politècnica de València.

Saavedra, J., Puente, L., González, G., & Camousseigt, I. (2008). Automatización de un Secador Convectivo de Aire Caliente para fines de docencia en ingeniería de alimentos. *SCIELO*, 3.

Seader, H. R. (2011). *Separations Process Principles, Chemical and biochemical operations*. Estados Unidos: Wiley.

significados.com. (s.f.). *significados.com*. Obtenido de Calor, Calor específico, Calor latente, Temperatura, PLC: <https://www.significados.com>

9 Anexos

9.1 Anexo 1; Secado de papa sin PLC

SECADO DE PAPA SIN PLC

Se ha seleccionado a la papa como producto a secar. A continuación, se plantea el procedimiento para la obtención de datos.

9.1.1 Materiales

- 1 Bandeja. Su área es de $(0,32 \times 0,285) m^2$
- Cuchillo o estilete
- Cronómetro
- 100 gramos de papa

9.1.2 Máquinas y equipos

- Anemómetro.
- Balanza digital.
- Medidor de estrés térmico con las siguientes características:

MARCA	QUESTemp de 3M
MODELO	34
MATRICULA	13053043147
CERTIFICACION	921
FECHA DE ULTIMA CALIBRACIÓN	29-08-2012
SIGUIENTE CALIBRACIÓN	29-08-2013

- Secador de bandejas.

9.1.3 Procedimiento

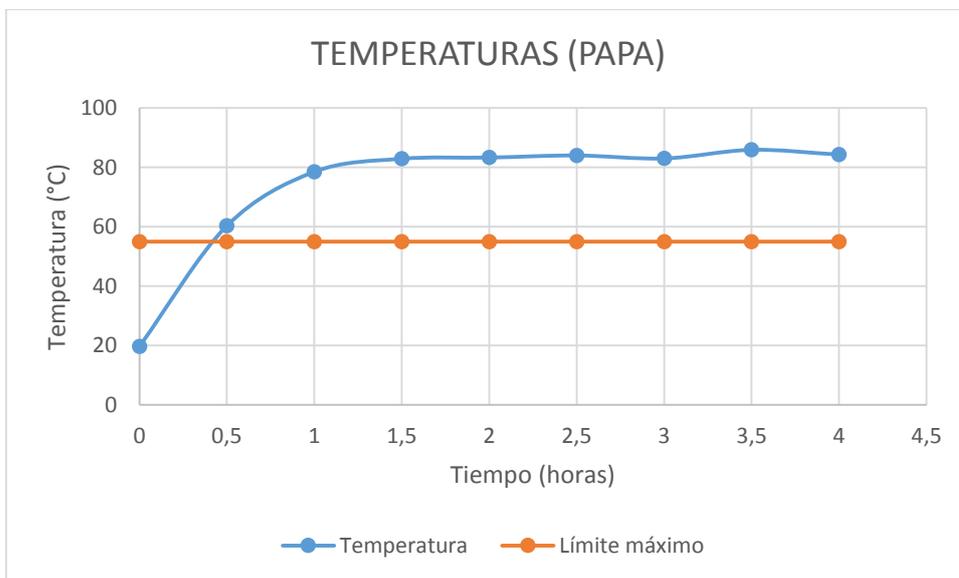
- Colocar el medidor de estrés térmico QUESTemp a la salida del secador 30 minutos antes de iniciar con la práctica.
- Colocar la bandeja en la balanza para pesarla.
- Encerar la balanza con la bandeja puesta
- Colocar 100 gramos de papa.
- Encender el secador y colocar la bandeja.
- Volver a encerar la balanza.
- Cada 30 minutos (0,5 horas) realizar mediciones de peso, tomando la lectura y restándola del peso de la balanza.
- Cada 30 minutos (0,5 horas) verificar las mediciones de temperatura tanto de bulbo seco como de bulbo húmedo a la salida del secador.
- Cuando en un intervalo exista una variación entre 1 a 3 gramos se considera que el peso se ha vuelto constante, por lo que ahí se determinará el tiempo real de secado.
- En el último intervalo medir la velocidad del aire a la salida del secador.

9.1.4 Resultados

PRO D	P (g)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Papa	100	88	76	58	42	34	27	23	21
T. bulbo húmedo	19, 8	26, 6	31, 1	75, 2	76, 2	76, 8	77, 3	80 ,9	66, 9
T. bulbo seco	19, 7	60, 3	78, 5	82, 9	83, 3	84	83	85 ,9	84, 3

T. cámara de secado	19, 8	64	75, 1	79, 2	83, 2	87, 8	83, 5	92 ,2	83, 8
Peso bandeja	37	37	37	37	37	37	37	37	37

El tiempo de secado para la papa es de 4 horas, pero se debe considerar que la temperatura llega hasta los 85,9 °C.



Las temperaturas están fuera del límite máximo permisible que recomienda la UNESCO, en este caso para la papa de 55°C; por lo que se considera un proceso fuera de control.

9.1.5 Evidencia

TOMA 1: Muestra fotográfica



TOMA 2: Muestra fotográfica



TOMA 3: Muestra fotográfica



TOMA 4: Muestra fotográfica



TOMA 5: Muestra fotográfica



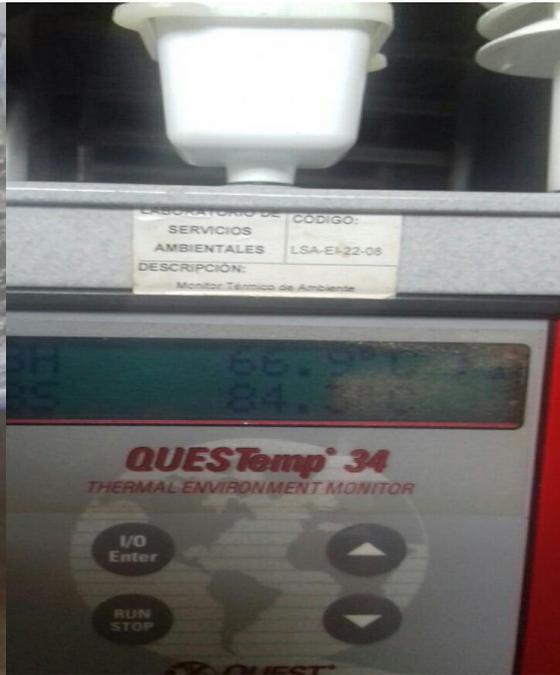
TOMA 6: Muestra fotográfica



TOMA 7: Muestra fotográfica



TOMA 8: Muestra fotográfica



9.2 Anexo 2; Secado de papa con PLC

SECADO DE PAPA CON PLC

En este caso se realizan ensayos tanto con una bandeja sin perforar, como con una bandeja perforada, y así comprobar si el tiempo de secado varía entre las dos bandejas.

Los materiales a utilizar son:

9.2.1 Materiales

- 1 bandeja una perforada con orificios de 0,635 cm de diámetro, distribuidos en el área de la misma. Su área es de $(0,32 \times 0,285) m^2$
- 1 bandeja sin perforar. Su área es de $(0,32 \times 0,285) m^2$
- Cuchillo o estilete
- 100 gramos de papa.

9.2.2 Máquinas y equipos

- Anemómetro.
- Balanza digital.
- Sistema de control con PLC.
- Medidor de estrés térmico con las siguientes características:

MARCA	QUESTemp de 3M
MODELO	34
MATRICULA	13053043147
CERTIFICACION	921
FECHA DE ULTIMA CALIBRACIÓN	7 de enero, 2019
SIGUIENTE CALIBRACIÓN	S/E

- Secador de bandejas

9.2.3 Procedimiento

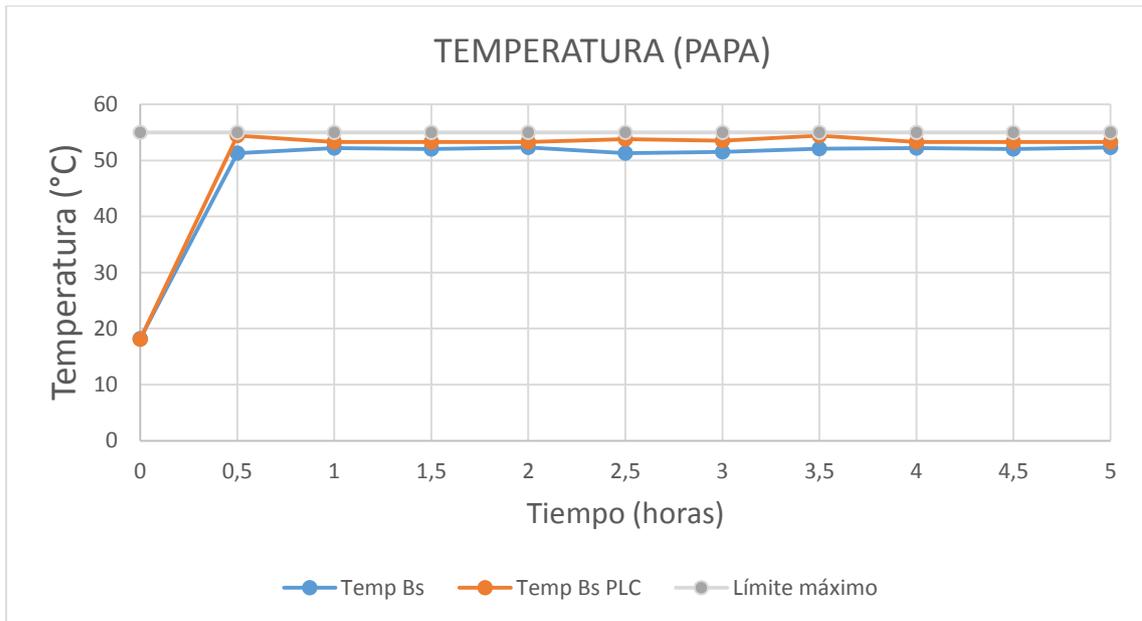
- Colocar el medidor de estrés térmico QUESTemp a la salida del secador 30 minutos antes de iniciar con la práctica.
- Conectar el secador.
- Colocar en ON el interruptor de paso para encender el sistema
- Configurar la temperatura deseada. En caso de conocer el tiempo de secado se puede configurarlo.
- Colocar 100 gramos de papa; se colocarán los 100 gramos tanto para la bandeja perforada como para la bandeja sin perforar.
- Colocar la muestra en la bandeja
- Encender el secador y colocar la bandeja.
- Cada 30 minutos (0,5 horas) realizar mediciones de peso respectivo, esto se lo realizará sin considerar a la bandeja, se pesará solamente la muestra.
- Cada 30 minutos (0,5 horas) verificar las mediciones de temperatura tanto de bulbo seco como de bulbo húmedo a la salida del secador, y comprobarlas con la lectura en la LOGO TD

Cuando en un intervalo exista una variación entre 1 a 3 gramos se considera que el peso se ha vuelto constante, por lo que ahí se determinará el tiempo real de secado.

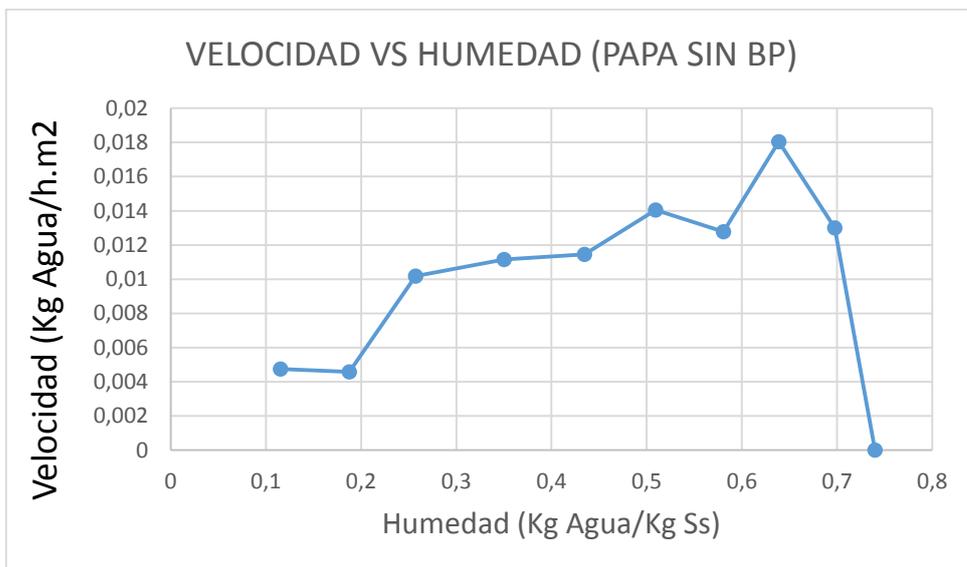
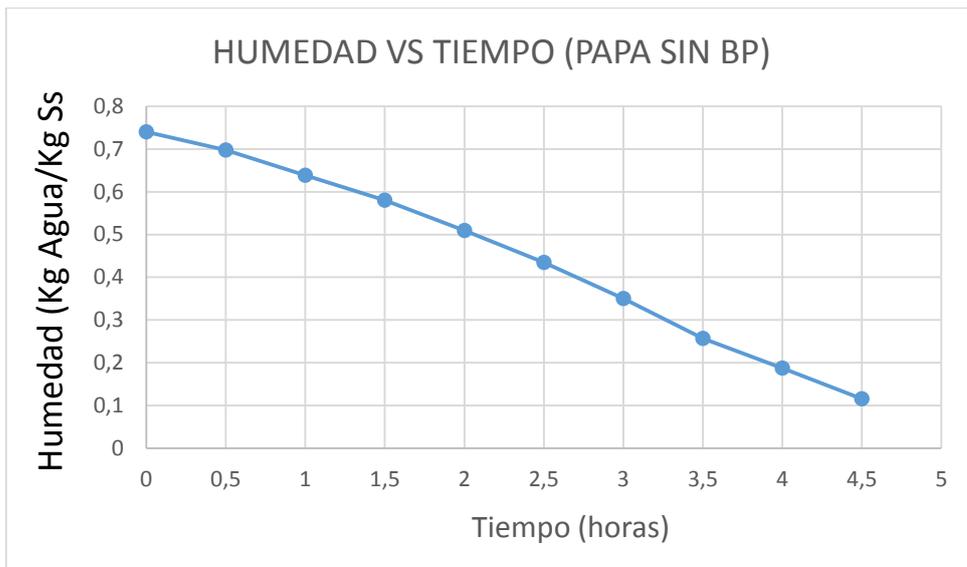
En el último intervalo medir la velocidad del aire a la salida del secador.

9.2.4 Resultados

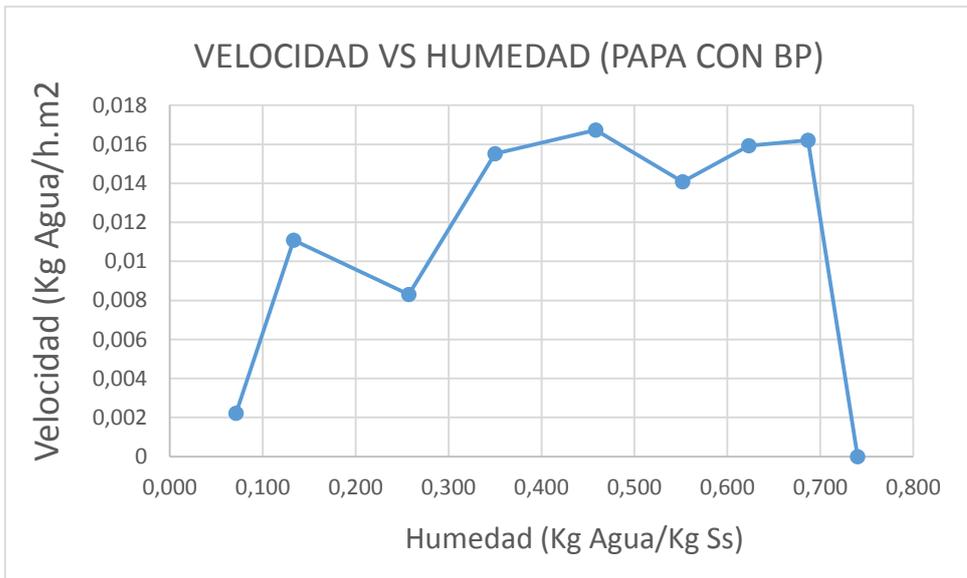
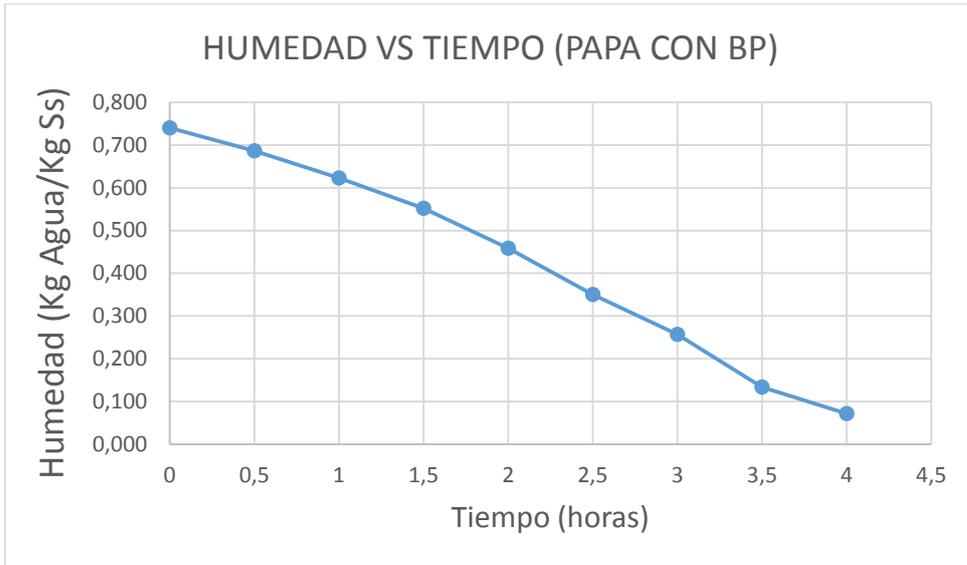
PAPA	P(g)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
PESO SIN BANDEJA PERFORADA	0,1	0,086	0,072	0,062	0,053	0,046	0,040	0,035	0,032	0,029	0,026
PESO CON BANDEJA PERFORADA	0,1	0,083	0,069	0,058	0,048	0,040	0,035	0,03	0,028	0,026	0,026
T. bulbo húmedo	15,8	48,5	48	48,9	49,3	48,2	49,1	49,1	48	48,9	49,3
T. bulbo seco	18,2	51,3	52,2	52	52,3	51,3	51,5	52,1	52,2	52	52,3
T bulbo seco PLC	18,1	54,4	53,3	53,3	53,3	53,8	53,5	54,4	53,3	53,3	53,3
T. cámara de secado	18,2	48,9	49,8	49,2	49	49,9	49,6	49,9	49,7	49	49,9



SIN BANDEJA PERFORADA	Tiempo (h)	Xt	S. Seco usado	HUMEDAD	Δx	Δt	R
	0			0,740			0
	0,5	2,846	0,014	0,698	-0,042	0,5	0,0130
	1	2,308	0,014	0,639	-0,059	0,5	0,0180
	1,5	1,769	0,010	0,581	-0,058	0,5	0,0128
	2	1,385	0,009	0,509	-0,071	0,5	0,0141
	2,5	1,038	0,007	0,435	-0,075	0,5	0,0115
	3	0,769	0,006	0,350	-0,085	0,5	0,0112
	3,5	0,538	0,005	0,257	-0,093	0,5	0,0102
	4	0,346	0,003	0,188	-0,070	0,5	0,0046
	4,5	0,231	0,003	0,115	-0,072	0,5	0,0047
	5	0,115	0,003	0,000	-0,115	0,5	0,0076



CON BANDEJA PERFORADA	Tiempo (h)	Xt	S. Seco usado	HUMEDAD	Δx	Δt	R
	0			0,740			0
	0,5	2,846	0,017	0,687	-0,053	0,5	0,0162
	1	2,192	0,014	0,623	-0,064	0,5	0,0159
	1,5	1,654	0,011	0,552	-0,071	0,5	0,0141
	2	0,846	0,010	0,458	-0,093	0,5	0,0167
	2,5	0,538	0,008	0,350	-0,108	0,5	0,0155
	3	0,346	0,005	0,257	-0,093	0,5	0,0083
	3,5	0,154	0,005	0,133	-0,124	0,5	0,0111
	4	0,077	0,002	0,071	-0,062	0,5	0,0022

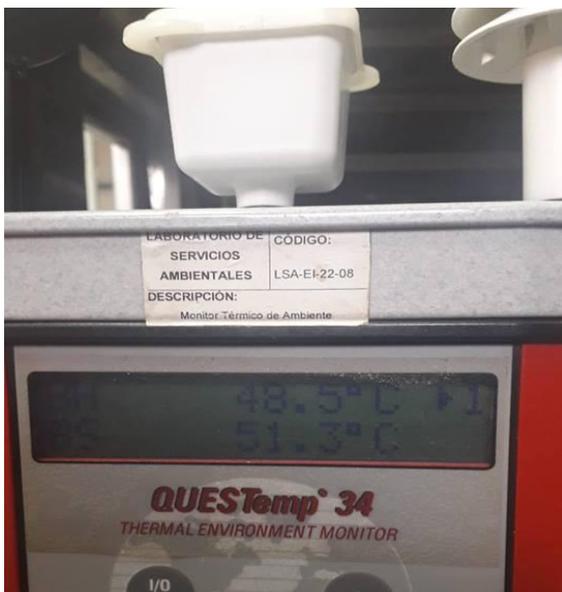
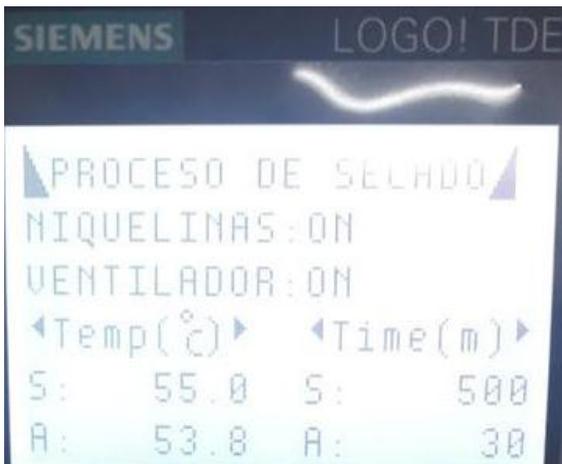


9.2.5 Evidencia

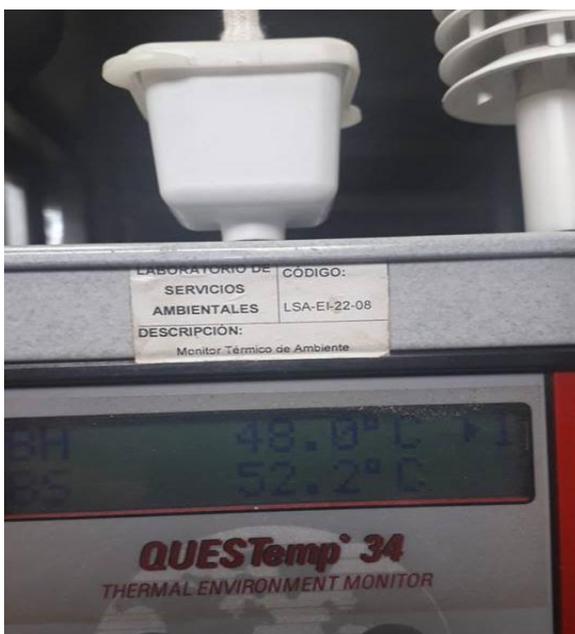
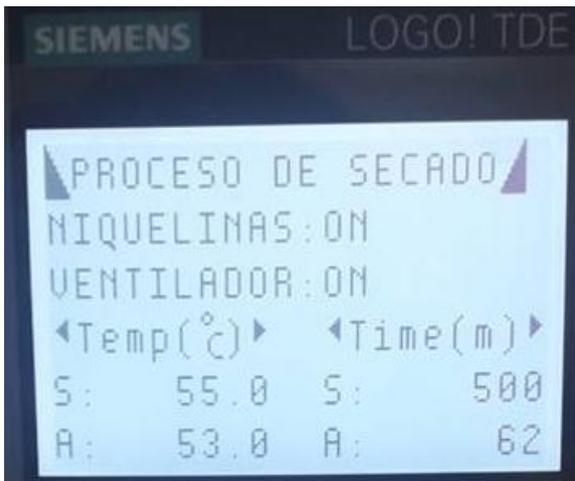
INICIAL: Muestra fotográfica



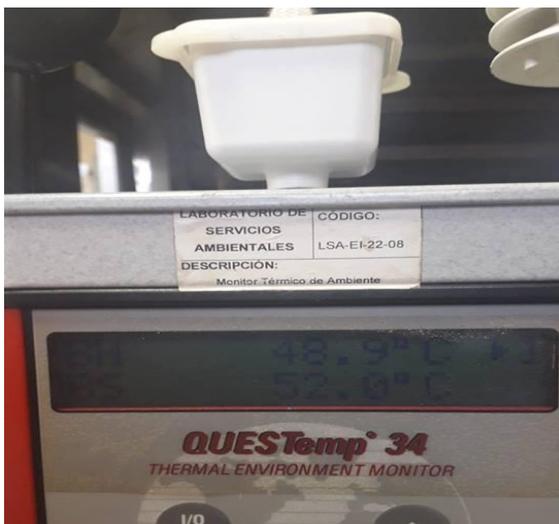
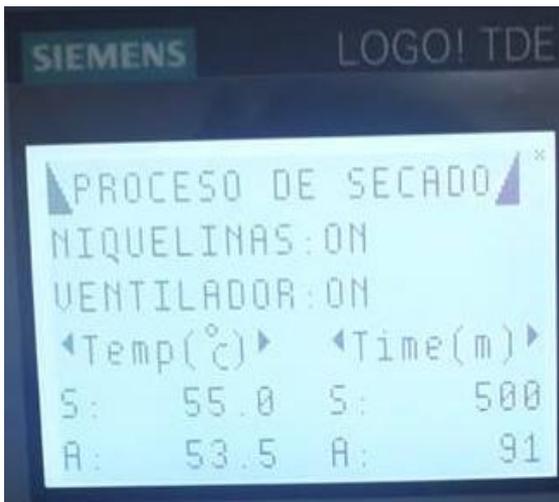
TOMA 1: Muestra fotográfica



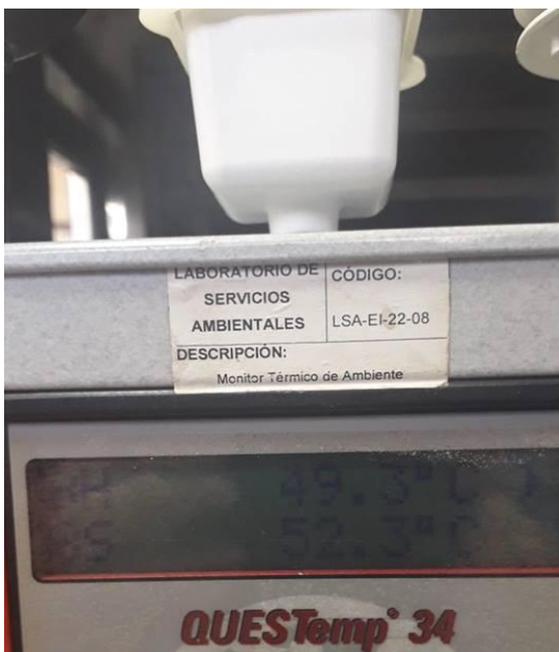
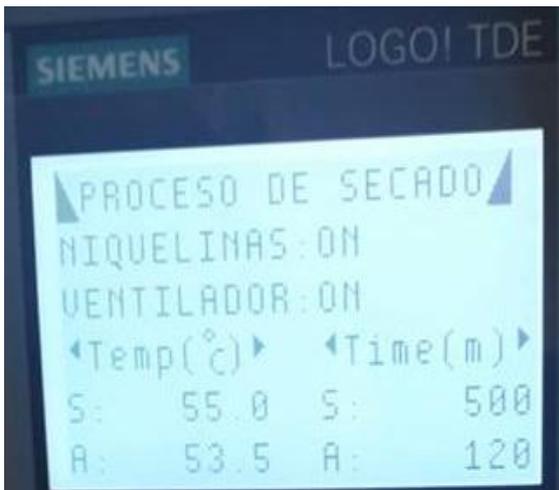
TOMA 2: Muestra fotográfica



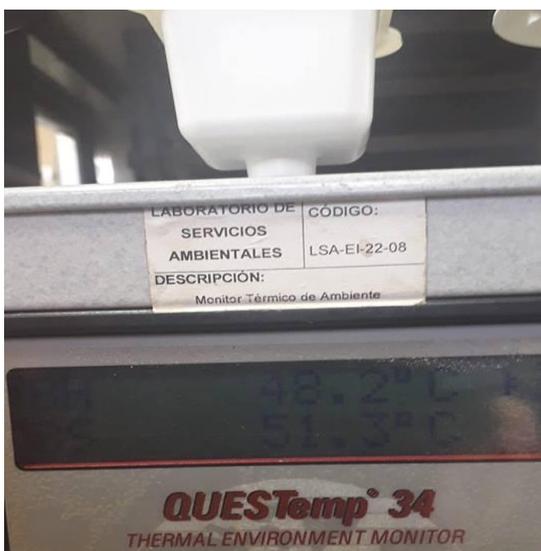
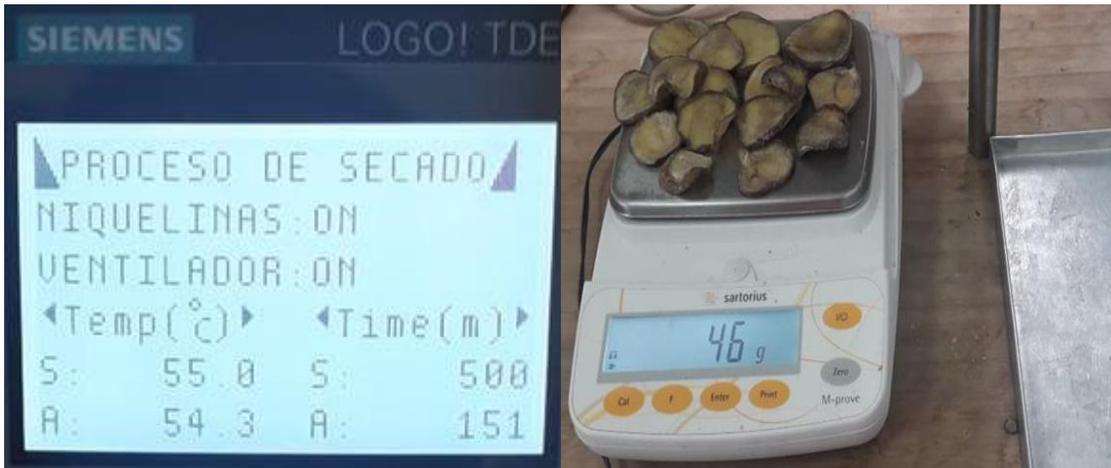
TOMA 3: Muestra fotográfica



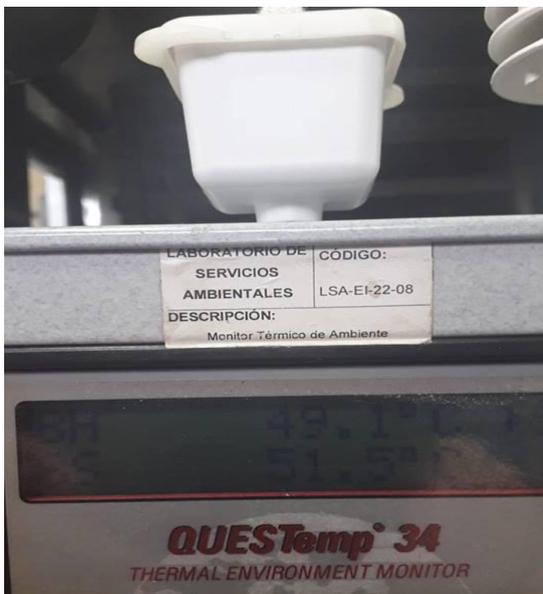
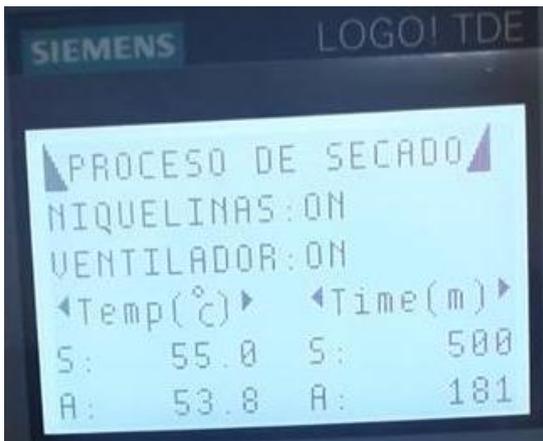
TOMA 4: Muestra fotográfica



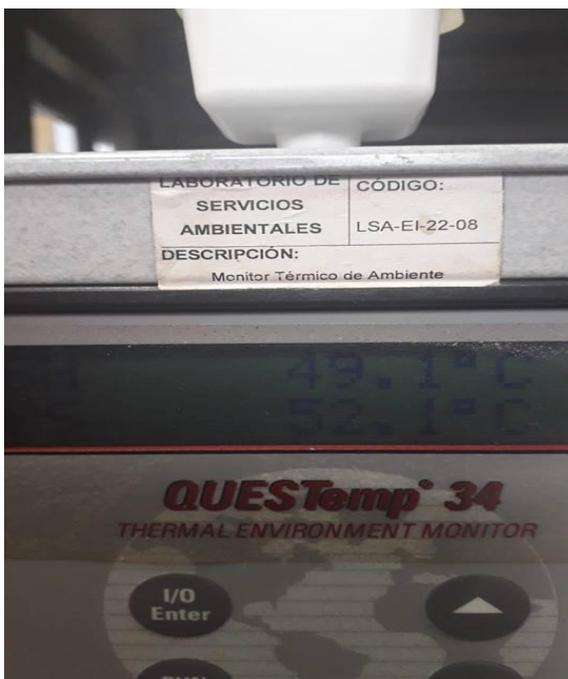
TOMA 5: Muestra fotográfica



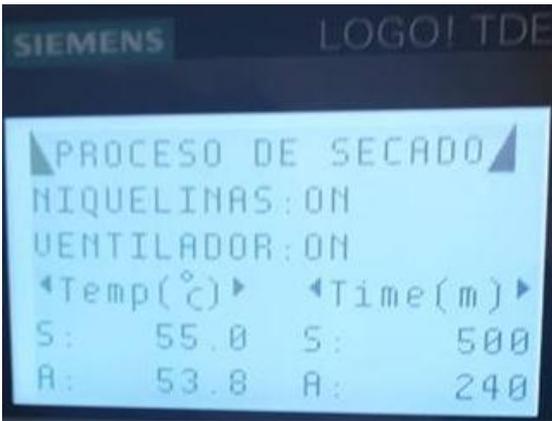
TOMA 6: Muestra fotográfica



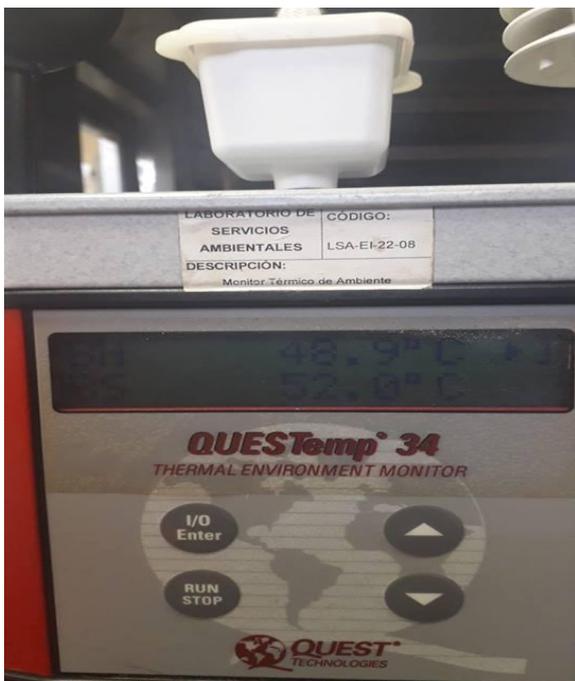
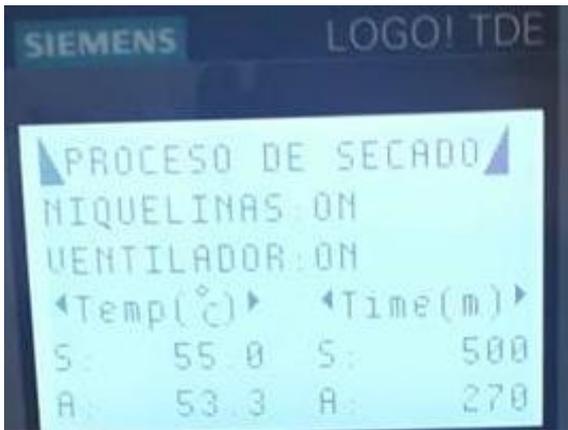
TOMA 7: Muestra fotográfica



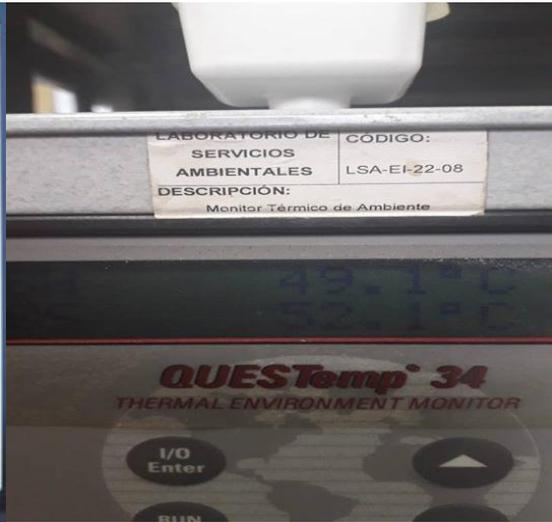
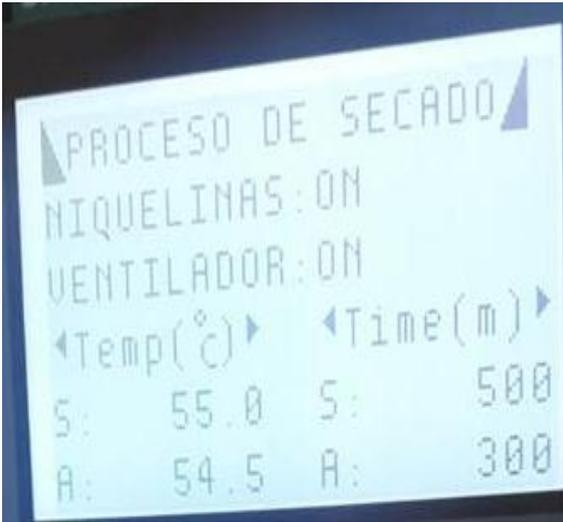
TOMA 8: Muestra fotográfica



TOMA 9: Muestra fotográfica



TOMA 10: Muestra fotográfica



9.3 Anexo 3 Secado de Zanahoria sin PLC

SECADO DE ZANAHORIA SIN PLC

Se ha seleccionado a la zanahoria como producto a secar. A continuación se plantea el procedimiento para la obtención de datos.

9.3.1 Materiales

- 1 Bandeja. Su área es de $(0,32 \times 0,285) m^2$
- Cuchillo o estilete
- Cronómetro
- 100 gramos de zanahoria.

9.3.2 Máquinas y equipos

- Anemómetro.
- Balanza digital.
- Medidor de estrés térmico con las siguientes características:

MARCA	QUESTemp de 3M
MODELO	34
MATRICULA	13053043147
CERTIFICACION	921
FECHA DE ULTIMA CALIBRACIÓN	29-08-2012
SIGUIENTE CALIBRACIÓN	29-08-2013

- Secador de bandejas.

9.3.3 Procedimiento

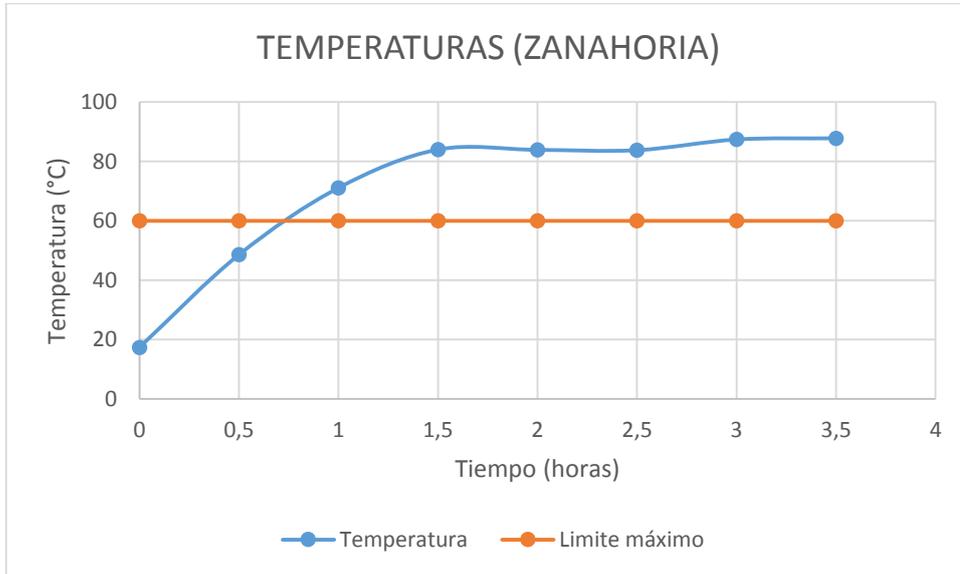
- Colocar el medidor de estrés térmico QUESTemp a la salida del secador 30 minutos antes de iniciar con la práctica.
- Colocar la bandeja en la balanza para pesarla.
- Encerar la balanza con la bandeja puesta
- Colocar 100 gramos de zanahoria.
- Encender el secador y colocar la bandeja.
- Volver a encerar la balanza.
- Cada 30 minutos (0,5 horas) realizar mediciones de peso, tomando la lectura y restándola del peso de la balanza.
- Cada 30 minutos (0,5 horas) verificar las mediciones de temperatura tanto de bulbo seco como de bulbo húmedo a la salida del secador.
- Cuando en un intervalo exista una variación entre 1 a 3 gramos se considera que el peso se ha vuelto constante, por lo que ahí se determinará el tiempo real de secado.

En el último intervalo medir la velocidad del aire a la salida del secador.

9.3.4 Resultados

PROD	P (g)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Zanahoria	100	80	61	38	27	16	12	11
T. bulbo húmedo	16,6	25,1	67,6	76,9	78,4	80	82,3	80,9
T. bulbo seco	18,2	56,2	75,6	82,4	83,9	86,1	87,2	85,9
T. cámara de secado	17,4	48,6	71,1	84	83,9	83,8	87,4	87,8
Peso bandeja	37	37	37	37	37	37	37	37

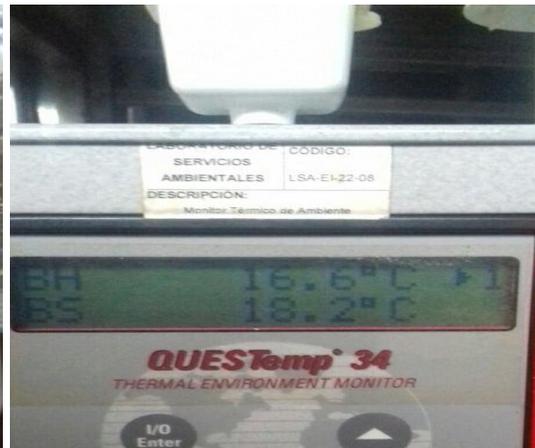
El tiempo de secado para la zanahoria es de 3,5 horas, pero se debe considerar que la temperatura llega hasta 87,2 °C.



Las temperaturas están fuera del límite máximo permisible que recomienda la UNESCO, en este caso para zanahoria de 60°C; por lo que se considera un proceso fuera de control.

9.3.5 Evidencia

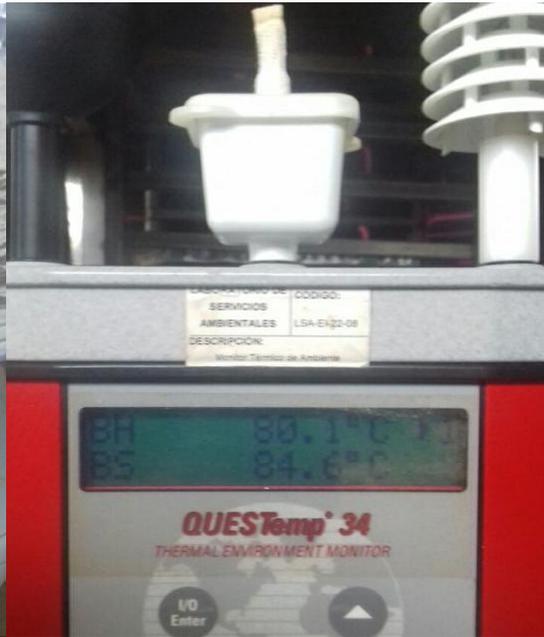
INICIAL: Muestra fotográfica



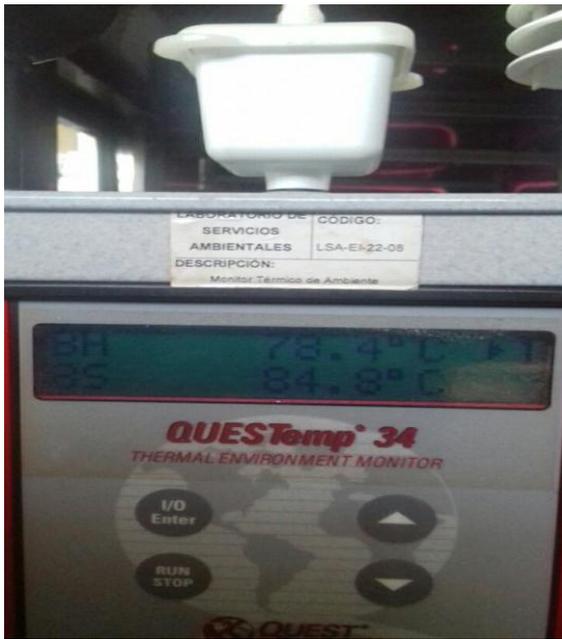
TOMA 1: Muestra fotográfica



TOMA 2: Muestra fotográfica



TOMA 3: Muestra fotográfica



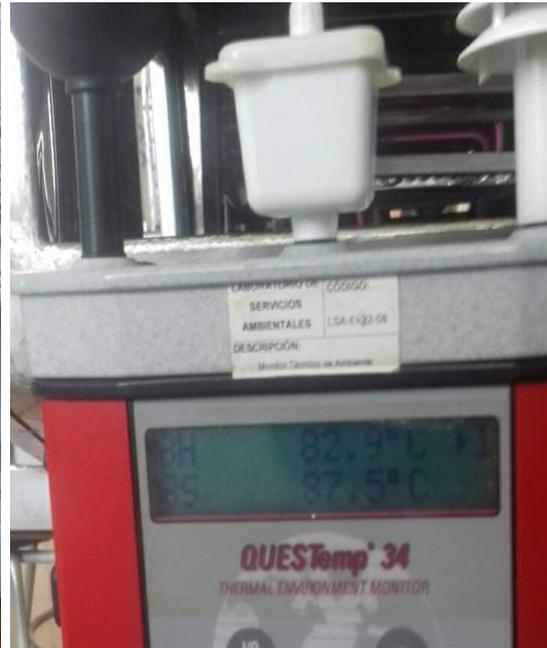
TOMA 4: Muestra fotográfica



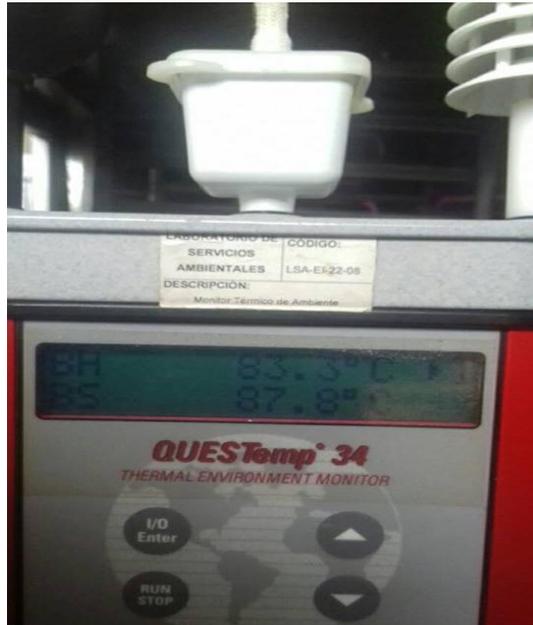
TOMA 5: Muestra Fotográfica



TOMA 6: Muestra fotográfica



TOMA 7: Muestra fotográfica



9.4 Anexo 4 Secado de Zanahoria con PLC

SECADO DE ZANAHORIA CON PLC

En este caso se realizan ensayos tanto con una bandeja sin perforar, como con una bandeja perforada, y así comprobar si el tiempo de secado varía entre las dos bandejas. Los materiales a utilizar son:

9.4.1 Materiales

- 1 bandeja una perforada con orificios de 0,635 cm de diámetro, distribuidos en el área de la misma. Su área es de $(0,32 \times 0,285) m^2$
- 1 bandeja sin perforar. Su área es de $(0,32 \times 0,285) m^2$
- Cuchillo o estilete
- 100 gramos de zanahoria.

9.4.2 Máquinas y equipos

- Anemómetro.
- Balanza digital.
- Sistema de control con PLC.
- Medidor de estrés térmico con las siguientes características:

MARCA	QUESTemp de 3M
MODELO	34
MATRICULA	13053043147
CERTIFICACION	921
FECHA DE ULTIMA CALIBRACIÓN	29-08-2012
SIGUIENTE CALIBRACIÓN	29-08-2013

- Secador de bandejas

9.4.3 Procedimiento

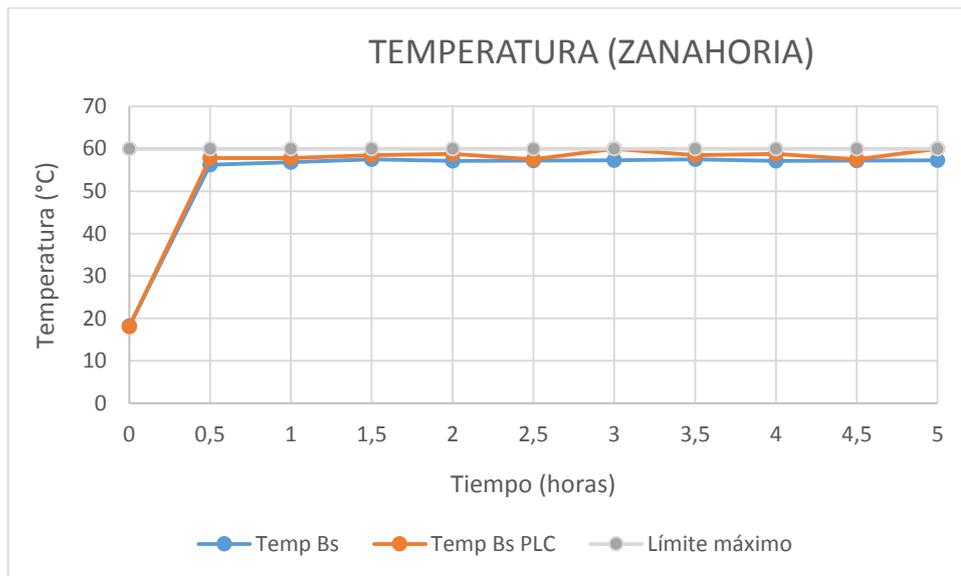
- Colocar el medidor de estrés térmico QUESTemp a la salida del secador 30 minutos antes de iniciar con la práctica.
- Conectar el secador.
- Colocar en ON el interruptor de paso para encender el sistema
- Configurar la temperatura deseada. En caso de conocer el tiempo de secado se puede configurarlo.
- Colocar 100 gramos de zanahoria. Se colocarán los 100 gramos tanto para la bandeja perforada como para la bandeja sin perforar.
- Colocar la muestra en la bandeja
- Encender el secador y colocar la bandeja.
- Cada 30 minutos (0,5 horas) realizar mediciones de peso respectivo, esto se lo realizará sin considerar a la bandeja, se pesará solamente la muestra.
- Cada 30 minutos (0,5 horas) verificar las mediciones de temperatura tanto de bulbo seco como de bulbo húmedo a la salida del secador, y comprobarlas con la lectura en la LOGO TD

Cuando en un intervalo exista una variación entre 1 a 3 gramos se considera que el peso se ha vuelto constante, por lo que ahí se determinará el tiempo real de secado.

En el último intervalo medir la velocidad del aire a la salida del secador.

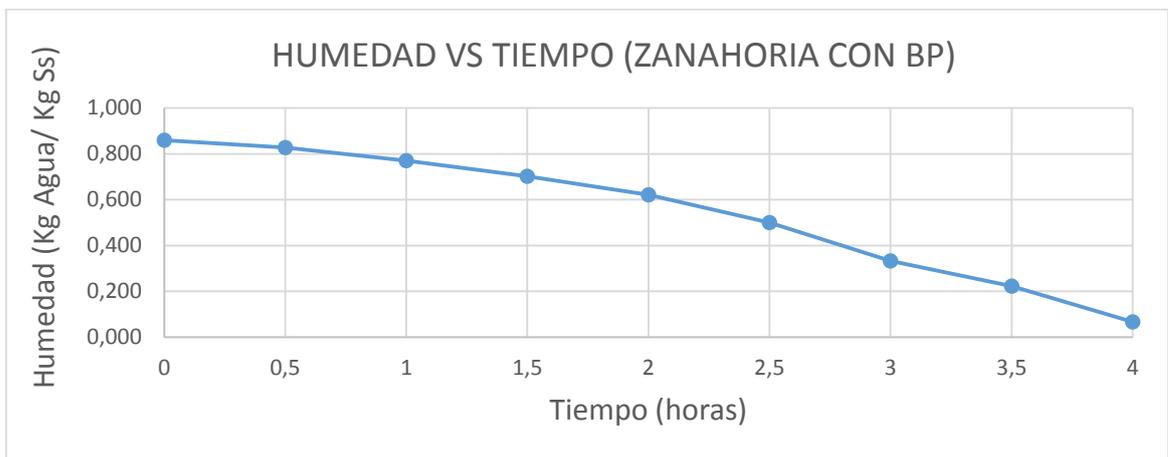
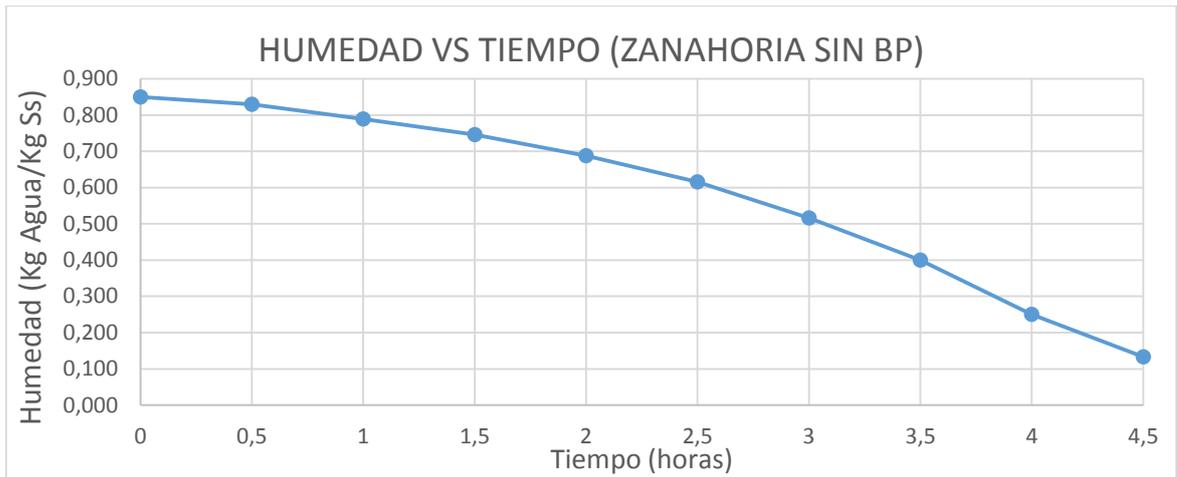
9.4.4 Resultados

ZANAHORIA	P(g)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
PESO SIN BANDEJA PERFORADA	0,1	0,088	0,071	0,059	0,048	0,039	0,031	0,025	0,02	0,017	0,015
PESO CON BANDEJA PERFORADA	0,1	0,081	0,061	0,047	0,037	0,028	0,021	0,018	0,015	0,014	
T. bulbo húmedo	15,8	52,7	55,3	55	55,4	55,3	55,6	55	55,4	55,3	55,6
T. bulbo seco	18,2	56,2	56,8	57,5	57,1	57,2	57,3	57,5	57,1	57,2	57,3
T bulbo seco PLC	18,1	57,8	57,8	58,5	58,8	57,5	60	58,5	58,8	57,5	60
T. cámara de secado	18,2	60	58	57,1	57,1	58,6	59,5	57,1	57,1	58,6	59,5

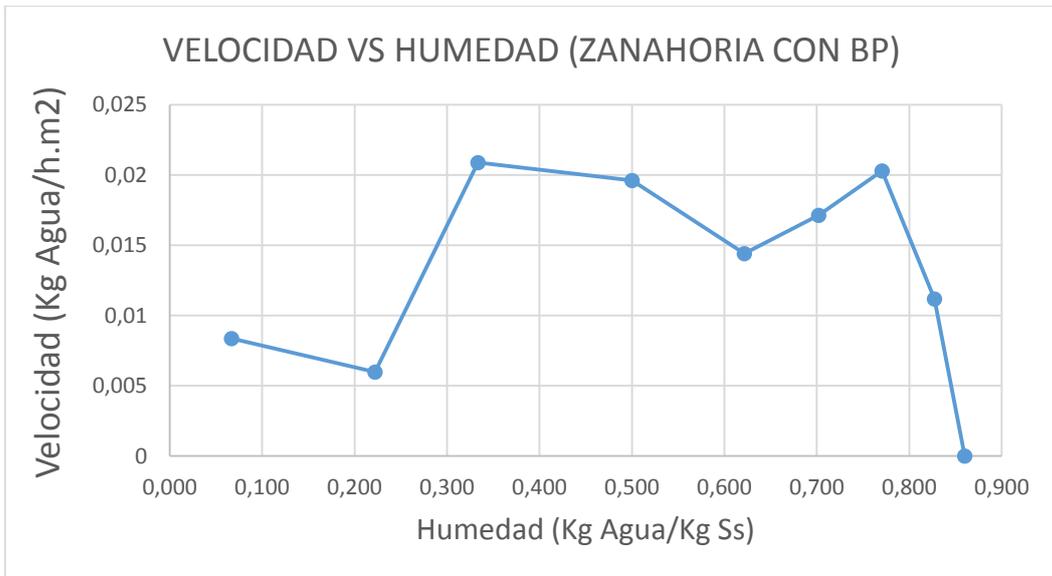
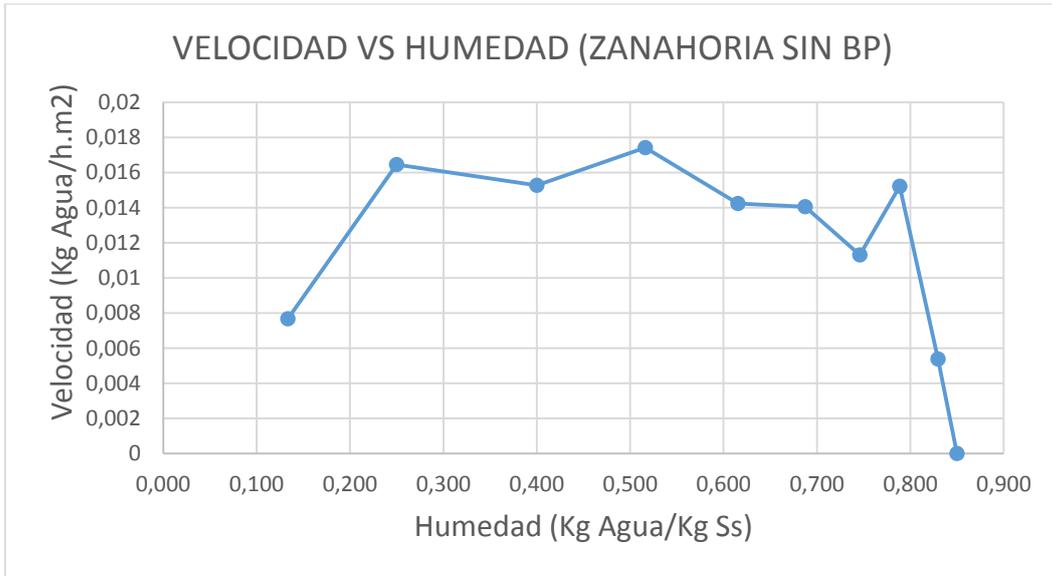


La temperatura máxima de secado recomendada por la UNESCO para la zanahoria es de 60°C, tanto las lecturas del medidor de estrés térmico como del termo sensor asociado al PLC son muy cercanas, con un margen de error de +- 0,5 grados.

SIN BANDEJA PERFORADA	Tiempo (h)	Xt	S. Seco usado	HUMEDAD	Δx	Δt	R
	0			0,850			
	0,5	5,667	0,012	0,830	-0,020	0,5	0,0054
	1	4,867	0,017	0,789	-0,041	0,5	0,0152
	1,5	3,733	0,012	0,746	-0,043	0,5	0,0113
	2	2,933	0,011	0,688	-0,058	0,5	0,0141
	2,5	2,200	0,009	0,615	-0,072	0,5	0,0142
	3	1,600	0,008	0,516	-0,099	0,5	0,0174
	3,5	1,067	0,006	0,400	-0,116	0,5	0,0153
	4	0,667	0,005	0,250	-0,150	0,5	0,0164
	4,5	0,333	0,003	0,133	-0,117	0,5	0,0077

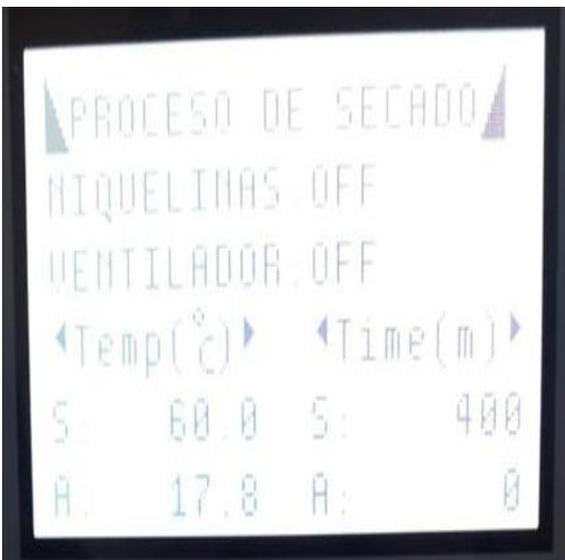


CON BANDEJA PERFORADA	Tiempo (h)	Xt	S. Seco usado	HUMEDAD	Δx	Δt	R
	0			0,860			
	0,5	6,143	0,019	0,827	-0,033	0,5	0,0112
	1	4,786	0,020	0,770	-0,057	0,5	0,0203
	1,5	3,357	0,014	0,702	-0,068	0,5	0,0171
	2	1,643	0,010	0,622	-0,081	0,5	0,0144
	2,5	1,000	0,009	0,500	-0,122	0,5	0,0196
	3	0,500	0,007	0,333	-0,167	0,5	0,0209
	3,5	0,286	0,003	0,222	-0,111	0,5	0,0060
	4	0,071	0,003	0,067	-0,156	0,5	0,0084

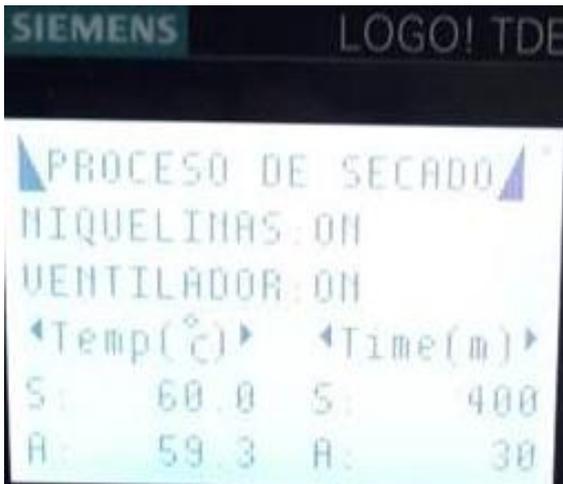


9.4.5 Evidencia

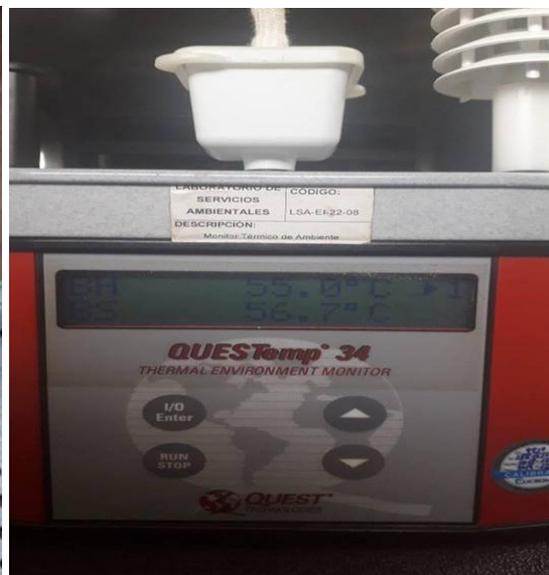
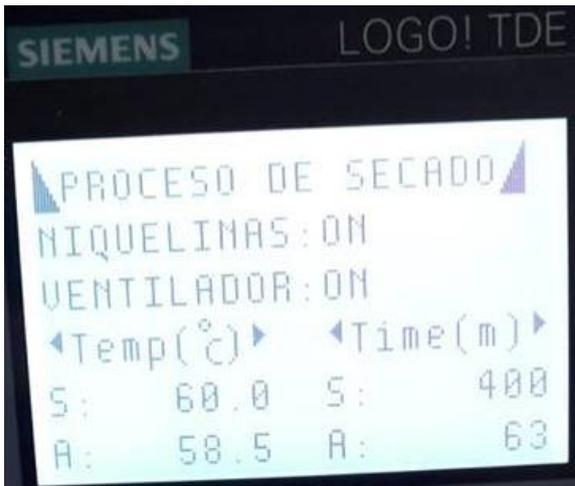
INICIAL: Muestra fotográfica



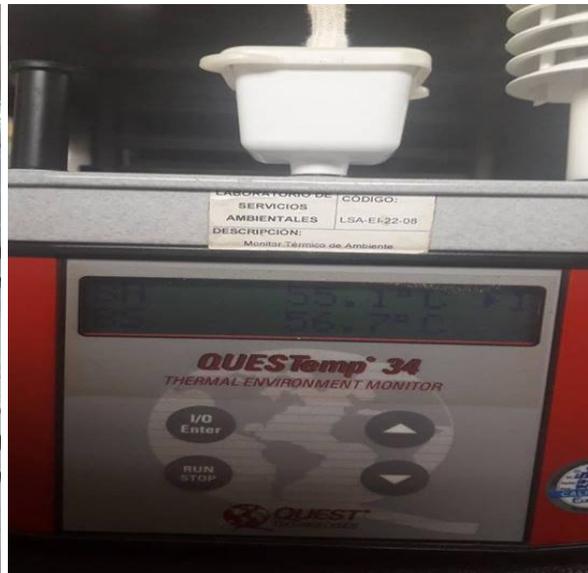
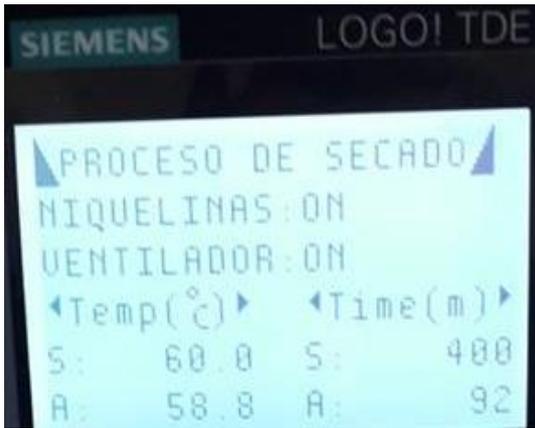
TOMA 1: Muestra fotográfica



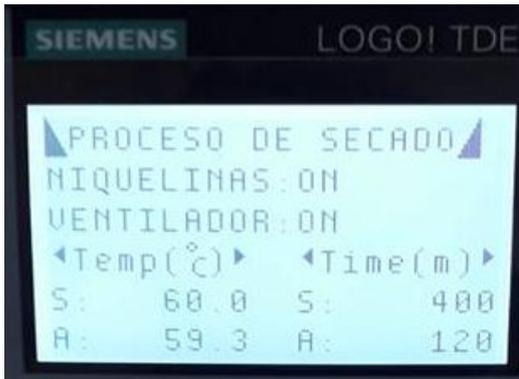
TOMA 2: Muestra fotográfica



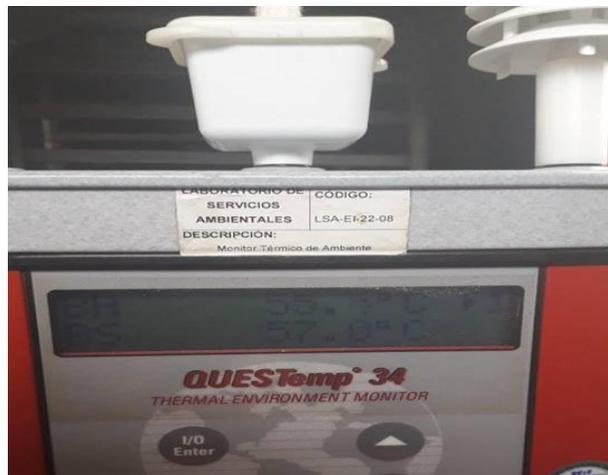
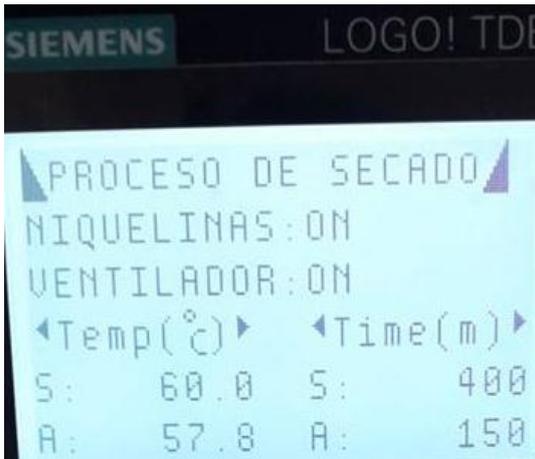
TOMA 3: Muestra fotográfica



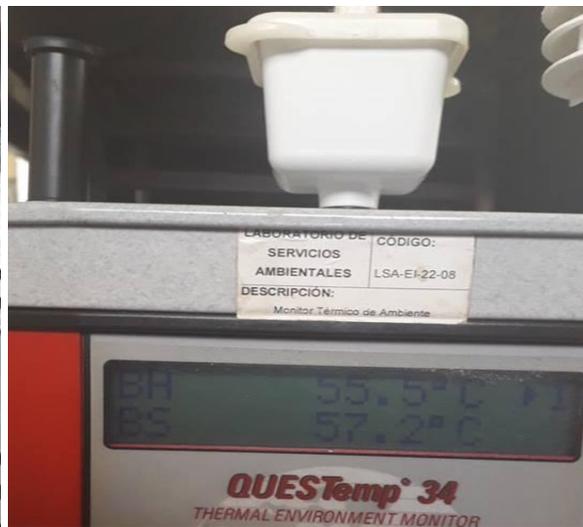
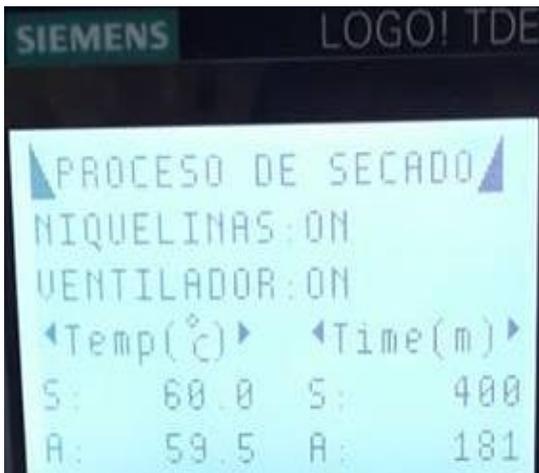
TOMA 4: Muestra fotográfica



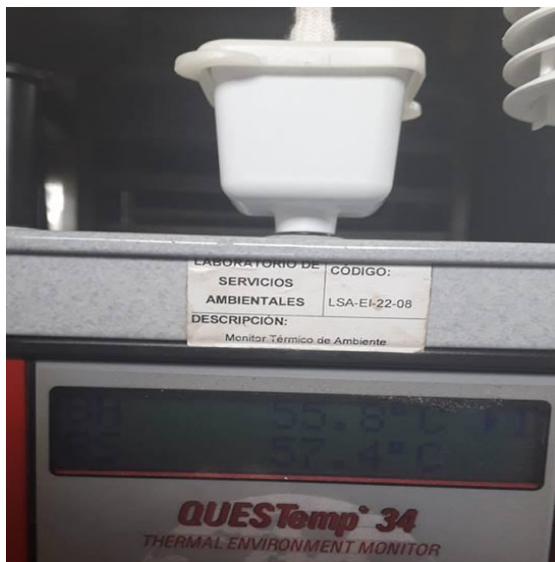
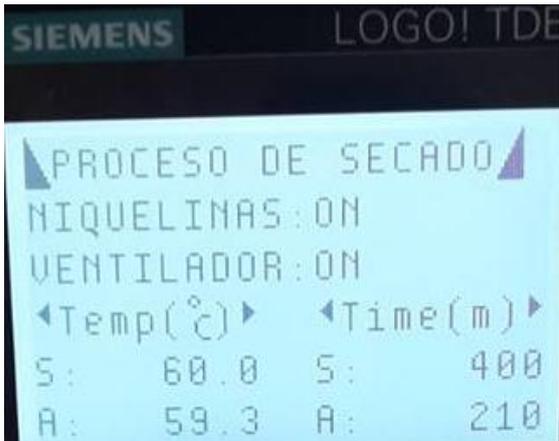
TOMA 5: Muestra fotográfica



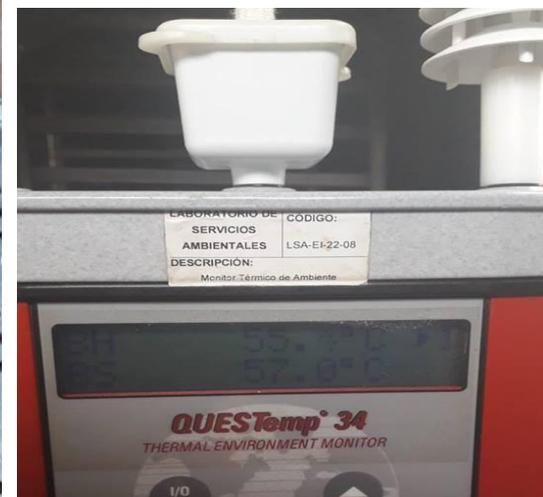
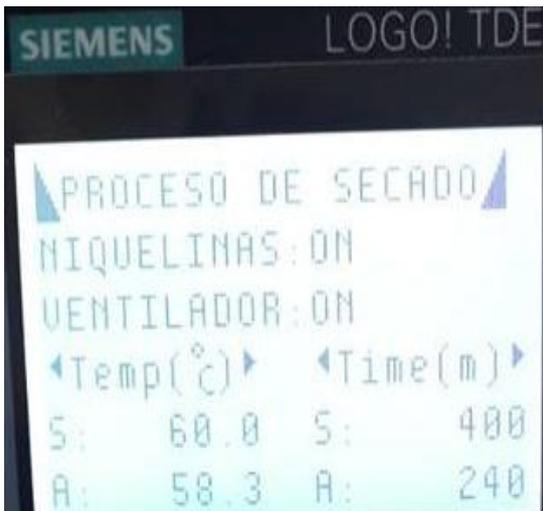
TOMA 6: Muestra fotográfica



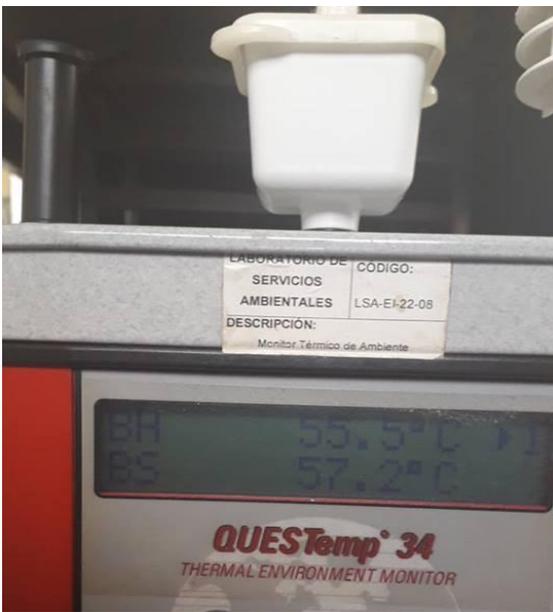
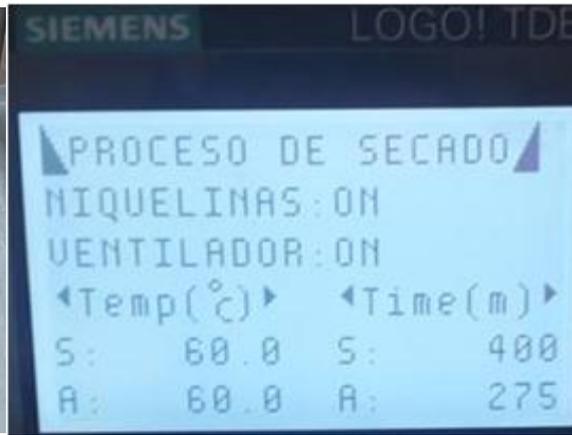
TOMA 7: Muestra fotográfica



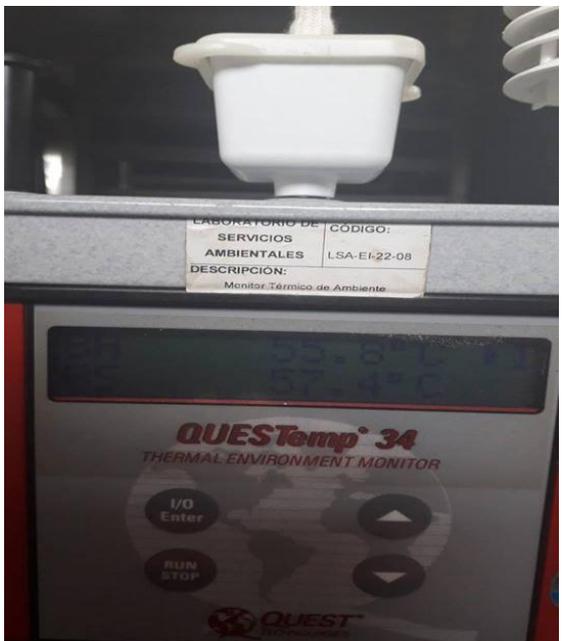
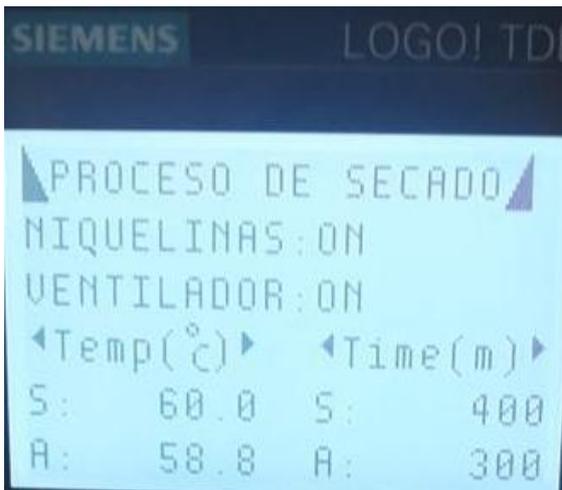
TOMA 8



TOMA 9: Muestra fotográfica



TOMA 10 SOLO BANDEJA SIN PERFORAR



9.5 Anexo 5 Secado de manzana verde sin PLC

SECADO DE MANZANA VERDE SIN PLC

Se ha seleccionado a la manzana verde como producto a secar. A continuación se plantea el procedimiento para la obtención de datos.

9.5.1 Materiales

- 1 Bandeja. Su área es de $(0,32 \times 0,285) m^2$
- Cuchillo o estilete
- Cronómetro
- 100 gramos de manzana verde.

9.5.2 Máquinas y equipos

- Anemómetro.
- Balanza digital.
- Medidor de estrés térmico con las siguientes características:

MARCA	QUESTemp de 3M
MODELO	34
MATRICULA	13053043147
CERTIFICACION	921
FECHA DE ULTIMA CALIBRACIÓN	29-08-2012
SIGUIENTE CALIBRACIÓN	29-08-2013

- Secador de bandejas.

9.5.3 Procedimiento

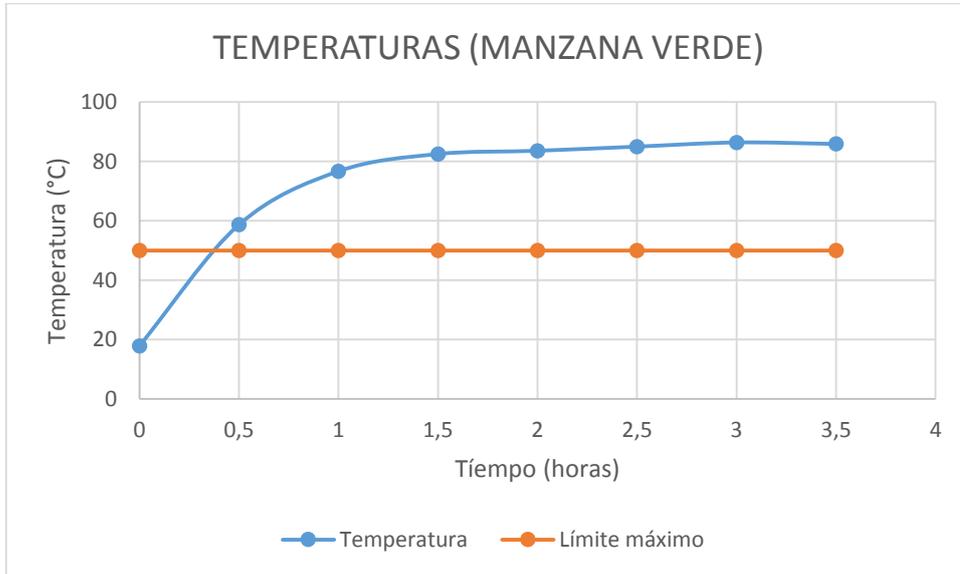
- Colocar el medidor de estrés térmico QUESTemp a la salida del secador 30 minutos antes de iniciar con la práctica.
- Colocar la bandeja en la balanza para pesarla.
- Encerar la balanza con la bandeja puesta
- Colocar 100 gramos de manzana verde.
- Encender el secador y colocar la bandeja.
- Volver a encerar la balanza.
- Cada 30 minutos (0,5 horas) realizar mediciones de peso, tomando la lectura y restándola del peso de la balanza.
- Cada 30 minutos (0,5 horas) verificar las mediciones de temperatura tanto de bulbo seco como de bulbo húmedo a la salida del secador.
- Cuando en un intervalo exista una variación entre 1 a 3 gramos se considera que el peso se ha vuelto constante, por lo que ahí se determinará el tiempo real de secado.

En el último intervalo medir la velocidad del aire a la salida del secador.

9.5.4 Resultados

PROD	P(g)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Manzana verde	100	91	74	52	39	25	20	17
T. bulbo húmedo	16,8	26,2	69,4	75,5	76,7	80,2	80,3	81,1
T. bulbo seco	17,9	58,7	76,7	82,5	83,6	85	86,4	85,9
T. cámara de secado	17,8	56	69,9	80,1	84,4	82	80,2	83,5
Peso bandeja	37	37	37	37	37	37	37	37

El tiempo de secado para la manzana verde es de 3,5 horas, pero se debe considerar que la temperatura llega hasta 86,4 °C.



Las temperaturas están fuera del límite máximo permisible que recomienda la UNESCO, en este caso para manzana de 50°C; por lo que se considera un proceso fuera de control.

9.5.5 Evidencia

INICIAL: Muestra fotográfica



TOMA 1: Muestra fotográfica



TOMA 2: Muestra fotográfica



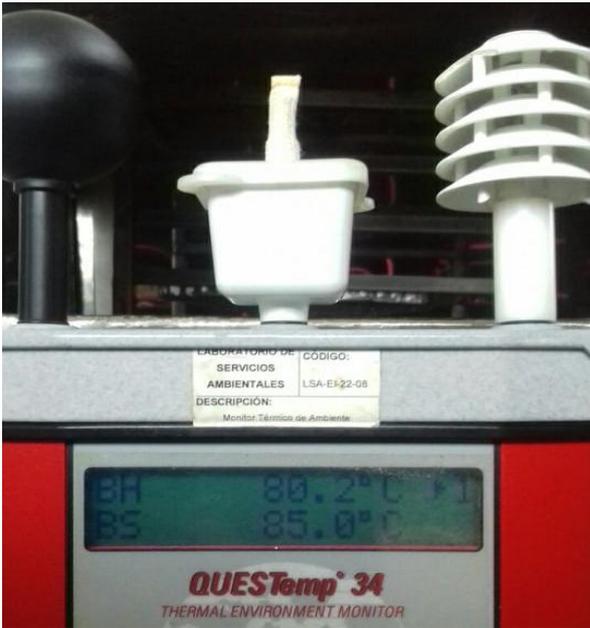
TOMA 3: Muestra fotográfica



TOMA 4: Muestra fotográfica



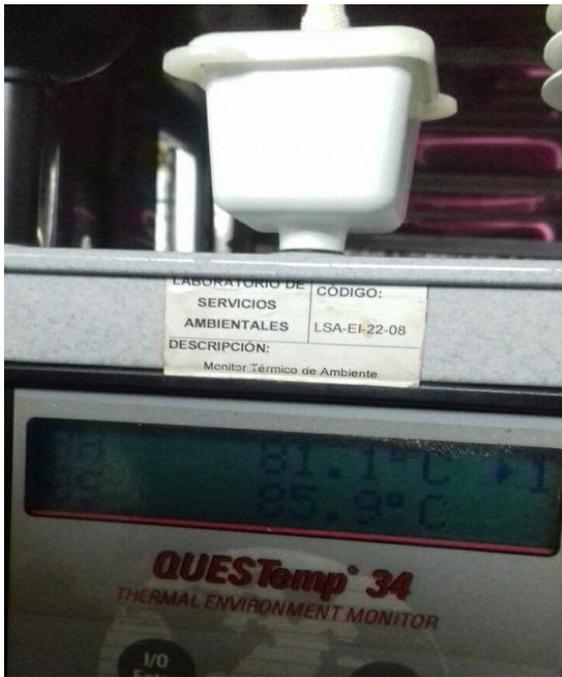
TOMA 5: Muestra Fotográfica



TOMA 6: Muestra fotográfica



TOMA 7: Muestra fotográfica



9.6 Anexo 6 Secado de manzana verde con PLC

SECADO DE MANZANA VERDE CON PLC

En este caso se realizan ensayos tanto con una bandeja sin perforar, como con una bandeja perforada, y así comprobar si el tiempo de secado varía entre las dos bandejas. Los materiales a utilizar son:

9.6.1 Materiales

- 1 bandeja una perforada con orificios de 0,635 cm de diámetro, distribuidos en el área de la misma. Su área es de $(0,32 \times 0,285) m^2$
- 1 bandeja sin perforar. Su área es de $(0,32 \times 0,285) m^2$
- Cuchillo o estilete
- 100 gramos de manzana verde.

9.6.2 Máquinas y equipos

- Anemómetro.
- Balanza digital.
- Sistema de control con PLC.
- Medidor de estrés térmico con las siguientes características:

MARCA	QUESTemp de 3M
MODELO	34
MATRICULA	13053043147
CERTIFICACION	921
FECHA DE ULTIMA CALIBRACIÓN	29-08-2012
SIGUIENTE CALIBRACIÓN	29-08-2013

- Secador de bandejas

9.6.3 Procedimiento

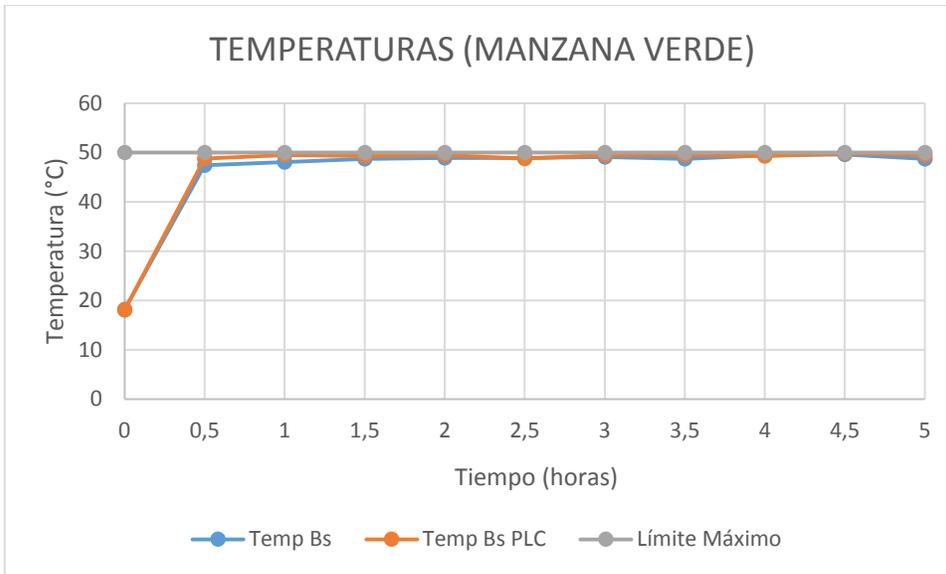
- Colocar el medidor de estrés térmico QUESTemp a la salida del secador 30 minutos antes de iniciar con la práctica.
- Conectar el secador.
- Colocar en ON el interruptor de paso para encender el sistema
- Configurar la temperatura deseada. En caso de conocer el tiempo de secado se puede configurarlo.
- Colocar 100 gramos de manzana verde; se colocarán los 100 gramos tanto para la bandeja perforada como para la bandeja sin perforar.
- Colocar la muestra en la bandeja
- Encender el secador y colocar la bandeja.
- Cada 30 minutos (0,5 horas) realizar mediciones de peso respectivo, esto se lo realizará sin considerar a la bandeja, se pesará solamente la muestra.
- Cada 30 minutos (0,5 horas) verificar las mediciones de temperatura tanto de bulbo seco como de bulbo húmedo a la salida del secador, y comprobarlas con la lectura en la LOGO TD

Cuando en un intervalo exista una variación entre 1 a 3 gramos se considera que el peso se ha vuelto constante, por lo que ahí se determinará el tiempo real de secado.

En el último intervalo medir la velocidad del aire a la salida del secador.

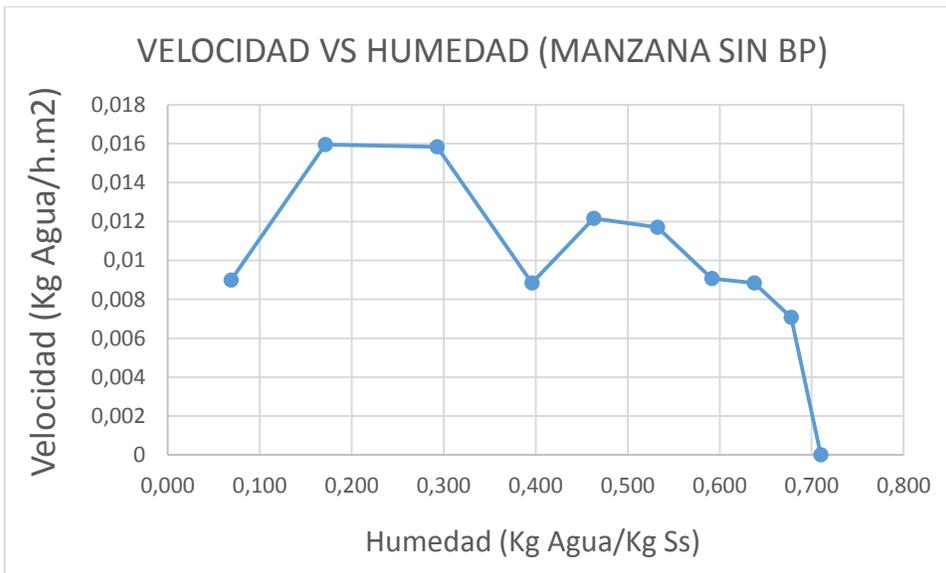
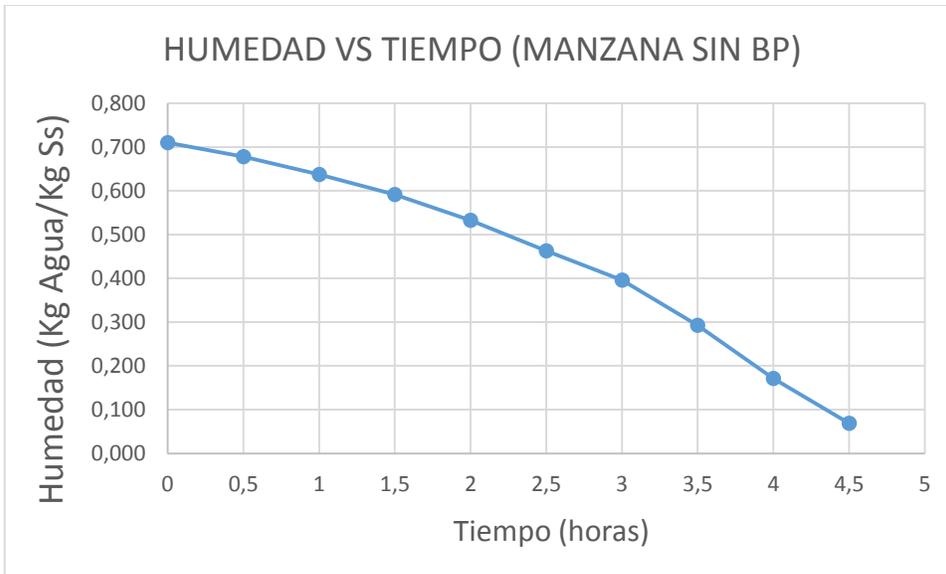
9.6.4 Resultados

MANZANA VERDE	P(g)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
PESO SIN BANDEJA PERFORADA	0,1	0,09	0,08	0,071	0,062	0,054	0,048	0,041	0,035	0,031	0,029
PESO CON BANDEJA PERFORADA	0,1	0,086	0,076	0,066	0,057	0,05	0,044	0,038	0,033	0,029	0,028
T. bulbo húmedo	15,8	40,4	46,4	47,3	47,5	47,8	47,9	47,3	47,6	49,3	47,3
T. bulbo seco	18,2	47,4	48,1	48,7	48,9	48,9	49,1	48,7	49,4	52,3	48,7
T bulbo seco PLC	18,1	48,8	49,5	49,3	49,5	48,8	49,5	49,5	49,3	53,3	49,5
T. cámara de secado	18,2	50,8	50,3	51,9	50,5	48,2	50	47,4	48,1	48,3	47,4

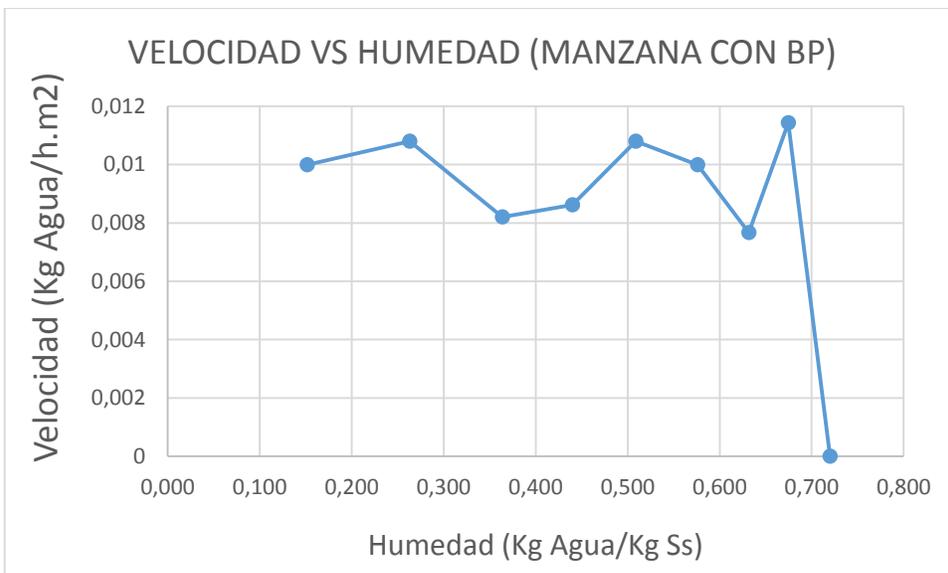
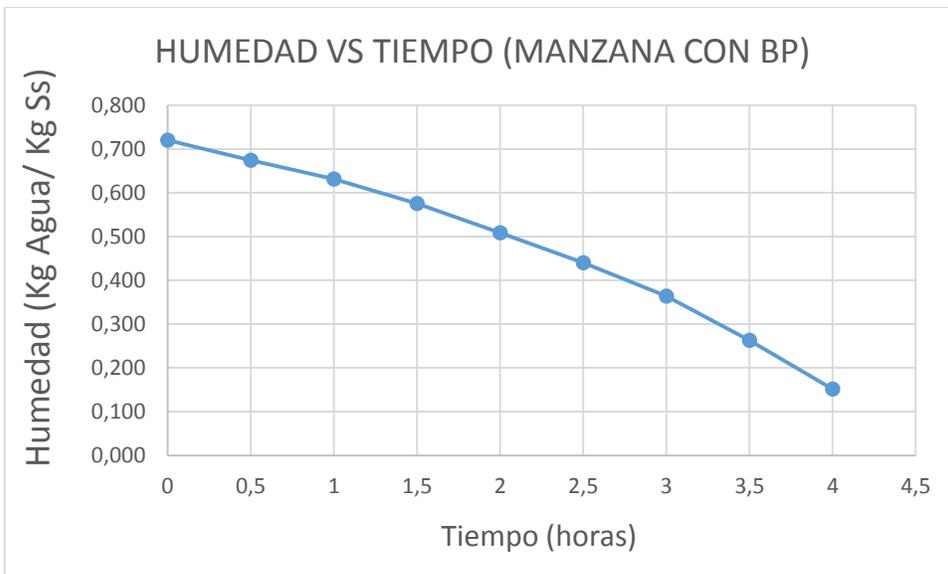


La temperatura máxima de secado recomendada por la UNESCO para la manzana verde es de 50°C, tanto las lecturas del medidor de estrés térmico como del termo sensor asociado al PLC son muy cercanas, con un margen de error de +- 0,5 grados.

SIN BANDEJA PERFORADA	Tiempo (h)	Xt	S. Seco usado	HUMEDAD	Δx	Δt	R
	0			0,710			
	0,5	2,448	0,010	0,678	-0,032	0,5	0,0071
	1	2,103	0,010	0,638	-0,040	0,5	0,0088
	1,5	1,759	0,009	0,592	-0,046	0,5	0,0091
	2	1,448	0,009	0,532	-0,059	0,5	0,0117
	2,5	1,138	0,008	0,463	-0,069	0,5	0,0122
	3	0,862	0,006	0,396	-0,067	0,5	0,0088
	3,5	0,655	0,007	0,293	-0,103	0,5	0,0158
	4	0,414	0,006	0,171	-0,121	0,5	0,0160
	4,5	0,207	0,004	0,069	-0,102	0,5	0,0090

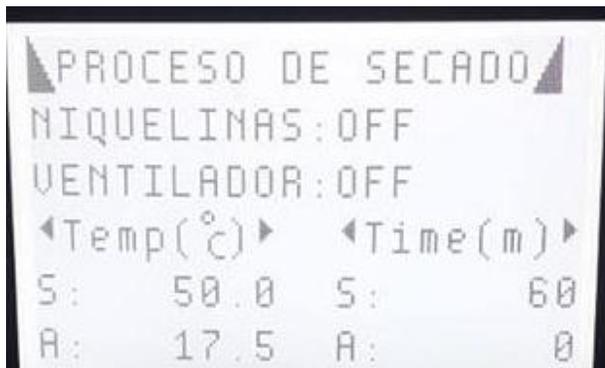


CON BANDEJA PERFORADA	Tiempo (h)	Xt	S. Seco usado	HUMEDAD	Δx	Δt	R
	0			0,720			
	0,5	2,571	0,014	0,674	-0,046	0,5	0,0114
	1	2,071	0,010	0,632	-0,043	0,5	0,0077
	1,5	1,714	0,010	0,576	-0,056	0,5	0,0100
	2	1,036	0,009	0,509	-0,067	0,5	0,0108
	2,5	0,786	0,007	0,440	-0,069	0,5	0,0086
	3	0,571	0,006	0,364	-0,076	0,5	0,0082
	3,5	0,357	0,006	0,263	-0,100	0,5	0,0108
	4	0,179	0,005	0,152	-0,112	0,5	0,0100

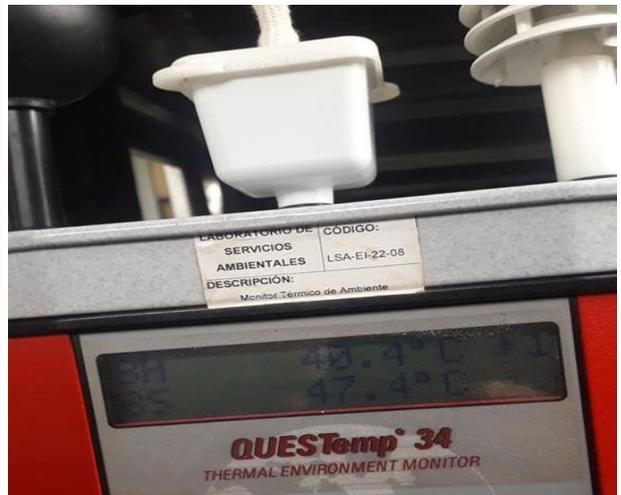
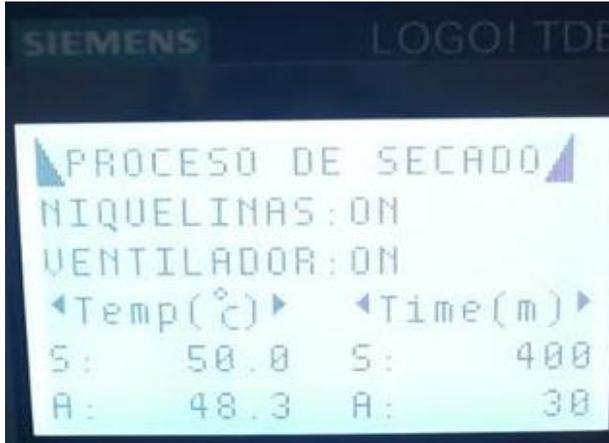


9.6.5 Evidencia

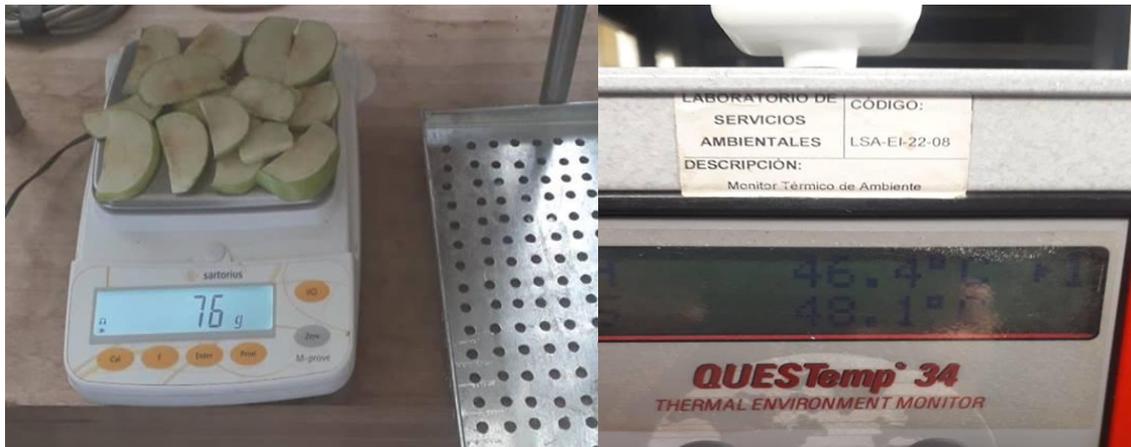
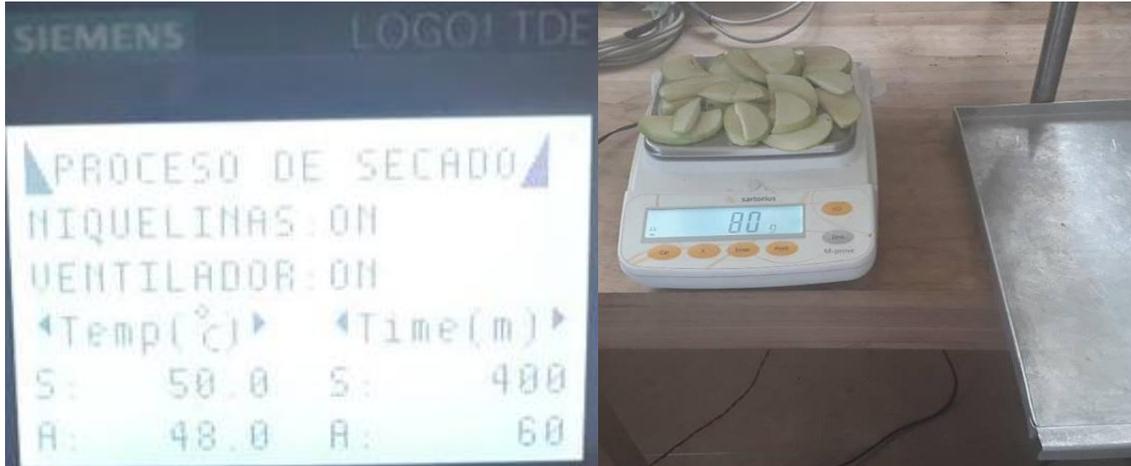
INICIAL: Muestra fotográfica



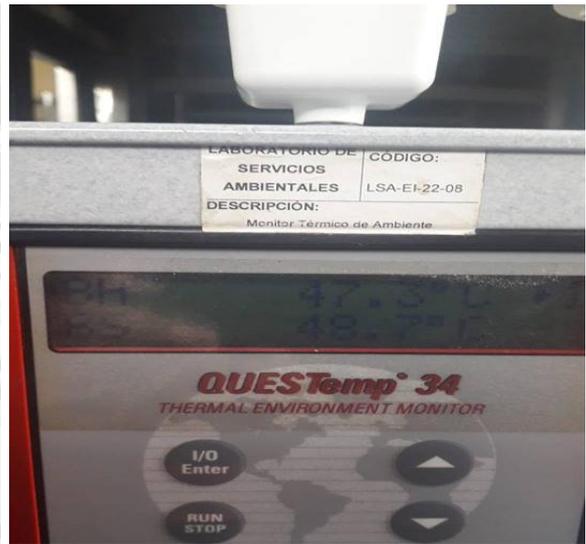
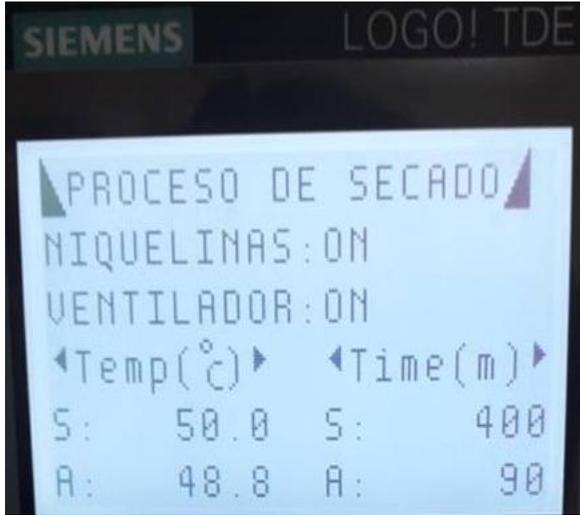
TOMA 1: Muestra fotográfica



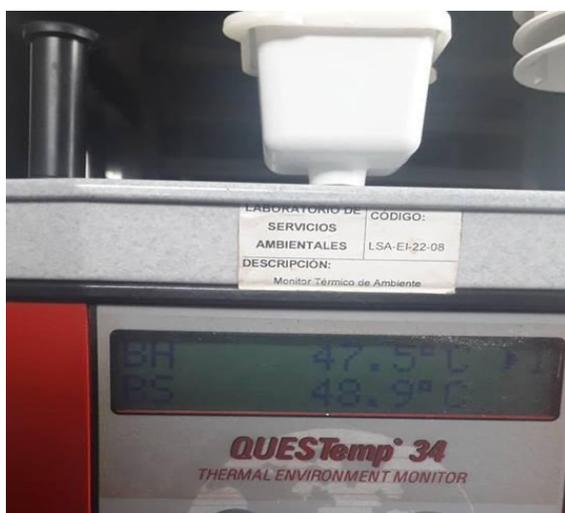
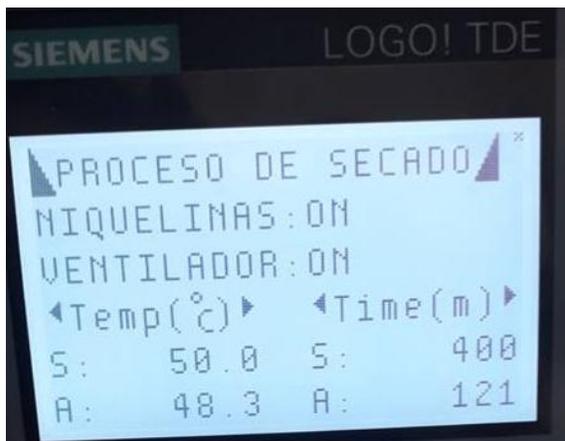
TOMA 2: Muestra Fotográfica



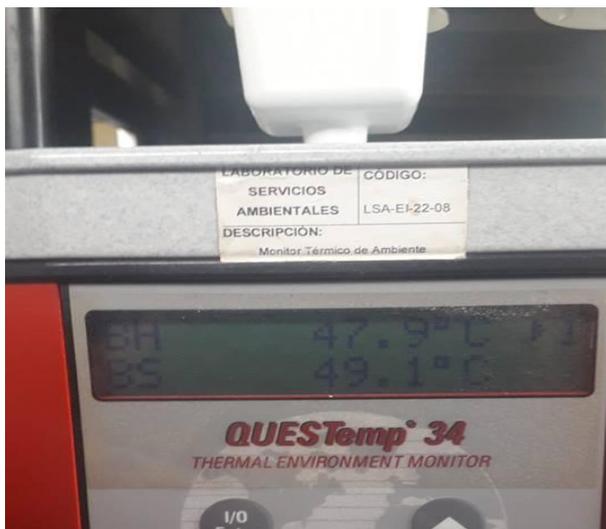
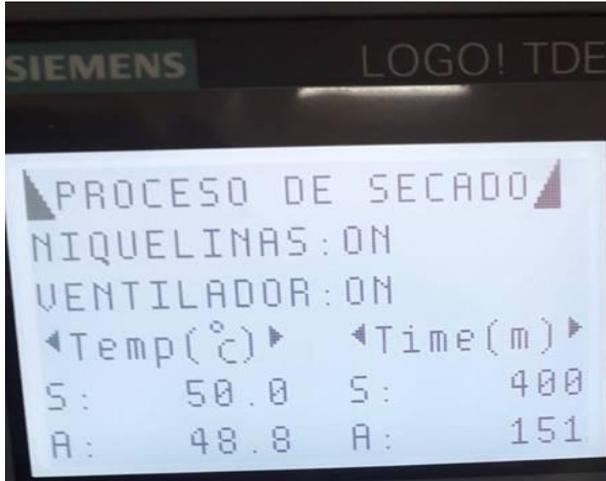
TOMA 3: Muestra fotográfica



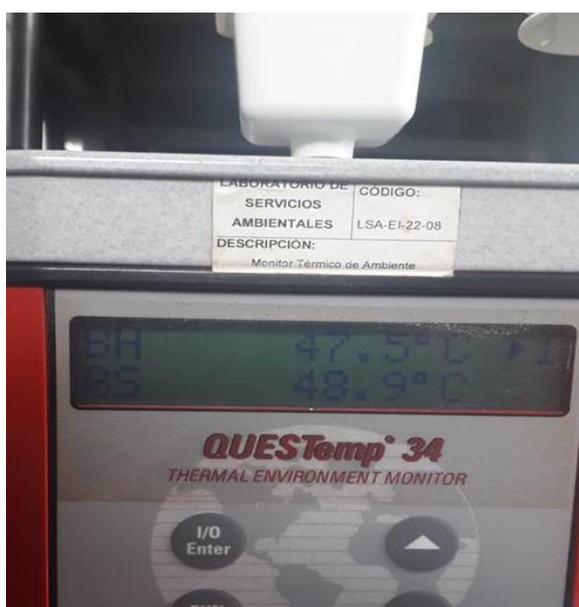
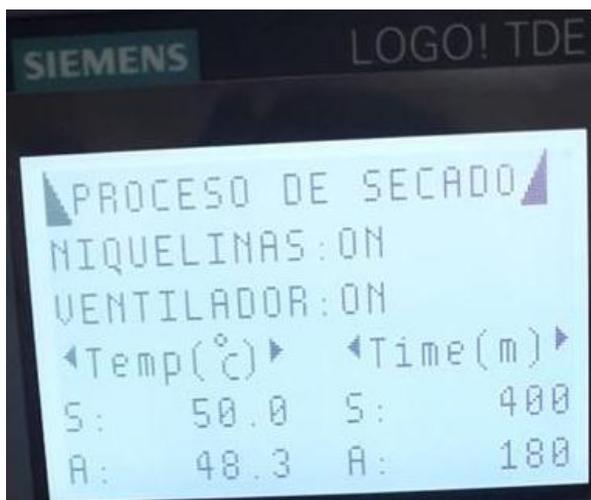
TOMA 4: Muestra fotográfica



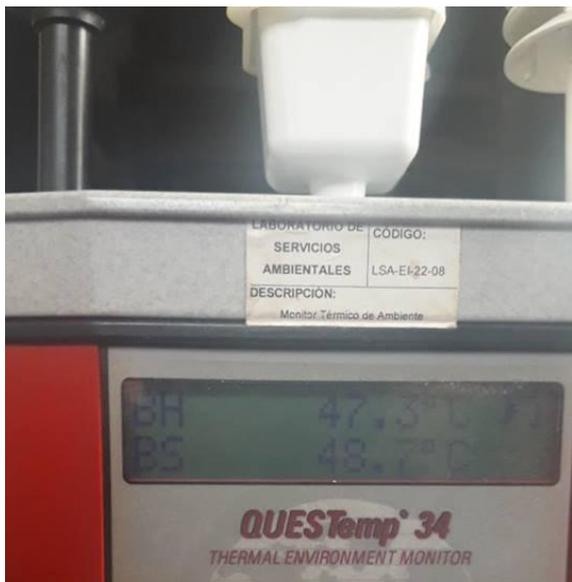
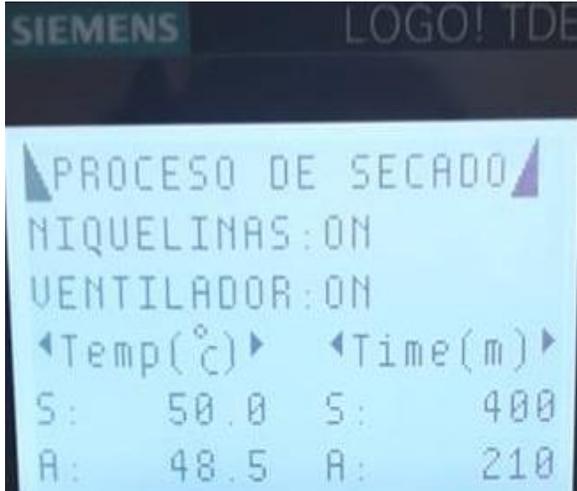
TOMA 5: Muestra fotográfica



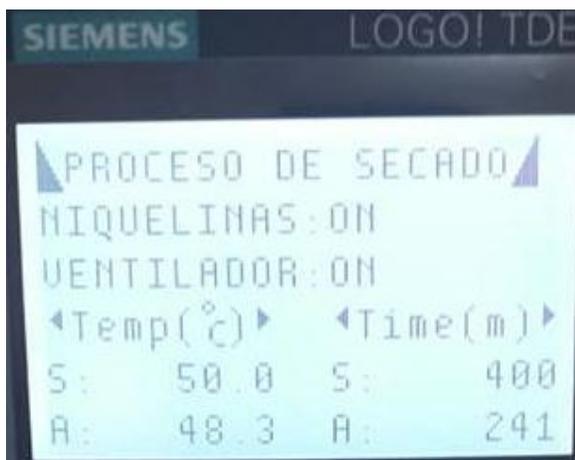
TOMA 6: Muestra fotográfica



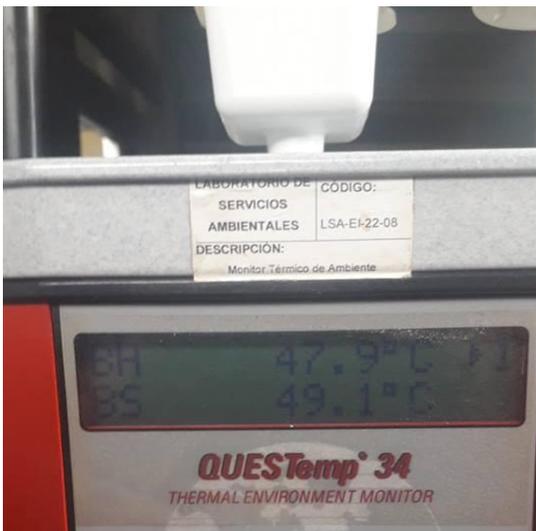
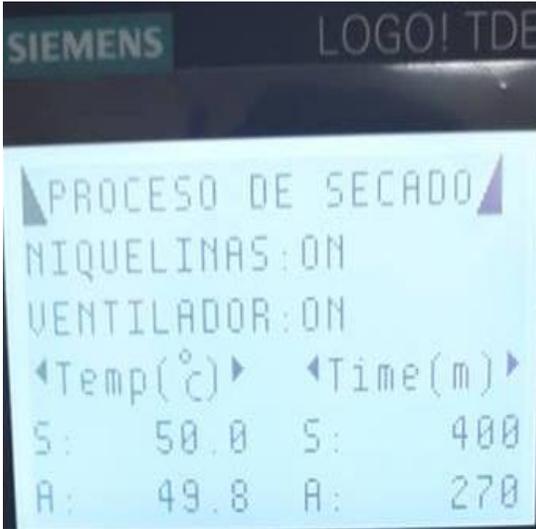
TOMA 7: Muestra fotográfica



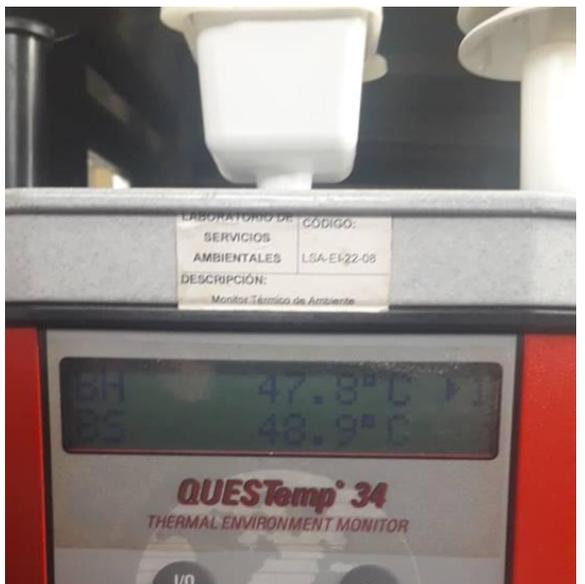
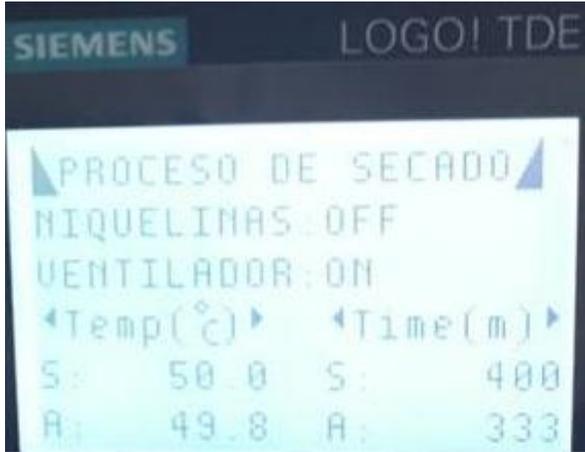
TOMA 8: Muestra fotográfica



TOMA 9 Muestra fotográfica



TOMA 10: Muestra fotográfica



9.7 Anexo 7: MANUAL DE OPERACIÓN DEL SECADOR

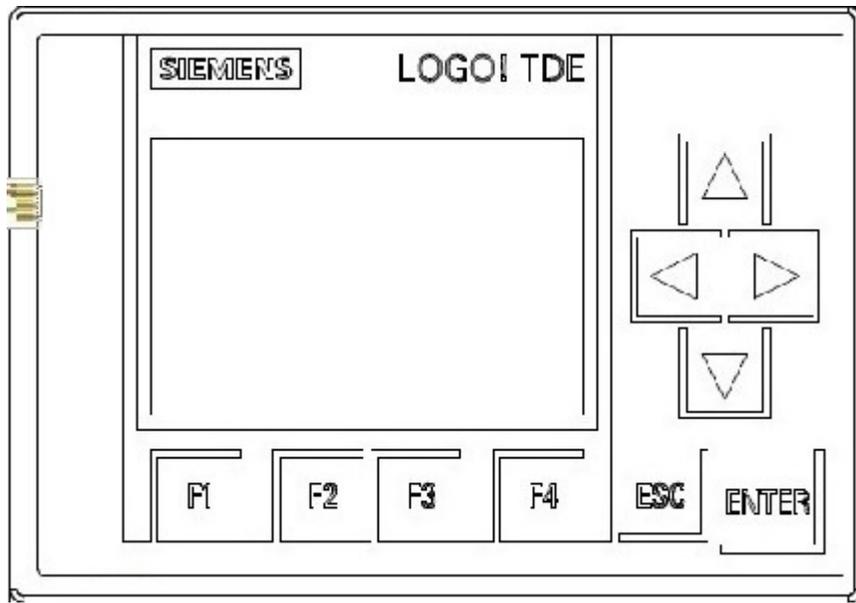
Para poder operar y configurar el secador de acuerdo a la necesidad de cada usuario es necesario conocer el siguiente instructivo.

Paso 1.- Conectar el secador.

Paso 2.- Girar el interruptor ubicado en la parte superior derecha, a modo ON, esto sirve para dar energía al sistema.



Paso 3.- Configurar el LOGO TD con la temperatura requerida. Si el usuario quiere determinar el tiempo de secado se recomienda setear el tiempo a 480 minutos. Si el usuario conoce el tiempo de secado puede setearlo en la misma interfaz.



TECLA	FUNCIÓN
F1	Aumenta la temperatura a setear
F2	Disminuye la temperatura a setear
F3	Aumenta el tiempo a setear
F4	Disminuye el tiempo a setear

Paso 4.- Una vez puesto el producto en la cámara de secado, y programado temperatura y tiempo, pulsar el botón verde de inicio verificando que el botón de paro esté girado hacia la derecha



Paso 5.- Una vez culminada la práctica, se debe pulsar el botón de paro, colocar al interruptor de la parte superior derecha a modo OFF, y desconectar el secador



9.8 Anexo 8; Costos



R.U.C.: 1792355974001

FACTURA

No. 001-999-000001186

NÚMERO DE AUTORIZACIÓN

0901201901179235597400120019990000011861234567814

AMBIENTE: PRODUCCIÓN

EMISIÓN: Normal

CLAVE DE ACCESO



0901201901179235597400120019990000011861234567814

INDUMATIC CIA LTDA

INDUMATIC CIA LTDA

Matriz: Av. General Rumiñahui 1230 y Giovanni ~~Pariso~~, San Rafael
Establecimiento: Av. General Rumiñahui 1230 y Giovanni ~~Pariso~~, San Rafael

OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD: SI

nombre: ~~COMPRAS~~ ~~COMPRAS~~

Identificación: 0603980343

fecha emisión: 09/01/2019

Código	Cantidad	Descripción	precio unitario	desc.	precio total
100323222	1.000000	6x1033-1x1033-0x1033 1000 AM2 2x2 2x2	103.000000	43.00	106.40
100411201	1.000000	6x1033-4x1033-0x1033 10004 2x 2x2x2x2 2 partes 2x2	130.000000	69.00	161.00
100423227	1.000000	fuente de potencia 1000 2.5a 120-230v-24vac, 6x2332-	100.000000	36.00	64.00
232012	1.000000	transformador 2x2 2x2	78.000000	22.00	53.00
100411772	1.000000	6x1033-1x1033-0x1033 10004 12/24 2x2 2x2 (4x2)/4x2	114.000000	64.00	149.00
23222	1.000000	23222	3.000000	0.00	3.00

información adicional Cliente	
dirección:	COMPRAS COMPRAS
teléfono:	0991601965
email:	diego.lopez.1988@gmail.com
vendedor:	002
Orden de Compra:	2/2
nota 1:	no se afectan campos de devoluciones ni ajustes y descuentos
nota 2:	-
nota 3:	-

Subtotal IVA 12%	339.40
Subtotal IVA 0%	0.00
total	0.00
Subtotal Sin impuestos	339.40
total impuesto	237.00
IVA	0.00
IVA 12%	67.13
PROFITA	0.00
total	626.53

información formas de pago		
Forma pago	valor	plazo (días)
COMPRAS COMPRAS COMPRAS	626.53	30