



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE CONTROL  
AUTOMÁTICO PARA EL SECADOR POR ATOMIZACION PARA LA  
OBTENCION DE UN COLORANTE NATURAL A PARTIR DE LA  
REMOLACHA DEL LABORATORIO DE PROCESOS  
INDUSTRIALES”**

Trabajo de titulación presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA QUÍMICA**

**AUTORES:** SAMANTA ESTHEFANIA QUINTANILLA ARMIJO  
CARLA ISABEL TOLEDO ALVAREZ

**TUTOR:** ING. HANNIBAL BRITO

**Riobamba – Ecuador**

**2016**

© 2015, Quintanilla S.; Toledo C.

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

## DEDICATORIA

Dedico esta tesis principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi madre y a mi padre Llaneth y Oswaldo por ser las personas que me ha acompañado durante toda mi trayectoria estudiantil y de vida, mi hermana Shirley que ha sido mi fortaleza y apoyo, mi familia en general porque me han brindado su apoyo incondicional, a mi compañera y amiga Carlita porque sin el equipo que formamos, no hubiéramos logrado esta meta.

Al amor de mi vida Alejo por ser mi apoyo incondicional en la recta final y más importante de esta etapa de mi carrera, pero principalmente quiero dedicarle esta tesis a mis dos angelitos por los cuales luchare cada día de mi vida

Samanta Estefanía quintanilla Armijo

Al culminar una de las etapas más importantes en mi vida quiero Dedicar primeramente a mi madre y padre Margarita y Carlos por ser mi fortaleza en cada paso dado a lo largo de mi vida, a mis abuelitos Roque y Luisa que sin su ayuda, no sería lo que soy hoy, a mi hermana Fernanda por ser mi modelo a seguir e impulsarme a luchar cada día, a toda mi familia porque siempre fueron el pilar fundamental de mi vida de manera especial a mis tíos Antonio y Miriam por el apoyo incondicional que me han brindado, al amor de mi vida Diego por ser mi soporte, a mi compañera y amiga Samy porque gracias a los esfuerzos realizados se logró esta meta.

Pero principalmente quiero dedicar a mi pequeña guerrera Monse porque desde que llegó a alegrarme, me ha enseñado que la vida se trata de luchar a diario gracias pequeña mía por ser mi inspiración diaria.

Carla Isabel Toledo Alvarez

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por ser nuestra fuente de conocimientos los cuales serán nuestra fortaleza para el desempeño laboral, a los Ingenieros Hannibal Brito y Mónica Andrade por su valiosa guía y asesoramiento en la realización del presente trabajo.

Gracias a todas las personas que ayudaron directa e indirectamente para la culminación del proyecto.

## **DECLARACION DE AUTENTICIDAD**

Nosotras, Samanta Estefanía Quintanilla Armijo y Carla Isabel Toledo Alvarez, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autoras, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 31 de Mayo del 2016

---

SAMANTA ESTHEFANIA QUINTANILLA ARMIJO

060439821-4

---

CARLA ISABEL TOLEDO ÁLVAREZ

0604235515

# TABLA DE CONTENIDO

CONTENIDO.....	Pp.
OBJETIVOS.....	XX
GENERAL .....	XX
ESPECIFICO .....	XX
1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	2
1.1 Sistema de control de procesos .....	2
1.1.1 Topologías de control.....	3
1.1.2 Elementos de un proceso automatizado.....	4
1.2. Secado .....	7
1.2.1. Secado por atomización.....	8
1.3. Colorantes.....	9
1.3.1. Introducción .....	9
1.3.2. Betalainas.....	10
1.3.3. Microencapsulación de betalainas.....	12
1.3.4. Remolacha (Beteraba) .....	14
1.3.4.1. Generalidades .....	14
1.3.4.2. Variedades.....	16
1.4. Diseño.....	17
1.4.1. DIAGNÓSTICO DEL CONTROL AUTOMÁTICO .....	17
1.4.2. Balance de masa.....	19
1.4.2.1.1. Balance de energía .....	22
1.4.2.1.2. Diámetro de la gota. ....	23
1.4.2.1.5. Tiempo de secado.....	28
1.4.2.1.7. Calor transferido a la gota durante el tiempo de viaje. ....	31
1.4.2.1.8. Calor necesario para secar la alimentación .....	32
1.4.3. Eficiencias .....	33
1.4.4. Recuperación de solidos.....	34
1.4.5. Rendimiento.....	34

1.4.6.	<i>Productividad</i> .....	34
2	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	36
2.1	<b>Muestreo</b> .....	36
2.2	<b>Metodología</b> .....	36
2.2.1	<i>Métodos</i> .....	36
2.2.1	<i>Muestreo de temperatura</i> .....	50
2.3.	<i>Datos adicionales</i> .....	52
3.	<b>CÁLCULOS Y RESULTADOS</b> .....	53
3.2.	<b>CONTROL AUTOMÁTICO</b> .....	53
3.3.	<i>Balace de masa y energía</i> .....	55
3.3.1.	<i>Diámetro de la gota</i> .....	59
3.3.2.	<i>Humedad y temperatura del aire en el punto crítico</i> .....	60
3.3.3.	<i>Tiempo de secado</i> .....	61
3.3.4.	<i>Calor transferido a la gota durante el tiempo de viaje</i> .....	63
3.3.5.	<i>Calor necesario para secar la alimentación</i> .....	63
3.3.6.	<i>Recuperación de solidos</i> .....	64
3.3.7.	<i>Rendimiento</i> .....	64
3.3.8.	<i>Producción</i> .....	64
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	73
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	74

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1</b>	Sistema de control de lazo abierto.....	3
<b>Figura 2-1</b>	Sistema de control de lazo cerrado.....	4
<b>Figura 3-1</b>	Elementos básicos de un proceso automatizado.....	5
<b>Figura 4-1</b>	Elementos de entradas de órdenes.....	6
<b>Figura 5-1</b>	Ejemplos de accionadores usados en sistemas de control de procesos...	7
<b>Figura 6-1</b>	Betalainas.....	11
<b>Figura 7-1</b>	Betacianinas.....	11
<b>Figura 8-1</b>	Betaxantinas.....	12
<b>Figura 9-1</b>	Remolacha.....	15
<b>Figura 10-1</b>	Diagrama de flujo del secador por atomización.....	19
<b>Figura 11-1</b>	Formación de gránulos.....	25
<b>Figura 17-3</b>	Diagrama de flujo de la cámara de secado.....	55



## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1</b>	<b>Cuantificación</b> de las betacianina (540nm) y betaxantinas (478nm).....	10
<b>Tabla 2-1</b>	Valor nutricional de la remolacha.....	15
<b>Tabla 3-1</b>	Correlaciones para el cálculo de calor específico de los alimentos en función de las temperaturas (-40°C a 150°C).....	22
<b>Tabla 4-1</b>	Fórmulas de capacidad calorífica para el agua y el aire.....	33
<b>Tabla 5-2</b>	Determinación del porcentaje de sólidos y de humedad.....	38
<b>Tabla 6-2</b>	Determinación de densidad del extracto de remolacha.....	39
<b>Tabla 7-2</b>	Determinación de densidad de la remolacha en polvo.....	40
<b>Tabla 8-2</b>	Determinación de viscosidad dinámica mediante el viscosímetro.....	41
<b>Tabla 9-2</b>	Determinación de grados Brix (°Bx) del extracto de la remolacha.....	42
<b>Tabla 10-2</b>	Determinación de la tensión superficial mediante el método del capilar	43
<b>Tabla 11-2</b>	Determinación de la Higroscopia del colorante de remolacha en polvo..	44
<b>Tabla 12-2</b>	Determinación de solubilidad del colorante de remolacha en polvo.....	45
<b>Tabla 13-2</b>	Determinación del tamaño de partículas del colorante de remolacha en polvo.....	46
<b>Tabla 14-2</b>	Determinación de características organolépticas del colorante de remolacha en polvo.....	47
<b>Tabla 15-2</b>	Espectrofotometría de absorción uv-visible.....	48
<b>Tabla 16-2</b>	Espectrofotometría de absorción infrarroja.....	49
<b>Tabla 17-2</b>	Muestreo de Temperatura para el diseño del sistema de Control Automático.....	50
<b>Tabla 18-2</b>	Datos experimentales del extracto de la remolacha.....	51
<b>Tabla 19-2</b>	Datos experimentales del secador por atomización.....	51
<b>Tabla 20-2</b>	Datos adicionales generales.....	52
<b>Tabla 21-2</b>	Datos adicionales del extracto de remolacha 21°C.....	52
<b>Tabla 22-2</b>	Datos adicionales del aire.....	52
<b>Tabla 23-2</b>	Datos adicionales del agua.....	52
<b>Tabla 24-3</b>	Resultados Automatización.....	66
<b>Tabla 25-3</b>	Resultados de ensayos para comparación de parámetros.....	67
<b>Tabla 26-3</b>		

	Resultados de ensayos del secador por atomización automatizado/ sin automatizar.....	69
<b>Tabla 27-3</b>		70
<b>Tabla 28-3</b>	Resultados de eficiencias Automatizado/ sin automatizar.....	
	Resultados de Producción de remolacha en polvo automatizado/ sin automatizar.....	71

## TABLA DE CONTENIDO DE ANEXOS

<b>ANEXO</b>	<b>CONTENIDO</b>
I	ANÁLISIS ORGANOLÉPTICO
II	DENSIDAD DE LÍQUIDO
III	DENSIDAD DE SOLIDOS
IV	FICHA TECNICA SENSOR- TRANSMISOR
V	FICHA TECNICA CONTROLADOR
VI	ESPECTROFOTOMETRÍA UV – VISIBLE
VII	ESPECTROMETRÍA INFRARROJA
VIII	GRADOS BRUX
IX	HIGROSCOPIA
X	SOLUBILIDAD
XI	TENSIÓN SUPERFICIAL
XII	VISCOSIDAD DINÁMICA
XIII	HUMAN MACHINE INTERFACE
XIV	ATOMIZADOR
XV	ATOMIZADOR
XVI	ESPECTROMETRÍA INFRARROJO
XVII	ESPECTROMETRÍA INFRARROJO
XVIII	ESPECTROMETRÍA INFRARROJO
XIX	ESPECTROMETRÍA UV-VISIBLE
XX	ESPECTROMETRÍA UV-VISIBLE

## ABREVIATURAS

ABREVIATURA	SIGNIFICADO
<i>A</i>	Aire, área ( $m^2$ )
<i>a</i>	Ancho ( $m$ )
<i>b</i>	Ancho de un chorro de aire que sale del atomizador ( $m$ )
<i>bh</i>	Bulbo húmedo ( $^{\circ}C$ )
<i>C</i>	Caudal ( $m^3/s$ )
$^{\circ}C$	Grados Centígrados
<i>Cp</i>	Calor específico (KJ/Kg. $^{\circ}C$ ) (KJ/Kg. $^{\circ}K$ )
<i>Cv</i>	Calor específico del vapor de agua (KJ/Kg. $^{\circ}C$ ) (KJ/Kg. $^{\circ}K$ )
<i>cm</i>	Centímetro
<i>D</i>	Diámetro ( $m$ )
<i>D<sub>c</sub></i>	Diámetro del ciclón ( $m$ )
<i>D<sub>co</sub></i>	Diámetro del sifón de la cámara de secado ( $m$ )
<i>D<sub>cs</sub></i>	Diámetro de la cámara de secado ( $m$ )
<i>D<sub>e</sub></i>	Diámetro del freno ( $m$ )
<i>DE</i>	Equivalente de dextrosa
DIN	Instituto Alemán de Normalización
<i>d</i>	Distancia ( $m$ )
<i>dyn</i>	Dina ( $g \cdot cm/s^2$ )
Eq.	Estructura química
<i>e</i>	Espacios ( $m$ )
FDA	<i>Food and Drug Administration</i>
<i>f</i>	Filas
<i>g</i>	Gravedad ( $cm/s^2$ )
<i>H</i>	Entalpía (KJ/Kg), altura(m)
<i>H<sub>c</sub></i>	Altura del freno ( $m$ )
<i>h</i>	Hora, entalpia (KJ/Kg)

$h_c$	Coefficiente convectivo ( $W/m^2$ )
$H_{co}$	Altura del cono ( $m$ )
$h_{conv-rad}$	Coefficiente combinado ( $W/m^2$ )
$H_{cl}$	Altura del barril de la cámara de secado ( $m$ )
$H_{cs}$	Altura de la cámara de secado ( $m$ )
$h_f$	Pérdidas de energía del sistemas por fricción ( $m$ )
$h_{fL}$	Pérdidas longitudinales ( $m$ )
$h_{fm}$	Pérdidas por accesorios ( $m$ )
$HP$	Caballos de fuerza
$h_{rad}$	Coefficiente de radiación ( $W/m^2$ )
$H_2O$	Agua
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
$plg$	Pulgada
$J$	Joule
$K$	Constante de accesorios
$k$	Conductividad ( $W/m^{\circ}C$ ) ( $W/m^{\circ}K$ )
$^{\circ}K$	Grados Kelvin
$Kg$	Kilogramo
$KW$	Kilowatt
$L$	Longitud ( $m$ ), litros
$L_c$	Longitud del barril ( $m$ )
$Ln$	Logaritmo natural
<b>MX</b>	México
$m$	Metro
$\dot{m}$	Flujo másico ( $Kg/s$ )
$mmca$	Milímetros de columna de agua
$N$	Número de elementos
$N_{Re}$	Número de Reynolds
$\dot{P}$	Potencia (W)
$P$	Presión (Pa), (mmca)

<b><i>Pa</i></b>	Pascal
<b><i>Q</i></b>	Calor (J/s)
<b><i>R</i></b>	Remolacha
<b><i>RS</i></b>	Sólido seco en la remolacha
<b><i>Rs</i></b>	Resistencia (K/W)
<b><i>r</i></b>	Radio ( <i>m</i> )
<b><i>S<sub>c</sub></i></b>	Diámetro del sifón del ciclón ( <i>m</i> )
<b><i>SA</i></b>	Sólido seco en la alimentación (%)
<b><i>SP</i></b>	Sólido seco en el producto (%)
<b><i>ss</i></b>	Sólido seco ( <i>Kg</i> )
<b><i>s</i></b>	Segundos
<b><i>T</i></b>	Temperatura (°C)
<b><i>t</i></b>	Tiempo (s)
<b><i>u</i></b>	Velocidad relativa del gas con respecto al líquido (m/s)
<b><i>V</i></b>	Volumen ( <i>m</i> <sup>3</sup> )
<b><i>Ṽ</i></b>	Flujo volumétrico ( <i>L/h</i> )
<b><i>v</i></b>	Velocidad ( <i>m/s</i> )
<b><i>X</i></b>	Humedad en base seca ( <i>Kg H<sub>2</sub>O/Kg ss</i> )
<b><i>W</i></b>	Watts, potencia ( <i>J/s</i> )
<b><i>W<sub>esp</sub></i></b>	Energía mecánica específica ( <i>m</i> <sup>2</sup> / <i>s</i> )
<b><i>z<sub>c</sub></i></b>	Altura del cono del ciclón ( <i>m</i> )
<b><i>z<sub>1</sub></i></b>	Altura de succión ( <i>m</i> )
<b><i>z<sub>2</sub></i></b>	Altura de descarga ( <i>m</i> )

## SÍMBOLOS

### SÍMBOLO SIGNIFICADO

$\lambda$	Calor latente de vaporización (J/Kg)
$\varepsilon$	Coefficiente de emisividad
$\varnothing$	Diámetro
$\rho$	Densidad ( $Kg/m^3$ )
$\Phi$	Humedad relativa Kg $H_2O$ /Kg <i>as</i>
$\alpha_p$	Humedad remanente de la gota (Kg)
$\alpha_r$	Humedad removida de la gota cuando se alcanza el punto crítico (Kg)
$\Delta$	Media logarítmica ( $^{\circ}C$ )
$\pi$	Pi
%	Porcentaje
$\Sigma$	Sumatoria
$\gamma$	Tensión superficial, constante de Stefan-Boltzmann
$\mu$	Viscosidad dinámica (cP)

## RESUMEN

Se realizó el diseño e implementación de un sistema de control automático para el secador por atomización, el mismo que se encuentra en el laboratorio de procesos industriales de la Facultad de Ciencias. Para ello partimos de la ecuación de balance de energía del proceso en estado dinámico y estado estacionario, obteniendo el diagrama de bloques y la función de transferencia con lo que se decidió que tipo de automatización se implementaría al proceso. Para la selección de las variables de proceso a controlar se realizó el diagnóstico de la funcionalidad del equipo en busca de fallas e impedimentos para la implementación del sistema de control. De esta manera se automatizaron las variables de proceso: temperatura, y porcentaje de volumen de aire de entrada. Como controlador se usó un **WIKA AC 85.02** controlador ON-OFF, que controla el proceso por programación lógica. Para medir la temperatura, se utilizó un TAD181 | TAD088KLES30-A-ZKG/U como sensor/transmisor. Para prestar mayor facilidad para el ingreso y monitoreo de las variables de proceso se implementó la pantalla HMI táctil. Para el ajuste del sistema de control se realizaron prácticas de validación del equipo, en las que se elaboraron pruebas con extracto de remolacha y maltodextrina en concentración de 50% P/P respectivamente. Con los resultados de las prácticas se obtuvieron rendimientos de 0,33 kg de colorante / kg de extracto. La eficiencia de recuperación de sólidos aumento en un 73% sin sistema de control a 92,06% con el proceso controlado. Para el uso del secador por atomización se recomienda trabajar a 120°C.

**Palabras clave:** <SISTEMA DE CONTROL>, <SECADOR POR ATOMIZACION >, <TEMPERATURA DE SECADO>, <LABORATORIO DE PROCESOS INDUSTRIALES>, <SENSOR/TRANSMISOR>, <RENDIMIENTO>, <Human Machine Interface [HMI]>, <Programmable Logic Controller [PLC]>



## SUMMARY

It was the design and implementation of an automatic control system for dryer spray, which is located in the laboratory of industrial processes in the Faculty of Sciences. So we start from the equation of energy balance of the process in dynamic State and Steady state, obtaining the block diagram and the transfer function with what was decided that kind of automation would be implemented to process. For the selection of process control variables was the diagnosis of the functionality of the equipment in search of flaws and impediments to the implementation of the control system. In this way automated process variables: temperature and percentage of volume of intake air.

As controller was used a WIKA AC 85.02 controller ON-OFF , controlling the process by logic programming A TAD181 is used to measure temperature , / TADO88KLES30-A-ZKG/U as sensor /transmitter . To provide easier entry and monitoring of process variables implemented touchscreen HMI. For the adjustment of the control system were practices of validation of the team , which were drafted tests with extract of beet and maltodextrin in concentration of 50% w/w respectively. With the results of the practices are obtained yields of 0.33 kg of colouring / kg of extract . The recovery efficiency of solid rose 73% without control system to 92,06% with the controlled process. For the use of spray dryer, it is recommended to work at 120 °C .

Clue words: <DRYER FOR ATOMIZATION> <SPRAYERS > <DESIGN PARAMETERS>  
<NATURAL COLORING> <BETALAINS> <BEETROOT [BETA VULGARIS]> <PHYSICAL –  
CHEMICAL ANALYSIS>

## INTRODUCCIÓN

La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en la Facultad de Ciencias tiene a disposición para docentes, asistentes y estudiantes, laboratorios totalmente equipados para las diferentes prácticas en cada nivel.

Uno de los laboratorios de gran importancia es el laboratorio de procesos industriales de la Facultad de Ciencias. Los equipos existentes en este laboratorio son totalmente operativos, pero debido a la falta de un funcionamiento automático en los equipos, existe pérdida de tiempo, energía y como resultado se obtiene una pérdida de la productividad en las operaciones.

Por esta razón diseñó y se implementó un sistema de control automático para el secador por atomización para obtener un colorante natural rojo en polvo, a partir del zumo de la remolacha, equipo diseñado para el laboratorio de procesos industriales de la Escuela de Ingeniería Química Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. El diseño del sistema de control automático del secador por atomización se realizó en base a los balances de energía del proceso y a la detección de fallas localizadas en el equipo, cuyas variables controladas son la temperatura y volumen de aire de entrada en un sistema de control ON-OFF.

Con el propósito de disminuir las pérdidas de masa y energía, es decir un incremento en la eficiencia del equipo, y obtener una mejor productividad para incentivar a la producción a nivel de laboratorio.

## **JUSTIFICACIÓN**

El diseño e implementación de un sistema de control automático para el secador por atomización minimizará aquellas falencias observadas como consecuencia de un funcionamiento manual en el equipo, permitiéndonos obtener un colorante natural en polvo (Betalaína); empleando como materia prima la remolacha, tubérculo que no es ampliamente aprovechada a nivel industrial.

Esta investigación ayudará a obtener un mejor rendimiento y por lo tanto una mayor productividad del equipo mediante el control automático permitiéndonos conocer las diferentes operaciones unitarias que forman parte de los procesos industriales, fortaleciendo los conocimientos teóricos obtenidos. Así de esta manera apoyar el desarrollo de la producción a nivel de laboratorio, incentivando a la automatización de plantas pilotos, contribuyendo a la formación de futuros líderes empresarios del país.

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

- Diseñar e Implementar un sistema de control automático para el secador por atomización para la obtención de un colorante natural a partir de la remolacha del laboratorio de procesos industriales.

### **ESPECIFICO**

- Disminuir las pérdidas de masa y energía del secador por atomización debido a la ausencia de un control automático.
- Definir las variables a controlar para el diseño de control automático del secador por atomización, del laboratorio de procesos industriales.
- Desarrollar una HMI (“Human Machine Interface”) para monitorear el flujo de aire de entrada al secador por atomización del laboratorio de procesos industriales.
- Realizar Cálculos de ingeniería del control de procesos para la automatización del secador por atomización.
- Comparar el proceso modificado con el control automático del secador por atomización con el proceso de control manual, mediante pruebas en el equipo.

## CAPITULO I

### 1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 1.1 Sistema de control de procesos<sup>1</sup>

Los sistemas de control de procesos, son medios tecnológicos que permiten disminuir la cantidad de trabajo necesario, para llevar a cabo un proceso. Cuando hablamos de trabajo, nos referimos, al que es necesario para: evitar daños en el producto y resultados no esperados. Las tareas de monitorización y asignación de ajustes necesarios a las variables operatorias, en los primeros procesos industriales del siglo XVIII, lo realizaban varios operarios por equipo; esto disminuía eficiencia y aumentaba el riesgo de accidentes, que eran comunes en las factorías de aquel siglo. Por la sinergia del proceso, debido a su vulnerabilidad a las perturbaciones y la incertidumbre; resultado de la incapacidad de predecir la respuesta que tendría el proceso, a reajustes de las operaciones, se desarrollaron instrumentos que permitían: medir, decidir y ejecutar acciones de manera automática, sin mayor acción humana que la calibración y sincronización al momento del arranque

En la automatización de un proceso, es necesario tomar decisiones sobre la limitación de las capacidades que tendrá el sistema de control. Delimitar la complejidad, en función de: las necesidades de los usuarios u operarios, la complejidad del proceso, las posibles mejoras futuras, el incremento de la vida útil de los equipos y principalmente el presupuesto, permiten dar un ligero bosquejo sobre cómo podría ser el diseño del sistema de control<sup>2</sup>.

En primera instancia encaminamos el diseño del sistema de control, hacia el uso de controladores PID (*Proporcional, Integral y Derivativo*), pero existen otras soluciones mucho más baratas y sencillas para implementar un sistema de control. En remplazo de un controlador PID, se decidió usar un PLC<sup>3</sup> (*Programmable Logic Controller*), que nos ofrece mayor facilidad de configuración, y además podemos implementar bajo programación, algoritmos que emulen un controlador PID. En el presente apartado, describiremos cada elemento que conforma un sistema de control, usando un PLC como controlador en lugar de un PID. Como anotación sobre los elementos de control necesarios para un sistema con PLC, al final lo único que cambia es el controlador, siendo necesarios: sensores, transductores, elementos finales, etc., con la diferencia en el controlador. Pero en base, al emplear un PLC, el fundamento de control deja de emplear los mismos principios del control PID, y estos pasan a ser, el uso de un algoritmo lógico; usando un lenguaje de programación de tipo IL<sup>4</sup> (*Instruction List*) o Ladder<sup>5</sup> (*Lenguaje de*

---

<sup>1</sup> Lenguaje de programación gráfico basado en esquemas eléctricos de control clásicos

<sup>2</sup> PATIÑO T./VILLACIS M.(2015) *Diseño de un sistema de control automático para su implementación en el evaporador de simple efecto con serpiente del laboratorio de procesos industriales de la facultad de ciencias, ESPOCH*

<sup>4</sup> Lista de instrucciones, comprende una secuencia de acciones que se ejecutan, en función de condiciones programadas.

<sup>5</sup> Lenguaje de programación gráfico basado en esquemas eléctricos de control clásicos

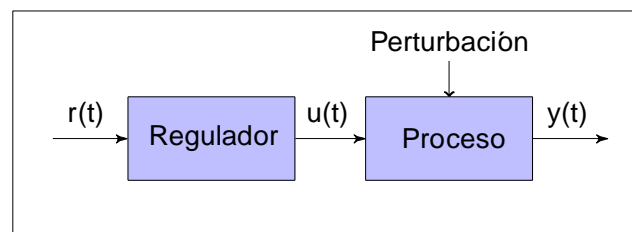
contactos) entre otros. Aun siendo los mecanismos de control diferentes entre controladores PID y PLC, emplean los mismos tipos de sistemas de control.

### 1.1.1 Topologías de control<sup>6</sup>

Los sistemas de control pueden adoptar distintas configuraciones, a las que se les puede agrupar en dos clases. Estas clases se pueden diferenciar por la forma del circuito de control. En uno de ellos, el circuito describe una línea recta entre las entradas y las salidas, a esta topología de control se la llama de *Lazo Abierto*. Cuando la forma del circuito describe un ciclo o una forma geométrica cerrada, se le suele llamar de *Lazo Cerrado*. La analogía de las figuras geométricas y las clases de sistemas de control es válida para circuitos simples, porque aunque son válidas para sistemas más complejos, es mucho más difícil notar las formas geométricas por la cantidad enorme de entradas, retro-alimentaciones, bloques, etc. A continuación se describe de mejor manera las topologías de los circuitos de control.

#### 1.1.1.1 Sistema de control de lazo abierto

Son aquellos sistemas en los que las acciones de control no dependen específicamente de las salidas. Normalmente este tipo de controles usan un regulador o un accionador, para obtener un ajuste calculado o estimado. El principal problema con el lazo abierto son las perturbaciones sobre el proceso; que generan alteraciones en las variables a controlar. Un ejemplo son los reguladores de los sistemas de calefacción, que están calibrados para ciertas condiciones de temperatura interior y ambiental.<sup>7</sup> Las variaciones de estas temperaturas provocan el reajuste del regulador, para poder obtener la temperatura deseada. (NISE, 2002, pp.10, 11)



**Figura 1-1:** Sistema de control de lazo abierto

**Fuente:** Patiño T/Villacis M.

En la figura 1-1, se describe la forma general de un diagrama de bloques para un sistema de control de lazo abierto. En él se puede entender que este circuito es bastante sensible a las perturbaciones ejercidas sobre el proceso. El instrumento encargado de emitir la señal de control  $u(t)$ , es un regulador o controlador. Los reguladores ejecutan una acción pre-calculada que lleva a la variable controlada hasta

<sup>6</sup> Lenguaje de programación gráfico basado en esquemas eléctricos de control clásicos

<sup>7</sup> PATIÑO T./VILLACIS M.(2015) *Diseño de un sistema de control automático para su implementación en el evaporador de simple efecto con serpentín del laboratorio de procesos industriales de la facultad de ciencias, ESPOCH*

el punto de consigna  $r(t)$ . Para determinar el valor de señal de control, su rango y proporcionalidad, se requiere conocer lo suficiente el problema para poder generar un modelo matemático que aproxime el comportamiento del proceso en función a las variaciones del regulador. Lo frecuente es sintonizar y calibrar los reguladores de manera experimental. (Mendiburu, 2003, p. 11)

### 1.1.1.2 Sistema de control de lazo cerrado

En estos sistemas las acciones de control son ajustadas por re-alimentación de las salidas. Estos sistemas son usados cuando se requiere que el proceso se ajuste por sí mismo. Para poder devolver una señal que represente la variable de salida  $y(t)$ , se emplean sensores. Si el controlador requiere una señal de tipo diferente a la emitida por el sensor, se usan transductores. La señal  $y_m(t)$  se resta del punto de consigna  $r(t)$ , dando como resultado el margen de error entre la salida y el valor deseado para la variable controlada. El error  $e(t)$  se usa en el controlador, este lo procesa y emite una señal de control  $u(t)$  que se envía a un elemento final de control. Para la figura 2-1, el elemento final está implícito dentro del bloque que representa el proceso. (NISE, 2002, pp.12, 13)

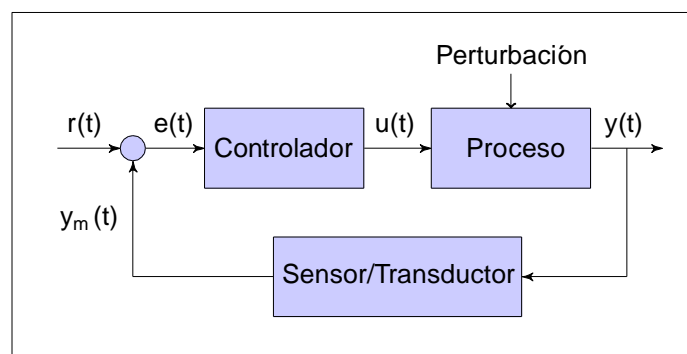


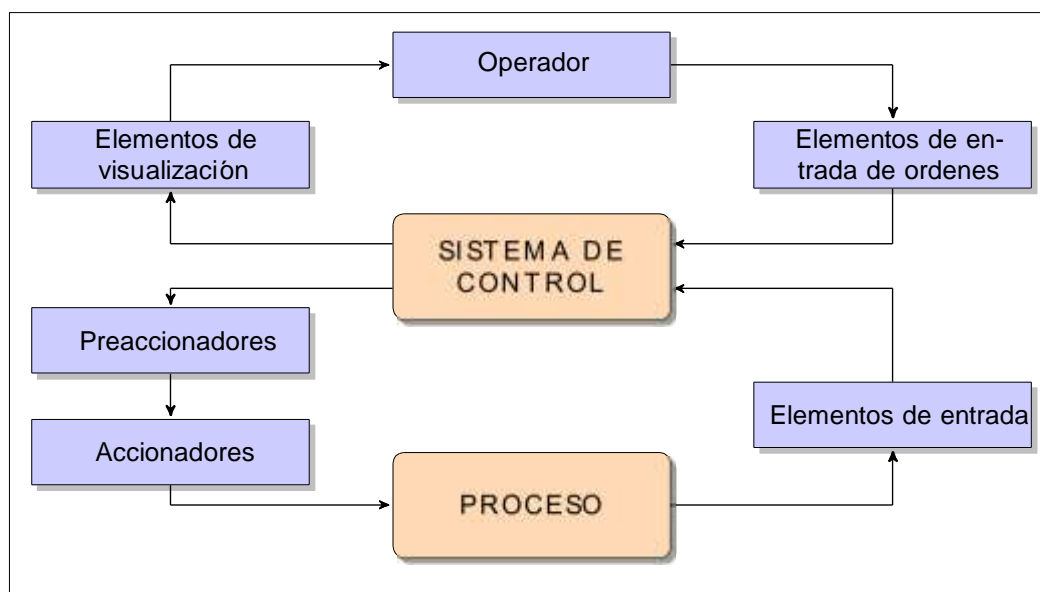
Figura 2-1: Sistema de control de lazo cerrado

Fuente: Patiño T/Villacis M.

### 1.1.2 Elementos de un proceso automatizado

Un proceso automatizado tiene un conjunto de elementos que cumplen una función específica dentro del sistema de control. En la figura 3-1, podemos observar la distribución básica de los elementos de un proceso automatizado. Posteriormente se tratará cada uno de los elementos representados en el diagrama; describiéndolos y dando ejemplos para mayor comprensión<sup>8</sup>. La secuencia que se observa en la gráfica, es la básica para procesos controlados o relación proceso-sistema de control. Existen variantes que agregan transductores o filtros para señal, dependiendo de las características del proceso y el controlador.

<sup>8</sup> PATIÑO T./VILLACIS M.(2015) *Diseño de un sistema de control automático para su implementación en el evaporador de simple efecto con serpentín del laboratorio de procesos industriales de la facultad de ciencias, ESPOCH*



**Figura 3-1:** Elementos básicos de un proceso automatizado  
Fuente: Patiño T/ Villacis M

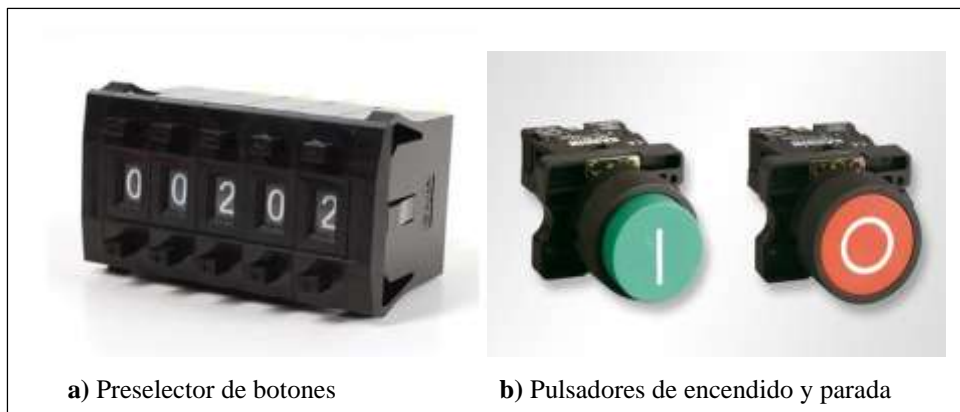
### 1.1.2.1 Elementos de entrada de órdenes

Son dispositivos que permiten al operador, ingresar valores u órdenes al sistema de control. Dependiendo del principio que les permita emitir una señal pueden ser: mecánicos-neumáticos, eléctricos, electrónico-digitales, etc. Tomando en cuenta la información que permiten ingresar pueden ser: numéricos, alfanuméricos o binarios. (Boix O. et al, 1995, p. 10)

Son Binarios, cuando la información corresponde a estados de 1 (*encendido, cerrado, verdadero, on,...*) o 0 (*apagado, abierto, falso, off,...*). Ejemplos de elementos de entrada binarios son los pulsadores, conmutadores, interruptores, palancas, etc. Los elementos de entrada numéricos son los que permiten el ingreso de números, ejemplos de ellos son los pre-selectores digitales de rueda o botones. Los alfanuméricos son los que permiten el ingreso de números y letras, que se usan para escribir comandos pre-programados, los más comunes son los teclados de panel. En la figura 4-1 se pueden observar ejemplos de los elementos anteriormente descritos.<sup>9</sup>

<sup>9</sup> PATIÑO T./VILLACIS M.(2015) *Diseño de un sistema de control automático para su implementación en el evaporador de simple efecto con serpentín del laboratorio de procesos industriales de la facultad de ciencias, ESPOCH*





**Figura 4-1:** Elementos de entradas de órdenes

**Fuente:** Patiño T/Villacis M.

### 1.1.2.2 Elementos de entrada de información

Los elementos de entrada de información son dispositivos que permiten en base a la medida de una magnitud, emitir una señal que representa dicha medida. Según el tipo de señal se pueden clasificar en:

**Binarios:** Son los que miden una magnitud y emiten una señal a razón de un umbral, es decir que la señal emitida representa, si se ha superado dicho umbral o se permanece bajo él. En resumen, si la medida supera el umbral se obtiene una señal afirmativa (*Verdadera, 1, True, V,...*), en cambio, si no lo supera se obtiene una señal negativa (*Falso, 0, False, F,...*). Normalmente los elementos binarios se usan para el monitoreo de puntos de consigna de variables críticas de un proceso como: presión, temperatura, composición. (Boix O. et al, 1995, p. 11)

**Analógicos:** Proporcionan una señal de tensión eléctrica, en relación proporcional a la magnitud medida. Los rangos de información de los elementos analógicos normalmente son:  $0$  a  $10\text{ V}$ ,  $0$  a  $20\text{ mA}$ ,  $-10$  a  $10\text{ V}$  y  $4$  a  $20\text{ mA}$ , un ejemplo de sensor analógico es una termo-resistencia. (Boix O. et al, 1995, p. 11)

**Numéricos:** Proporcionan un código numérico que corresponde al valor de la medida de una magnitud, a este grupo de elementos se les suele llamar *encoders*<sup>10</sup>. (Boix O. et al, 1995, p. 11)

### 1.1.2.3 Elementos de salida de información

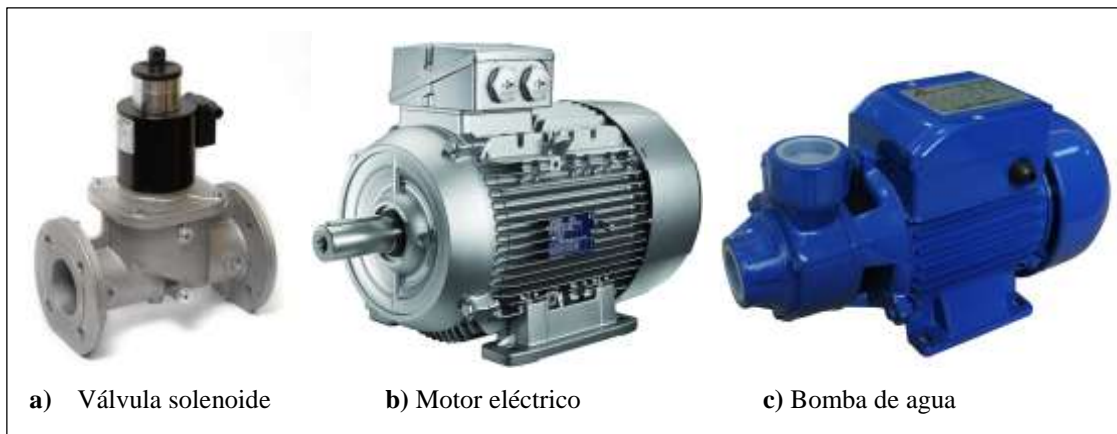
Son dispositivos que se encargan de la comunicación con el usuario u operador, sirven para proporcionar información de forma: visual, auditiva, táctil, etc. Estos dispositivos se pueden clasificar en: binarios, si

<sup>10</sup> Dispositivo, circuito, transductor, software, algoritmo o persona que convierte información desde un formato a otro.

proporcionan información de estado verdadero/falso (activado/desactivado). Ejemplos de ellos son: piloto visualizador, timbres, sirenas, etc. Los elementos numéricos y alfanuméricos proporcionan información visual de números y texto. Ejemplos de ellos son: displays de segmentos, alfanuméricos o LCD<sup>11</sup>. (Boix O. et al, 1995, p. 12)

#### 1.1.2.4 Preaccionadores y accionadores

Los accionadores y preaccionadores son dispositivos encargados de realizar acciones sobre el proceso o las variables manipuladas. En la mayoría de los casos los accionadores no pueden estar conectados directamente al sistema de control, por ello, requieren otros dispositivos a los que se llama preaccionadores, estos pueden ser: contactores, variadores de velocidad, válvulas de distribución, válvulas proporcionales, etc. (Boix O. et al, 1995, p. 13) Estos elementos siguen una clasificación igual a los elementos de entrada de información.<sup>12</sup>



**Figura 5-1:** Ejemplos de accionadores usados en sistemas de control de procesos.  
**Fuente:** Patiño T/Villacis M.

### 1.2. Secado<sup>13</sup>

KNEULE, F. (1976). en su libro *Técnica de los procesos en las Industrias Químicas y Derivados* manifiesta que el secado significa la remoción de cantidades de agua relativamente pequeñas de un cierto material. La evaporación se refiere a la eliminación de cantidades de agua bastante grandes. En la evaporación, el agua se elimina en forma de vapor a su punto de ebullición. En el secado, el agua casi siempre se elimina en forma de vapor con aire.

<sup>11</sup> Sigla del inglés: *Lyquid Crystal Display* o en español: pantalla de cristal líquido.

<sup>12</sup> PATIÑO T./VILLACIS M.(2015) *Diseño de un sistema de control automático para su implementación en el evaporador de simple efecto con serpiente del laboratorio de procesos industriales de la facultad de ciencias, ESPOCH*

<sup>13</sup> MULTON Jean-Louis. *Aditivos y Auxiliares de Fabricación en las Industrias Agroalimentarias*. 2. ed., Zaragoza-España, ACRIBIA. pp. 359

El secado o deshidratación de materiales biológicos (en especial los alimentos), se usa también como técnica de preservación. Los microorganismos que provocan la descomposición de los alimentos no pueden crecer y multiplicarse en ausencia de agua.

Además, muchas de las enzimas que causan los cambios químicos en alimentos y otros materiales biológicos no pueden funcionar sin agua. Los microorganismos dejan de ser activos cuando el contenido de agua se reduce por debajo del 10% en peso. Sin embargo, generalmente es necesario reducir este contenido de humedad por debajo de 5% en peso en los alimentos, para preservar el sabor y su valor nutritivo. Los alimentos secos pueden almacenarse durante periodos bastante largos.

El secado suele ser la etapa final de los procesos antes del empaque y permite que muchos materiales, como los jabones en polvo y los colorantes, sean más adecuados para su manejo.<sup>14</sup>

### *1.2.1. Secado por atomización<sup>15</sup>*

La atomización es un proceso de secado por arrastre y hay que reconocer que es difícil la profundización teórica. En efecto, los mecanismos implicados son muy complejos: el secado es rápido, el producto está en contacto con un aire caliente cuya temperatura y humedad cambia durante su trayectoria en la cámara de secado, el régimen de circulación del aire que transporta las partículas es muy complejo y, por si todo ello no fuera suficiente, la talla de las partículas es muy heterogénea, así como su tiempo de permanencia en el equipo. A pesar de estas dificultades, existen importantes tentativas de modelización del proceso de atomización

Este método tiene una serie de ventajas sobre los otros conocidos:

- Se produce un secado prácticamente instantáneo, pues al atomizarse el producto presenta una gran superficie expuesta al fluido secador
- Aunque se emplea aire a elevadas temperaturas, el secado de las partículas se produce a temperaturas relativamente bajas. Puede decirse que la temperatura de cada partícula se aproxima a la del bulbo húmedo del aire que lo rodea, mientras dura el secado y hasta que la humedad es completamente eliminada
- Durante el secado, las partículas flotan o se mueven en el seno de la corriente gaseosa, evitándose el contacto con la superficie metálica caliente de las paredes de la cámara, con su consiguiente peligro de recalentamiento.

---

<sup>14</sup> CRUZ L/HINOJOSA L(2015) *Diseño y construcción de un secador por atomización para la obtención de colorante natural a partir de la remolacha*.ESPOCH

<sup>15</sup> MULTON Jean-Louis. *Aditivos y Auxiliares de Fabricación en las Industrias Agroalimentarias*. 2. ed., Zaragoza-España, ACRIBIA. pp. 359

- El producto final se obtiene en forma de polvo que fluye con facilidad
- Los productos sensibles al calor se pueden secar con éxito
- Se pueden alcanzar grandes velocidades de producción<sup>16</sup>

Desde luego, el sistema tiene también algunas desventajas. Entre ellas se cita:

- Necesidad de grandes inversiones debido al tamaño y complejidad de los equipos requeridos
- Necesidades de tener un líquido de alimentación en condiciones tales que pueda ser bombeado sin dificultades
- Necesidad de tener que incorporar algún sistema adicional para recuperación de polvos finos que pueden ser arrastrados por el aire de calefacción para evitar pérdida del producto o su contaminación
- Requerimientos de energía elevados.

Sin embargo todas estas dificultades son ampliamente balanceadas por la posibilidad de obtener un producto de alta calidad en forma continua.

### **1.3. Colorantes<sup>17</sup>**

#### ***1.3.1. Introducción***

HART F, L., FISHER H, J. (1984) en su libro *Análisis Moderno de los Alimentos* describe que el color es una característica sensorial importante y uno de los atributos esenciales que posee un producto, como base para la identificación de su calidad.

La coloración que ofrecen los alimentos se debe en unos casos a la presencia natural de pigmentos y en otros a sustancias intencionalmente añadidas como los aditivos, con el propósito de hacer más atractivo el alimento a la vista.

“Un aditivo colorido de acuerdo con la FDA: Es cualquier colorante, pigmento u otras sustancia obtenida por síntesis o artificio similar o extraída, aislada o derivada, con o sin intermediarios del cambio final de identidad a partir de un vegetal, animal o mineral u otra fuente y que cuando es añadida o aplicada

---

<sup>16</sup> YANZA H., Erik G. *Diseño De Un Secador Por Atomización A Nivel Piloto Para Jugo Concentrado De Tomate De Árbol.* (Tesis) (Ing.). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería y Agricultura, Escuela de Ingeniería Química. Manizales-Colombia.

<sup>17</sup> CRUZ L/HINOJOSA L(2015) *Diseño y construcción de un secador por atomización para la obtención de colorante natural a partir de la remolacha.* ESPOCH

a los alimentos, medicamentos o cosméticos, al cuerpo humano o a cualquier parte, por sí misma es capaz (sola o a través de una reacción con otra sustancia) de impartir color

### 1.3.2. Betalaínas

Son pigmentos cuyos colores varían del rojo al amarillo. Se encuentra en diversos frutos de cactus, betabel o remolacha, en flores como la bugambilia, el amaranto y en general de la familia Centrospermae.

Las betalaínas son pigmentos compuestos por las betacianinas de color rojo con una longitud de onda de 540nm y las betaxantina de color amarillo con una longitud de onda de 478nm, ambas con diversos epímeros.

**Tabla 1-1: Cuantificación** de las betacianina (540nm) y betaxantinas (478nm)

REMOLACHA ANALIZADA	CANTIDAD DE PIGMENTO mg/g de remolacha seca	
	540nm	478nm
Betabel(raíz)	5,5 <sup>a</sup> ±0,25 <sup>b</sup>	2,9±0,25
Hojas	4,4±0,20	3,8±0,15
Tallo	6,3±0,17	3,5±0,18
Raíces	4,1±0,21	2,9±0,17

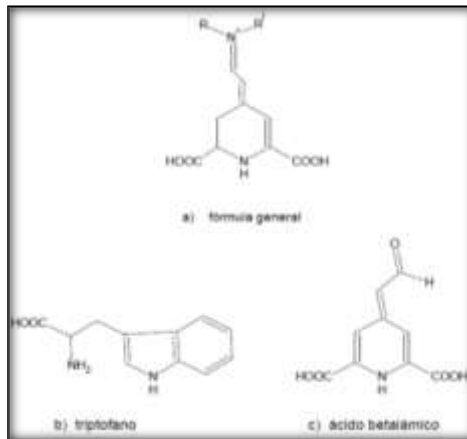
(a) Media; (b) Desviación estándar N igual a 10

Fuente: Cruz L/ Hinojosa L.

El betabel es la principal fuente de obtención de betalaínas y es uno de los productos más utilizados debido a su alto contenido de uno de sus componentes las betacianinas; lo que permite obtenerlos a nivel industrial.

Las betalaínas son compuestos orgánicos solubles en agua, con peso molecular entre 400 y 500. La estructura de las betalaínas es diferente a la de otros pigmentos encontrados en el reino vegetal, ya que ésta contiene nitrógeno.

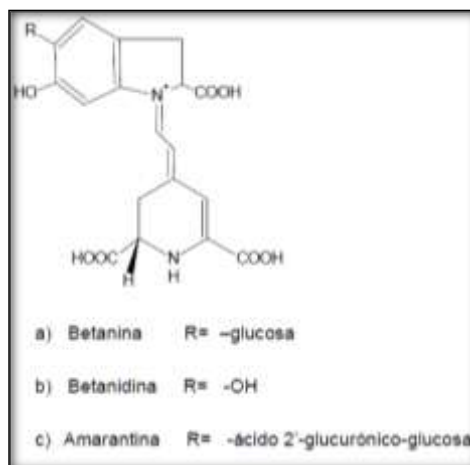
Las estructura general de las betalaínas (a) presentan sistemas protonados descritos como 1, 2, 4,7 pentasustituidos 1,-7-diazoheptametrico; formada por la condensación de una amina primaria o secundaria como el triptofano (b) y un aldehído llamado ácido betalámico (c).



**Figura 6-1:** Betalaínas.

Fuente: Cruz L/Hinojosa L.

“La Betanina D-glupiranósido de la betanidina  $C_{24}H_{26}N_2O_{13}$  de peso molecular 550, es el agente colorante principal dentro de las betacianinas; las especificaciones precisan que la preparación comercial debe contener al menos 1% de betanina cuando esta preparación es líquida y al menos 4% cuando está en forma de polvo.<sup>18</sup>



**Figura 7-1:** Betacianinas.

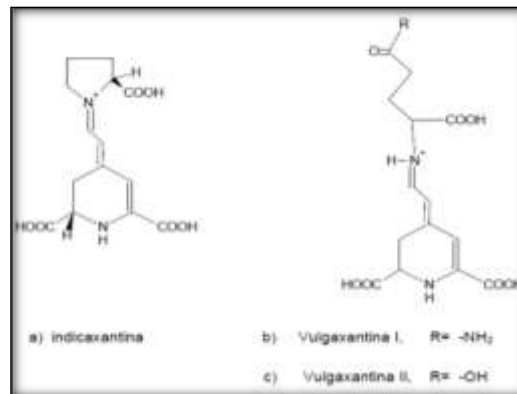
Fuente: Cruz L/Hinojosa L.

Con respecto a las betaxantinas (pigmentos amarillos), se tienen pocos datos ya que han sido poco estudiadas, debido a que son más difíciles de aislar, pero se tienen indicios de que son mucho más lábiles que las betacianinas.

Estructuralmente las betaxantinas son muy semejantes a las betacianinas, solo difieren de ellas en que el grupo indol (compuesto orgánico heterocíclico) es sustituido por un aminoácido.

<sup>18</sup> CRUZ L/HINOJOSA L(2015) *Diseño y construcción de un secador por atomización para la obtención de colorante natural a partir de la remolacha*.ESPOCH

Posteriormente de la remolacha se han aislado dos betaxantinas llamadas vulgaxantina I y II y también han sido aisladas varias miraxantinas.<sup>19</sup>



**Figura 8-1:** Betaxantinas.

Fuente: Cruz L/ Hinojosa L.

### 1.3.3. Microencapsulación de betalaínas.

Los zumos presentan por naturaleza un elevado contenido de azúcares como glucosa, fructosa y ácidos orgánicos como ácido cítrico, málico y tartárico, estos compuestos tienen temperaturas de transición vítrea bajas, ocasionando problemas de pegajosidad (stickiness) en los secadores por atomización o en liofilizadores, además nos encontramos con elevada higroscopicidad en los productos obtenidos.

El término “stickiness” hace referencia a los fenómenos de cohesión partícula-partícula y de adhesión partícula-pared que presentan los polvos obtenidos, que dificulta su presentación en estado polvo y mancha las paredes de los cilindros de pulverización. Al quedar en la pared del compartimiento de secado como un jarabe da lugar a bajas producciones y a problemas operacionales.

La solución a este tipo de problemas es la microencapsulación, esta se da mediante la utilización de productos ayudantes de secado. Estos ayudantes de secado son productos envolventes o encapsuladores que mezclados con la muestra líquida evitan la pegajosidad y aglomeración del producto obtenido.<sup>20</sup>

<sup>19</sup> CRUZ L/HINOJOSA L(2015) *Diseño y construcción de un secador por atomización para la obtención de colorante natural a partir de la remolacha*.ESPOCH

<sup>20</sup> MICROENCAPSULACION DE ALIMENTOS. Parra R. 2010  
<http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v63n2/a20v63n01.pdf>

La microencapsulación es definida como una tecnología de empaquetamiento de materiales sólidos, líquidos o gaseosos. Las microcápsulas selladas pueden liberar sus contenidos a velocidades controladas bajo condiciones específicas, y pueden proteger el producto encapsulado de la luz y oxígeno del medioambiente, y de su interacción con otros componentes del alimento.

Una propiedad importante a considerar en un encapsulante, es su temperatura de transición vítrea ya que determinará la cohesividad que puede lograrse al formar la película. Calentando por encima de la temperatura vítrea las capas de la película se vuelven más cohesivas debido a una mayor movilidad molecular por efecto de la temperatura, lo cual ayuda a la adhesión de la película en el material a cubrir.

La sustancia ha encapsular puede ser cubierto o atrapado dentro de otro material o sistema. Una microcápsula consiste de una membrana semi-permeable polimérica porosa, esférica, delgada y fuerte alrededor de un centro sólido/líquido.

Los materiales que se utilizan para el encapsulamiento pueden ser carbohidratos, gomas y esterres de celulosa, gelatina, grasas, aceites, goma arábica, alginato de calcio, ceras, almidón de trigo, maíz, arroz, papa, nylon, ciclodextrina, maltodextrina, caseinato de sodio, proteína de lactosuero o proteína de soya. Las sustancias que se microencapsulan pueden ser vitaminas, minerales, colorantes, prebióticos, probióticos, sabores nutraceúticos, antioxidantes, olores, aceites, enzimas, bacterias, perfumes, drogas e incluso fertilizantes.

Para definir el método de encapsulación y el agente encapsulante más apropiado es importante definir: cuál será la aplicación de las micropartículas, la composición de los ingredientes, el mecanismo de liberación, tamaño de partícula, forma física final y el costo, entre otros.<sup>21</sup>

Las aplicaciones de la microencapsulación se dirigen a la industria, textil, metalúrgica, química, alimenticia, cosméticos, farmacéutica y medicina.

Dentro de las técnicas utilizadas para microencapsular se encuentran el secado por aspersión, secado por enfriamiento, secado por congelamiento, coacervación y extrusión.<sup>22</sup>

### *1.3.3.1. Agentes utilizados*

---

<sup>21</sup> MICROENCAPSULACION DE ALIMENTOS. Parra R. 2010  
<http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v63n2/a20v63n01.pdf>

<sup>22</sup> CRUZ L/HINOJOSA L(2015) *Diseño y construcción de un secador por atomización para la obtención de colorante natural a partir de la remolacha*. ESPOCH



#### *1.3.3.1.1. Maltodextrina*

Las maltodextrinas son los ayudantes de secado ampliamente utilizados para obtener polvos del zumo de fruta, son productos de almidón parcialmente hidrolizados. Se elaboran por métodos de hidrólisis ácida o enzimática de los almidones. Se clasifican generalmente según su grado de hidrólisis, expresado como equivalente de dextrosa (DE). Las maltodextrinas tienen un DE de menos de 20, según la agencia alimentaria de los Estados Unidos, mientras que los polímeros de glúcidos con DE mayores de 20 se consideran como jarabes de glucosa.<sup>23</sup>

### **1.3.4. Remolacha (Beteraba)**

#### *1.3.4.1. Generalidades*

Se distinguen en botánica cinco especies de remolacha salvajes de la familia de las Quenopodiáceas, género *B.* entre ellas, la *Beta vulgaris* de la que se derivan hoy todas las variedades cultivadas de remolacha azucarera.

Su cultivo, como la planta, es muy antiguo, pues ya era conocida por los griegos, los romanos y más tarde por los árabes.

La planta es bianual y durante el primer año la remolacha desarrolla una gruesa raíz napiforme y una roseta de hojas, durante el segundo, emite una inflorescencia ramificada en panícula, pudiendo alcanzar ésta hasta un metro de altura.

---

<sup>23</sup> CRUZ L/HINOJOSA L(2015) *Diseño y construcción de un secador por atomización para la obtención de colorante natural a partir de la remolacha.* ESPOCH



**Figura9-1: Remolacha**  
**Fuente:** Remolacha., Propiedades 2010

En la remolacha se distinguen tres órganos principales: raíz, cuello y hojas. La raíz es casi esférica de forma globosa con un diámetro de entre 5 y 10 cm y un peso de entre 80 y 200 g. Su color es variable: desde rosáceo a violáceo, anaranjado rojizo o hasta el marrón. La pulpa suele ser de color rojo oscuro y puede presentar, en ocasiones, círculos concéntricos de color blanco. El sabor, debido a que se trata de una raíz en la que se acumulan gran cantidad de azúcares, es dulce.<sup>24</sup>

**Tabla 2-1: Valor** nutricional de la remolacha.

N°	Composición por cada 100g.	Unidad	Valor
1	Agua	g	87,5
2	Calorías	Kcal	43
3	Grasa	g	0,17
4	Proteína	g	1,61
5	Hidratos de carbono	g	9,56
6	Fibra	g	2,8
7	Potasio	mg	325
8	Sodio	mg	78
9	Fosforo	mg	40
10	Calcio	mg	16
11	Magnesio	mg	23
12	Hierro	mg	0,80
13	Zinc	mg	0,35

<sup>24</sup> CRUZ L/HINOJOSA L(2015) *Diseño y construcción de un secador por atomización para la obtención de colorante natural a partir de la remolacha.* ESPOCH

14	Vitamina C	mg	4,9
15	Vitamina B2	mg	0,04
16	Vitamina B6	mg	0,07
17	Vitamina A	mg	36
18	Vitamina E	mg	0,30
19	Folacina	mg	109
20	Niacina	mg	0,33
21			
22			

Fuente: Composición de la remolacha, Remolacha., Propiedades 2010

#### 1.3.4.2. Variedades

“**Remolachas chatas:** Se caracterizan por tener una forma redonda y aplastada, con un diámetro ecuatorial mucho mayor que el polar. Durante muchos años dominaron en el mercado cultivares como Chata de Egipto, Crosby-s Egiptian y Early Wonder.

**Remolachas redondas:** Se caracterizan por una forma globular, con diámetros ecuatoriales y polares parecidos. Paulatinamente han ido desplazando a las variedades chatas en el comercio, siendo los cultivares más conocidos Detroit Dark Red, Red Ace y Ruby Queen.

**Remolachas cilíndricas:** Se caracterizan por ser alargadas, con un diámetro polar mayor que el ecuatorial, estos cultivares han sido desarrollados básicamente para la obtención de producto de rodajas y su principal utilización es en la agroindustria; en nuestro medio prácticamente no se usan. Los cultivares más conocidos son Cylindra, Cylinder Long Red y Formanova.

Escogimos la remolacha para desarrollar este trabajo por los siguientes factores:

- Es una hortaliza que se cultiva en toda la región sierra del país.
- Se cultiva durante todo el año
- Es de costos bajos
- El colorante natural obtenido de la remolacha “betalaínas”, es un color rojo muy concentrado, que solo es necesario emplear en pequeñas cantidades.<sup>25</sup>

<sup>25</sup> CRUZ L/HINOJOSA L(2015) *Diseño y construcción de un secador por atomización para la obtención de colorante natural a partir de la remolacha.* ESPOCH

## 1.4. Diseño

### 1.4.1. Diagnóstico del control automático

El balance de energía es una derivación matemática de la primera Ley de la Termodinámica, es decir "La energía no se crea ni se destruye, solo se transforma". El balance de energía es un principio físico fundamental, que es aplicado para determinar las cantidades de energía que es intercambiada y acumulada dentro de un sistema.

1.4.1.1. Partiendo de la ecuación del balance de energía:

Dinámica: Se denomina dinámico cuando varían las temperaturas en función del tiempo, es decir:

$$\text{Entrada} - \text{Salida} - \text{Intercambio} = \text{Acumulación}$$

$$E - S - EI = A \quad \text{Ec.1}$$

ESTACIONARIO: Un proceso se denomina de estacionario cuando se mantienen constantes las temperaturas en el tiempo que entran y salen del sistema, es decir:

$$E - S - EI = 0 \quad \text{Ec.2}$$

Variables de desviación: Son aquellas desviaciones para variables de razón

$$T_{i(t)} = T_{i(t)} - \bar{T}_i$$

$$T_{s(t)} = T_{s(t)} - \bar{T}_s$$

$$T_{f(t)} = T_{f(t)} - \bar{T}_f$$

Ecuación del proceso

$$\rho q C_p T_{i(t)} - \rho q C_p T_{f(t)} - UA [T_{f(t)} - T_{s(t)}] = \rho V C_v \frac{dT_{f(t)}}{dt} \quad \text{Ec.3}$$

Donde

$\rho$  = Densidad

$q$  = Caudal

$C_p$  = Capacidad Calorífica

$T_{i(t)}$  = Temperatura Inicial

$T_{f(t)}$  = Temperatura Final

$UA$  = Coeficiente Global de Transferencia de Calor

$T_{s(t)}$  = Temperatura de Intercambio

$V =$  Volumen

$C_v =$  Capacidad Volumétrica del agua

$$K_1 = \frac{\rho q C_p}{\rho q C_p + UA} \quad \text{Ec.4}$$

$$K_2 = \frac{UA}{\rho q C_p + UA} \quad \text{Ec.5}$$

$$\tau = \frac{\rho V C_v}{\rho q C_p + UA} \quad \text{Ec.6}$$

Trasformada de la Place: La transformada de Laplace de una función  $f$  definida para todos los números positivos  $t \geq 0$ , es la función  $F$ , definida por: siempre y cuando la integral esté definida

$$T_f(s) = \frac{K_1 T_i(s) + K_2 T_s(s)}{[\tau_s + K_1 + K_2]} \quad \text{Ecuacion control del proceso} \quad \text{Ec.7}$$

### 3.1.1. Funciones de Transferencia

$$\frac{T_f(s)}{T_i(s)} = \frac{K_1}{[\tau_s + K_1 + K_2]} = G_1(s) \quad \text{Ec.8}$$

Donde:

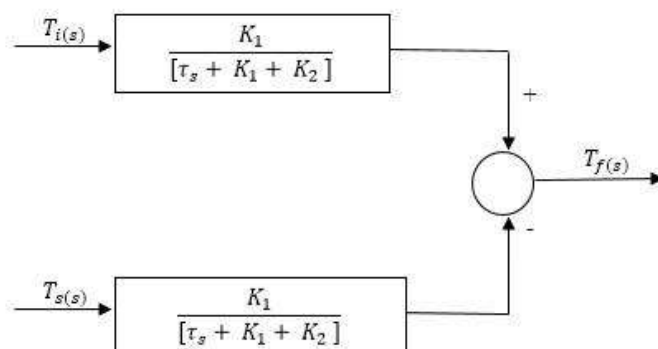
$G_1(s) =$  Ganancia 1

$$\frac{T_f(s)}{T_s(s)} = \frac{K_2}{[\tau_s + K_1 + K_2]} = G_2(s) \quad \text{Ec.9}$$

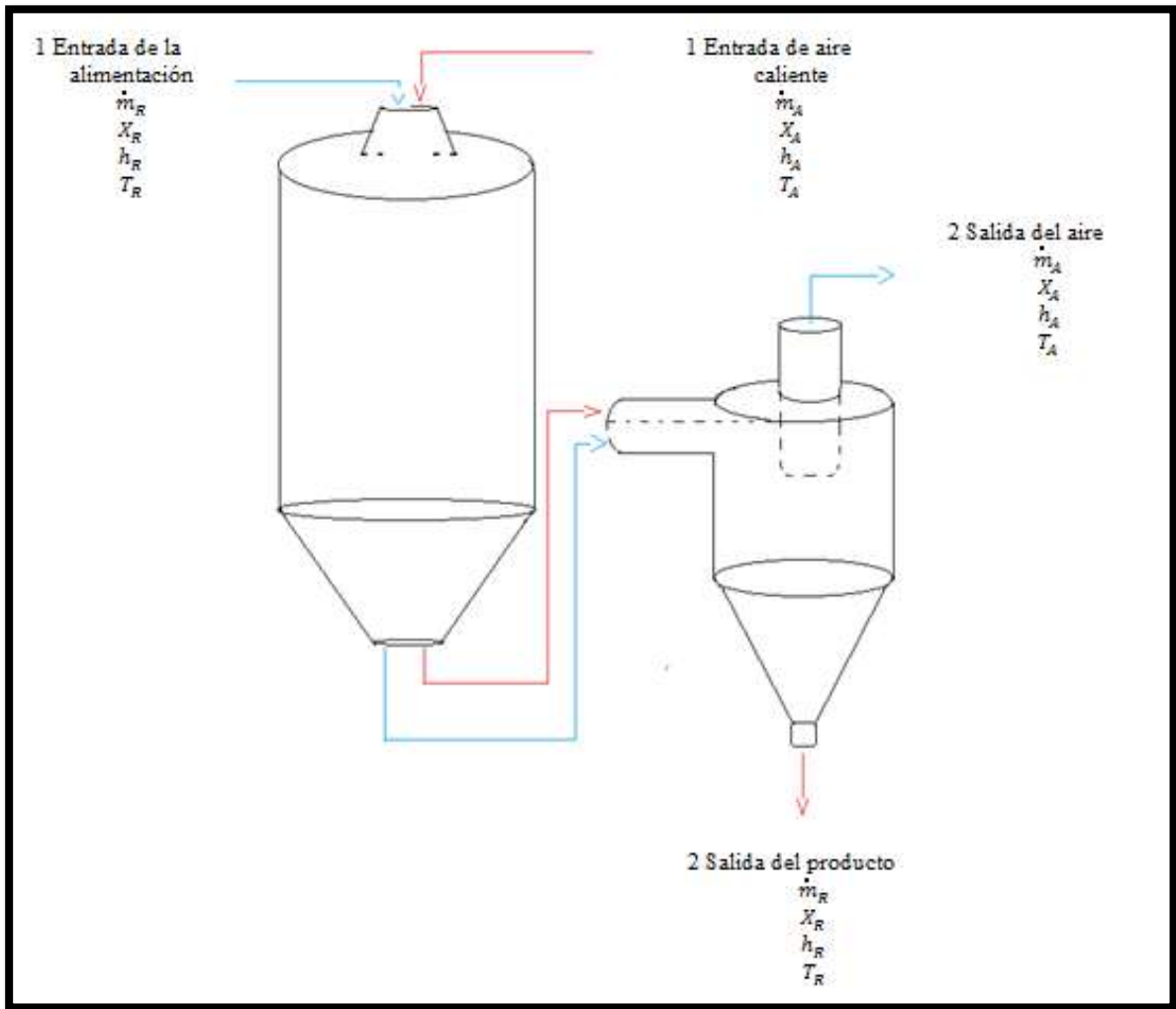
Donde:

$G_2(s) =$  Ganancia 2

### 3.1.2. Diagrama de bloques del sistema de control



### 1.4.2. Balance de masa



**Figura 10-1: Diagrama** de flujo del secador por atomización

Fuente: CRUZ L./HINOJOSA K.,/ ESPOCH/2015

El balance de masa se basa en la ley de conservación de la materia (la materia no se crea ni se destruye, solo se transforma), este es un procedimiento de cálculo que permite cuantificar la masa que entra y sale de un proceso. Se debe realizar el balance con respecto al agua contenida en los distintos flujos tanto de entrada como de salida, así pues se determina:

Flujo de masa de agua contenida en la alimentación

$$\dot{m}_{RH_2O} = \dot{m}_{RS} \cdot X_R \quad \text{Ec.10}$$

Donde:

$\dot{m}_{RH_2O}$  = Flujo de masa de agua contenida en la alimentación (Kg/s)

$\dot{m}_{RS}$  = Flujo de masa de sólidos secos de la alimentación (Kg/s)

$X_R$  = Humedad de la alimentación en base seca (Kg agua/Kgss)

El flujo de masa de sólidos secos de la alimentación, podemos calcular con la siguiente expresión:

$$\dot{m}_{RS} = \dot{m}_R \frac{\%SA}{100} \quad \text{Ec.11}$$

Donde:

$\dot{m}_R$  = Flujo de masa de la alimentación (Kg/s)

%SA = Porcentaje de sólidos (%)

La humedad en base seca de la alimentación se puede calcular así:

$$X_R = \frac{100 - \%SA}{\%SA} \quad \text{Ec.12}$$

Flujo de masa de agua contenida en el aire es:

$$\dot{m}_{AH_2O} = \dot{m}_A \cdot X_A \quad \text{Ec.13}$$

Donde:

$\dot{m}_A$  = Flujo de masa de agua contenida en el aire (Kg/s)

$X_A$  = Humedad del aire en base seca (Kg agua/Kg as)

Para la determinación de la humedad absoluta del aire ( $X_A$ ), se utiliza la carta psicométrica, la cual se basa en graficar la humedad del aire y otras propiedades termodinámicas, en función de las temperaturas.

La humedad absoluta dependerá de la localidad y las condiciones climatológicas donde se desarrolle la operación. Por tanto teniendo conocimiento previo de la temperatura de bulbo seco ( $t$ ) y bulbo húmedo ( $t_{bh}$ ) de la localidad, la determinación de eFDSsta humedad absoluta es gráfica.

Existe otro método para la determinación de la humedad absoluta y es por medio del cálculo, utilizando la siguiente expresión:

$$X_A = 0,62 \frac{P_v}{P - P_v} \quad \text{Ec.15}$$

Donde:

**P<sub>v</sub>** = Presión parcial de vapor (Pa)

**P** = Presión atmosférica del lugar (Pa)

La presión parcial de vapor es igual a:

$$\mathbf{P_v = \varphi \cdot P_{vs}} \quad \text{Ec.16}$$

Donde:

**Φ** = Humedad relativa del aire (Kg agua/Kg as)

**P<sub>vs</sub>** = Presión de saturación de vapor (Pa)

Según Wexler la siguiente ecuación tipo Antoine permite calcular la presión del vapor saturado en mbar en función de la temperatura en °C.

$$\mathbf{\ln P_{vs} = 19,016 - \frac{4064,95}{T_{Ae} + 236,25}} \quad \text{Ec.17}$$

Donde:

**P<sub>vs</sub>** = Presión de saturación de vapor (mbar)

**T<sub>Ae</sub>** = Temperatura del aire en el exterior (°C)

La presión de la localidad se puede obtener así:

$$\mathbf{P = P_0 e^{\frac{h}{8600}}} \quad \text{Ec.18}$$

Donde:

**P** = Presión de la localidad (Pa)

**P<sub>0</sub>** = Presión a nivel del mar (101 325 Pa)

**h** = Altura sobre el nivel del mar (m.s.n.m.)

El balance de agua en la cámara de secado, el balance de materia es un método matemático utilizado principalmente en Ingeniería Química para estudios de operaciones básicas, proyectar plantas industriales, comprobación y funcionamiento de los procesos.

Y será:

$$\mathbf{\dot{m}_{RS}(X_{R1} - X_{R2}) = \dot{m}_A(X_{A2} - X_{A1})} \quad \text{Ec.19}$$



### 1.4.2.1.1. Balance de energía

El balance de energía sobre la cámara de secado, es un complemento del balance de masa. En este balance se debe considerar las entalpías de cada flujo, por ende se asigna  $h$  a la entalpía de la fase líquida y  $H$  a la entalpía de la fase gaseosa, por tanto:

$$h_R = [C_{pR} + X_R \cdot C_{pH_2O}](T_R - T_0) \quad \text{Ec.20}$$

Según Choi Oikos el calor específico del sólido seco se encuentra en relación con la composición del sólido a tratar, por tanto este valor puede ser calculado mediante las expresiones del siguiente cuadro:

**Tabla 3-1: Correlaciones** para el cálculo de calor específico de los alimentos en función de las temperaturas (-40°C a 150°C)

Componente	Ecuación
Proteína	$C_p = 2.0082 + 1.2089 \times 10^{-3} \cdot T - 1.3129 \times 10^{-6} \cdot T^2$
Grasa	$C_p = 1.9842 + 1.4733 \times 10^{-3} \cdot T - 4.8008 \times 10^{-6} \cdot T^2$
Carbohidratos	$C_p = 1.5488 + 1.9625 \times 10^{-3} \cdot T - 5.9399 \times 10^{-6} \cdot T^2$
Fibra	$C_p = 1.8459 + 1.8306 \times 10^{-3} \cdot T - 4.6508 \times 10^{-6} \cdot T^2$
Ceniza	$C_p = 1.0926 + 1.8896 \times 10^{-3} \cdot T - 3.6817 \times 10^{-6} \cdot T^2$

Fuente: ALVÁREZ., Diseño de dos congeladores rápidos para frutas, 1999

La temperatura  $T_{R1}$  es la temperatura de bombeo de la alimentación, mientras que  $T_{R2}$  se considera igual a la temperatura del aire a la salida de la cámara de secado con una diferencia de 10°C.

La entalpía del aire es igual a la suma de la entalpía del aire seco, del vapor de agua y la energía requerida para la evaporación, entonces:

$$\dot{m}_A \cdot H_A = \dot{m}_A \cdot C_{pA}(T_A - T_0) + \dot{m}_A \cdot X_A \cdot C_v(T_A - T_0) + \dot{m}_A \cdot X_A \cdot \lambda_0 \quad \text{Ec.21}$$

Donde:

$C_{pA}$  = Calor específico del aire seco (J/Kg.K)

$C_v$  = Calor específico del vapor de agua (J/Kg.K)

$\lambda_0$  = Calor latente de vaporización (J/Kg)

$T_A$  = Temperatura del aire (K)

$T_0$  = Temperatura de referencia (273° K)

El calor latente de vaporización su puede calcular con la siguiente expresión:

$$\lambda_0 = 2502535,259 - 2385,76424 \cdot T_A \quad \text{Ec.22}$$

Donde:

$T_A$  = Temperatura del aire (°C)

Considerando que este valor se debe multiplicar por la humedad específica, la variación que este sufre con respecto a la temperatura puede ser despreciable para el cálculo de la entalpía del aire y se recomienda utilizar un valor constante de:

$$\lambda_0 = 2502535,259$$

Entonces:

$$\dot{m}_A H_A = \dot{m}_A H_A$$

Despejando de la ecuación del balance de masa, el flujo de aire será igual a:

$$\dot{m}_A = \dot{m}_{RS} \frac{(X_{R1} - X_{R2})}{(X_{A2} - X_{A1})} \quad \text{Ec.23}$$

Cualquier proceso de transformación en la naturaleza conlleva un intercambio de energía, y algunas aplicaciones de los balances de energía en la Industria son: recuperación máxima del calor, calentamiento o enfriamiento de un fluido, producción efectiva de calor en hornos y calderas, cálculo de pérdidas y aislamientos, optimización de los procesos de obtención de energía eléctrica, cálculo del consumo de combustible para producir trabajo y calor, cálculo de la energía mecánica necesaria que hay que comunicar a un fluido para mantenerlo en movimiento.

#### 1.4.2.1.2. *Diámetro de la gota.*

El diámetro de la gota es el segmento de recta que pasa por el centro y une dos puntos opuestos de una gota esférica. “Según Nukijama y Tanasawa la fórmula empírica para determinar de antemano el grosor de partículas medias para una pulverización en una corriente de gas a gran velocidad es:

$$D_g = \frac{585\sqrt{\gamma}}{u\sqrt{\rho_l}} + 597 \left( \frac{\mu}{\sqrt{\gamma\rho_l}} \right)^{0,45} \left( \frac{1000\dot{V}_l}{\dot{V}_g} \right)^{1,5} \quad \text{Ec.24}$$

Donde:

$D_g$  = grosor medio de las gotas ( $\mu\text{m}$ )

$\gamma$  = tensión superficial (dyn/cm)

$u$  = velocidad relativa del gas con respecto al líquido (m/s)

$\rho_l$  = densidad del líquido ( $g/cm^3$ )

$\mu$  = viscosidad dinámica del líquido ( $g/cm.s$ )

$\dot{V}_l$  = volumen del líquido /unidad de tiempo (l/h)

$\dot{V}_g$  = volumen del gas/unidad de tiempo (l/h)

La tensión superficial se refiere a las fuerzas ejercidas sobre la superficie de las moléculas del fluido, estas fuerzas cohesivas mantienen unidas las moléculas y a medida que el líquido tenga mayores fuerzas de cohesión, la tensión superficial mayor.

Considerando la ley de la hidrostática y de la ley de Laplace, que definen una ecuación para la determinación de la tensión superficial se tiene:

$$\gamma = \frac{1}{2} g \cdot H \cdot r \cdot \rho \quad \text{Ec.25}$$

Donde:

$\gamma$  = Tensión superficial (dyn/cm)

$g$  = Gravedad ( $cm/s^2$ )

$H$  = Altura (cm)

$r$  = Radio del capilar (cm)

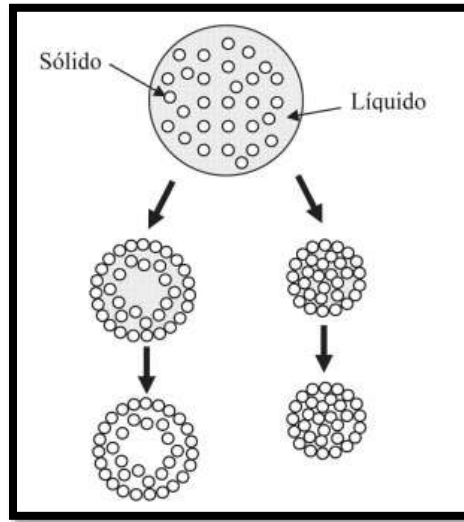
$\rho$  = Densidad del fluido ( $g/cm^3$ )

Para determinar de velocidad relativa de un flujo con respecto a otro, se debe considerar que es la velocidad del flujo, teniendo como punto fijo el otro flujo; por tanto será la diferencia de sus velocidades.

El diámetro de la gota se aplica para el cálculo de procesos de formación de gotas como los de pulverización.

#### 1.4.2.1.3. *Diámetro, humedad y temperatura de la gota en el punto crítico.*

El Secado es una operación que se da en dos periodos, uno de velocidad constante y otro en el cual la velocidad es decreciente; el punto que divide a estos dos periodos se conoce como punto crítico, en el cual el diámetro de la gota se vuelve constante y se denomina como diámetro crítico, el mismo que se mantendrá hasta la salida de la cámara de secado  $D_2 = D_c$ , esto se debe a que durante el periodo de velocidad constante el agua superficial de la gota se elimina, mientras que en el periodo de velocidad decreciente tan solo se eliminará el agua interna de la gota.



**Figura 111-1: Formación de gránulos.**

Fuente: Secado por atomización  
<http://ceramicayvidrio.revistas.csic.es/index.php/ceramicayvidrio/article/viewFile/1214/124>

El balance de materia es un método matemático utilizado principalmente en Ingeniería Química para estudios de operaciones básicas, proyectar plantas industriales, comprobación y funcionamiento de los procesos.

La masa de la gota se puede calcular así:

$$m_g = V_g \cdot \rho_g \quad \text{Ec.26}$$

Donde:

$V_g$  = Volumen de la gota ( $m^3$ )

$\rho_g$  = Densidad de la gota ( $Kg/m^3$ )

A la entrada se considera la densidad de la alimentación, mientras que a la salida de la cámara la densidad de los sólidos secos.

Así que la masa se puede expresar de la siguiente forma:

$$m_g = \frac{4}{3} \pi \frac{Dg^3}{8} \rho_R \quad \text{Ec.27}$$

$$D_c = D_g \left[ \frac{\rho_R}{\rho_{RS}} \cdot \frac{1+X_{R2}}{1+X_{R1}} \right]^{1/3} \quad \text{Ec.28}$$

Donde:

$\Phi_c$  = Diámetro de la gota en el punto crítico (m)

$\Phi_g$  = Diámetro de la gota en a la entrada (m)

$\rho_R$  = Densidad de la alimentación ( $Kg/m^3$ )

$\rho_{RS}$  = Densidad de los sólidos secos ( $Kg/m^3$ )

La disminución del diámetro de la gota se debe a la pérdida de humedad, de tal forma que la humedad removida de la gota cuando se alcanza el punto crítico puede escribirse como:

$$\alpha_r = \frac{\pi}{6} (D_g^3 - D_c^3) \rho_{H_2O} \quad \text{Ec.30}$$

Donde:

$\alpha_r$  = Humedad removida hasta el punto crítico ( $Kg$ )

$\rho_{H_2O}$  = Densidad del agua ( $Kg/m^3$ )

Ahora la humedad remanente de la gota será la diferencia entre la humedad inicial y la humedad removida, por lo tanto:

$$\alpha_p = \frac{m_{g1}}{1+X_{R2}} \cdot X_{R2} - \alpha_r \quad \text{Ec.31}$$

$$\alpha_p = \frac{\pi}{6} \left( \frac{D_g^3 \rho_R}{1+X_{R1}} \right) \cdot X_{R1} - \alpha_r \quad \text{Ec.32}$$

La humedad absoluta de la gota cuando se alcanza el punto crítico, se calcula dividiendo la humedad remanente para la masa de sólidos que posee la gota. Esta humedad debe ser relativamente baja, debido al hecho que durante el periodo de velocidad constante se eliminó la mayor cantidad de agua superficial de la gota.

$$X_{Rc} = \frac{\alpha_p}{\frac{m_g}{1+X_{R1}}} \quad \text{Ec.33}$$

La temperatura superficial de una gota que contiene sólidos insolubles o soluciones no electrolíticas en el período de velocidad constante puede ser considerado como la temperatura de bulbo húmedo del aire de secado de forma tal que en el punto crítico la temperatura de la gota está dada por:

$$T_{R_c} = T_{bh_1}$$

Donde:

$T_{R_c}$  = Temperatura superficial de la gota en el punto crítico (K)

$T_{bh_1}$  = Temperatura de bulbo húmedo del aire de secado (K)

En el caso de no disponer de la temperatura de bulbo húmedo del aire de entrada a la cámara, se utiliza la siguiente expresión:

$$P_v - P_{g_{Tbh}} = -66(T_A - T_{bh_1}) \quad \text{Ec.34}$$

Dónde la presión de saturación debe ser evaluada a la temperatura de bulbo húmedo:

$$P_{g_{Tbh}} = 100e^{\left(19,016 \frac{4064,95}{T_{bh_1} + 236,25}\right)} \quad \text{Ec.35}$$

Como se aprecia se debe resolver las 2 ecuaciones anteriores para obtener la temperatura de bulbo húmedo, para ello se utiliza el método de la secante.

#### 1.4.2.1.4. Humedad y temperatura del aire en el punto crítico.

La humedad absoluta del aire cuando se alcanza el punto crítico se obtiene del balance de agua en la cámara de secado desde la entrada hasta el punto crítico, entonces:

$$X_{Ac} = X_{A1} + \frac{\dot{m}_{RS}(X_{R1} - X_{Rc})}{\dot{m}_A} \quad \text{Ec.36}$$

La temperatura del aire cuando alcanza el punto crítico la podemos calcular a partir del cálculo de la entalpia del aire en el punto crítico:

$$T_{Ac} = T_0 + \frac{H_{Ac} - X_{Ac} \cdot \lambda_0}{C_{pA} + X_{Ac} C_v} \quad \text{Ec.37}$$

Dónde  $H_{Ac}$  se obtiene del balance de energía sobre la cámara de secado desde la entrada hasta el punto crítico:

$$H_{A_c} = H_{A_1} + \frac{\dot{m}_{RS}(h_{R1} - h_{Rc})}{\dot{m}_A} \quad \text{Ec.38}$$

La entalpía de los sólidos cuando se alcanza el punto crítico se calcula de la siguiente forma:

$$h_{R_c} = (Cp_R + X_{R_c} \cdot Cp_{H_2O}) (T_{Rc} - T_0) \quad \text{Ec.39}$$

#### 1.4.2.1.5. *Tiempo de secado.*

El tiempo de secado se determina por la sumatoria de los tiempos de los dos periodos de secado, tanto el de velocidad constante y el de velocidad decreciente.

**Período de velocidad constante (anticrítico):** Es el período en el cual la humedad disminuye linealmente con el tiempo de secado. La humedad del sólido disminuye linealmente hasta un valor de humedad crítica.

**Período de velocidad decreciente (poscrítico):** Es este período la velocidad disminuye desde la humedad crítica hasta la humedad final, donde la velocidad de secado se anula.

El tiempo total de secado se define como:

$$t_T = t_c + t_d \quad \text{Ec.40}$$

Donde:

$t_T$  = Tiempo total de secado (s)

$t_c$  = Tiempo de secado en el período de velocidad constante (s)

$t_d$  = Tiempo de secado en el período de velocidad decreciente (s)

Para el tiempo de secado en el período de velocidad constante se supone un equilibrio dinámico, donde la velocidad de transferencia de calor es igual a la velocidad de transferencia de masa multiplicada por el calor latente de vaporización, así:

$$h_c \cdot A \cdot \Delta T_{ml1} = -\lambda_{bh} \frac{dm_g}{dt} \quad \text{Ec.41}$$

Donde:

$h_c$  = Coeficiente de transferencia de calor ( $W/m^2K$ )

A = Área de la gota ( $m^2$ )

$\Delta T_{ml1}$  = Media logarítmica de temperatura entre la gota y el aire desde la entrada hasta el punto crítico (K)

$\lambda_{bh}$  = Calor latente de vaporización a la temperatura de bulbo húmedo (J/Kg)

$\frac{dm_g}{dt}$  = Velocidad de transferencia de masa (Kg/s)

Debido a que la gota es esférica su área se define como:

$$A = \pi D_g^2 \quad \text{Ec.42}$$

Donde:

$A$  = área de la gota ( $m^2$ )

$D_g$  = diámetro de la gota ( $m$ )

La masa de la gota es igual al producto de su volumen por su densidad así:

$$m_g = \frac{\pi}{6} D_g^3 \rho_{H_2O} \quad \text{Ec.43}$$

Donde:

$m_g$  = masa de la gota (Kg)

$D_g$  = Diámetro de la gota ( $m$ )

$\rho_{H_2O}$  = Densidad del agua de la gota (Kg/ $m^3$ )

La media logarítmica de temperaturas en el período de velocidad constante es igual a:

$$\Delta T_{ml1} = \frac{(T_{A1} - T_{R1}) - (T_{Ac} - T_{Rc})}{\ln \frac{(T_{A1} - T_{R1})}{(T_{Ac} - T_{Rc})}} \quad \text{Ec.43}$$

El calor latente de vaporización debe ser evaluado a la temperatura de bulbo húmedo del aire.

$$\lambda_{bh} = 2502535,259 - 2385,76424 \cdot T_{bh} \quad \text{Ec.44}$$

El coeficiente de transferencia de calor puede despejarse del número de Nusselt, quedando:

$$h_c = \frac{N_u k_d}{D_g} \quad \text{Ec.45}$$



Donde:

$N_u$  = Número de Nusselt

$k_d$  = Conductividad térmica de la película de aire que rodea la gota (W/mK)

Por lo tanto el número de Nusselt es igual a:

$$N_u = 2$$

El tiempo de secado en el período de velocidad decreciente se calcula siguiendo el mismo procedimiento que el cálculo para el tiempo de secado en el periodo de velocidad constante, la única diferencia es que como el diámetro de la gota permanece constante, la masa de la gota se define en función de su humedad así:

$$m_g = \frac{\pi}{6} D_c^3 \rho_{RS} X_R \quad \text{Ec.46}$$

La media logarítmica de temperaturas en el período de velocidad decreciente se calcula a continuación:

$$\Delta T_{ml2} = \frac{(T_{Ac}-T_{Rc})-(T_{A2}-T_{R2})}{\ln\left(\frac{T_{Ac}-T_{Rc}}{T_{A2}-T_{R2}}\right)} \quad \text{Ec.47}$$

#### 1.4.2.1.6. Tiempo de viaje de la gota a la pared de la cámara de secado.

El tiempo de viaje de la gota a la pared de la cámara de secado se obtiene con la siguiente expresión:

$$t_v = \frac{\left(R_{cs} - \frac{Dr}{4}\right)^2}{2,4v_{res}\left(\frac{Dr}{2}\right)^{1/2}} \quad \text{Ec.48}$$

Dónde:

$t_v$  = Tiempo de viaje de la gota a la pared de la cámara de secado (s)

$R_{cs}$  = Radio de la cámara de secado (m)

$Dr$  = Diámetro del atomizador (m)

$v_{res}$  = Velocidad de la gota que sale del atomizador (m/s)

$b$  = ancho de un chorro de aire que sale del atomizador (m)

Según las condiciones para el diseño de la cámara de secado se debe cumplir que el tiempo de viaje de la gota sea mayor o igual al tiempo de secado.

$$t_v \geq t_T$$

El tiempo de viaje de la gota hacia las paredes de la cámara, es un valor que sirve como referencia para el diseño de la cámara de secado, ya que el tiempo de viaje determinara cuan ancho debe ser la cámara para que la gota se seque, y no exista perdida de producto.

Partiendo de la ecuación del tiempo de viaje y despejando el radio de la cámara de secado se tiene:

$$R_{cs} = \frac{Dr}{4} + \left[ 2, 4t_T V_{res} \left( b \frac{Dr}{2} \right)^{1/2} \right]^{1/2} \quad \text{Ec.49}$$

Por lo tanto el diámetro de la cámara de secado es igual a:

$$D_{cs} = 2R_{cs}$$

El cálculo del tiempo de secado se aplica para establecer criterios de selección de los secaderos rápidos industriales, su optimización, así como, el diseño de instalaciones y/o la remodelación de las existentes para adecuarlas a las exigencias de la producción.

#### 1.4.2.1.7. *Calor transferido a la gota durante el tiempo de viaje.*

El flujo de calor transferido por convección del aire caliente a la alimentación durante el tiempo de viaje a la pared de la cámara implica movimiento de volúmenes de regiones que están a una temperatura a regiones que están a otra temperatura.

El transporte de calor está ligado al movimiento del propio medio se calcula con la siguiente expresión:

$$Q_{tf} = \frac{12k_d \Delta T_{m3}}{\rho_R D_g^2} \dot{m}_R t_v \quad \text{Ec.50}$$

La conductividad térmica de la película de aire que rodea la gota ( $k_d$ ), es la capacidad que posee el aire para conducir calor, se evalúa a una temperatura promedio entre la temperatura del aire y la temperatura superficial de la gota.

La media logarítmica de temperaturas durante el proceso de secado se calcula a continuación:

$$\Delta T_{ml3} = \frac{(T_{A1}-T_{R1})-(T_{A2}-T_{R2})}{\ln\left(\frac{T_{A1}-T_{R1}}{T_{A2}-T_{R2}}\right)} \quad \text{Ec.51}$$

#### 1.4.2.1.8. Calor necesario para secar la alimentación

El flujo de calor necesario es la cantidad de calor que se necesita para secar la alimentación, se calcula así:

$$Q_{nec} = \dot{m}_A (Cp_A + X_{A1} C_v) (T_{A1} - T_{A2}) \quad \text{Ec.52}$$

Para el diseño de este tipo de secadores existe una condición propuesta que se debe cumplir:

$$Q_{tf} \geq Q_{nec}$$

En caso de no cumplirse la condición, se debe aumentar el valor del calor transferido, aumentando el tiempo de viaje de la gota, y por ende se deberá aumentar el diámetro de la cámara de secado para optimizar el proceso y así evitar pérdidas.

La mayor parte, de la necesidad energética, se requiere para generar calor para procesos técnicos. El calor de proceso se genera a partir de diversos portadores de energía y se transporta a través de diferentes medios, como por ejemplo agua caliente, vapor o aire caliente.

La corriente eléctrica se requiere sobre todo para motores eléctricos, iluminación o procesos galvánicos. Aparte del calor de proceso, la energía térmica también se utiliza para calentar espacios y agua de servicio

**Tabla 4-1: Fórmulas de capacidad calorífica para el agua y aire**

Sustancia	Ecuación
Aire 273<T<1800 K J/mol-K	$C_p = 28.09 + 0.1965 \times 10^{-2} \cdot T + 0.4799 \times 10^{-5} \cdot T^2 - 1.965 \times 10^{-9} \cdot T^3$
Agua (l) 273<T<373 K J/mol-K	$C_p = 18.2964 + 47.212 \times 10^{-2} \cdot T - 133.88 \times 10^{-5} \cdot T^2 + 1314.2 \times 10^{-9} \cdot T^3$
Agua (g) 0<T<1500 °C J/mol-°C	$C_p = 33.46 + 0.688 \times 10^{-2} \cdot T + 0.7604 \times 10^{-5} \cdot T^2 - 3.593 \times 10^{-9} \cdot T^3$

Fuente: HIMMELBLAU., "Principios básicos y cálculos en ingeniería química", 1997

#### 1.4.2.1.9. Transferencia de calor

Se tiene la siguiente expresión:

$$Q_x = \frac{T_{A1} - T_a}{R_T} \quad \text{Ec.53}$$

Donde

$Q_x$  = Calor transferido (W)

$T_{A1}$  = Temperatura de calentamiento (K)

$T_a$  = Temperatura ambiente (K)

$R_T$  = Resistencias térmicas (K/W)

#### 1.4.3. Eficiencias

La eficiencia es la capacidad para realizar o cumplir adecuadamente una función. Las eficiencias calculadas a continuación son para operaciones no adiabáticas, en las cuales se consideraran pérdidas de energía en forma de calor y por ende los valores calculados serán bajos, no así tratándose de un sistema adiabático (ideal) en los cuales las pérdidas de energía son nulas.

##### 1.4.3.1. Eficiencia térmica del secador por aspersion.

La eficiencia térmica de la operación de secado se define como la relación entre el calor usado para la evaporación y el calor total disponible si el aire de salida está saturado, así

$$n_t = \frac{\dot{m}_{RS}(X_{R1}-X_{R2})\lambda_{bh}}{\dot{m}_A (Cp_A+X_{a1} Cv) (T_{A1}-T_{bh1})} \quad \text{Ec.54}$$

#### 1.4.3.2. Eficiencia de evaporación

Se calcula como la relación de la energía suministrada al proceso para la evaporación del agua con respecto a la energía que debiera ser suministrada para evaporar la masa de agua.

$$n_{ev} = \frac{Q_{nec}}{Q_{if}} \cdot 100 \quad \text{Ec.55}$$

Debido a que el proceso no es adiabático no toda la energía es utilizada por el equipo, con lo que la eficiencia de evaporación deberá ser menor que la eficiencia global, evidenciándose con esta diferencia la pérdida de energía durante la operación.

Este cálculo se aplica en todos los procesos y operaciones industriales para determinar su buen funcionamiento.

#### 1.4.4. Recuperación de sólidos

Es la relación en porcentaje entre la cantidad de producto que se obtiene y la cantidad de sólidos alimentados

$$\text{Recuperacion} = \frac{m_p}{m.\%SA} \cdot 100 \quad \text{Ec.56}$$

Este cálculo se aplica en todas las operaciones que produzcan material particulado.

#### 1.4.5. Rendimiento

El rendimiento es la utilidad de una cosa en relación con lo que gasta es decir la relación de la masa de producto por masa de alimentación

$$\text{Rendimiento} = \frac{m_p}{m} \quad \text{Ec.57}$$

Este cálculo se aplica en todos los procesos y operaciones industriales para determinar su rentabilidad.

#### 1.4.6. Productividad

Es la cantidad producida por unidad de tiempo

$$\mathbf{Productividad} = \frac{m_p}{t}$$

Ec.58

Se aplica en las industrias que tengan una línea de producción.

## 2 MARCO METODOLÓGICO

### 2.1 Muestreo

Para evaluar el secador por atomización en relación a la eficiencia del proceso, se empleó la toma de datos de temperatura de entrada y salida, usando sensores de temperatura, con los que se pudo aproximar el coeficiente global de transferencia. Además, siendo la eficiencia también dependiente del tiempo de secado, se comparó con el tiempo presentado en la tesis de diseño y construcción del secador por atomización.

El rendimiento se comparó por la validación del equipo con los datos obtenidos de rendimiento, usando el sistema de control automático.

### 2.2 Metodología

#### 2.2.1 Métodos

Los métodos empleados en el presente proyecto, están fundamentados en la base bibliográfica consultada (Tesis, trabajos publicados), de la cual derivan los conceptos, definiciones, técnicas, y demás principios científicos necesarios para la ejecución de los objetivos planteados. Así como, de la información aportada por la toma de datos experimentales, con el fin de responder las posibles interrogantes que se puedan presentar en el desarrollo del secado por atomización y evaluar el producto obtenido.

##### 2.2.1.1. Método descriptivo.

El diseño de un sistema de control automático para el secador por atomización para obtener un colorante natural de remolacha (betalaínas), requiere un conocimiento de todas las características de manera general del proceso, equipo, materia prima e insumos para de manera progresiva entender cada una de ellas, y realizar los respectivos cálculos de ingeniería cuya aplicación admita la amplia variación de los parámetros operacionales, haciéndolo así a este equipo, no limitante, a las condiciones requeridas para la obtención de este colorante.

Para llevar a cabo la Operación Unitaria de Secado por Atomización y la obtención de colorante natural en polvo a partir de la remolacha, se debe realizar una selección previa de la materia prima basándose

en la frescura y tamaño indicado en la norma INEN 1832 “Hortalizas Frescas Remolacha”. Con la remolacha seleccionada se prosigue a realizar la extracción del zumo mediante un extractor. El zumo de remolacha es filtrado para eliminar partículas pequeñas de bagazo que no hayan sido retenidas en el extractor, luego se prepara la formulación con el encapsulante; maltodextrina, a estas se determinan algunas propiedades fisicoquímicas como densidad, viscosidad, pH y grados Brix; luego se vierte el zumo concentrado en el recipiente de alimentación para iniciar el proceso de secado, variando los parámetros de operación en cada ensayo, para la posterior selección del colorante en polvo de remolacha.

Esto se realiza mediante el análisis del producto obtenido en características como color, textura e higroscopia, pero además este colorante natural debe cumplir con los requisitos establecidos en una norma, tomando como base la Norma NMX-F-263-1975 para Colorante Orgánico – Sintético Rojo que garantiza su uso o consumo, sin dejar de considerar importante el rendimiento de producción y eficiencia del equipo.

#### 2.2.1. *Técnicas*

- **Evaluación de funcionalidad y control:** Se determinó las fallas y facilidades de aplicación del sistema de control, y definiendo las variables que serán sujeto de control.
- **Muestreo de Temperatura:** Se empleó un circuito básico con: sensores de temperatura, termoresistencias, en la toma de información de temperaturas, para calcular pérdidas de calor por la superficie del secador.
- **Ensayos de Laboratorio**
- **Organolépticas**

Las mismas que se llevaron a cabo en los laboratorios de Procesos Industriales, Análisis Instrumental y Bioquímica de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH.



2.2.2.1. Determinación del porcentaje de sólidos y humedad

Tabla 5-2: Determinación del porcentaje de sólidos del extracto de remolacha y humedad del colorante.

FUNDAMENTO	MATERIALES	TÉCNICA	CÁLCULO
<p>La humedad nos indica la cantidad de agua que contiene un cuerpo, se expresa por lo general para los sólidos.</p> <p>El porcentaje de sólidos totales es la materia seca que permanece constante luego de la remoción del agua.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estufa</li> <li>• Balanza analítica</li> <li>• Desecador</li> <li>• Capsulas de porcelana</li> <li>• Pinza de capsula</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tarar la capsula</li> <li>• Pesar la capsula tarada vacía</li> <li>• Pesar 5 g de muestra en la capsula</li> <li>• Ingresar a la estufa la capsula con la muestra a 110°C por un lapso de 8-12 h</li> <li>• Enfriar la capsula con la muestra en el desecador hasta temperatura ambiente.</li> <li>• Pesar la capsula fría hasta alcanzar un peso constante</li> </ul>	$\%SA = \frac{P_1 - P_2}{P_1}$ $\%H = \frac{M_1 - M_2}{M_1}$ <p>Donde:</p> <p><b>%SA</b> = Porcentaje de sólidos totales</p> <p><b>P<sub>1</sub></b> =Peso de la cápsula más muestra líquida (g)</p> <p><b>P<sub>2</sub></b> =Peso de la cápsula más muestra seca (g)</p> <p><b>%H</b> =Humedad</p> <p><b>M<sub>1</sub></b> =Peso de la cápsula más sólido húmedo (g)</p> <p><b>M<sub>2</sub></b> =Peso de la cápsula más sólido seco (g)</p>

Fuente: CRUZ L./HINOJOSA K./ ESPOCH2015

Determinación de la densidad por el método del picnómetro

Tabla 6-2: Determinación de la densidad del extracto de remolacha.

FUNDAMENTO	MATERIALES	TÉCNICA	CÁLCULO
La densidad hace referencia a la cantidad de masa en un determinado volumen de sustancia.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Balanza Analítica</li> <li>Picnómetro 10 mL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pesar el picnómetro de 10 ml vacío</li> <li>Llenar el picnómetro hasta el borde con la muestra de extracto de remolacha</li> <li>Colocar el capilar del picnómetro</li> <li>Pesar el picnómetro lleno con la muestra de extracto de remolacha</li> </ul>	$m = pm - pv$ <p>Donde:</p> <p><b>m</b> = Peso del extracto de remolacha (g)</p> <p><b>pm</b> = Peso picnómetro con muestra de extracto (g)</p> <p><b>pv</b> = Peso picnómetro vacío(g)</p> $\rho = \frac{m}{v}$ <p>Donde:</p> <p><b>ρ</b>: densidad del extracto de remolacha (g/mL)</p> <p><b>v</b> = Volumen muestra (10mL)</p> <p><b>m</b> = Peso del extracto de remolacha (g)</p>

Fuente: CRUZ L./HINOJOSA K./ ESPOCH2015

2.2.2.2. Determinación de la densidad de sólidos

Tabla 7-2: Determinación de la densidad del colorante de remolacha en polvo

FUNDAMENTO	MATERIALES	TÉCNICA	CÁLCULO
<p>La densidad de sólidos hace referencia a la cantidad de masa de una sustancia que ocupa un determinado volumen.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Balanza Analítica</li> <li>• Vaso precipitación 50 mL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pesarse el vaso de precipitación vacío</li> <li>• Colocar el polvo de remolacha en el vaso de precipitación.</li> <li>• Verificar el volumen ocupado por el polvo</li> <li>• Pesarse el vaso de precipitación con el polvo</li> </ul>	$m = p_r - p_v$ <p>Donde:</p> <p><b>m</b> = Peso del polvo de remolacha (g)</p> <p><b>p<sub>r</sub></b> = Peso del vaso de precipitación con el polvo(g)</p> <p><b>p<sub>v</sub></b> = Peso del vaso de precipitación vacío (g)</p> $\rho = \frac{m}{v}$ <p>Donde:</p> <p><b>ρ</b>: densidad del polvo de remolacha (g/mL)</p> <p><b>v</b> = Volumen ocupado por el polvo en el vaso de precipitación (g)</p> <p><b>m</b> = Peso del polvo de remolacha (g)</p>

Fuente: CRUZ L./HINOJOSA K./ ESPOCH2015

2.2.2.3. Determinación de la viscosidad dinámica mediante el viscosímetro rotatorio

Tabla 8-2: Determinación de la viscosidad dinámica del extracto de remolacha

FUNDAMENTO	MATERIALES	TÉCNICA
<p>La viscosidad es una propiedad de los fluidos que hace referencia a la resistencia que presenta un fluido a su movimiento por la aplicación de una fuerza; en el caso de la viscosidad dinámica esta fuerza es mecánica.</p> <p>Mediante el viscosímetro rotatorio se mide la resistencia mecánica que opone el líquido al avance del movimiento del husillo, y la misma crece proporcionalmente a la velocidad de rotación del husillo y al tamaño del mismo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Viscosímetro digital de rotación</li> <li>• Termómetro</li> <li>• Vaso precipitación 250 mL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tomar una muestra del extracto en el vaso de precipitación de 250 mL</li> <li>• Medir la temperatura de la muestra</li> <li>• Instale el husillo seleccionado en el tornillo de unión.</li> <li>• Encienda el equipo</li> <li>• Seleccione el número de husillo L1</li> <li>• Seleccione la velocidad de rotación a 60 rpm.</li> <li>• Girar el mando del soporte para que descienda el viscosímetro y que el husillo se introduzca suavemente en el líquido a medir; la superficie del líquido deberá coincidir con la marca del nivel del husillo.</li> <li>• Compruebe que el equipo este bien nivelado</li> <li>• Pulse el botón de inicio de la medida; el husillo comenzará a girar.</li> <li>• Registrar el valor</li> <li>• Presione el botón de parada; el motor se apagará y se puede retirar el husillo para su limpieza.</li> <li>• Apagar el equipo</li> </ul>

Fuente: CRUZ L./HINOJOSA K./ ESPOCH2015

#### 2.2.2.4. Determinación de grados brix (°bx) mediante el refractómetro

Tabla 9-2: Determinación de los grados brix (°bx) del extracto de remolacha

FUNDAMENTO	MATERIALES	TÉCNICA
<p>Los grados Brix (°Bx) nos permite conocer la concentración de sólidos solubles presentes en un jugo o disolución expresados en porcentaje de sacarosa.</p> <p>El refractómetro es un instrumento óptico que mide los grados Brix basado en la refracción de la luz.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Refractómetro</li> <li>• Pipeta Pasteur</li> <li>• Pizeta</li> <li>• Agua destilada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agregar al prisma del refractómetro una gota de muestra del extracto de remolacha utilizando la pipeta Pasteur.</li> <li>• Apuntar el refractómetro a un fuerte foco de luz.</li> <li>• Ajustar el ocular enfocable hasta que sea visible la escala del refractómetro, en grados °Brix.</li> <li>• Lavar el prisma con el agua destilada mediante la ayuda de la Pizeta y secar.</li> </ul>

Fuente: CRUZ L./HINOJOSA K../ ESPOCH2015

2.2.2.5. Determinación de la tensión superficial mediante el método del capilar

Tabla 10-2: Determinación de la tensión superficial del extracto de remolacha

FUNDAMENTO	MATERIALES	TÉCNICA	CÁLCULO
<p>La tensión superficial se refiere a las fuerzas ejercidas sobre la superficie de las moléculas del fluido, estas fuerzas cohesivas mantienen unidas las moléculas. Existen diferentes métodos para determinar esta magnitud, pero el método de ascenso del capilar es el método que presenta mayor precisión.</p> <p>Este método se basa en la medición de la altura de líquido que se eleva dentro de un tubo capilar.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vaso de precipitación 250 mL</li> <li>• Tubo capilar</li> <li>• Termómetro</li> <li>• Regla</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tomar una muestra del extracto de remolacha en el vaso de precipitación.</li> <li>• Medir la temperatura</li> <li>• Fijar el capilar a la regla e introducirlos en el vaso.</li> <li>• Esperar hasta que el fluido ascienda por el capilar y se mantenga constante.</li> <li>• Tomar la medida de la altura de ascenso del fluido por el capilar</li> </ul>	$\gamma = \frac{1}{2} g \cdot h \cdot r \cdot \rho$ <p>Donde:</p> <p><math>\gamma</math> = Tensión superficial del extracto de remolacha <b>dina/cm</b></p> <p><math>g</math> = Gravedad 980 <b>cm/s<sup>2</sup></b></p> <p><math>h</math> = Altura de ascenso del líquido por el capilar <b>cm</b></p> <p><math>r</math> = Radio del tubo capilar <b>cm</b></p> <p><math>\rho</math> = Densidad del extracto de remolacha <b>g/cm<sup>3</sup></b></p>

Fuente: CRUZ L./HINOJOSA K./ ESPOCH2015

### 2.2.2.6. Determinación de higroscopia

Tabla 11-2: Determinación de higroscopia del colorante de remolacha en polvo

FUNDAMENTO	MATERIALES	TÉCNICA	CÁLCULO
<p>La higroscopia es la capacidad de algunas sustancias de absorber la humedad del ambiente, en el caso de los colorantes es una propiedad importante a evaluar porque está relacionado con la calidad y estabilidad del polvo.</p> <p>Analizando el incremento del peso, será un indicativo de que el material está absorbiendo humedad y por lo tanto es higroscopico.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Balanza analítica</li> <li>• Cajas Petri</li> <li>• Espátula</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pesar 5 g de muestra de polvo de remolacha en la caja Petri.</li> <li>• Tapar las caja Petri</li> <li>• Tomar el peso cada 2 h</li> </ul>	$m = p_2 - p_1$ <p>Donde:</p> <p><b>m</b> = Masa de agua que ha aumentado en el polvo de remolacha (g)</p> <p><b>p<sub>1</sub></b> = Peso inicial de la caja Petri con el polvo de remolacha (g)</p> <p><b>p<sub>2</sub></b> = Peso de la caja Petri con el polvo de remolacha después del periodo de tiempo establecido. (g)</p>

Fuente: CRUZ L./HINOJOSA K./ ESPOCH2015

### 2.2.2.7. Determinación de solubilidad

Tabla 12-2: Determinación de solubilidad del colorante de remolacha en polvo

FUNDAMENTO	MATERIALES	TÉCNICA
<p>La solubilidad es la capacidad que tiene un sólido (solute) en disolverse en un medio líquido (solvente) a una determinada temperatura. .</p> <p>La solubilidad del soluto dependerá de la afinidad con el medio líquido, ya que no todos podrán disolverse en un mismo medio.</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Balanza analítica</li><li>• Tubos de ensayo</li><li>• Espátula</li><li>• Varilla de agitación</li><li>• Agua destilada</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• En un tubo de ensayo añadir un volumen conocido de agua.</li><li>• Pesar 1 g de polvo de remolacha</li><li>• Agregar el polvo de remolacha en el tubo de ensayo</li><li>• Observar la facilidad con que las partículas se desplazan en el líquido</li><li>• Agitar</li><li>• Observar si todas las partículas de colorante se han disuelto</li></ul>

Fuente: CRUZ L./HINOJOSA K./ ESPOCH2015



2.2.2.8. *Determinación del tamaño de partículas por tamizado*

Tabla 13-2: *Determinación del tamaño de las partículas del colorante de remolacha en polvo*

FUNDAMENTO	MATERIALES	TÉCNICA
<p>El tamaño de las partículas está determinado por el diámetro de las mismas.</p> <p>El tamizado es un método muy sencillo para separar mezclas de sólidos heterogéneos, el cual consiste en hacer pasar una cantidad de masa conocida por una serie de tamices de diferente número de malla, ordenados del mayor a menor diámetro de abertura ; las partículas de menor diámetro pasarán mientras las más grandes se quedaran retenidas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Balanza analítica</li> <li>• Juego de mallas o tamices N° 70, 100, 140, 270, 400 y charola de fondo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pesarse exactamente 50 g de colorante en polvo de remolacha</li> <li>• Montar el juego de tamices del N° 70 al 400</li> <li>• Transferir el colorante en polvo de remolacha a la malla seleccionada.</li> <li>• Agitar vigorosamente los tamices sobre una superficie plana por un lapso de 15 minutos en forma rotatoria circular y 15 minutos en forma de vaivén golpeando contra la superficie.</li> <li>• Pesarse el polvo retenido en cada tamiz</li> </ul>

Fuente: CRUZ L./HINOJOSA K./ ESPOCH2015

### 2.2.2.9. Determinación de características organolépticas

Tabla 14-2: Determinación de características organolépticas del colorante de remolacha en polvo

FUNDAMENTO	MATERIALES	TÉCNICA
<p>Los análisis organolépticos son pruebas subjetivas que se hacen sobre un alimento mediante la valoración cualitativa de los sentidos (gusto, vista, olfato, etc.).</p> <p>Estos análisis nos permiten conocer la calidad de un producto.</p> <p>En el caso de colorantes se hizo referencia a su color y textura.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cajas Petri</li> <li>• Espátula</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocar una muestra representativa del colorante en polvo de remolacha en la caja Petri</li> <li>• Clasificar las cajas Petri con las diferentes muestras en función de su intensidad de color.</li> <li>• Observar en el transcurso de los días si existe algún cambio en su color y textura.</li> <li>• Saborear cada una de las muestras</li> <li>• Percibir cada una de las muestras</li> </ul>

Fuente: CRUZ L./HINOJOSA K./ ESPOCH2015

2.2.2.10. *Determinación de presencia de betalaínas mediante espectrofotometría uv-visible*

Tabla 15-2: *Espectrofotometría de absorción uv – visible*

FUNDAMENTO	MATERIALES	TÉCNICA
<p>La radiación ultravioleta o visible puede ser absorbida por las sustancias, lo que causa que sus átomos pasen de estado basal a estado excitado. Esa energía (luz) que necesita absorber a diferentes longitudes de ondas para alcanzar ese estado de excitación es propia de cada molécula por lo que permite identificar un compuesto o grupos funcional. El Espectrofotómetro UV-Vis es el instrumento utilizado para medir la intensidad de luz que pasa a través de una muestra y la compara con la intensidad de la misma antes de pasar por la muestra, esta relación se llama transmitancia y es esta se basa la absorbancia.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espectrofotómetro UV-Vis</li> <li>• Celda de cuarzo de 1cm</li> <li>• Matraz aforado de 25ml</li> <li>• Pipeta 10 mL</li> <li>• Piceta</li> <li>• Agua destilada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Preparar las disoluciones del extracto y colorante en polvo de remolacha en una relación 1:25 en agua destilada.</li> <li>• Encender el Espectrofotómetro</li> <li>• Realizar un blanco con agua destilada y encerar.</li> <li>• Elegir la longitud de onda a la cual se realizará posteriormente la medida de la absorbancia, para las betacianinas 538 nm y betaxantinas 474 nm.</li> <li>• Lavar muy bien la celda con la muestra que se va a realizar la medida</li> <li>• Medir la absorbancia de cada una de las disoluciones.</li> </ul>

Fuente: CRUZ L./HINOJOSA K./ ESPOCH2015

2.2.2.11. *Determinación de presencia de betalaínas mediante espectrometría infrarroja*

Tabla 16-2: *Espectrometría de absorción infrarroja*

FUNDAMENTO	MATERIALES	TÉCNICA
<p>La espectrometría infrarroja se basa en la vibración específica que presentan los enlaces de las moléculas, si la energía en forma de luz que absorbe la molécula es igual a la energía que necesita para la vibración se produce el espectro infrarrojo. Mientras más fuertes sean los enlaces químicos con mayor frecuencia se darán las vibraciones. El espectrómetro IR es el equipo que nos permite observar los espectros vibracionales, y estos identificar los compuestos o grupos funcionales presentes en una muestra.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espectrofotómetro IR</li> <li>• Espátula</li> <li>• Pipeta Pasteur</li> <li>• Alcohol</li> <li>• Algodón</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Encender el Espectrómetro IR y el computador con el software de control.</li> <li>• Limpiar adecuadamente el cristal con algodón y alcohol</li> <li>• Colocar una gota o cantidad de polvo de muestra en el cristal del Espectrómetro IR</li> <li>• Bajar el brazo de la prensa y atornillar</li> <li>• Enviar a correr el programa</li> <li>• Observar los espectros</li> <li>• Cerrar el programa y apagar el equipo.</li> </ul>

Fuente: CRUZ L./HINOJOSA K./ ESPOCH2015

### 2.2.1 Muestreo de temperatura

Tabla 17-2: Muestreo de temperaturas para el diseño del sistema de control automático

FUNDAMENTO	MATERIALES	TÉCNICA	CÁLCULO
<p>Para poder determinar la ecuación de proceso para el diseño de sistema de control automático, se requieren de datos experimentales como la temperatura inicial, final y coeficiente global transferencia de calor así como las temperaturas de las superficies alrededor del equipo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensores de temperatura tipo LM35 lineal-proporcional</li> <li>• Resistencia eléctricas de 330 <math>\Omega</math>.</li> <li>• Cable eléctrico de 0.5 mm<sup>2</sup>.</li> <li>•</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recolectar de Forma experimental los datos de temperaturas.</li> <li>• Realizar Balances de Masa y Energía.</li> <li>• Determinar perturbaciones del proceso de secado</li> <li>• Obtener la ecuación de proceso</li> </ul>	$\rho V C_v \frac{dT_f(t)}{dt}$ <p>Donde:</p> <p><math>\rho</math> Densidad del producto</p> <p><math>V</math> Volumen del producto</p> <p><math>\frac{dT_f(t)}{dt}</math> Derivada de la temperatura final con respecto al tiempo..</p>

Realizado por: Quintanilla S./ Toledo C.

## Datos Experimentales

**Tabla 18-2:** Datos experimentales del extracto de remolacha a 50% maltodextrina 21 °C

Propiedad	Valor	Unidades
$\rho_R$	1,15	$g/cm^3$
$\mu_R$	0,19	$g/cm.s$
$\gamma_R$	73,26	$dyn/cm$
°Bx	34,4	°Brix

Elaborado por: Quintanilla S. / Toledo C.

**Tabla 19-2:** Datos experimentales del secador por atomización

Parámetro	Valor	Unidades
$m$	0,3	$Kg$
$t$	1200	$s$
$\dot{m}_R$	$3 \times 10^{-4}$	$Kg/s$
SA	36,67	%
SP	97,01	%
$T_a$	21	°C
$T_{bh\ 1}$	17	°C
$T_{bh}$	36	°C
$T_{R_1}$	21	°C
$T_{R_2}$	60	°C
$T_{A_1}$	120	°C
$T_{A_2}$	73	°C
$\dot{V}_{gas}$	1200	$L/h$
$V_g$	$3,3 \times 10^{-9}$	$m^3$
$D_2$	$1,5 \times 10^{-4}$	$m$
$v_g$	21	$m/s$
$v_l$	3	$m/s$
$\rho_{RS}$	0,432982	$g/m^3$
$D_r$	0,002	$m$
$b$	$1 \times 10^{-3}$	$m$

Elaborado por: Quintanilla S. / Toledo C.

### 2.3. Datos adicionales

**Tabla 20-2:** Datos adicionales generales

<b><i>gravedad</i></b>	980	( $cm/s^2$ )
<b><i>Altura</i></b>	2750	<i>msnm</i>
<b><math>\varphi</math></b>	80,3	%
<b>Temperatura de referencia</b>	0	$^{\circ}C$

Elaborado por: Quintanilla S. / Toledo C.

**Tabla 21-2:** Datos adicionales del extracto de remolacha  $21^{\circ}C$

<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
$Cp_R$	1672	$J/Kg^{\circ}K$

Fuente: Noma Inen hortalizas

**Tabla 22-2:** Datos adicionales del aire

<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
$k_d$	0,024	$W/mK$
$\rho_A$ ( $20^{\circ}C$ )	1,2	$Kg/m^3$
$Cp_A$ ( $0^{\circ}C$ )	1004,67	$J/KgK$
$\lambda_0$ ( $0^{\circ}C$ )	2502535,259	$J/Kg$

Fuente: OCON TOJO., Problemas de Ingeniería Química. Tomo I, 1979

**Tabla 23-2:** Datos adicionales del agua

<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
$\rho_{H_2O}$ ( $20^{\circ}C$ )	998,29	$Kg/m^3$
$C_v$ ( $0^{\circ}C$ )	1850	$J/KgK$
$Cp_{H_2O}$ ( $0^{\circ}C$ )	4217,6	$J/KgK$

Fuente: OCON TOJO., Problemas de Ingeniería Química. Tomo I, 1979

## Capítulo III

### 3. CÁLCULOS Y RESULTADOS

#### 3.2. Control Automático

##### AUTOMATIZACIÓN

Partiendo de la ecuación del balance de energía:

- DINÁMICA

*Entrada – Salida – Intercambio = Acumulación*

$$E - S - EI = A$$

$$\rho q C_p T_{i(t)} - \rho q C_p T_{f(t)} - UA [T_{f(t)} - T_{s(t)}] = \rho V C_v \frac{dT_{f(t)}}{dt}$$

- ESTACIONARIO

$$\rho q C_p \bar{T}_i - \rho q C_p \bar{T}_f - UA [\bar{T}_f - \bar{T}_s] = 0$$

VARIABLES DE DESVIACIÓN

$$T_{i(t)} = T_{i(t)} - \bar{T}_i$$

$$T_{s(t)} = T_{s(t)} - \bar{T}_s$$

$$T_{f(t)} = T_{f(t)} - \bar{T}_f$$

Ecuación del proceso

$$\rho q C_p T_{i(t)} - \rho q C_p T_{f(t)} - UA [T_{f(t)} - T_{s(t)}] = \rho V C_v \frac{dT_{f(t)}}{dt}$$

Empleando artificios matemáticos, y asignando valores a constantes:

$$\frac{q \rho C_p T_{i(t)}}{q \rho C_p + UA} - \frac{q \rho C_p T_{f(t)}}{q \rho C_p + UA} + \frac{UA [T_{f(t)} - T_{s(t)}]}{q \rho C_p + UA} = \frac{\rho V C_v}{q \rho C_p + UA} \frac{dT_{f(t)}}{dt}$$

$$K_1 = \frac{\rho q C_p}{\rho q C_p + UA}$$

$$K_2 = \frac{UA}{\rho q C_p + UA}$$



$$\tau = \frac{\rho V C_v}{\rho q C_p + UA}$$

$$K_1 T_{i(t)} - K_1 T_{f(t)} - K_2 T_{f(t)} + K_2 T_{s(t)} = \tau \frac{dT_{f(t)}}{dt}$$

Trasformada de la Place |

$$K_1 T_{i(s)} - K_1 T_{f(s)} - K_2 T_{f(s)} + K_2 T_{s(s)} = \tau_s T_{f(s)}$$

$$\tau_s T_{f(s)} + K_1 T_{f(s)} + K_2 T_{f(s)} = K_1 T_{i(s)} + K_2 T_{s(s)}$$

$$T_{f(s)} [\tau_s + K_1 + K_2] = K_1 T_{i(s)} + K_2 T_{s(s)}$$

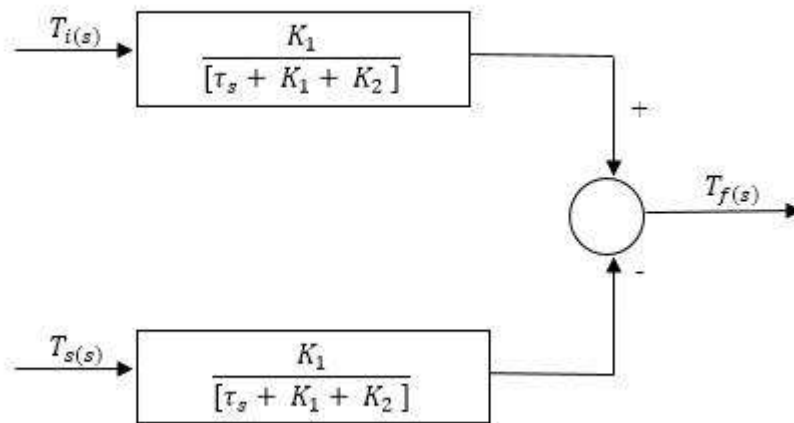
$$T_{f(s)} = \frac{K_1 T_{i(s)} + K_2 T_{s(s)}}{[\tau_s + K_1 + K_2]} \text{ Ecuacion control del proceso}$$

Funciones de Transferencia

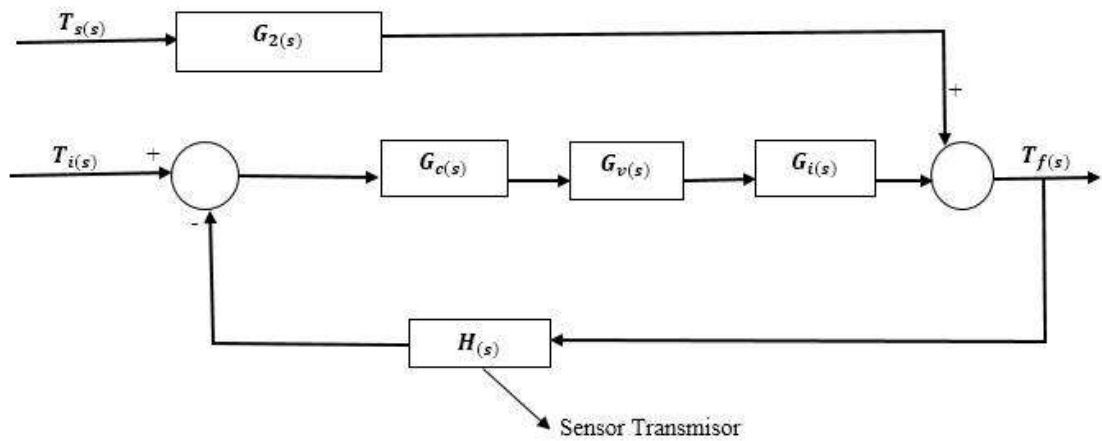
$$\frac{T_{f(s)}}{T_{i(s)}} = \frac{K_1}{[\tau_s + K_1 + K_2]} = G_{1(s)}$$

$$\frac{T_{f(s)}}{T_{s(s)}} = \frac{K_2}{[\tau_s + K_1 + K_2]} = G_{2(s)}$$

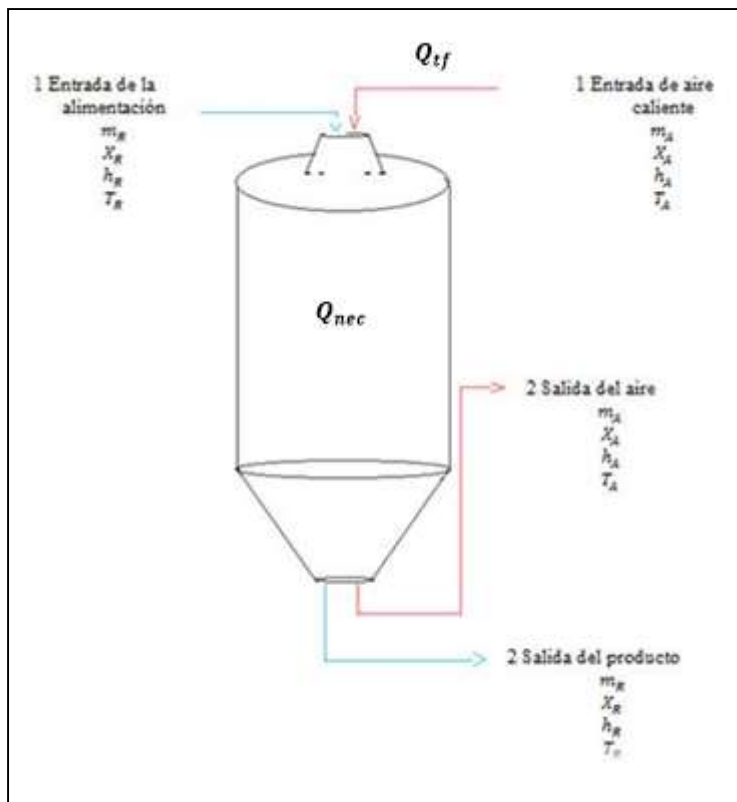
Diagrama de bloques del sistema de control



### 3.2.1. Deducción del diagrama de bloques



### 3.3. Balance de masa y energía



Fuente: CRUZ L./HINOJOSA K.,/ ESPOCH/2015

**Figura 12-3.** Diagrama de flujo de la cámara de secado

Flujo de solido seco en la alimentación. Según la Ec.2 es:

$$\dot{m}_{RS} = 3 \times 10^{-4} \frac{36,67}{100}$$

$$\dot{m}_{RS} = 1.10 \times 10^{-4} \text{ Kg ss/s}$$

Humedad de la alimentación. Según la Ec.3 es:

$$X_{R1} = \frac{100 - 36,67}{36,67}$$

$$X_{R1} = 1,73 \text{ Kg } H_2O/\text{Kg ss}$$

Flujo de masa de agua contenida en la alimentación. Según la Ec.1 es:

$$\dot{m}_{RH_2O_1} = (1.10 \times 10^{-4})(1,73)$$

$$\dot{m}_{RH_2O_1} = 1,903 \times 10^{-4} \text{ Kg } H_2O/s$$

Humedad del producto. Según la Ec.3 es:

$$X_{R2} = \frac{100 - 97,01}{97,01}$$

$$X_{R2} = 0,03 \text{ Kg } H_2O/\text{Kg ss}$$

Flujo de masa de agua contenida en el producto. Según la Ec.1 es:

$$\dot{m}_{RH_2O_2} = (1.10 \times 10^{-4})(0,03)$$

$$\dot{m}_{RH_2O_2} = 3,3 \times 10^{-6} \text{ Kg } H_2O/s$$

Humedad del aire a la entrada

La presión de la localidad. Según la Ec.8

$$P = 101325 e^{\frac{2750}{8600}}$$

$$P = 139505,02 \text{ Pa}$$

La presión del vapor saturado. Según la Ec.7

$$\ln P_{vs} = 19,016 - \frac{4064,95}{21 + 236,25}$$

$$P_{vs} = 23,4765 \text{ mBar}$$

$$P_{vs} = 2347,65 \text{ Pa}$$

La presión parcial de vapor. Según la Ec.6

$$P_v = (0,803)(2347,65)$$

$$P_v = 1885,16 \text{ Pa}$$

La humedad absoluta del aire a la entrada. Según la Ec.5

$$X_A = 0,62 \frac{1885,16}{139505,02 - 1885,16}$$

$$X_{A_1} = 0,013 \text{ Kg } H_2O / \text{Kg as}$$

Entalpía de la alimentación. Según la Ec.16 es:

$$h_{R1} = [1672 + 1,73(4217,6)](294 - 273)$$

$$h_{R1} = 188337,40 \text{ J/Kg}$$

Entalpía del producto. Según la Ec.16 es:

$$h_{R2} = [1672 + 0,0319(4217,6)](338 - 273)$$

$$h_{R2} = 116904,32 \text{ J/Kg}$$

Entalpía del aire de entrada. Según la Ec.21 es:

$$H_{A1} = [1004,67 + 0,013(1850)](393 - 273) + (0,01)(2502535,259)$$

$$H_{A1} = 155979.35 \text{ J/Kg}$$

Humedad del aire a la salida del sistema. Según la Ec.25 es:

$$X_{A2} = \frac{[155979.35 - 1004,67(346 - 273)](1,73 - 0,03) + 0,013(116904,32 - 188337,40)}{[1850(346 - 273) + 2502535,259](1,73 - 0,03) + (116904,32 - 188337,40)}$$

$$X_{A2} = 0,03 \text{ Kg } H_2O / \text{Kg as}$$

Flujo de aire. Según la Ec.26 es:

$$\dot{m}_A = 1,1 \times 10^{-4} \frac{(1,73 - 0,03)}{(0,03 - 0,013)}$$

$$\dot{m}_A = 0.011 \text{ Kg/s}$$

Agua contenida en el aire de entrada. Según la Ec.4 es:

$$\dot{m}_{AH_2O_1} = 0.011 \times 0,013$$

$$\dot{m}_{AH_2O_1} = 1.43 \times 10^{-4} \text{ Kg } H_2O / \text{s}$$

Cantidad de agua en el aire de salida. Según la Ec.9 es:

$$\dot{m}_{AH_2O_2} = 1.903 \times 10^{-4} + 1.903 \times 10^{-4} - 3,3 \times 10^{-6}$$

$$\dot{m}_{AH_2O_2} = 3,3 \times 10^{-4} \frac{\text{Kg } H_2O}{\text{s}}$$

Entalpia del aire a la salida. Según la Ec.12

$$H_{A2} = \frac{1,10 \times 10^{-4}(188337,40 - 116904,32)}{0,011} + 155979.35$$

$$\mathbf{H}_{A_2} = 156693.6808 \text{ J/Kg}$$

### 3.3.1. Diámetro de la gota

Velocidad relativa del gas con respecto al líquido

$$\mathbf{u} = 21 - 3$$

$$\mathbf{u} = 18 \text{ m/s}$$

Flujo volumétrico del líquido

$$\dot{V}_l = \frac{3 \times 10^{-4}}{1,15} \cdot 3600$$

$$\dot{V}_l = 0,93 \text{ L/h}$$

Diámetro de la gota. Según la Ec.27 es:

$$\mathbf{D}_g = \frac{585\sqrt{73,26}}{18\sqrt{1,15}} + 597 \left( \frac{0,19}{\sqrt{73,26(1,15)}} \right)^{0,45} \left( \frac{1000(0,93)}{1200} \right)^{1,5}$$

$$\mathbf{D}_g = 328,33 \mu$$

$$\mathbf{D}_g = 3,2833 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Masa de la gota. Según la Ec.29 es:

$$\mathbf{m}_g = 3,3 \times 10^{-9} (1150)$$

$$\mathbf{m}_g = 3,83 \times 10^{-6} \text{ Kg}$$

Diámetro de la gota en el punto crítico

$$\mathbf{D}_2 = D_c = 1,5 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Humedad removida de la gota cuando se alcanza el punto crítico. Según la Ec.32 es:

$$\alpha_r = \frac{\pi}{6} [(3,2833 \times 10^{-4})^3 - (1,5 \times 10^{-4})^3] 998,29$$

$$\alpha_r = 1,6736 \times 10^{-8} \text{Kg}$$

Humedad remanente de la gota. Según la Ec.33 es:

$$\alpha_p = \frac{3,83 \times 10^{-6}}{1 + 0,03} \cdot 0,03 - 1,6736 \times 10^{-8}$$

$$\alpha_p = 9,4817 \times 10^{-8} \text{Kg}$$

Humedad absoluta de la gota cuando se alcanza el punto crítico. Según la Ec.35 es:

$$X_{R_c} = \frac{9,4817 \times 10^{-8}}{\frac{3,83 \times 10^{-6}}{1 + 1,73}}$$

$$X_{R_c} = 0,0675 \text{Kg } H_2O / \text{Kg } ss$$

Temperatura de la gota en el punto crítico

$$T_{R_c} = T_{bh_1} = 36^\circ C = 309 \text{ } ^\circ K$$

### 3.3.2. *Humedad y temperatura del aire en el punto crítico.*

Humedad absoluta del aire cuando se alcanza el punto crítico. Según la Ec.39 es:

$$X_{Ac} = 0,013 + \frac{1,10 \times 10^{-4} (1,73 - 0,0675)}{0,011}$$

$$X_{Ac} = 0,0296 \text{Kg } H_2O / \text{Kg } as$$

Entalpía de los sólidos cuando se alcanza el punto crítico. Según la Ec.43 es:

$$h_{R_c} = [1672 + 0,0675 (4217,6)](309 - 273)$$

$$h_{R_c} = 69378,21 \text{ J/Kg}$$

Entalpía del aire cuando se alcanza el punto crítico. Según la Ec.42 es:

$$H_{A_c} = 155979,35 + \frac{1,10 \times 10^{-4} (188337,40 - 69378,21)}{0,011}$$

$$H_{A_c} = 148045,45 \text{ J/Kg}$$

Temperatura en el punto crítico se obtiene. Según la Ec.41 es:

$$T_{Ac} = 273 + \frac{148045,45 - (0,0296)(2502535,259)}{1004,67 + (0,0296)(1850)}$$

$$T_{Ac} = 342,82^\circ\text{K}$$

$$T_{Ac} = 69,82^\circ\text{C}$$

### 3.3.3. *Tiempo de secado.*

La media logarítmica de temperaturas en el periodo de velocidad constante. Según la Ec.51 es:

$$\Delta T_{ml1} = \frac{(120 - 21) - (69,82 - 36)}{\ln \frac{(120 - 21)}{(69,82 - 36)}}$$

$$\Delta T_{ml1} = 57,65^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{ml1} = 330,65 \text{ }^\circ\text{K}$$

Calor latente de vaporización. Según la Ec.52 es:



$$\lambda_{bh} = 2502535,259 - 2385,76424. (309)$$

$$\lambda_{bh} = 1765334,109 \text{ J/Kg}$$

Tiempo de velocidad constante. Según la Ec.57 es:

$$t_c = \frac{() (998,29)}{(8)(0,024) (330)} [(3,2833 \times 10^{-4})^2 - (1,5 \times 10^{-4})^2]$$

$$t_c = 2,03 \text{ s}$$

La media logarítmica de temperaturas en el período de velocidad decreciente. Según la Ec.63 es:

$$\Delta T_{ml2} = \frac{(69,82 - 36) - (73 - 65)}{\ln \frac{(69,82 - 36)}{(73 - 65)}}$$

$$\Delta T_{ml2} = 18,23^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{ml2} = 291,23^\circ\text{K}$$

Tiempo en el periodo de velocidad decreciente. Según la Ec.62 es:

$$t_d = \frac{(1765334,109)(1,5 \times 10^{-4})^2 (432,982)}{(12) (0,024) (291,23)} (0,0675 - 0,03)$$

$$t_d = 7,68 \times 10^{-3} \text{ s}$$

Tiempo de secado. Según la Ec.44 es:

$$t_T = 2,03 + 7,68 \times 10^{-3}$$

$$t_T = 2,037 \text{ s}$$

Tiempo de viaje de la gota a la pared de la cámara de secado. Según la Ec.64 es:

$$t_v = \frac{\left(0,145 - \frac{0,002}{4}\right)^2}{2,4(3) \left((1 \times 10^{-3}) \frac{0,002}{2}\right)^{1/2}}$$

$$t_v = 2,9 \text{ s}$$

$$t_v \geq t_T$$

### 3.3.4. Calor transferido a la gota durante el tiempo de viaje

La media logarítmica de temperaturas durante el proceso de secado. Según la Ec.67 es:

$$\Delta T_{ml3} = \frac{(120 - 21) - (73 - 65)}{\ln \frac{(120 - 21)}{(73 - 65)}}$$

$$\Delta T_{ml3} = 36,17^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{ml3} = 309,17^\circ\text{K}$$

Según la Ec.66 es:

$$Q_{tf} = \frac{(12)(0,024)(309,17)}{(1150)(3,2833 \times 10^{-4})^2} (3 \times 10^{-4})(2,9)$$

$$Q_{tf} = 624,82 \text{ J/S}$$

$$Q_{tf} \geq Q_{nec}$$

### 3.3.5. Calor necesario para secar la alimentación

Según la Ec.68 es:

$$Q_{nec} = 0,011 (1004,67 + 0,013(1850))(393 - 346)$$

$$Q_{nec} = 531,84 \text{ J/s}$$

### 3.3.5.1. Eficiencia de evaporación

Según la Ec.112 es:

$$n_{ev} = \frac{531,84}{624,87} \cdot 100$$

$$n_{ev} = 85,11\%$$

### 3.3.6. Recuperación de sólidos

Según la Ec.113 es:

$$Recuperacion = \frac{0,10}{0,3 \left( \frac{36,67}{100} \right)} \cdot 100$$

$$Recuperacion = 92,06\%$$

### 3.3.7. Rendimiento

Según la Ec.114 es:

$$Rendimiento = \frac{0,10}{0,3}$$

$$Rendimiento = 0,33 \text{ Kg colorante/Kg extracto remolacha}$$

### 3.3.8. Producción

#### 3.3.8.1. Productividad

Según la Ec.115 es:

$$Productividad = \frac{100}{16,6}$$

$$Productividad = 6 \text{ g/min}$$

### 3.3.8.2. Producción de 1kg

#### 3.3.8.2.1. Tiempo

$$x = \frac{(1Kg)(16,6min)}{(0,1Kg)}$$

$$x = 166min$$

$$x = 2,7 \approx 3h$$

$$x = 3h$$

#### 3.3.8.2.2. Extracto necesario

$$x = \frac{(173,91mL)(1kg)}{(0,1Kg)}$$

$$x = 1739,1 \text{ mL de extracto}$$

#### 3.3.8.2.3. Remolacha entera necesaria

$$x = \frac{(4Kg)(1739,1mL)}{(2250mL)}$$

$$x = 3,091Kg \text{ de remolacha entera}$$

#### 3.3.8.2.4. Precio de remolacha entera

$$x = \frac{(\$1,00)(3,091 Kg)}{(4Kg)}$$

$$x = \$0,77$$

#### 3.3.8.2.5. Maltodextrina necesaria

$$x = \frac{(2173,88mL)(0,1 Kg)}{(173,91mL)}$$

$$x = 1,25 Kg$$

#### 3.3.8.2.6. Precio de la maltodextrina

$$x = \frac{(\$1,9)(1,25Kg)}{(1Kg)}$$

$$x = \$2,38$$

3.3.8.2.7. Consumo de energía eléctrica

$$x = (0,2 + 40 + 0,06 + 0,975)KW(3h)x \frac{\$0,02}{(1KWh)}$$

$$x = \$2,80$$

### 3.4. Resultados

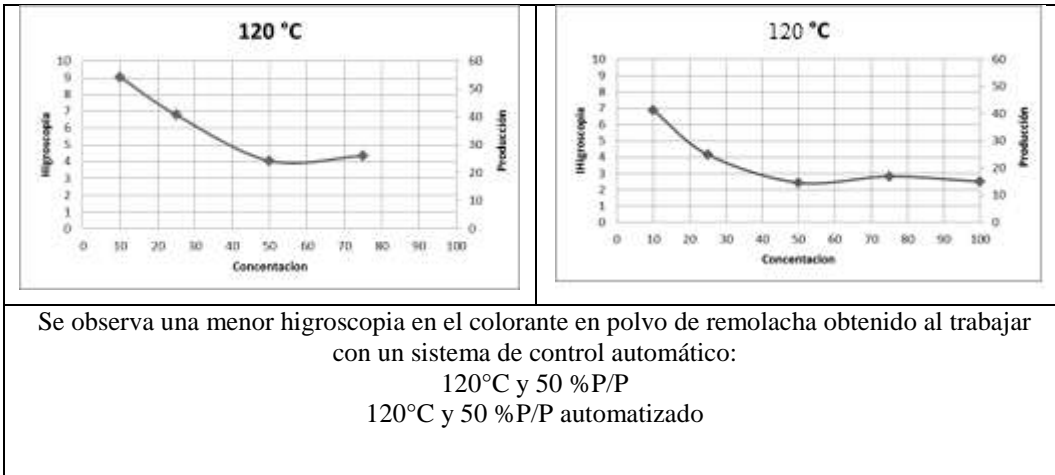
**Tabla 24-3:** Resultados Automatización

<b>DISPOSITIVO</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>CARACTERISTICAS</b>
<b>SENSOR / TRANSMISOR</b>	TAD181 TAD088KLES30-A-ZKG/U	VER ANEXO IV
<b>CONTROLADOR</b>	Controlador WIKA AC 85.02	VER ANEXO V
<b>ELEMENTO FINAL DE CONTROL</b>	Bomba de diafragma	$\eta_v = 0,98$
		$\dot{P} = 9,51 W$
		$HP = 0,015$

Fuente: Quintanilla Q./ ToledoC.

**Tabla 25-3:** Resultados de ensayos para la comparación de parámetros.

Comparación de parámetros sin automatización/ con automatización.	
<b>RENDIMIENTO</b>	
<p>Se observa que se obtiene un rendimiento mayor de producción de colorante en polvo de remolacha cuando se trabaja con un sistema de control automático:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 120°C y 50% P/P</li> <li>2. 120°C y 50% P/P automatizada</li> </ol>	
<b>TIEMPO</b>	
<p>Se observa el tiempo de producción es menor cuando se trabaja con un sistema de control automático.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 120°C y 50% P/P</li> <li>2) 120°C y 50% P/P automatizada</li> </ol> <p>Nota: no se ha considerado el tiempo de producción a 130°C debido a que esta fue interrumpida, ya que el producto se quemaba por recalentamiento.</p>	
<b>HIGROSCOPIA</b>	



Se observa una menor higroscopia en el colorante en polvo de remolacha obtenido al trabajar con un sistema de control automático:  
 120°C y 50 %P/P  
 120°C y 50 %P/P automatizado

**Tabla 26-3: Resultados del secador por atomización Automatizado/sin automatizar**

RESULTADOS PREVIOS A LA AUTOMATIZACION				RESULTADOS CON AUTOMATIZACION			
Parámetro	Valor	Unidad	Procedencia	Parámetro	Valor	Unidad	Procedencia
$\dot{m}_{RS}$	$1,10 \times 10^{-4}$	<i>Kg ss/s</i>	Balance de masa	$\dot{m}_{RS}$	$9,1675 \times 10^{-5}$	<i>Kg ss/s</i>	Balance de masa
$X_{R_1}$	1,73	<i>Kg H<sub>2</sub>O/Kg ss</i>		$X_{R_1}$	1,73	<i>Kg H<sub>2</sub>O/Kg ss</i>	
$X_{R_2}$	0,03	<i>Kg H<sub>2</sub>O/Kg ss</i>		$X_{R_2}$	0,0319	<i>Kg H<sub>2</sub>O/Kg ss</i>	
$\dot{m}_{RH_2O_1}$	$1,903 \times 10^{-4}$	<i>Kg H<sub>2</sub>O/s</i>		$\dot{m}_{RH_2O_1}$	$1,5860 \times 10^{-4}$	<i>Kg H<sub>2</sub>O/s</i>	
$\dot{m}_{RH_2O_2}$	$3,3 \times 10^{-6}$	<i>Kg H<sub>2</sub>O/s</i>		$\dot{m}_{RH_2O_2}$	$2,9244 \times 10^{-6}$	<i>Kg H<sub>2</sub>O/s</i>	
$X_{A_1}$	0,013	<i>Kg H<sub>2</sub>O/Kg as</i>		$X_{A_1}$	0,01	<i>Kg H<sub>2</sub>O/Kg as</i>	
$X_{A_2}$	0,03	<i>Kg H<sub>2</sub>O/Kg as</i>	Balance de energía	$X_{A_2}$	0,029	<i>Kg H<sub>2</sub>O/Kg as</i>	Balance de energía
$h_{R_1}$	188337,40	<i>J/Kg</i>		$h_{R_1}$	179368,96	<i>J/Kg</i>	
$h_{R_2}$	116904,32	<i>J/Kg</i>		$h_{R_2}$	108392,49	<i>J/Kg</i>	
$H_{A_1}$	155979,35	<i>J/Kg</i>		$H_{A_1}$	147805,75	<i>J/Kg</i>	
$H_{A_2}$	156693,98	<i>J/Kg</i>		$H_{A_2}$	148599,91	<i>J/Kg</i>	
$\dot{m}_A$	0,011	<i>Kg/s</i>	Balance de masa	$\dot{m}_A$	$8,1933 \times 10^{-3}$	<i>Kg/s</i>	Balance de masa
$\dot{m}_{AH_2O_1}$	$1,43 \times 10^{-4}$	<i>Kg/s</i>		$\dot{m}_{AH_2O_1}$	$8,1933 \times 10^{-5}$	<i>Kg/s</i>	
$\dot{m}_{AH_2O_2}$	$3,3 \times 10^{-4}$	<i>Kg/s</i>		$\dot{m}_{AH_2O_2}$	$2,3761 \times 10^{-4}$	<i>Kg/s</i>	
$u$	18	<i>Kg/s</i>	Cálculo de la gota	$u$	18	<i>Kg/s</i>	Cálculo de la gota
$\dot{V}_L$	0,93	<i>L/h</i>		$\dot{V}_L$	0,7826	<i>L/h</i>	
$D_g$	$32833 \times 10^{-4}$	<i>m</i>		$D_g$	$3,1431 \times 10^{-4}$	<i>m</i>	
$m_g$	$3,83 \times 10^{-6}$	<i>Kg</i>		$m_g$	$3,83 \times 10^{-6}$	<i>Kg</i>	
$X_{R_C}$	0,0675	<i>Kg H<sub>2</sub>O/Kg ss</i>		$X_{R_C}$	0,0741	<i>Kg H<sub>2</sub>O/Kg ss</i>	
$X_{A_C}$	0,0297	<i>Kg H<sub>2</sub>O/Kg as</i>		$X_{A_C}$	0,0285	<i>Kg H<sub>2</sub>O/Kg as</i>	
$h_{R_C}$	6278,21	<i>J/Kg</i>		$h_{R_C}$	69458,35	<i>J/Kg</i>	
$H_{A_C}$	148045,45	<i>J/Kg</i>		$H_{A_C}$	149035,54	<i>J/Kg</i>	
$T_{AC}$	69,82	<i>°C</i>		$T_{AC}$	73,5	<i>°C</i>	
$\Delta T_{ml1}$	57,65	<i>°C</i>		$\Delta T_{ml1}$	64,43	<i>°C</i>	

Elaborado por: QUINTANILLA S. / TOLEDO C, Laboratorio de Procesos Industriales, ESPOCH/2016



$\lambda_{bh}$	1765334,104	$J/Kg$	Tiempo de secado	$\lambda_{bh}$	1767719,873	$J/Kg$	Tiempo de secado
$t_c$	2,03	$s$		$t_c$	2,08	$s$	
$\Delta T_{ml2}$	18,23	$^{\circ}C$		$\Delta T_{ml2}$	21,14	$^{\circ}C$	
$t_d$	$7,68 \times 10^{-3}$	$s$		$t_d$	$8,66 \times 10^{-3}$	$s$	
$t_T$	2,037	$s$		$t_T$	2,09	$s$	
$t_v$	2,9	$s$		$t_v$	2,9	$s$	
$\Delta T_{ml3}$	36,17	$^{\circ}C$		$\Delta T_{ml3}$	39,09	$^{\circ}C$	
$Q_{tf}$	624,87	$J/s$		$Q_{tf}$	573,58	$J/s$	
$Q_{nec}$	531,84	$J/s$		$Q_{nec}$	419,16	$J/s$	

**Tabla 27-3: Resultados de eficiencias Automatizado/Sin automatización**

RESULTADOS DE EFICIENCIAS PREVIAS A LA AUTOMATIZACION				RESULTADOS DE EFICIENCIAS CON AUTOMATIZACION			
Parámetro	Valor	Unidad	Procedencia	Parámetro	Valor	Unidad	Procedencia
$n_t$	39,06	%	Eficiencia	$n_t$	38,64	%	Eficiencia
$n_{ev}$	85,11	%		$n_{ev}$	73,08	%	
Recuperación de solidos	92,06	%		Recuperación de solidos	72,73	%	
Rendimiento	0,33	$Kg\ colorante /Kg\ de\ extracto$	Rendimiento	0,267	$Kg\ colorante /Kg\ de\ extracto$	Rendimiento	
Productividad	6	$g/min$	Productividad	4	$g/min$	Productividad	

Elaborado por: QUINTANILLA S../TOLEDO C. , Laboratorio de Procesos Industriales, ESPOCH/2016

**Tabla 28-3:**Resultados de Producción de colorante de remolacha en polvo Automatizado/sin automatización

Producción	Colorante (Kg)	Extracto (ml)	Remolacha (Kg)	Remolacha (\$)	Maltodextrina (Kg)	Maltodextrina (\$)
3 Hora	1	1739,1	3,09	0,77	1,25	2,38
RESULTADOS DE PRODUCCION COLORANTE SIN AUTOMATIZACION						

Producción	Colorante (Kg)	Extracto (ml)	Remolacha (Kg)	Remolacha (\$)	Maltodextrina (Kg)	Maltodextrina (\$)
4 Hora	1	2173,88	3,86	1,21	1,25	2,38

Elaborado por: QUINTANILLAA S/ TOLEDO C., Laboratorio de Procesos Industriales, ESPOCH/2016

### 3.5. Análisis y Discusión

Se implementó un sistema de control automático en el secador por atomización, razón por la cual se realizaron prácticas comparativas determinando que existe una optimización en el tiempo de operación, es decir que al trabajar con una alimentación de extracto de remolacha con maltodextrina (encapsulante utilizado por la alta pegajosidad del extracto), en concentración de 50 % P/P, se mejoró el rendimiento, por lo tanto de 0,26 Kg de colorante/Kg de extracto en un tiempo de 20 min., se obtuvo 0,33 Kg colorante/ Kg de extracto en un tiempo de 16 minutos, indicando que el análisis de estos valores no obstruye la boquilla atomizadora por lo que no existe perdidas del producto.

El proceso en el secador automatizado inicio con una humedad del aire de secado a 0,013Kg de agua /Kg as incrementándolo hasta 0,03 Kg de agua / Kg as, indicando una mejor eficiencia de evaporación de 85,11%, en cambio con un secador de control manual se evidencio un incremento de humedad de secado de 0,01Kg de agua/ kg as hasta 0,029 Kg de agua/ Kg as con una eficiencia de evaporación de 73,08%, estos porcentajes demuestran que al utilizar un control automático se obtendría una salida de aire llegando casi a la saturación.

Con una alimentación de 0,3 Kg de extracto con maltodextrina, el tiempo de producción fue de 16 min. Obteniendo 0,1 Kg de polvo de remolacha mucho mayor en comparación al obtenido manualmente con una alimentación de 0,3 Kg de extracto en 20 min alcanzando 0,08 kg de polvo de remolacha, es decir con un sistema de control automático obtendremos una recuperación de sólidos de 92,06%, este porcentaje se considera eficiente debido a que existe un 7,94% de pérdidas de partículas más finas de colorante en las paredes del equipo y en la corriente de aire en la salida.

El tiempo de viaje de la gota hacia las paredes de la cámara de secado es de 2,9 s, el cual debe ser mayor al tiempo de secado que es de 2,09 s en un control manual del secador por atomización; en un control automático el tiempo de secado es 2,037 s debido a que el calor transferido es de 624,87 J/s siendo mayor al calor necesario que tiene un valor de 531, 84 J/s con una eficiencia térmica de 39,06 %, existiendo una mejora de 0,42% en un sistema no adiabático.

Al colorante de remolacha en polvo se le realizaron algunas pruebas fisicoquímicas dando como resultado un pH de 6,25, una higroscopia de 4,05% y fue soluble en agua. Además se aplicó la técnica de espectrofotometría UV-Visible e infrarroja identificando la presencia de betacianinas en una longitud de onda de 540nm, mientras que las betaxantinas en una longitud de onda de 472nm. Además se enviaron muestras a un laboratorio certificado para que sean analizadas todas las especificaciones de la norma NMX-F-262-1975 “COLORANTE ORGÁNICO- SINTÉTICO ROJO”; debido a que todos los parámetros analizados están dentro de los límites permitidos para el colorante, se garantizó la calidad y estabilidad del producto, haciéndolo así apto para el consumo o aplicación industrial.

## CONCLUSIONES

- En el secador por atomización se obtuvo un colorante natural a partir de la remolacha por medio de un sistema de control automático “ON –OFF”, con una humedad de  $0,03\text{KgH}_2\text{O/Kg ss}$  , con una temperatura de secado de  $120\text{ }^\circ\text{C}$  arrojando así una eficiencia de evaporación de  $85,11\%$  para el secador.
- El flujo de aire de entrada de secador por atomización del laboratorio de procesos industriales trabaja al  $100\%$  de su capacidad salvaguardando así la integridad de la resistencia, monitoreado a través del PLC.
- Con una alimentación de  $0,3\text{ Kg}$  en concentración de  $50\%$  P/P de maltodextrina se obtiene  $0,10\text{ Kg}$  de colorante de remolacha en polvo en un tiempo de  $16\text{ min}$ . Obteniendo una productividad de  $6\text{ g/min}$  mayor a la productividad en el proceso manual de  $4\text{g/min}$
- Se validó el equipo en el laboratorio de procesos industriales con una eficiencia térmica de  $39,06\%$ , con una recuperación de sólidos  $92,06\%$  y un rendimiento  $0,33\text{ Kg colorante/ Kg de extracto}$ , comparándolo con el proceso de control manual obteniendo en este una eficiencia térmica del  $38,64\%$ , una recuperación de sólidos de  $72,73\%$  y un rendimiento de  $0,267\text{ Kg de colorante /Kg extracto}$  evaluando que existió una optimización en el proceso.

## RECOMENDACIONES

- Comprobar que la conexión eléctrica sea de 220 V trifásico polarizado
- Leer el manual antes de utilizar el equipo
- Realizar una correcta limpieza de la cámara de secado, ciclón y sistema de tuberías del equipo luego de cada operación. En el sistema de bombeo y atomización circular agua antes y después del proceso, evitando así el taponamiento y contaminación del producto.
- Utilizar las debidas normas de higiene y el EPP (mandil, mascarilla, cofia, gafas y guantes) debido a que se trabaja con material particulado y es un alimento.
- Se recomienda aislar la cámara de secado e implementar un sistema de recuperación de material particulado fino a la salida del aire del ciclón.
- Adicionar ácido ascórbico como estabilizante y propionato de sodio como conservador al colorante natural de remolacha para prolongar su vida útil, y almacenar el producto en condiciones herméticas, temperatura ambiente y reducida exposición a la luz.

## REFERENCIAS

**BATTY Clair J.** Fundamentos de la Ingeniería de Alimentos. México DF-México, CONTINENTAL. 1990, pp. 268-271

**CALLONI C.** Mantenimiento eléctrico y mecánico. Buenos Aires-Argentina, NOBUKO. 2007, pp.98

**CRUZ L, HINOJOSA L** (2015) Diseño y construcción de un secador por atomización para la obtención de colorante natural a partir de la remolacha. ESPOCH, pp. (12-17), (32-54), (62,88).

**ESPINOSA C., Daniel D.** Aclimatación de 14 cultivares de remolacha en la ESPOCH, Macají, Cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo. (Tesis) (Ing.). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Recursos Naturales, Escuela de Ingeniería Agronómica. Riobamba-Ecuador. 2013, pp. 1  
<http://elagroec.com/wp-content/uploads/2014/11/REMOLACHA-RIJK-ZWAAN.pdf>  
2016-02-20

**FRANCO Z., Miriam E.** Caracterización parcial del pigmento rojo del fruto de la jiotilla (escontria chitiolla); una cactáea subexportaciones. (Tesis) (MSc.). Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, Ciencias Biológicas y de la Salud. México DF-México. 2004, pp. 6-13  
<http://148.206.53.84/tesiuami/UAMI11759.pdf>  
2016-02-02

**GEANKOPOLIS Christie J.** Procesos de transporte y Operaciones Unitarias. México DF-México, Continental. 1982, pp. 234–240

**HART F.L, FISHER H.J.** Análisis moderno de los alimentos. Zaragoza-España, ACRIBIA. 1984, pp. 532

**KNEULE Friederich.** Enciclopedia de la Tecnología Química, Técnica de los procesos en las Industrias Químicas y Derivados. Madrid-España, URMO. 1976, pp. 347 – 360.

**LA REMOLACHA.** Ramírez C. 2004  
[http://alimentacion.es/imagenes/es/remolacha\\_tcm5-39191.pdf](http://alimentacion.es/imagenes/es/remolacha_tcm5-39191.pdf)  
2016-12-03

**MICROENCAPSULACION DE ALIMENTOS.** Parra R. 2010

<http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v63n2/a20v63n01.pdf>

2016-11-26

**MULTON Jean-Louis.** Aditivos y Auxiliares de Fabricación en las Industrias Agroalimentarias. 2. ed., Zaragoza-España, ACRIBIA. pp. 359

**BOIX O., SAIGÍ M., et al.;** Automatismos eléctricos programables [en línea]. Cataluña-España, UPC, 1995, pp. 10-14. [Consulta: 15 de mayo 2015]. Disponible en: <https://books.google.es/books?id=8VjRHw9KuA8C&dq=BOIX+I.,+SAIG%C3%8D+M.,+et+al.;+Automatismos+el%C3%A9ctricos+programa&hl=es&sa=X&ved=0CDQQ6AEwAWoVChMIsszJ4-PwxwIVCheQCh2ayQoT>

**BOLTON W.;** Programmable logic controllers [en línea]. Oxford-Inglaterra. Newnes, 2015, pp. 17-40.[Consulta: 10 de mayo 2015]. Disponible en:

<https://books.google.es/books?id=sDqnBQAAQBAJ&pg=PA63&dq=BOLTON+W.;+Programmable+logic+controllers&hl=es&sa=X&ved=0CCcQ6AEwAGoVChMI0szbluTwxwIVRQ-QCh2M4gl2#v=onepage&q=BOLTON%20W.%3B%20Programmable%20logic%20controllers&f=false>

**JACK H.;** *Automating manufacturing systems with PLCs*, Ohio-United States, Lulu.com, 2010, pp. 24-35.

**YANCHAPANTA M., Daniela C.** Obtención De Un Colorante Natural La Betalaina A Partir De La Remolacha Para Su Aplicación En Alimentos. (Tesis) (Ing.). Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencias e Ingeniería en Alimentos, Escuela de Ingeniería Bioquímica. Ambato-Ecuador. 2011, pp. 15-19

<http://repo.uta.edu.ec/bitstream/handle/123456789/1764/SBQ17%20Ref.3401.pdf?sequence=1>

2016-01-15

**PATIÑO T., VILLACIS M.** (2015) Diseño de un sistema de control automático para su implementación en el evaporador de simple efecto con serpentín del laboratorio de procesos industriales de la facultad de ciencias, ESPOCH, pp.(1-17)

**YANZA H., Erik G.** Diseño De Un Secador Por Atomización A Nivel Piloto Para Jugo Concentrado De Tomate De Árbol. (Tesis) (Ing.). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería y Agricultura, Escuela de Ingeniería Química. Manizales-Colombia. 2003, pp. 31-38

<http://www.bdigital.unal.edu.co/1025/1/erickgermanyanzah..pdf>

2016-01-25

**OGATA K., YANG Y.;** Modern control engineering, New York-United State, Prentice-Hall. 2002, pp. 53–70.

**ORREGO C.;** Procesamiento de alimentos. Manizales. Centro de publicaciones Universidad Nacional de Colombia, 2003, pp. 61–83.

**PARR E.;** Programmable controllers: an engineer's guide. Lodres-Inglaterra. Elsevier Newnes, 2003, pp. 152-210.



ANEXO I.

ANÁLISIS ORGANOLÉPTICO DEL EXTRACTO Y DEL POLVO DE REMOLACHA



(A)



(B)

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	ANÁLISIS ORGANOLÉPTICO		
A. Clasificación de color B. Degustación	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> ELIMINAR <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> APROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA QUINTANILLA S - TOLEDO c	LÁMINA	ESCALA	FECHA
			1	1:1	2016/04/25

ANEXO II.  
DENSIDAD DEL EXTRACTO DE REMOLACHA



(A)



(B)

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	DENSIDAD DE LÍQUIDO		
A. Pesar el picnómetro vacío B. Peso del picnómetro lleno	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> ELIMINAR <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> APROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN	<b>ESPOCH</b> FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA QUINTANILLA S - TOLEDO c	<b>LÁMINA</b>	<b>ESCALA</b>	<b>FECHA</b>
			2	1:1	2016/04/25

ANEXO III.

DENSIDAD DEL POLVO DE REMOLACHA



(A)



(B)

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	DENSIDAD DE SOLIDOS		
A. Peso del vaso vacío B. Peso del vaso lleno	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> ELIMINAR <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> APROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA QUINTANILLA S - TOLEDO c	LÁMINA	ESCALA	FECHA
			3	1:1	2016/04/25

ANEXO IV.

**CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO:**

Transmisor de temperatura con salida de diagnóstico  
 Conexión de proceso: G 1/4 / **Aspiración** Vario  
 Longitud de instalación EL: 87,5 mm  
 Elementos sensores redundantes con función **lockup**  
 Salida analógica 4...20 mA (NAMUR NE4), NE8)  
 Salida de diagnóstico para la supervisión de la variación del cero y de los errores  
 Escala de la medida: -25...160 °C / -13...320 °F  
 Elemento de medición: 1 x Pt 1000 + 1 x NTC, acoplados térmicamente, con función de **lockup** (la medición de temperatura tiene lugar incluso en caso de fallo de uno de los elementos sensores)  
 Configuración de fábrica: 0...150 °C / 32...302 °F

**APLICACIÓN:**

Aplicación: Líquidos líquidos y gaseosos  
 Resistencia a la presión [bar]: 50  
 Profundidad de inmersión mínima [mm]: 25

**DATOS ELÉCTRICOS:**

Alimentación: DC PNP/NPN  
 Tensión de alimentación [V]: 18...32  
 Consumo [mA]: 6 (24 V)  
 Clase de protección: III  
 Protección contra inversiones de polaridad: Sí

**SALIDAS:**

Salida: Salida analógica 4...20 mA (NAMUR NE4, NE8)  
 Salida de diagnóstico para la supervisión de la variación del cero y de los errores  
 Función de salida: normalmente abierto / normalmente cerrado / **heartbeat** programable, 4...20 mA analógica  
 Corriente de salida [mA]: 250  
 Caída de tensión [V]: <2  
 Protección contra cortocircuitos: pulsada  
 Resistente a sobrecargas: sí  
 Salida analógica: 4...20 mA, Rmax 100, IUR-15

Alarma de variación del cero °C / °F	0,20...5,00 / 0,4...9,0
<b>Margen de ajuste</b>	
en intervalos de	0,05 °C    0,1 °F
<b>Resolución</b>	
Salida analógica [K]	0,05
<b>PRECISION/DIFERENCIAS</b>	
Salida analógica [K]	± 0,2 (-10...100°C); ± 0,3 (-25...10/100...150°C); ± 0,5 (150...160°C) *
Coefficientes de temperatura (en % del margen por cada 10 K)	< ± 0,01 **
Control de la variación del cero [K]	± 0,2 (-10...100°C); ± 0,3 (-25...10/100...150°C); ± 0,5 (150...160°C) *
<b>TIEMPOS DE REACCION</b>	
Retardo a la disponibilidad [s]	II
Tiempo de respuesta dinámico T05 / T09 [s]	3 / 6
Pero guardián integrado	Sí
<b>SOFTWARE/PROGRAMACION</b>	
Possibilidades de programación	Umbral para el aviso / alarma de variación del cero; <b>fail-safe</b> ; unidad de visualización; graduación de la salida analógica; conmutación de redundancia; comportamiento de la salida de diagnóstico; lógica de conmutación; contacto de cierre/apertura

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	PORCENTAJE DE SÓLIDOS Y HUMEDAD		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
			A. FICHA TECNICA SENSOR TRANSMISOR	4	1:1

CERTIFICADO     ELIMINAR  
 APROBADO     APROBAR  
 POR CALIFICAR     INFORMACIÓN

FACULTAD DE CIENCIAS  
 ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA  
 QUINTANILLA S - TOLEDO C

## ANEXO V.

### Indicador

Valor real LED de 7 segmentos, 4 dígitos, rojo, altura de las cifras: 10,2 mm  
 Valor nominal LED de 7 segmentos, 4 dígitos, verde, altura de las cifras: 8,8 mm Rango de indicación de la pantalla -1999... 9999

### Entrada

Cantidad y tipo Una entrada multifuncional para **termocristencias**, termopares y señales estándar  
 Configuración de la entrada seleccionable mediante asignación de bornes y programación guiada por menú

Termopares Modelos K, J, R, S, E, T, N, PL-II, C (W/Ref5-26)

**resistencia** externa máx. **permitida:** 100 Ω

Tipo B

Resistencia externa máx. **permitida:** 40 Ω

Señales **estandarizadas** 0... 20 mA, 4... 20 mA Resistencia de entrada 50 Ω (divisor externo)

0... 1 V Resistencia de entrada > 1 MΩ

0... 5 V, 1... 5 V, 0... 10 V Resistencia de entrada > 100 kΩ

Tiempo de medición 250 ms

### Salidas de control

Salida de control 1 Las siguientes 3 versiones son factibles:

Contacto de relé Carga: AC 250 V, 3 A (carga resistiva), AC 250 V, 1 A (carga inductiva,  $\cos \phi = 0,4$ )

### Características de regulación PID, PI, PD, P, ON-OFF (ajustable)

Para determinar el parámetro de control en un control PID se puede activar una **autooptimización**.

Banda proporcional Termopares: 0... 1.000 °C

Termocristencia: 0,0... 999,9 °C

Señales estandarizadas: 0,0... 100,0 %

Tiempo integral 0... 1.000 s

Tiempo diferencial 0... 300 s

Tiempo de ciclo 1... 120 s (no disponible en salida de control señal de corriente analógica)

Histéresis Solo disponible en características de regulación ON/OFF

Termopares y termocristencias: 0,1... 100,0 °C

Señales estándar: 1... 1.000 (en el escalado de la entrada con un decimal, éste se toma en la histéresis).

Salidas de alarma máx. 2 unidades (raíz de contacto común)

(Salida de alarma 2) 1) 2) Opcionalmente como monitorización del valor real o del bucle de regulación, o monitorización del valor real y del bucle de regulación con salida común (Alarma de rotura del calentador) 1) 2)

Para sistemas de calefacción monofásicos (no es posible para salida de control señal de corriente analógica), opcionalmente diseñado hasta máx. 5 A, 10 A, 20 A o 50 A; el transformador de corriente está incluido en el volumen de suministro

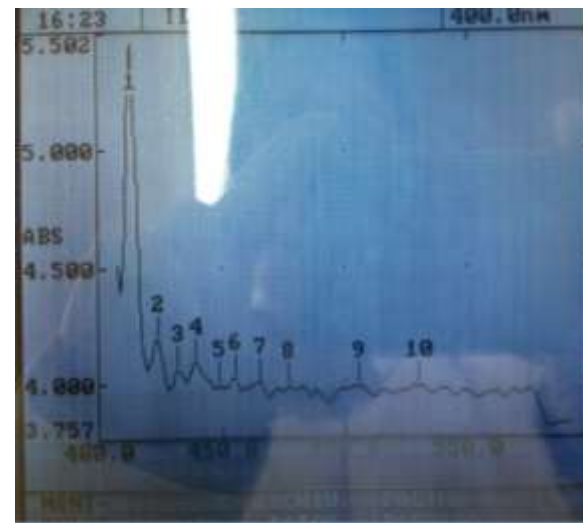
Contacto de relé 3) Carga: AC 250 V, 3 A (carga resistiva), AC 250 V, 1 A (carga inductiva,  $\cos \phi = 0,4$ )

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	TAMIZADO		
A. FICHA TECNICA CONTROLADOR	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> ELIMINAR <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> APROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA  QUINTANILLA S - TOLEDO C	<b>LÁMINA</b>	<b>ESCALA</b>	<b>FECHA</b>
			5	1:1	2016/04/25

ANEXO VI.  
ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN UV – VISIBLE



(A)



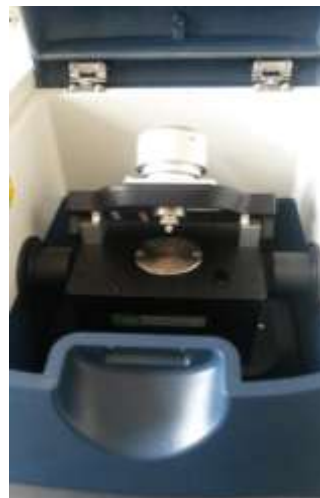
(B)

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	ESPECTROFOTOMETRÍA UV – VISIBLE		
A. Depositar la muestra en la celda de cuarzo B. Lectura de la absorción UV- visible	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> ELIMINAR <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> APROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN	<b>ESPOCH</b> FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA QUINTANILLA S - TOLEDO C	<b>LÁMINA</b>	<b>ESCALA</b>	<b>FECHA</b>
			6	1:1	2016/04/25

ANEXO VII.  
ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN INFRARROJA



(A)



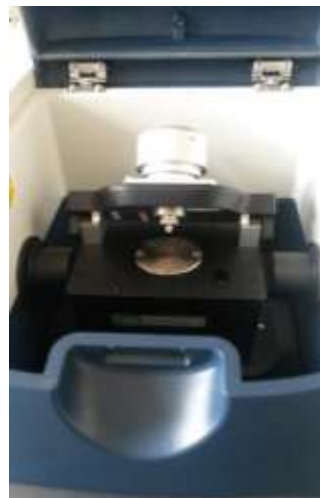
(B)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	ESPECTROMETRÍA INFRARROJA		
A. Colocación de la muestra en el diamante B. Lectura de absorción infrarroja	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> ELIMINAR <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> APROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN	<b>ESPOCH</b> FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA QUINTANILLA S - TOLEDO C	<b>LÁMINA</b>	<b>ESCALA</b>	<b>FECHA</b>
			7	1:1	2016/04/25

ANEXO VII.  
ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN INFRARROJA



(A)



(B)

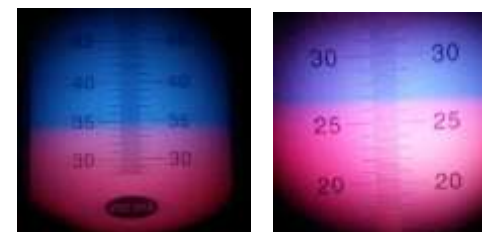
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	ESPECTROMETRÍA INFRARROJA		
A. Colocación de la muestra en el diamante B. Lectura de absorción infrarroja	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> ELIMINAR <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> APROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN	<b>ESPOCH</b> FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA QUINTANILLA S - TOLEDO C	<b>LÁMINA</b>	<b>ESCALA</b>	<b>FECHA</b>
			7	1:1	2016/04/25



ANEXO VIII.  
GRADOS BRIX



(A)

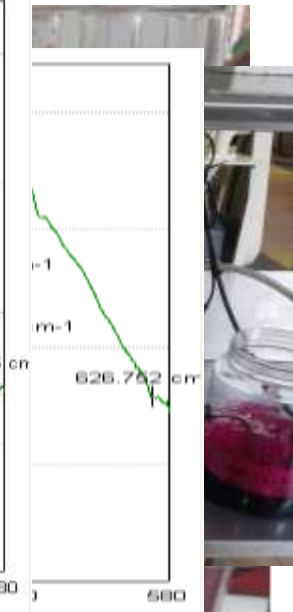
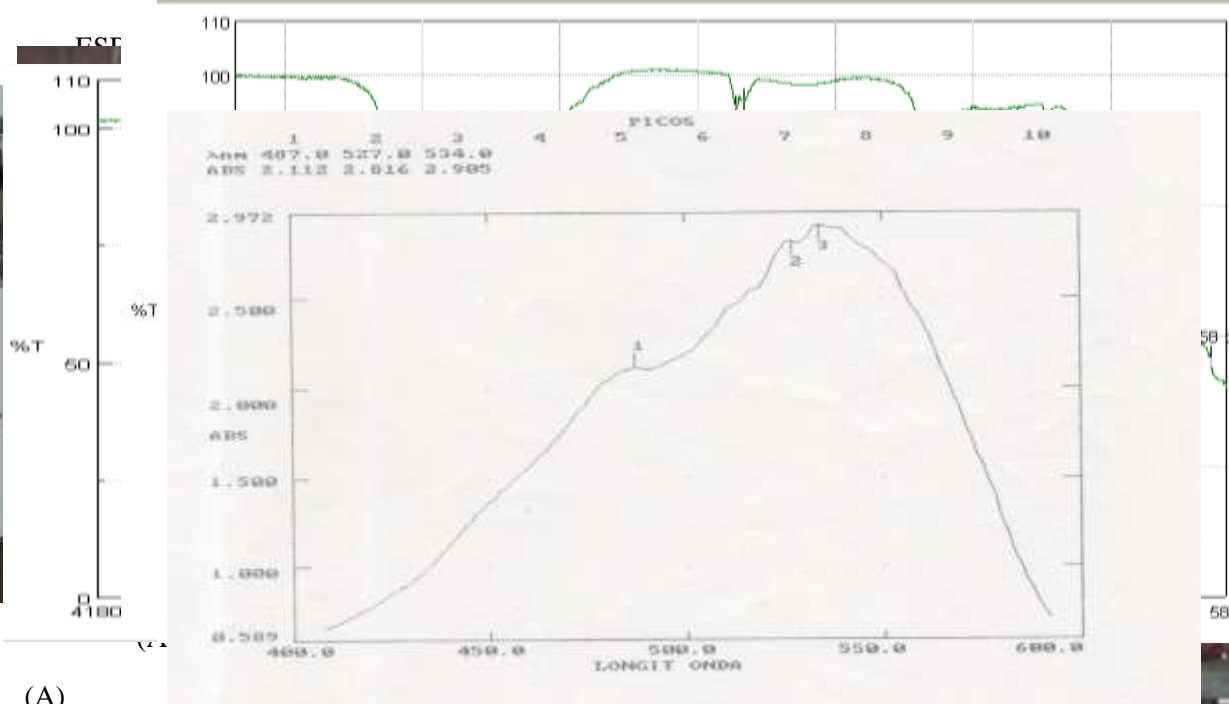


(B)

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	GRADOS BRIX		
A. Colocación de la muestra en el prisma del refractómetro B. Lectura de los ° Bx	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> ELIMINAR <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> APROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA QUINTANILLA S - TOLEDO C	LÁMINA	ESCALA	FECHA
			8	1:1	2016/04/25



ANEXO XIV.  
 SECADOR POR AEROSOL AUTOMÁTICO  
 ANEXO XVI.  
 ESPECTROMETRÍA INFRARROJO DE EXTRACTO DE REMOLACHA CON MALTODEXTRINA 50% PP  
 ANEXO XVII.  
 HUMISOSSOBAINDENIVICACE  
 PENSIÓN DE BARRIO DE LA CAJALILLA



(A)

(B) SECADOR

NOTAS  
 NOTAS  
 NOTAS

(A)

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA

ESBOGOS

ESBOGOS

ESBOGOS

ESBOGOS

ESBOGOS

ESBOGOS

ESBOGOS

ESBOGOS

ESBOGOS

ESBOGOS

ESBOGOS

ESBOGOS

ESBOGOS

ESBOGOS

ESBOGOS

ESBOGOS

ESBOGOS

ESBOGOS

ESBOGOS

ESBOGOS

ESBOGOS

ESPECTROMETRÍA INFRARROJO

ESPECTROMETRÍA INFRARROJO

ESPECTROMETRÍA INFRARROJO

ESPECTROMETRÍA INFRARROJO

ESPECTROMETRÍA INFRARROJO

ESPECTROMETRÍA INFRARROJO

ESPECTROMETRÍA INFRARROJO

ESPECTROMETRÍA INFRARROJO

ESPECTROMETRÍA INFRARROJO

ESPECTROMETRÍA INFRARROJO

ESPECTROMETRÍA INFRARROJO

ESPECTROMETRÍA INFRARROJO

ESPECTROMETRÍA INFRARROJO

ESPECTROMETRÍA INFRARROJO

ESPECTROMETRÍA INFRARROJO

ESPECTROMETRÍA INFRARROJO

ESPECTROMETRÍA INFRARROJO

ESPECTROMETRÍA INFRARROJO

ESPECTROMETRÍA INFRARROJO

ESPECTROMETRÍA INFRARROJO

ESPECTROMETRÍA INFRARROJO

- A. A. PROCESO AUTOMATIZADO DE SECADO DE EXTRACTO DE REMOLACHA CON MALTODEXTRINA 50% PP
- B. A. Medición de la viscosidad en un reómetro de tipo reómetro de aguja juntos
- C. Medición del ángulo de rotación

ESPECTROMETRÍA UV-VISIBLE DEL

EXTRACTO DE REMOLACHA CON

POR CALIFICAR  INFORMACIÓN

QUINTANILLA S - TOLEDO C

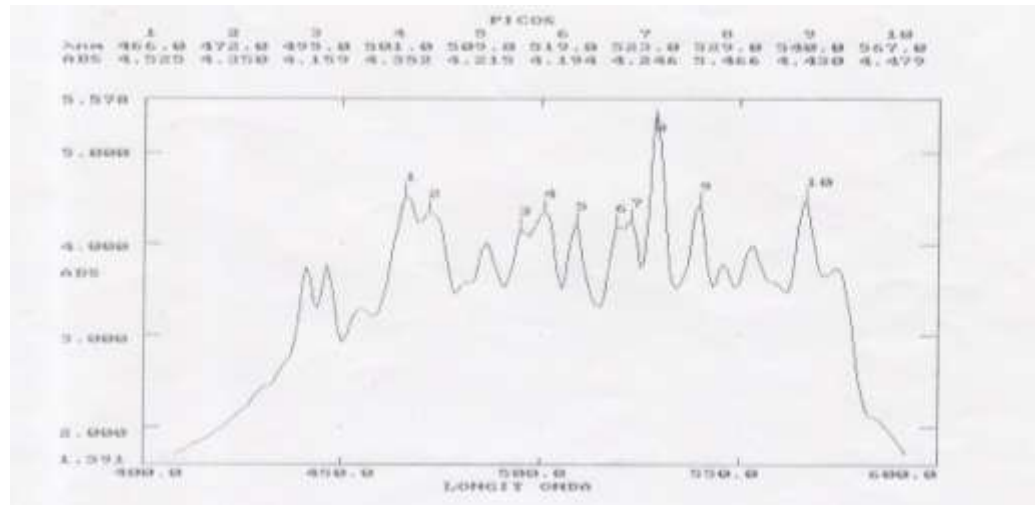
18

1.1

2016/04/25

MALTODEXTRINA 50% PP					
-------------------------	--	--	--	--	--

ANEXO XIX  
 ESPECTROMETRÍA UV-VISIBLE DEL POLVO DE REMOLACHA CON MALTODEXTRINA  
 50% PP



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	ESPECTROMETRÍA UV-VISIBLE		
ESPECTROMETRÍA UV-VISIBLE DEL EXTRACTO DE REMOLACHA CON	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> ELIMINAR	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA    INGENIERÍA    QUÍMICA QUINTANILLA S - TOLEDO C	<b>LÁMINA</b>	<b>ESCALA</b>	<b>FECHA</b>
	<input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> APROBAR		19	1:1	2016/04/25
	<input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN				

MALTODEXTRINA 50% PP					
-------------------------	--	--	--	--	--

