



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SECADOR POR
ATOMIZACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE COLORANTE
NATURAL A PARTIR DE LA REMOLACHA.”**

TESIS DE GRADO

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERA QUÍMICA**

**CRUZ CERÓN LISZETH GIOCONDA
HINOJOSA ROJAS KATHERIN LIZETH**

RIOBAMBA - ECUADOR

-2015-



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SECADOR POR
ATOMIZACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE COLORANTE
NATURAL A PARTIR DE LA REMOLACHA.”**

TESIS DE GRADO

Previo a la Obtención del Título de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORAS: CRUZ CERÓN LISZETH GIOCONDA
HINOJOSA ROJAS KATHERIN LIZETH
TUTOR: ING. HANNIBAL BRITO

RIOBAMBA - ECUADOR

-2015-

AGRADECIMIENTO

Saber que este documento representa el último peldaño para alcanzar con éxito y satisfacción una meta de gran importancia en nuestras vidas, nos llena de nostalgia y a la vez alegría de cumplir el compromiso y empezar una nueva etapa en la vida profesional. Es por ello, que no se puede dejar pasar por alto la oportunidad de expresar nuestra sincera gratitud a todas aquellas personas que con su apoyo y respaldo formaron parte de esta trascendental trayectoria.

Es importante agradecer a Dios por bendecirnos y darnos la oportunidad de llegar a culminar con éxito la carrera de Ingeniería Química, además de guiarnos por el buen camino, darnos fuerzas y sabiduría para seguir adelante, superar los obstáculos y adversidades, y hacer realidad nuestro sueño anhelado.

Agradecemos la confianza incondicional y el valioso apoyo de nuestras familias, quienes son el pilar fundamental en nuestras vidas, y el mejor ejemplo de perseverancia y constancia, que han fomentado en nosotras el deseo de superación y triunfo.

Agradecemos de manera especial a dos distinguidos y queridos docentes de nuestra escuela, al Ing. Hannibal Brito e Ing. Mario Villacrés que gracias a su experiencia profesional, aporte intelectual y participación constante en esta investigación, han permitido encaminar de manera excelente su desarrollo.

Nuestra lealtad y gratitud a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Escuela de Ingeniería Química y personal docente que forman parte de ella, por instruirnos como profesionales con ética, valores y virtudes, comprometidas con el desarrollo y progreso de la sociedad.

A nuestros queridos amigos/as un sincero gracias por todo su cariño, apoyo, paciencia y por compartir momentos de aciertos y desaciertos, y ser parte especial de este gran victoria.

KATHERIN LIZETH HINOJOSA R.

LISZETH GIOCONDA CRUZ C.

DEDICATORIA

Una vez más al cumplir uno de mis sueños debo dedicarle y agradecerle mi éxito a Dios, quien me ha llenado de bendiciones, ha iluminado mi camino y por haberme dado salud, y principalmente por escuchar mis oraciones cuando estuve a punto de renunciar, por darme las fuerzas, paciencia y amor para seguir adelante.

Para mis padres que con su apoyo incondicional, su confianza, sus consejos, su amor y la motivación constante me permitieron lograr terminar mi carrera.

A mis hermanos y sobrinos que con su ejemplo de perseverancia y constancia me han permitido mantenerme enfocada siempre en mis metas trazadas. Para mis amigas/os que con su alegría, cariño y consejos me ayudaron a sobrellevar aquellos momentos difíciles y estresantes en esta trayectoria.

A Katherin Lizeth Hinojosa Rojas por su confianza, aprecio y alegría que depositó en mi para realizar este trabajo, el mismo que fortaleció un lazo de amistad que perdurara por siempre, el que nos ha llevado a alcanzar con éxito una de nuestras metas.

Finalmente a todas aquellas personas que han marcaron esta etapa de mi vida y que de una u otra forma han sido participes de mi formación personal y académica.

Lizeth Gioconda Cruz Cerón

Con Dios no hay imposibles, todo lo podemos alcanzar. Por ello dedico este trabajo principalmente a él, por haberme bendecido con una vida llena de maravillosas personas que durante todo este periodo de estudio fueron mí compañía e impulso para no desmayar y continuar sin importar los obstáculos que tenga que vencer, y por brindarme la salud y fuerzas hasta llegar a conquistar esta gran meta en mi vida profesional.

A mis queridos padres, por ser los ángeles de mi vida, por brindarme su confianza, apoyo, paciencia y amor incondicional, porque siempre han dado su mayor esfuerzo y dedicación para poder seguir superándome y alcanzando nuevas metas, porque son mí mejor ejemplo de tenacidad y entrega, y por el orgullo y felicidad que sienten al ver cada logro en mi vida, que me da el entusiasmo de dar lo mejor de mí. A mis hermanas por ser siempre un apoyo y alegrar mi vida, por permitirme ser un ejemplo y aprender de ellas. A mi Abuelita por ser mi compañía y cuidar de mí con su cariño y consejos.

A Lizeth Cruz por compartir este logro juntas con dedicación y perseverancia, porque además de ser compañeras hemos compartido momentos especiales, cultivado una amistad sincera.

A mis amigos/as, por formar parte de mi vida y ser mis concejeros y cómplices.

Katherin Lizeth Hinojosa Rojas

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

El tribunal de tesis certifica que: El trabajo de investigación “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SECADOR POR ATOMIZACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE COLORANTE NATURAL A PARTIR DE LA REMOLACHA”, de responsabilidad de las señoritas Katherin Lizeth Hinojosa Rojas y Lizabeth Gioconda Cruz Cerón ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizado su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Dra. Nancy Veloz DECANA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
Dr. Marcelo Ramos DIRECTOR DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
Ing. Hanníbal Brito PhD DIRECTOR DE TESIS
Ing. Mario Villacrés COLABORADOR DE TESIS
COORDINADOR SISBIB ESPOCH
NOTA DE TESIS	

“Nosotras, KATHERIN LIZETH HINOJOSA ROJAS Y LISZETH GIOCONDA CRUZ CERÓN, somos responsables de las ideas expuestas y propuestas en el presente trabajo de investigación y el patrimonio intelectual de la Memoria de Grado pertenece a la **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**”

KATHERIN LIZETH HINOJOSA R.

LISZETH GIOCONDA CRUZ C.

TABLA DE CONTENIDOS

CONTENIDO	Pp.
PORTADA	
AGRADECIMIENTO	
DEDICATORIA	
HOJA DE FIRMAS	
HOJA DE RESPONSABILIDAD	
TABLA DE CONTENIDO DE ANEXOS	
TABLA DE CONTENIDO DE CUADROS	
TABLA DE ESTRUCTURAS QUÍMICAS	
TABLA DE CONTENIDO DE FIGURAS	
TABLA DE CONTENIDO DE GRÁFICAS	
TABLA DE CONTENIDO DE TABLAS	
ABREVIATURAS	
SÍMBOLOS	
RESUMEN	i
SUMMARY	ii
INTRODUCCIÓN	iii
ANTECEDENTES	iv
JUSTIFICACIÓN	vi
OBJETIVOS	vii

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Remolacha (Beteraba)	1
1.1.1 Generalidades	1
1.1.2 Variedades	2
1.2 Colorantes.....	3
1.2.1 Introducción.....	3
1.2.2 Clasificación	4

	Pp.
1.3	Betalaínas..... 6
1.3.1	Aplicaciones 8
1.3.2	Comercialización..... 10
1.3.3	Microencapsulación de betalaínas. 11
1.4	Secado..... 13
1.4.1	Secado por atomización..... 14
1.5	Dimensionamiento..... 28
1.5.1	Balance de masa 28
1.5.2	Balance de energía..... 32
1.5.3	Diámetro de la gota..... 35
1.5.4	Tiempo de secado. 41
1.5.5	Calor transferido a la gota durante el tiempo de viaje. 46
1.5.6	Calor necesario para secar la alimentación..... 47
1.5.7	Cámara de secado. 47
1.5.8	Dimensionamiento de equipos auxiliares 49
1.5.9	Eficiencias 60
1.5.10	Recuperación de solidos 61
1.5.11	Rendimiento..... 61
1.5.12	Productividad..... 61

CAPÍTULO II

2	PARTE EXPERIMENTAL 62
2.1	Plan de muestreo..... 62
2.2	Metodología..... 62
2.2.1	Métodos y técnicas 62
2.3	Datos..... 77
2.3.1	Diagnóstico..... 77
2.3.2	Datos adicionales..... 81

CAPÍTULO III

3	CÁLCULOS Y RESULTADOS 83
3.1	Diseño de ingeniería 83
3.1.1	Balance de masa y energía..... 83

	Pp.
3.1.2 Diámetro de la gota.....	87
3.1.3 Humedad y temperatura del aire en el punto crítico.	89
3.1.4 Tiempo de secado.	90
3.1.5 Calor transferido a la gota durante el tiempo de viaje	91
3.1.6 Calor necesario para secar la alimentación.....	92
3.1.7 Cámara de secado.	92
3.1.8 Dimensionamiento de equipos auxiliares	93
3.1.9 Eficiencias	101
3.1.10 Recuperación de solidos	102
3.1.11 Rendimiento.....	102
3.1.12 Producción.....	102
3.2 Resultados.....	104
3.3 Propuesta	110
3.3.1 Descripción del secado por atomización	111
3.3.2 Propuesta del secador por atomización.....	112
3.4 Análisis y discusión de resultados	114
CONCLUSIONES.....	117
RECOMENDACIONES.....	118
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

TABLA DE CONTENIDO DE ANEXOS

ANEXO	CONTENIDO
I	VISTAS DEL EQUIPO
II	SECADOR POR ATOMIZACIÓN
III	MESA
IV	BASES DE MESAS
V	TABLEROS
VI	CONO
VII	ASIENTO RESISTENCIAS
VIII	TAPA DE CÁMARA DE SECADO
IX	CÁMARA DE SECADO
X	TUBERÍA DE CONEXIÓN
XI	CICLÓN
XII	TAPA DEL CICLÓN
XIII	TUBERÍA DE PRODUCTO
XIV	TUBERÍA DE AIRE CALIENTE
XV	BOMBA
XVI	COMPRESOR
XVII	VENTILADOR
XVIII	ANÁLISIS DE CALIDAD DEL COLORANTE
XIX	ANÁLISIS ORGANOLÉPTICO
XX	DENSIDAD DE LÍQUIDO
XXI	DENSIDAD DE SÓLIDO
XXII	DETERMINACIÓN DE PORCENTAJE DE SÓLIDOS Y HUMEDAD
XXIII	DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA POR TAMIZADO
XXIV	ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN UV – VISIBLE

XXV	ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN INFRARROJA
XXVI	GRADOS BRIX
XXVII	HIGROSCOPIA
XXVIII	SOLUBILIDAD
XXIX	TENSIÓN SUPERFICIAL
XXX	VISCOSIDAD DINÁMICA
XXXI	COMPARACIÓN DE ENCAPSULANTES
XXXII	ESPECTROMETRÍA INFRARROJO DE EXTRACTO DE REMOLACHA CON MALTODEXTRINA 50% PP
XXXIII	ESPECTROMETRÍA INFRARROJO DEL POLVO DE REMOLACHA CON MALTODEXTRINA 50% PP
XXXIV	ESPECTROMETRÍA INFRARROJO DEL POLVO DE REMOLACHA CON MALTODEXTRINA 50 % (TIEMPO DE VIDA)
XXXV	ESPECTROMETRÍA UV-VISIBLE DEL EXTRACTO DE REMOLACHA CON MALTODEXTRINA 50 %
XXXVI	ESPECTROMETRÍA UV-VISIBLE POLVO DE REMOLACHA CON MALTODEXTRINA 50 %
XXXVII	DETERMINACIÓN DEL VAN Y TIR

TABLA DE CONTENIDO DE CUADROS

CUADRO	CONTENIDO	Pp.
1	Secadores	14
2	Influencia de las variables del secado por atomización	16
3	Determinación del porcentaje de sólidos del extracto de remolacha y humedad del colorante.	65
4	Determinación de la densidad del extracto de remolacha.	66
5	Determinación de la densidad del colorante de remolacha en polvo	67
6	Determinación de la viscosidad dinámica del extracto de remolacha	68
7	Determinación de los grados brix (°bx) del extracto de remolacha	69
8	Determinación de la tensión superficial del extracto de remolacha	70
9	Determinación de higroscopia del colorante de remolacha en polvo	71
10	Determinación de solubilidad del colorante del remolacha en polvo	72
11	Determinación del tamaño de las partículas del colorante de remolacha en polvo	73
12	Determinación de características organolépticas del colorante de remolacha en polvo	74
13	Espectrofotometría de absorción uv – visible	75
14	Espectrometría de absorción infrarroja	76
15	Resultados de los ensayos para la comparación de parámetros al utilizar maltodextrina	104
16	Resultados de los ensayos para la comparación de parámetros al utilizar goma arábica	107

TABLA DE CONTENIDO DE ESTRUCTURAS QUÍMICAS

Eq.	CONTENIDO	Pp.
1	Betalaínas	7
2	Betacianinas	7
3	Betaxantinas	8

TABLA DE CONTENIDO DE FIGURAS

FIGURA	CONTENIDO	Pp.
1	Remolacha	1
2	Clasificación de Colorantes	4
3	Secador por atomización.	16
4	Tipos de cámara de secado	17
5	Cámaras de secado flujo en paralelo	18
6	Cámara de secado con flujo en contracorriente	19
7	Cámara de secado con flujo mezclado	20
8	Clases de pulverizadores de fuerza centrífuga.	21
9	Tipos de pulverizadores rápidos	22
10	Pulverizador de baja presión	22
11	Ciclón	23
12	Ventilador centrifugo.	25
13	Bomba de diafragma	27
14	Diagrama de flujo del secador por atomización	28
15	Formación de gránulos	37
16	Dimensiones de la cámara de Secado	48
17	Dimensiones del ciclón	49
18	Sistema de calentamiento eléctrico	52
19	Diagrama de flujo de la cámara de secado	83
20	Diagrama de bloques del proceso de colorante de remolacha en polvo	111
21	Secador por atomización	114

TABLA DE CONTENIDO DE GRÁFICAS

GRÁFICA	CONTENIDO	Pp.
1	Curvas de secado (X vs v)	109
2	Curvas de secado (t vs X)	109

TABLA DE CONTENIDO DE TABLAS

TABLA	CONTENIDO	Pp.
1	Valor nutricional de la remolacha.	2
2	Cuantificación de las betacianina (540nm) y betaxantinas (478nm)	6
3	Correlaciones para el cálculo de calor específico de los alimentos en función de la temperatura.	33
4	Fórmulas de capacidad calorífica para el agua y el aire	52
5	Extracto de remolacha con maltodextrina evaluada a varias concentraciones y temperaturas.	78
6	Extracto de remolacha con goma arábica evaluada a varias concentraciones y temperaturas.	78
7	Propiedades de extracto de remolacha con maltodextrina a varias concentraciones	79
8	Datos experimentales del extracto de remolacha a 50% maltodextrina 20 °C	79
9	Datos experimentales del secado por atomización	79
10	Datos experimentales dimensionamiento de cámara de secado y ciclón	80
11	Datos experimentales selección del ventilador	80
12	Datos experimentales dimensionamiento del sistema de calentamiento de aire	80
13	Datos experimentales selección bomba dosificadora	80
14	Datos adicionales generales	81
15	Datos adicionales del extracto de remolacha 20 °C	81
16	Datos adicionales del aire	81
17	Datos adicionales del agua	81
18	Datos adicionales selección del ventilador	81
19	Datos adicionales dimensionamiento del sistema de calentamiento de aire	81
20	Datos adicionales selección bomba dosificadora	82
21	Datos adicionales selección del compresor	82

	Pp.	
22	Resultados del secador por atomización	108
23	Resultados dimensionamiento cámara de secado.	109
24	Resultados dimensionamiento ciclón	110
25	Resultados de eficiencias	110
26	Resultados de producción de colorante de remolacha en polvo	110
27	Resultados de consumo de energía del equipo	110
28	Costos de recursos materiales	112
29	Costos de recursos humanos	113
30	Dimensiones del secador por atomización	113
31	Variables de proceso	113

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_c</i>	Diámetro del ciclón (m)
<i>D_{co}</i>	Diámetro del sifón de la cámara de secado (m)
<i>D_{cs}</i>	Diámetro de la cámara de secado (m)
<i>D_e</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	Food and Drug Administration
<i>f</i>	Filas
<i>g</i>	Gravedad (cm/s^2)
<i>H</i>	Entalpía (KJ/Kg), altura(m)

H_c	Altura del freno (m)
h	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
MX	México
m	Metro
\dot{m}	Flujo másico (Kg/s)
$mmca$	Milímetros de columna de agua

<i>N</i>	Número de elementos
<i>N_{Re}</i>	Número de Reynolds
<i>\dot{P}</i>	Potencia (W)
<i>P</i>	Presión (Pa), (mmca)
<i>Pa</i>	Pascal
<i>Q</i>	Calor (J/s)
<i>R</i>	Remolacha
<i>RS</i>	Sólido seco en la remolacha
<i>Rs</i>	Resistencia (K/W)
<i>r</i>	Radio (<i>m</i>)
<i>S_c</i>	Diámetro del sifón del ciclón (<i>m</i>)
<i>SA</i>	Sólido seco en la alimentación (%)
<i>SP</i>	Sólido seco en el producto (%)
<i>ss</i>	Sólido seco (<i>Kg</i>)
<i>s</i>	Segundos
<i>T</i>	Temperatura (°C)
<i>t</i>	Tiempo (s)
<i>u</i>	Velocidad relativa del gas con respecto al líquido (m/s)
<i>V</i>	Volumen (<i>m</i> ³)
<i>\dot{V}</i>	Flujo volumétrico (<i>L/h</i>)
<i>v</i>	Velocidad (<i>m/s</i>)
<i>X</i>	Humedad en base seca (<i>Kg H₂O/Kg ss</i>)
<i>W</i>	Watts, potencia (<i>J/s</i>)
<i>W_{esp}</i>	Energía mecánica específica (<i>m</i> ² / <i>s</i>)
<i>z_c</i>	Altura del cono del ciclón (<i>m</i>)
<i>z₁</i>	Altura de succión (<i>m</i>)
<i>z₂</i>	Altura de descarga (<i>m</i>)

SÍMBOLOS

SÍMBOLO SIGNIFICADO

λ	Calor latente de vaporización (J/Kg)
ε	Coefficiente de emisividad
\varnothing	Diámetro
ρ	Densidad (Kg/m ³)
Φ	Humedad relativa Kg H ₂ O/Kg as
α_p	Humedad remanente de la gota (Kg)
α_r	Humedad removida de la gota cuando se alcanza el punto crítico (Kg)
Δ	Media logarítmica (°C)
π	Pi
%	Porcentaje
Σ	Sumatoria
γ	Tensión superficial, constante de Stefan-Boltzmann
μ	Viscosidad dinámica (cP)

RESUMEN

Se diseñó y construyó un 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 dimensionamiento del secador por atomización se realizó en base a las normas DIN (Deutsche Industrie Norm - Norma Industrial Alemana) y modelo de equipos NIRO; cuyos componentes principales son: ventilador regulable, sistema de calentamiento de aire, bomba de diafragma o dosificadora, sistema atomizador neumático, cámara de secado y ciclón.

Construido el secador por atomización, se preparó la alimentación por extracción y filtración de zumo a partir de remolachas enteras, con el cual se realizó 26 pruebas, trabajando con dos encapsulantes, maltodextrina y goma arábica, con las cuales se varió la formulación y la temperatura de secado. Con maltodextrina se prepararon concentraciones de 10, 25, 50, 75 y 100%P/P en zumo de remolacha, a temperaturas de secado de 120, 140, 160 y 180°C; con goma arábica sus concentraciones fueron de 10, 25 y 50%P/P a las temperaturas de 120 y 140°C. Estableciendo que las condiciones óptimas del proceso de secado por atomización son: temperatura del aire de secado de 120°C y una concentración de maltodextrina del 50%P/P. Obteniendo un producto con una humedad del $3 \pm 0,05\%$, higroscopia $4,05 \pm 0,01\%$ y un rendimiento de recuperación de sólidos del $72,73 \pm 0,04\%$.

Se evidencia que la eficiente operación permite obtener colorante natural de remolacha (betalaínas) en menor tiempo y cumpliendo con la norma NMX-F-262-1975 “Colorante Orgánico-Sintético Rojo”, así incentivando al consumo de productos ecológicos y naturales.

Por lo que se recomienda la aplicación de este secador por atomización para la investigación de otros productos a nivel industrial.

Palabras claves: <SECADOR POR ATOMIZACIÓN> <CAMARA DE SECADO >
<PULVERIZADORES> < CICLÓN DE SEPARACIÓN DE PARTÍCULAS > <PARÁMETROS DE DISEÑO> <COLORANTE NATURAL> <BETALAÍNAS> <REMOLACHA [*BETA VULGARIS*]> <ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO>

SUMMARY

It designed and built a dryer for atomization to obtain a natural red dye powder, from the beetroot juice, equipment designed for the laboratory of industrial processes of the School of Chemical Engineering, Faculty of Sciences at the Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. The sizing of dryer of atomization was realized in base the rules DIN (Deutsche Industrie Norm – German Industry standard) , and models of equipment NIRO, whose main components are: regulable fan, heating air system, diaphragm pump or dosing, system atomizing pneumatic, chamber of drying and cyclone.

Built the dryer for atomization, it was prepared the feed by extraction and filtration of juice from whole beets, with was held 26 test, working with two encapsulants, maltodextrin and arabic gum, in which varied formulation and the drying temperature. With maltodextrin was prepared concentrations of 10, 25, 50, 75 and 100% P/P, in beetroot juice, to drying temperatures of: 120, 140, 160 and 180°C; with arabic gum, the concentrations were: 10, 25 and 50 % P/P to the temperatures of: 120 and 140°C. Establishing that optimal conditions of the dryer process by atomization are: The air temperature of drying of 120°C and a concentration of maltodextrin from 50% P/P. Obtaining a product with humidity of the $3 \pm 0,05\%$, hygroscope $4,05 \pm 0,01\%$ and a performance of recovery of solids $72,73 \pm 0,04\%$.

There was evidenced that efficient operation allows obtain natural coloring of beetroot (Betalains), in less time and in compliance with the standard: NMX-F-262-1975 “Dye organic – synthetic red”, thus encouraging the consumption of ecologic and natural products.

So it is recommended the application of this dryer for atomization for the investigation of other industrial level products.

Clue words: <DRYER FOR ATOMIZATION> <CHAMBER OF DRYING> <SPRAYERS >
<CYCLONE FOR SEPARATION OF PASTICLES> <DESING PARAMETERS> <NATURAL COLORING> <BETALAINS> <BEETROOT [BETA VULGARIS]> <PHYSICAL – CHEMICAL ANALYSIS>

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el desarrollo industrial y la búsqueda de una mejor calidad de vida, obliga a que constantemente se realicen nuevas investigaciones e innoven métodos y técnicas con los cuales se reduzca el tiempo y costo de producción, manteniendo o incrementando los atributos del producto y beneficios que produce el mismo.

El Ingeniero Químico comprometido con el impulso de nuevas alternativas, partiendo de una constante actualización de conocimientos, se ve en la capacidad de diseñar diferentes equipos que tengan rentabilidad y aplicación a nivel industrial. Esta investigación está enfocada en el secado por atomización para la obtención de colorante natural en polvo a partir de la remolacha, siendo esta Operación Unitaria de gran importancia para generar un producto innovador en la agroindustria alimentaria que promueva el cambio de matriz productiva.

La importancia del colorante natural en polvo obtenido en un tratamiento de secado por atomización bajo condiciones que no afecten al producto, se ve reflejado en la sustitución de colorantes sintéticos perjudiciales para la salud humana, su costo en el mercado mundial y sus aplicaciones que cubren desde la industria textil, a la biomédica, pasando por los cosméticos, la alimentaria y cualquier otro tipo de producción coloreada.

El Secado por Atomización del extracto de remolacha consiste en la eliminación de la humedad para obtener colorante en polvo. Para el secado por atomización del extracto de remolacha se empleó sustancias microencapsuladoras, las cuales, disminuyen la pegajosidad e higroscopia del colorante. Se trabajó con maltodextrina y goma arábica en diferentes concentraciones.

En este equipo la alimentación ingresa al sistema mediante una bomba de diafragma pasando hacia una boquilla de atomización neumática, que rocía una lluvia de gotas finas dentro de la cámara de secado; el aire se introduce a partir de un ventilador pasando por un sistema de calentamiento a base de resistencias eléctricas alcanzando una temperatura de 120 °C, creando un flujo co-corriente de aire caliente y fluido. El aire caliente produce una rápida evaporación de las gotas hasta la obtención de polvo, el mismo que es trasladado a un ciclón donde disminuye la velocidad de las partículas y por efecto de la gravedad el sólido seco (polvo) es recuperado por la parte inferior mientras que el aire húmedo es despojado por la parte superior.

ANTECEDENTES

En el libro de José Barreiro (2006) relata que el secado es una técnica empleada por el ser humano desde la antigüedad, para secar sus frutas, granos, vegetales, carne y pescado con el calor del sol para conservar sus alimentos y subsistir en los tiempos de escasez. Las dificultades y limitaciones inherentes al secado al sol le llevo al hombre primitivo a utilizar su imaginación e implementar técnicas más poderosas y seguras. Así, en la Edad de Hierro ya se construyeron en las zonas del Norte de Europa los primeros hornos para el secado del trigo.

El Secado es una Operación Unitaria de gran importancia en la industria, por que ayuda a controlar el contenido de humedad de los productos y por ende su conservación, además conlleva a una apreciable reducción de tamaño y peso del alimento deshidratado reduciendo costes de transporte y almacenamiento de los mismos. Por todo esto y más ventajas que conlleva el secado, en el transcurso del tiempo y avance de la tecnología esta técnica se ha venido mejorando.

Orrego C. (2003) en su libro de Procesamiento de Alimentos menciona que el secado por aspersión, pulverización o "spray drying" se utiliza desde principios del siglo XX. Aunque existen patentes para el secado por atomización de huevos y leche desde 1850, la atomización industrial de alimentos apareció en 1913 en un proceso desarrollado para leche por Grey y Jensen. El primer equipo rotativo lo desarrolló el alemán Kraus (1912) pero, comercialmente se conoció gracias al danés Nyro (1933).

Con el transcurso del tiempo y avance de la tecnología se han desarrollado mejores modelos de equipos, ampliando su campo de aplicación, hoy en día se utiliza el secador por atomización para producir colorantes naturales en polvo, los cuales desde tiempos inmemoriales se usan para teñir artesanalmente fibras textiles y para darle color a algunos alimentos; en este último caso hay exigencias más o menos rigurosas relativas a su toxicidad.

En la naturaleza se pueden encontrar múltiples fuentes de colorantes, capaces de generar una amplia variedad de matices, algunos de ellos, con los requisitos que la industria textil y alimenticia demanda.

La importancia de los colorantes de origen vegetal había decaído desde la aparición en el mercado de los sintéticos derivados del petróleo, del aluminio y del carbón. Sin embargo, actualmente se están buscando naturales como sustitutos de los artificiales, debido a que, en algunos países se han prohibido su uso, porque se han encontrado indicios de efectos nocivos para la salud.

En los últimos años la industria de alimentos ha reducido considerablemente la lista de colorantes permitidos, y por el contrario ha comenzado a utilizar los de origen natural que de acuerdo con la legislación norteamericana no requieren certificación.

Algunos estudios ejecutados que se pueden mencionar son los realizados por Maldonado (2002) en sus proyectos realiza la obtención de colorantes naturales a partir de distintos vegetales. También Moreno y colaboradores en el 2002, indican en su estudio de la degradación de betalaínas en remolacha (*Beta Vulgaris*) estudio cinético. Mediante la medición de los valores de absorbancia a 537 y 465nm, con la finalidad de determinar: orden de reacción, tiempo medio y constante de degradación concluyendo que la reacción es de primer orden, la degradación de la betacianina es menor que la betaxantina.

Siguiendo con los estudios realizados sobre las betalaínas se puede mencionar a Rodríguez y colaboradores en el 2009 indican en sus estudios acerca de las propiedades cromógenas de las betalaínas ante fotones gamma, los extractos se obtuvieron por maceración, a partir de betabel y tres variedades de tuna que se estabilizados a un pH 5.5.

Además Guadalupe en el 2004 muestra en su investigación acerca del efecto de algunos agentes permeabilizantes sobre la liberación de betacianinas producidas por cultivos en suspensión de betabel o remolacha en el cual muestra que los detergentes (Tritón X-100) utilizados para permeabilizar la célula de *B. Vulgaris*.

Los estudios realizados sobre las betalaínas en el Ecuador son escasos, mencionando solamente a Daniela Yanchapanta (2012) que en su tesis de investigación presenta la extracción de betalaínas a partir de remolacha (*beta vulgaris*) mediante el método de cristalización.

En el Ecuador, el cultivo de la remolacha también conocida como betabel o betarraga para consumo humano, lo llevan a cabo pequeños agricultores de hortalizas ubicados en los valles interandinos siendo todavía un área muy restringida la que se dedica a la producción de esta hortaliza.

JUSTIFICACIÓN

El diseño y construcción del equipo de secado por atomización permite obtener un colorante natural en polvo (Betalaína), que contribuirá a la búsqueda de nuevas fuentes que permitan sustituir a los sintéticos, sobre todo los rojos; empleando como materia prima la remolacha, tubérculo que no es ampliamente aprovechada a nivel industrial.

La Betalaína al ser un colorante natural puede ser aplicado en diferentes sectores agroalimentarios, en la industria textil, de pinturas y cosmetología. Además presenta algunas bondades favorables para el ser humano como: estimula el cerebro y elimina las toxinas que en este se puedan acumular por lo que ayuda a mantener una buena salud mental y prevenir el envejecimiento precoz.

Esta investigación ayudará a los estudiantes de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH a conocer las diferentes Operaciones Unitarias que forman parte de los procesos industriales, tener experiencia en la manipulación de los equipos y fortalecer los conocimientos teóricos obtenidos. Así de esta manera apoyar al desarrollo de la producción a nivel de laboratorio, incentivar a la formación de plantas pilotos y futuros líderes empresarios del país. Proponiendo innovación en el desarrollo científico de la Carrera de Ingeniería Química.

OBJETIVOS

GENERAL

- Realizar el diseño y construcción de un secador por atomización para la obtención de colorante natural a partir de la remolacha.

ESPECÍFICOS

- Obtener un colorante natural a partir de la remolacha.
- Identificar las variables del proceso de secado por atomización.
- Realizar los cálculos de ingeniería.
- Evaluar el correcto funcionamiento del equipo diseñado.
- Validar el proceso.

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Remolacha (Beteraba)

1.1.1 Generalidades

Se distinguen en botánica cinco especies de remolacha salvajes de la familia de las Quenopodiáceas, genero 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.



Fuente: Remolacha., <http://uva.org.ar/index.php/la-remolacha-betarraga/>

Figura 1-1: Remolacha

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.

Tabla 1-1: 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
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

Fuente: Composición de la remolacha, <http://www.botanical-online.com/remolachas.htm>

1.1.2 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.

1.2 Colorantes

1.2.1 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.

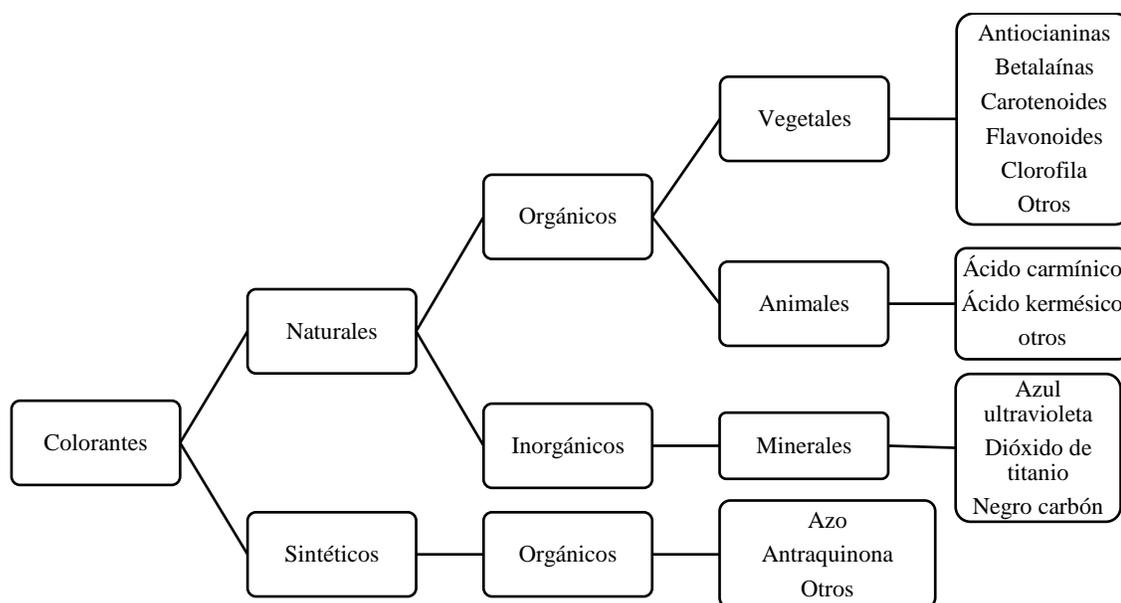
La coloración que ofrecen los alimentos se debe en unos casos a la presencia natural de pigmentos y en otros a sustancias intencionalmente añadidas como los aditivos, con el propósito de hacer más atractivo el alimento a la vista.

“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 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

1.2.2 Clasificación

En el libro de Biotecnología Alimentaria TAFOYA A, HERNÁNDEZ F. (2002) manifiesta que existen varias formas de clasificar los colorantes, éstas se basan en su procedencia o fuente de origen, en su certificación, o por su grupo cromóforo; esto es, el radical que les confiere un determinado color.

De acuerdo con su origen o procedencia, los colorantes son obtenidos por fuentes naturales, ya sean microorganismos, vegetales, animales o minerales y aquellos producidos por síntesis química (sintéticos) incluyendo los idénticos a los naturales.



Fuente: TAFOYA A, HERNÁNDEZ F., "Biotecnología Alimentaria", 2002

Figura 2-1: Clasificación de Colorantes

1.2.2.1 Colorantes sintéticos

Son los obtenidos por síntesis química. Los colorantes sintéticos deben reunir una serie de características para asegurar su buen uso: ser inocuo, constituir una especie química definida y pura, tener gran poder tintóreo con el objeto de utilizar la mínima cantidad posible, y ser fácilmente incorporables al producto, ser lo más estable posible a la luz y al calor, poseer compatibilidad con los productos que deben teñir, inodoro y sin sabor, pH neutro y ser lo más económico posible.

1.2.2.2 *Colorantes naturales*

Son los que se obtienen de fuentes animales o vegetales sin procesos químicos. Los colorantes naturales se consideran en general como inocuos y consecuentemente las limitaciones específicas en su utilización son menores que las que afectan a los colorantes sintéticos. Estos colorantes tienen como desventaja notoria la complejidad con la que se encuentran en la naturaleza. Generalmente no están solos y son necesarios procesos de purificación que los hacen mucho más costosos.

Existen cuatro clases principales de colorantes de plantas, los cuales son permitidos en productos alimenticios: clorofilas, carotenoides, flavonoides y betalaínas y algunos llamados misceláneos.

Del 2005 al 2009, el mercado mundial de colorantes naturales aumentó casi 35% en valor. El mercado global de colorantes para alimentos representa alrededor del 67%, seguido por bebidas sin alcohol 28% y bebidas alcohólicas en un 5%

Ventajas

“Entre las ventajas que nos proporcionan los colorantes naturales podemos mencionar:

- **Funcionalidad:**

- ✓ Solubles
- ✓ Diferentes tonalidades y aromaticidades de un mismo producto
- ✓ No presentan migración de color
- ✓ Algunas sustancias poseen propiedades funcionales

- **Estabilidad**

- ✓ Ante fermentos lácticos
- ✓ Temperatura de pasteurización
- ✓ Luz

- **Requisitos legales**

- ✓ Declaración en etiqueta 100% natural
- ✓ No colorantes artificiales
- ✓ No alergénicos

1.3 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 2-1: Cuantificación de las betacianina (540nm) y betaxantinas (478nm)

REMOLACHA ANALIZADA	CANTIDAD DE PIGMENTO mg/g de remolacha seca	
	540nm	478nm
Betabel(raíz)	5,5 ^a ±0,25 ^b	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

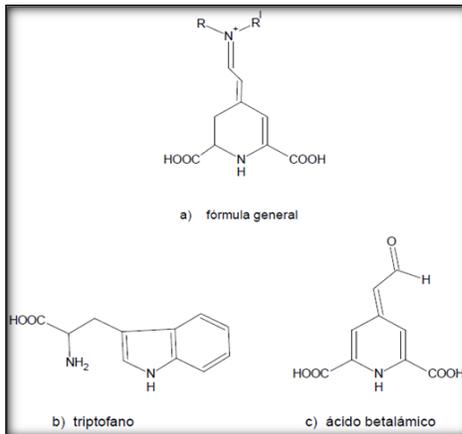
(a) Media; (b) Desviación estándar N igual a 10

Fuente: Betalaínas, <http://www.uaa.mx/investigacion/revista/archivo/revista19/Articulo%206.pdf>

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.

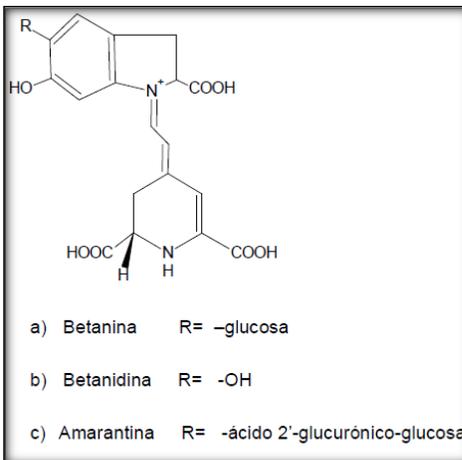
Las estructura general de las betalaínas (a) presentan sistemas protonados descritos como 1, 2, 4,7 pentasustituidos 1,-7-díazoheptamétrico; formada por la condensación de una amina primaria o secundaria como el triptofano (b) y un aldehído llamado ácido betalámico (c).



Fuente: TAFOYA A, HERNÁNDEZ F., “Biotecnología alimentaria”, 2002

Eq.1-1: Betalaínas.

“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.



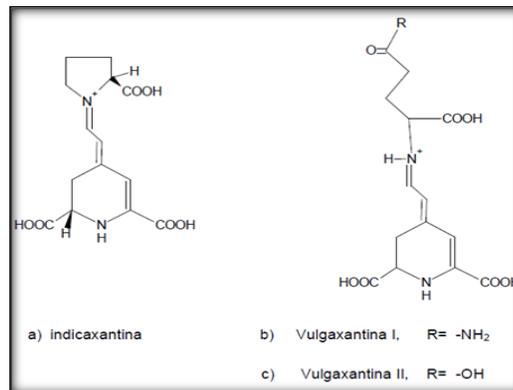
Fuente: MULTON Jean-Louis., “Aditivos y Auxiliares de Fabricación en las Industrias Agroalimentarias”. 2008

Eq.2-1: Betacianinas.

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.

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



Fuente: MULTON Jean-Louis., “Aditivos y Auxiliares de Fabricación en las Industrias Agroalimentarias”, 2009

Eq.3-1: Betaxantinas.

1.3.1 Aplicaciones

Las betalaínas son ingredientes de origen natural utilizados en la industria como agentes de color. Entre las aplicaciones más comunes se encuentran:

Industria de Alimentos: Se emplea betalaínas para mejorar el color y el aspecto de los alimentos, contribuyen a aumentar su calidad y valor nutritivo.

Los procesos industriales de elaboración de alimentos incluyen tratamientos que decoloran o cambian el aspecto de los alimentos, lo cual se soluciona agregando colorantes. Éstos se adicionan durante la elaboración de un gran número de productos como en postres, helados, derivados lácteos, bebidas refrescantes, conservas vegetales y de pescado, mermeladas y yogures.

Los alimentos que no pueden incorporar colorantes son muy pocos. De hecho, las betalaínas se pueden añadir en cualquier proporción sin riesgo conocido. El empleo de colorantes no está permitido en alimentos para lactantes y niños, en aguas minerales envasadas; hortalizas, legumbres y frutas no elaboradas; leche; aceites; vinos y sal, entre otros.

Industria Textil: Las industrias de fabricación de productos químicos colorantes investigan y desarrollan fórmulas específicas destinadas a aplicaciones muy concretas. En consecuencia, existe un gran número de colorantes industriales y son particularmente apreciados los que resisten la acción de la luz y el lavado

Colorantes directos o sustantivos: Tienen naturaleza coloidal o precisan de un mordiente, y son fuertemente absorbidos por las fibras de celulosa. El mordiente es una sustancia que se une por una parte a la fibra y por otra al colorante, y así queda fijado el colorante al tejido. Los mordientes pueden tener carácter básico, como el hidróxido de aluminio ($\text{Al}(\text{OH})_3$), o carácter ácido, como el ácido tánico. Son colorantes baratos, sencillos de usar y, gracias a su amplia gama, permiten obtener todos los matices

Industria Farmacéutica: La mayor parte de los colorantes empleados en las cápsulas de gelatina dura son inocuos. Sin embargo, algunos pueden provocar reacciones adversas y por es su uso es restringido. En cuanto a los suplementos alimenticios, el reglamento europeo 1129/2011 lista todos los colorantes autorizados para cápsulas y comprimidos. Por tanto el uso de betalaínas es recomendable, ya que no tiene limitaciones de uso y son los responsables del tono intenso de ciertas cápsulas como las amarillas, naranjas o rojas.

Aunque su aparición es reciente y sus principios activos están en investigación, las betalaínas se las puede encontrar en polvo o como solución, en jarabes, enjuagues bucales, ungüentos, etc.

Industria de Cosméticos: El sector de cosméticos consumía en los años ochenta un 60% de Carmín, pero a partir de entonces se originó un proceso de sustitución de colorantes sintéticos por colorantes naturales. El auge de productos ecológicos y naturales, junto a restricciones a ciertos colorantes sintéticos ha producido una recuperación del uso de colorantes naturales como las betalaínas.

En la industria cosmética se utiliza para los productos que se aplican a la zona de boca y ojos, tales como sombras, lápices de labios, lápices para los ojos, polvos faciales etc. Desde el punto de vista de calidad, la industria cosmética sólo acepta betalaínas de alta pureza.

1.3.2 Comercialización

Desde hace algún tiempo se ha aceptado el uso de las betalaínas del betabel como colorantes naturales para alimentos. En los últimos años, dada la prohibición de los colorantes rojos sintéticos, ha aumentado su demanda, lo que motivó que muchas compañías, en diferentes países, se dediquen a la venta de colorantes de betabel.

En general existen tres presentaciones:

- A.** Polvo de betabel. Preparado a partir del betabel completo, secado y molido. Estos productos no son completamente solubles por contener la pulpa completa, pero tienen buena capacidad para teñir; esta es la presentación más económica.

- B.** Concentrados de colorantes de betabel en forma de un líquido de alta viscosidad que contiene entre 40 y 60 % de sólidos totales. Se obtienen por evaporación al vacío de los extractos acuosos del betabel.

- C.** Polvo de colorantes del betabel obtenido por secado por aspersion (spray-dry) de un concentrado del extracto acuoso.

Las presentaciones del tipo B y C son completamente solubles, pero son más caras que la presentación A. Por lo general las tres presentaciones contienen entre 0.3 y 1.0 % de colorantes, dependiendo de la variedad de betabel utilizado y de las condiciones de cultivo y cosecha; el resto de los concentrados está constituido por azúcares (75-80%), proteína cruda (10 %) y cenizas (8-10%).

Usualmente se les adiciona ácido ascórbico como estabilizante y propionato de sodio como conservador. Las tres presentaciones están en la lista de colorantes aceptadas para su uso en alimentos en Estados Unidos desde 1960 y no necesitan certificación.

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.

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 a 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 esterés 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 nutraceuticos, 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.

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.

1.3.3.1 Agentes utilizados

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.

1.3.3.1.2 Gomas Arábica

Son generalmente insípidas, pero pueden tener un efecto pronunciado en el gusto y sabor de alimentos, son solubles, de baja viscosidad, poseen características de emulsificación y es muy versátil para la mayoría de los métodos de encapsulación. Como ejemplos se tienen goma de algarrobo, guar, goma de tamarindo, goma arábica, goma gelana y xantana.

La goma arábiga, es un polímero natural biodegradable que incrementa considerable el pH y estabilidad realizando la vida útil del producto.

Pero se debe considerar que este tipo de encapsulante es de costo elevado, además para que cumpla su función de encapsulamiento se requiere de altas concentraciones y una previa disolución.

1.4 Secado

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.

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.

Existen diferentes tipos de secadores, clasificándolos en dos grupos de acuerdo a su operación en continuos y discontinuos. Así:

Cuadro 1-1: Secadores

TIPOS DE SECADORES	
Discontinuos	De bandejas a presión atmosférica o al vacío
	Discontinuo agitado a presión atmosférica o al vacío
	Rotatorio a presión atmosférica o al vacío
Continuos	Lecho fluidizado
	Banda continua con circulación transversal
	Neumático
	Rotatorio – directo o indirecto
	Vertical, con estantes rotatorios
	Atomizador (“spray”)

Fuente: Secado, <http://epsem.upc.edu/~assecadores/solids/castella/introduccio%20tipus.html>

1.4.1 Secado por atomización

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.
- 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

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.

1.4.1.1 Variables de diseño

Las variables de diseño se deben establecer por medio de pruebas experimentales antes de efectuar el diseño final de un secador por atomización. En general, el tamaño de la cámara, la selección del atomizador y los medios auxiliares de separación se determinan de acuerdo con las características físicas del producto que se busque.

Entre las variables más sobresalientes que se deben precisar antes de diseñar un secador están las siguientes:

- La forma y tamaño de las partículas que se busca obtener del colorante.
- Las propiedades físicas de la alimentación: humedad, viscosidad, densidad, etc.
- Las temperaturas máximas del gas de entrada y el producto

Es necesario establecer varias suposiciones:

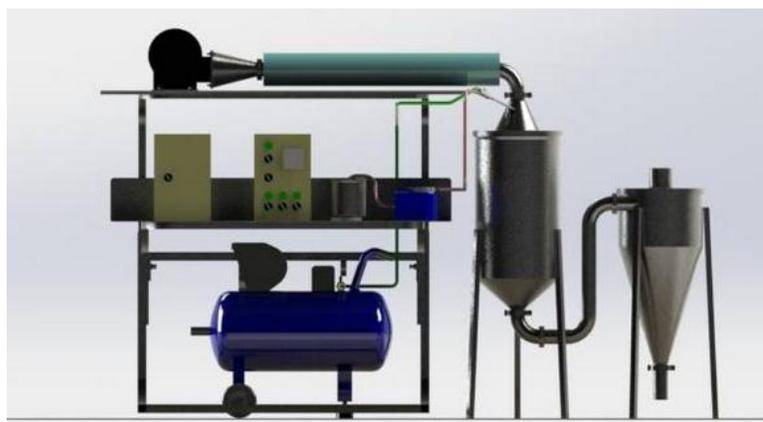
- Las gotitas de mayor tamaño, se secan con mayor lentitud. Son ellas las que determinan las dimensiones finales de la cámara.
- Para evaluar el coeficiente de transferencia de calor se utiliza un número de Nusselt de gotita igual a dos (2), que corresponde a la conducción pura (número de Reynolds=0) a infinito.
- La gotita de mayor tamaño en la población del rocío tiene tres veces el diámetro del tamaño promedio de gota.
- Debido a la turbulencia y a la mezcla de gases, las condiciones de secado son uniformes en todos los puntos de la cámara, excepto en la zona inmediata de la entrada del gas y la atomización del rocío.

Cuadro 2-1: Influencia de las variables del secado por atomización

Parámetro / Dependencia	Caudal alto del aire de secado	Humedad alta del aire de entrada	Temperatura elevada del aire a la entrada	Caudal alto de aire comprimido	Caudal alto de alimentación	Concentración alta de solutos en la alimentación
Humedad final del producto	Mayor	Mayor	Menor	No afecta	Mayor	Menor
Rendimiento de producción	Mayor	Menor	Mayor	No afecta	Depende de la alimentación	Mayor
Temperatura de salida	Mayor	Mayor	Mayor	Menor	Menor	Mayor
Tamaño de partícula	No afecta	No afecta	Mayor	Menor	Mayor cantidad de partículas	Mayor

Elaborado por: CRUZ L./HINOJOSA K.,/ ESPOCH/2015

1.4.1.2 Componentes del sistema de atomización



Elaborado por: CRUZ L./HINOJOSA K.,/ ESPOCH/2015

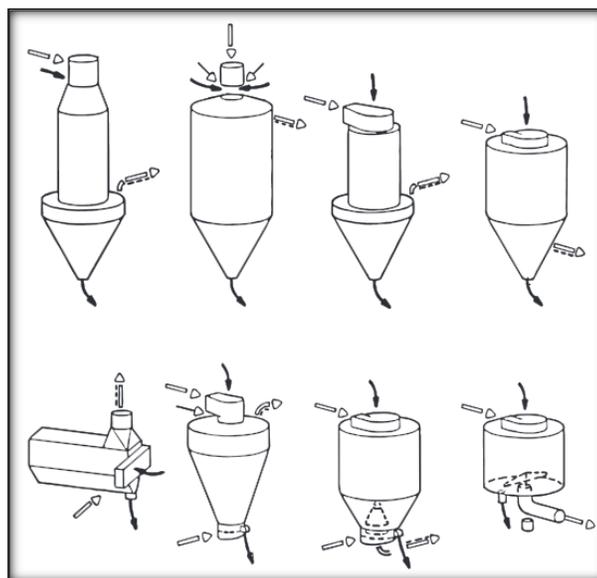
Figura 3-1: Secador por atomización.

Existen diferentes opciones para la elección de los elementos básicos del equipo, los mismos que van a depender de las variables de diseño antes mencionadas, satisfaciendo los requerimientos de producción deseados; es por ello a continuación realizaremos una breve descripción de los mismos.

1.4.1.2.1 Cámara de Secado

La principal función de la cámara es encerrar el spray que se produce y asegurar que las gotas sean secadas con el flujo de aire caliente, y suministrar un tiempo de residencia suficiente para evaporar la humedad. Las cámaras son diseñadas para descargar la mayoría de los productos en la base (descarga de producto primario), o para transportar todo el producto con el aire de salida y recuperarlo posteriormente en otra unidad. El tamaño óptimo de la cámara y su forma dependen del tamaño de la gota y la forma del spray producido por el atomizador.

Existen en el mercado varios diseños de cámaras de secado. El tipo más común es la cámara cilíndrica con un cono de 40-60° para que el polvo pueda salir de la cámara por gravedad. También se ven cámaras con el fondo plano, en cuyo caso se necesita un raspador o un dispositivo aspirador para retirar el polvo de la cámara. Existen además cámaras horizontales tipo caja, que también operan con un sistema forzado (p.ej. raspador o tornillo) para retirar el polvo.



Fuente: WESTERGAARD Vang., "Tecnología de la Leche en Polvo Evaporación y Secado por Atomización", 2004

Figura 4-1: Tipos de cámara de secado

En resumen se puede decir que las cámaras con un cono para la descarga del polvo por gravedad ofrecen la mejor flexibilidad para adaptar varios procesos de secado a la planta, como por ejemplo lechos fluidos integrados o cintas, y así permiten las mayores posibilidades para el secado de distintos productos. La tendencia de hoy es un diseño de cámara de secado que no incluye componentes dentro de la misma que puedan obstruir el flujo de aire con los consiguientes depósitos de polvo.

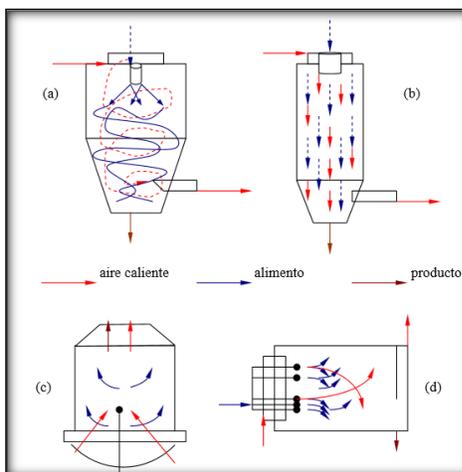
1.4.1.2.1.1 Distribución del aire dentro de la cámara de secado.

La distribución del aire es uno de los puntos más importantes del proceso de secado. Existen varios sistemas que dependen del diseño de la planta y el tipo de producto que se quiere producir.

El diseño de los secadores se divide en tres tipos: co-corriente o paralelo, contra-corriente y flujo mezclado.

1.4.1.2.1.1.1 Flujo paralelo

El rociado y el aire caliente se introducen en la zona superior de la cámara y viajan en la misma dirección a través del secador. El aire caliente contacta inicialmente a las gotas atomizadas. Esto favorece a los materiales termosensibles, ya que éstos son protegidos de las altas temperaturas por enfriamiento evaporativo. El gas de secado se va enfriando al pasar a través de la cámara y las partículas secas se encuentran con aire más frío a la salida del equipo.

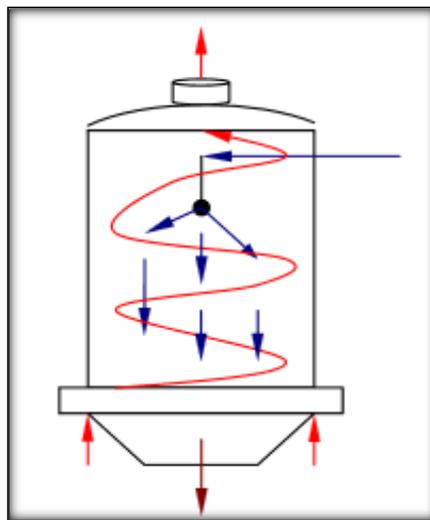


Fuente: YANZA Erik., "Diseño De Un Secador Por Atomización A Nivel Piloto Para Jugo Concentrado De Tomate De Árbol", 2003

Figura 5-1: Cámaras de secado flujo en paralelo

1.4.1.2.1.1.2 Flujo a contracorriente:

En contracorriente el arreglo es inverso, por lo general el material se introduce por la cima y el gas caliente por la base de la cámara. El aire disperso crea varias rotaciones en la entrada a la cámara de secado pero debido a la altura de la cámara, el movimiento rotacional no puede sostenerse en regiones superiores de la cámara. Este diseño puede ser usado únicamente para materiales no sensibles al calor. Es menos común que el arreglo en paralelo, el uso del flujo en contracorriente puede ser necesario para impartir en el producto una calidad particular, por ejemplo para secar polvos de detergentes



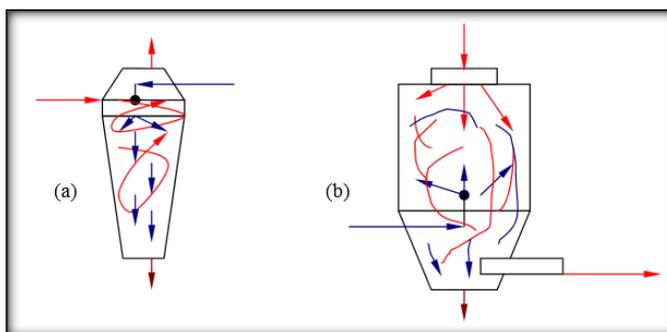
Fuente: YANZA Erik., "Diseño De Un Secador Por Atomización A Nivel Piloto Para Jugo Concentrado De Tomate De Árbol", 2003

Figura 6-1: Cámara de secado con flujo en contracorriente

1.4.1.2.1.1.3 Flujo mixto

Otro tipo de diseño es el de flujo mezclado que es una combinación del paralelo y contracorriente, esto se realiza por uno de los arreglos siguientes:

- Flujo de aire en dos direcciones cuando el flujo de producto es uno.
- Flujo de aire en una dirección cuando el producto fluye en dos.



Fuente: YANZA Erik., “Diseño De Un Secador Por Atomización A Nivel Piloto Para Jugo Concentrado De Tomate De Árbol”, 2003

Figura 7-1: Cámara de secado con flujo mezclado

El arreglo (a) está diseñado para desarrollar altas velocidades en la entrada y un alto grado de giros para obtener altas velocidades de evaporación. El tiempo de residencia es muy corto, el movimiento generado en la cámara barre las paredes y el producto es descargado en la base de la cámara. Este arreglo maneja bajas temperaturas en la salida y alta eficiencia térmica. Este sistema no es aplicable para materiales sensibles al calor porque el gas caliente en la entrada entra en contacto con el material seco. Sin embargo, este arreglo tiene la ventaja que las gotas tienen un largo camino por recorrer a través de la cámara, siendo un buen método para secar gotas relativamente ásperas en una cámara pequeña.

En el arreglo (b) el alimento es atomizado hacia arriba en un flujo de aire rotatorio creado por el dispersor de aire. El spray viaja hacia arriba y desacelera para luego caer, este tipo de diseño es llamado “fuente” y con este el producto puede ser transportado con el aire de salida o sufre separación en la base cónica de la cámara.

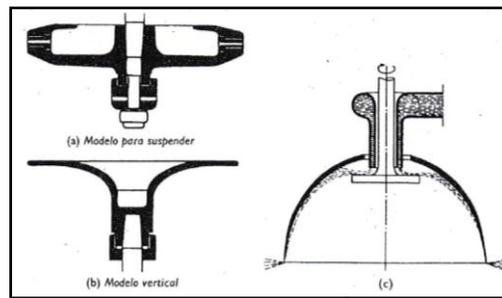
Al ser el colorante natural (Betalaína) una sustancia termosensible, se eligió trabajar con flujo en paralelo.

1.4.1.2.2 Dispositivos de pulverización

La división de un producto en gotitas más o menos finas origina una gran superficie de transferencia de materia. Las dimensiones de las gotas y su división no sólo son elementos importantes para la consecución del secado, sino que también ejercen influencia sobre la granulación y, por consiguiente, sobre las propiedades de los productos acabados. Se han diferenciado tres clases de dispositivos de pulverización.

1.4.1.2.2.1 Pulverizadores de fuerza centrífuga

Están constituidos por un disco o una rueda de pulverización cuya velocidad periférica determina el grado de pulverización del producto. Se utilizan discos cuyo diámetro va de 50 mm (para instalaciones semi-industriales) hasta 350 mm. Las velocidades de rotación están comprendidas entre 4000 y 15000 revoluciones por minuto, según la clase de producto y el grado de pulverización deseado. Los pulverizadores de fuerza centrífuga se adaptan en particular a los productos en suspensión y a las pastas susceptibles de corroer las toberas o de taponar. También pueden tratarse pastas espesas si se arrastran bajo presión.



Fuente: KNEULE, Friederich., "Técnica de los procesos en las Industrias Químicas y Derivados", 1976

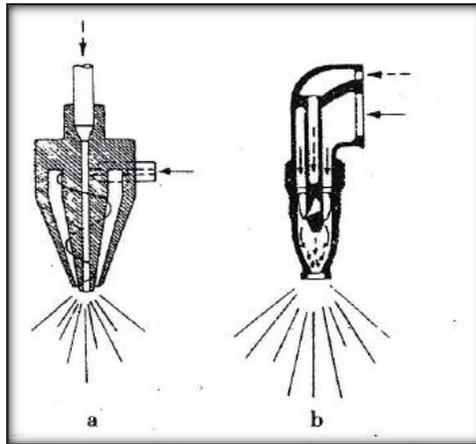
Figura 8-1: Clases de pulverizadores de fuerza centrífuga.

1.4.1.2.2.2 Pulverizadores rápidos o neumáticos

Pulverizadores de aire comprimido: la tobera de doble inyección de materias pulveriza el producto mojado bajo la acción de un fluido gaseoso. En la técnica de secado se distinguen la tobera de pulverización exterior (a) y la tobera de pulverización interior (b).

La tobera de pulverización interior pura, pese a la ventaja que presenta de funcionar a baja presión del gas, no ha podido imponerse en el secado, pues la bruma de aerosol que sale del amplio orificio de la tobera es poco homogénea.

En la tobera de pulverización exterior, el poder separador deriva de que el flujo líquido no resiste la aceleración cuando lo arrastra. El hilo de líquido se disgrega por ello en partículas finas que, mezcladas con el aire del pulverizador, forman una bruma de aerosol.

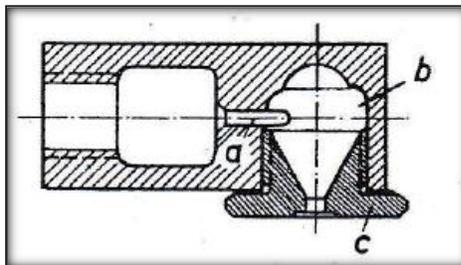


(a) tobera de pulverización exterior; (b) tobera de pulverización interior;
Fuente: KNEULE, Friederich., "Técnica de los procesos en las Industrias Químicas y Derivados", 1976

Figura 9-1: Tipos de pulverizadores rápidos

1.4.1.2.2.3 Pulverizador bajo presión

Este aparato pulveriza por la sola presión del líquido, obtenida con bombas de pistón. La forma del chorro depende no sólo de la presión, sino también del orificio de la tobera. Se emplean presiones de 30 a 70 atm y aberturas de toberas de 0,3 a 4 mm de diámetro. De todas las instalaciones de pulverización la tobera a presión es la menos costosa.



(a) Entrada tangencial en la cámara de turbulencia; (b) y (c) dispositivo de entrada.

Fuente: KNEULE, Friederich., "Técnica de los procesos en las Industrias Químicas y Derivados", 1976

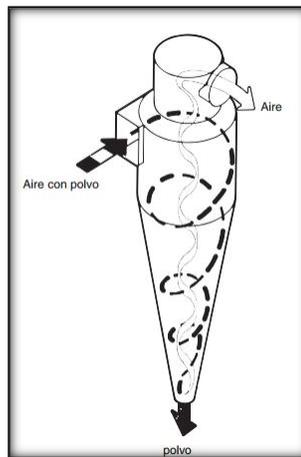
Figura 10-1: Pulverizador de baja presión

Considerando que el equipo a diseñarse es a nivel de laboratorio, el diámetro de la cámara es pequeño y que nos permite controlar el tamaño de gota, es recomendable seleccionar un pulverizador neumático.

1.4.1.2.3 Ciclones

BATTY Clair J. (1990) en el libro de Fundamentos de la Ingeniería de Alimentos hace referencia a que la teoría de la operación del ciclón está basada en un movimiento en remolino "vortex", donde la fuerza centrífuga actúa sobre cada partícula forzándola a dejar el eje del ciclón y dirigirse hacia la pared interna del ciclón. Sin embargo, el movimiento en dirección radial es el resultado de dos fuerzas opuestas: la fuerza centrífuga que actúa moviendo la partícula hacia la pared, mientras que la fuerza de arrastre del aire actúa llevando las partículas hacia el eje. La fuerza centrífuga predomina y por lo tanto se produce la separación.

El polvo y el aire entran tangencialmente en el ciclón a velocidades iguales. Ambos descienden girando en forma espiral hacia la base del ciclón separando el polvo hacia la pared del mismo. El polvo sale por la base del ciclón mediante un dispositivo de cierre. El aire limpio asciende en forma de espiral a lo largo del eje central del ciclón y sale por la parte superior.



Fuente: Secado por atomización.,
[http://www.niro.com/niro/cmsresources.nsf/ilenames/es_Tecnologia-de-la-Leche-en-Polvo_todo.pdf/\\$file/es_Tecnologia-de-la-Leche-en-Polvo_todo.pdf](http://www.niro.com/niro/cmsresources.nsf/ilenames/es_Tecnologia-de-la-Leche-en-Polvo_todo.pdf/$file/es_Tecnologia-de-la-Leche-en-Polvo_todo.pdf)

Figura 11-1: Ciclón

Las ventajas de los ciclones incluyen las siguientes:

- Bajos costos de capital.
- Falta de partes móviles, por lo tanto, pocos requerimientos de mantenimiento y bajos costos de operación.
- Caída de presión relativamente baja, comparada con la cantidad de partículas removidas.

- Las limitaciones de temperatura y presión dependen únicamente de los materiales de construcción.
- Colección y disposición en seco.
- Requisitos espaciales relativamente pequeños.

Las desventajas de los ciclones incluyen las siguientes:

- Eficiencias de recolección de partículas suspendidas totales relativamente bajas, particularmente para partículas menores de 10 μm .
- No pueden manejar materiales pegajosos o aglomerantes.
- Las unidades de alta eficiencia pueden tener altas caídas de presión.

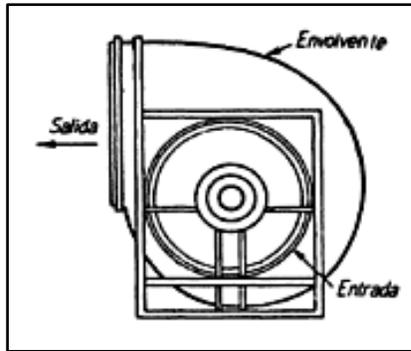
1.4.1.2.4 Ventilador

El ventilador sopla o aspira aire en forma continua, por acción aerodinámica, transformando energía mecánica en cinética para mover una cantidad de aire a través de un sistema conectado a él, y generar presión estática suficiente para vencer las resistencias al movimiento del aire.

1.4.1.2.4.1 Ventilador Centrífugo

Los ventiladores centrífugos se fabrican para doble aspiración y doble expulsión de aire y para simple aspiración y simple expulsión.

El equipo impulsor del aire o gas, en las instalaciones de tiro forzado o inducido, puede estar constituido por ventiladores centrífugos de los tipos siguientes: de disco; y de paletas o alabes múltiples. Todos los ventiladores centrífugos están constituidos por un rodete que gira dentro de una carcasa o envolvente, construida generalmente de plancha metálica. Dicho envolvente tiene la forma de espiral, la cual permite que el aire sea lanzado de la periferia del rodete con pérdidas reducidas y ligera turbulencia.



Fuente: SEVERNS W.H., "Energía mediante vapor, agua o gas", 2007

Figura 12-1: Ventilador centrífugo.

De lo dicho se deduce que los ventiladores centrífugos pueden emplearse no solamente como aspiradores de aire o gases de canalizaciones conectadas a su boca de aspiración u "oído", sino que también puede utilizarse para descargar el mismo aire o gases, a presiones de varios centímetros (o pulgadas.) de columna de agua, en canalizaciones unidas a su boca de salida o de descarga.

1.4.1.2.5 Sistema de calentamiento del aire

El aire de secado puede ser calentado de diferentes formas:

- Indirecto: Vapor / Fuel / Gas / Fluido térmico
- Directo: Gas / Electricidad

Para equipos a nivel de laboratorio es recomendable emplear un sistema de calentamiento directo a base de resistencias eléctricas, ya que nos permite regular con facilidad la temperatura.

1.4.1.2.5.1 Calentadores de aire eléctricos

Son comunes en secadores para laboratorio y planta piloto, la inversión es baja pero su operación costosa. Son equipos pequeños y menos pesados que los tradicionales equipos de transferencia de calor tales como el de coraza y tubo y los de llama directa.

Ofrecen mejor resistencia a la erosión y fugas, aumentan la seguridad y control de temperatura. Pueden ser difíciles de dimensionar y especificar ya que ellos combinan aspectos mecánicos, eléctricos y químicos.

En un intercambiador de calor eléctrico, la clave es mantener el equipo en condiciones tales que la temperatura en el interior no exceda la temperatura de la envoltura protectora de la unidad generadora de calor y mantenerse el flujo, nunca debe detenerse ya que la temperatura se incrementa exponencialmente cuando la velocidad de flujo del proceso decrece. Si el flujo se detuviese entraría a actuar el sistema de enfriamiento.

1.4.1.2.6 Bombas

Un equipo de bombeo es un transformador de energía. Recibe energía mecánica, que puede proceder de un motor eléctrico, térmico, etc., y la convierte en energía que un fluido adquiere en forma de presión, de posición o de velocidad.

Así tendremos bombas que se utilizan para cambiar la posición de un cierto fluido. Existen bombas trabajando con presiones y alturas iguales que únicamente adicionan energía de velocidad.

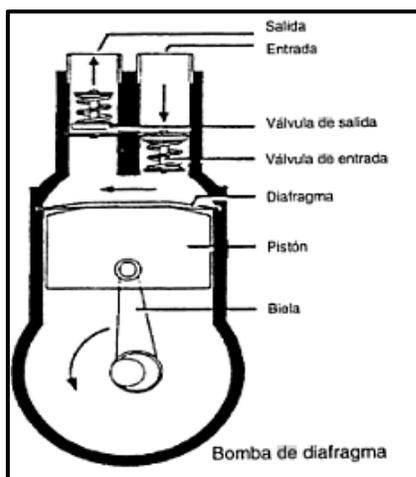
1.4.1.2.6.1 Bomba de diafragma

En los años recientes estas han llegado a ser muy populares en los pulverizadores modernos. Ellas son básicamente muy similares a las bombas de pistón pero con diafragma. Se usan varios diafragmas cilíndricos, hasta un máximo de seis para aumentar la descarga y reducir las pulsaciones. Los cilindros usualmente se ubican radialmente alrededor de un eje de accionamiento central.

La bomba de diafragma es de desplazamiento positivo y en algunas situaciones puede operar seca, aunque esto no se recomienda. También posee una cámara de aire en la línea de descarga, la cual, en este caso es habitualmente llenada con aire en forma independiente a través de una válvula de tipo Schraeder que permite presurización externa. Esto produce una descarga libre de pulsaciones.

El uso de un diafragma flexible el cual separa el pistón cilíndrico y el eje de accionamiento de la formulación líquida, reduce la abrasión y el riesgo de corrosión en las superficies internas de la bomba.

En el embalaje de descarga el diafragma se extiende dentro de la cámara de bombeo y al rotar el pistón conectado a la biela, este diafragma es tirado hacia abajo y la succión creada arrastra el líquido dentro de la cámara de la bomba a través de la válvula de entrada. Esta acción comprime el líquido y cierra la válvula de entrada forzando el líquido bajo presión a la línea de descarga.



Fuente: THORNHILL E.W., "Equipo de aplicación de pesticida para uso en la agricultura", 1994

Figura 13-1: Bomba de diafragma

1.4.1.2.7 Compresores

Se denomina compresor al elemento encargado de generar el aire comprimido. En general, es una máquina que aspira el aire ambiente (a presión atmosférica) y lo comprime hasta conferirle una presión superior. Para vencer la resistencia del aire a ser comprimido se vale de un motor.

1.4.1.2.8 Compresor de pistón

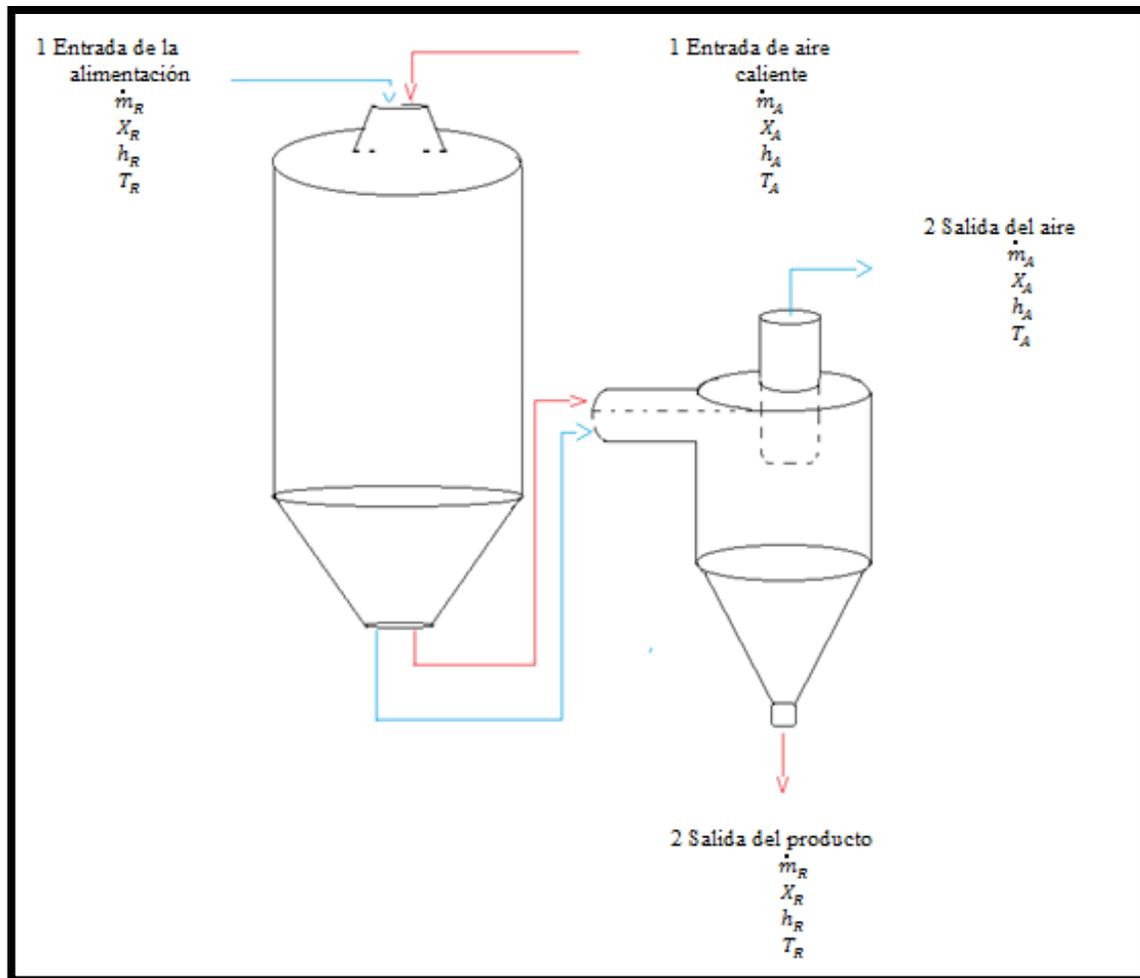
Este tipo de compresores es uno de los más antiguos y conocido. Esta experiencia acerca de su funcionamiento ha provocado continuas mejoras.

Es semejante a un motor de combustión interna, ya que están compuestos por un cilindro y un pistón que se mueve dentro del cilindro por medio de una biela (barra), al producirse el giro del cigüeñal (eje) por medio de un motor. Tiene válvulas de aspiración e impulsión montadas en el propio cilindro, pueden considerarse válvulas de no retorno.

La válvula de aspiración, permite el paso del aire atmosférico al interior del cilindro, ya que en el movimiento de descenso del pistón, se crea depresión o vacío, de tal forma que al ser más elevada la presión atmosférica, ésta abre la válvula de aspiración y el aire entra llenando el cilindro. En la carrera de retorno o ascendente, la presión aumenta por encima de la atmosférica, cerrando la válvula de aspiración, y cuando dicha presión vence la fuerza del muelle que mantiene a la válvula de impulsión cerrada, esta se abre y se produce la descarga del compresor.

1.5 Dimensionamiento

1.5.1 Balance de masa



Elaborado por: CRUZ L./HINOJOSA K.,/ ESPOCH/2015

Figura 14-1: Diagrama de flujo del secador por atomización

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

$$\dot{m}_{RH_2O} = \dot{m}_{RS} \cdot X_R \quad \text{Ec.1}$$

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:

$$\dot{m}_{RS} = \dot{m}_R \frac{\%SA}{100} \quad \text{Ec.2}$$

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:

$$X_R = \frac{100 - \%SA}{\%SA} \quad \text{Ec.3}$$

Flujo de masa de agua contenida en el aire es:

$$\dot{m}_{AH_2O} = \dot{m}_A \cdot X_A \quad \text{Ec.4}$$

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 esta humedad absoluta es gráfica.

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

$$X_A = 0,62 \frac{P_v}{P - P_v} \quad \text{Ec.5}$$

Donde:

P_v = Presión parcial de vapor (Pa)

P = Presión atmosférica del lugar (Pa)

La presión parcial de vapor es igual a:

$$P_v = \phi \cdot P_{vs} \quad \text{Ec.6}$$

Donde:

ϕ = Humedad relativa del aire (Kg agua/Kg as)

P_{vs} = 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.

$$\ln P_{vs} = 19,016 - \frac{4064,95}{T_{Ae} + 236,25} \quad \text{Ec.7}$$

Donde:

P_{vs} = Presión de saturación de vapor (mbar)

T_{Ae} = Temperatura del aire en el exterior (°C)

La presión de la localidad se puede obtener así:

$$P = P_0 e^{\frac{h}{3600}} \quad \text{Ec.8}$$

Donde:

P = Presión de la localidad (Pa)

P_0 = 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 será:

$$\dot{m}_{RH_2O_1} + \dot{m}_{AH_2O_1} = \dot{m}_{RH_2O_2} + \dot{m}_{AH_2O_2} \quad \text{Ec.9}$$

Donde:

$\dot{m}_{RH_2O_1}$ = Flujo de masa de agua contenida en la alimentación en la cámara (Kg/s)

$\dot{m}_{RH_2O_2}$ = Flujo de masa de agua contenida en el producto a la salida de la cámara (Kg/s)

$\dot{m}_{AH_2O_1}$ = Flujo de masa de agua contenida en el aire al ingreso de la cámara (Kg/s)

$\dot{m}_{AH_2O_2}$ = Flujo de masa de agua contenida en el aire a la salida de la cámara (Kg/s)

Reemplazando datos se obtiene:

$$\dot{m}_{RS_1} \cdot X_{R_1} + \dot{m}_{A_1} \cdot X_{A_1} = \dot{m}_{RS_2} \cdot X_{R_2} + \dot{m}_{A_2} \cdot X_{A_2} \quad \text{Ec.10}$$

Como no hay fugas ni retención del producto y del aire en la cámara, entonces:

$$\dot{m}_{RS_1} = \dot{m}_{RS_2} = \dot{m}_{RS}$$

$$\dot{m}_{A_1} = \dot{m}_{A_2} = \dot{m}_A$$

$$\dot{m}_{RS}(X_{R_1} - X_{R_2}) = \dot{m}_A(X_{A_2} - X_{A_1}) \quad \text{Ec.11}$$

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.

1.5.2 Balance de energía

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.

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:

$$\dot{m}_{R1} \cdot h_{R1} + \dot{m}_{A1} \cdot H_{A1} = \dot{m}_{R2} \cdot h_{R2} + \dot{m}_{A2} \cdot H_{A2} \quad \text{Ec.12}$$

La entalpía de la alimentación es igual a la suma de la entalpía de los sólidos secos más la entalpía del agua contenida, por lo tanto:

$$\dot{m}_R \cdot h_R = \dot{m}_{RS} \cdot C_{pR} (T_R - T_0) + \dot{m}_{RS} \cdot X_R \cdot C_{pH_2O} (T_R - T_0) \quad \text{Ec.13}$$

Donde:

C_{pR} = Calor específico del sólido seco (J/Kg.K)

C_{pH_2O} = Calor específico del agua (J/Kg.K)

T_R = Temperatura de la alimentación (K)

T_0 = Temperatura de referencia (273 °K)

$$\dot{m}_R h_R = \dot{m}_{RS} [C_{pR} (T_R - T_0) + X_R \cdot C_{pH_2O} (T_R - T_0)] \quad \text{Ec.14}$$

$$\dot{m}_R h_R = \dot{m}_{RS} [C_{pR} + X_R \cdot C_{pH_2O}] (T_R - T_0) \quad \text{Ec.15}$$

$$h_R = [C_{pR} + X_R \cdot C_{pH_2O}] (T_R - T_0) \quad \text{Ec.16}$$

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: ALVAREZ., 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.

Entonces:

$$\dot{m}_R \cdot h_R = \dot{m}_{RS} \cdot h_R$$

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:

$$\dot{m}_A \cdot H_A = \dot{m}_A \cdot C_{pA}(T_A - T_0) + \dot{m}_A \cdot X_A \cdot C_v (T_A - T_0) + \dot{m}_A \cdot X_A \cdot \lambda_0 \quad \text{Ec.17}$$

Donde:

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

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

λ_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:

$$\lambda_0 = 2502535,259 - 2385,76424 \cdot T_A \quad \text{Ec.18}$$

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:

$$\lambda_0 = 2502535,259$$

Agrupando se tiene:

$$\dot{m}_A H_A = \dot{m}_A [C_{pA}(T_A - T_0) + X_A \cdot C_v (T_A - T_0) + X_A \cdot \lambda_0] \quad \text{Ec.19}$$

$$\dot{m}_A H_A = \dot{m}_A [(C_{pA} + X_A \cdot C_v)(T_A - T_0) + X_A \cdot \lambda_0] \quad \text{Ec.20}$$

Considerando:

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

Entonces:

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

Reemplazando las ecuaciones en la ecuación general de balance de energía se obtiene:

$$\dot{m}_{RS}(h_{R1} - h_{R2}) = \dot{m}_A [(C_{pA} + X_{A2} \cdot C_v)(T_{A2} - T_0) + X_{A2} \lambda_{02} - (C_{pA} + X_{A1} \cdot C_v)(T_{A1} - T_0) - X_{A1} \lambda_{01}] \quad \text{Ec.22}$$

Como todas las propiedades del aire en condiciones 1 son conocidas se tendrá:

$$H_{A1} = (C_{pA} + X_{A1} \cdot C_v)(T_{A1} - T_0) + X_{A1} \cdot \lambda_{01} \quad \text{Ec.23}$$

Reemplazando y agrupando:

$$\dot{m}_{RS}(h_{R1} - h_{R2}) = \dot{m}_A [(C_{pA} + X_{A2} \cdot C_v)(T_{A2} - T_0) + X_{A2} \cdot \lambda_{02} - H_{A1}] \quad \text{Ec.24}$$

Resolviendo las ecuaciones y despejando X_{A_2} se obtiene:

$$X_{A_2} = \frac{[H_{A_1} - C_{PA}(T_{A_2} - T_0)](X_{R_1} - X_{R_2}) + X_{A_1}(h_{R_2} - h_{R_1})}{[C_v(T_{A_2} - T_0) + \lambda_0](X_{R_1} - X_{R_2}) + (h_{R_2} - h_{R_1})} \quad \text{Ec.25}$$

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

$$\dot{m}_A = \dot{m}_{RS} \frac{(X_{R_1} - X_{R_2})}{(X_{A_2} - X_{A_1})} \quad \text{Ec.26}$$

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, optimación 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.

1.5.3 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:

$$D_g = \frac{585\sqrt{\gamma}}{u\sqrt{\rho_l}} + 597 \left(\frac{\mu}{\sqrt{\gamma\rho_l}} \right)^{0,45} \left(\frac{1000\dot{V}_l}{\dot{V}_g} \right)^{1,5} \quad \text{Ec.27}$$

Donde:

D_g = grosor medio de las gotas (μm)

γ = tensión superficial (dyn/cm)

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

ρ_l = densidad del líquido (g/cm^3)

μ = 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:

$$\gamma = \frac{1}{2} g \cdot H \cdot r \cdot \rho \quad \text{Ec.28}$$

Donde:

γ = Tensión superficial (dyn/cm)

g = Gravedad (cm/s^2)

H = Altura (cm)

r = Radio del capilar (cm)

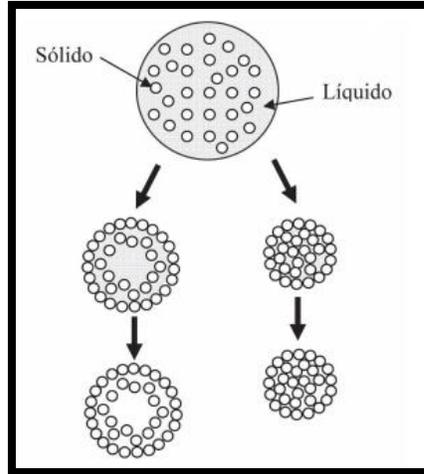
ρ = Densidad del fluido (g/cm^3)

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.

1.5.3.1 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.



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

Figura 15-1: Formación de gránulos.

En el caso de no conocer el diámetro final del producto, el diámetro crítico de la gota se puede calcular mediante el balance de materia de los sólidos presentes.

Por lo tanto suponiendo que no hay ruptura ni coalescencia de las mismas, la masa de los sólidos secos de la gota se mantiene constante desde la entrada a la salida de la cámara de secado, entonces:

$$\frac{m_{g1}}{1+X_{R1}} = \frac{m_{g2}}{1+X_{R2}}$$

Donde:

m_{g1} = Masa de la gota a la entrada de la cámara de secado (Kg)

X_{R1} = Humedad de la alimentación a la entrada de la cámara (Kg agua/Kgss)

m_{g2} = Masa de la gota a la salida de la cámara de secado (Kg)

X_{R2} = Humedad de la alimentación a la salida de la cámara (Kg agua/Kgss)

La masa de la gota se puede calcular así:

$$m_g = V_g \cdot \rho_g \tag{Ec.29}$$

Donde:

V_g = Volumen de la gota (m^3)

ρ_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:

$$m_g = \frac{4}{3} \pi \frac{D_g^3}{8} \rho_R \quad \text{Ec.30}$$

A la entrada el diámetro de la gota es D_g , mientras que a la salida, después del punto crítico el diámetro permanece constante, el diámetro $D_2 = D_c$ reemplazando en la ecuación de la masa de la gota se obtiene:

$$\frac{\frac{4}{3} \pi \frac{D_g^3}{8} \rho_R}{1 + X_{R_1}} = \frac{\frac{4}{3} \pi \frac{D_c^3}{8} \rho_{RS}}{1 + X_{R_2}}$$

Simplificando y despejando el diámetro crítico se tiene:

$$D_c = D_g \left[\frac{\rho_R}{\rho_{RS}} \cdot \frac{1+X_{R_2}}{1+X_{R_1}} \right]^{1/3} \quad \text{Ec.31}$$

Donde:

D_c = Diámetro de la gota en el punto crítico (m)

D_g = Diámetro de la gota en a la entrada (m)

ρ_R = Densidad de la alimentación (Kg/m^3)

ρ_{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:

$$\alpha_r = \frac{\pi}{6} (D_g^3 - D_c^3) \rho_{H_2O} \quad \text{Ec.32}$$

Donde:

α_r = Humedad removida hasta el punto crítico (Kg)

ρ_{H_2O} = Densidad del agua (Kg/m³)

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

$$\alpha_p = \frac{m_{g1}}{1+X_{R2}} \cdot X_{R2} - \alpha_r \quad \text{Ec.33}$$

$$\alpha_p = \frac{\pi}{6} \left(\frac{D_g^3 \rho_R}{1+X_{R1}} \right) \cdot X_{R1} - \alpha_r \quad \text{Ec.34}$$

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.

$$X_{Rc} = \frac{\alpha_p}{\frac{m_g}{1+X_{R1}}} \quad \text{Ec.35}$$

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:

$$T_{Rc} = T_{bh1}$$

Donde:

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

T_{bh1} = 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:

$$P_v - P_{gTbh} = -66(T_A - T_{bh1}) \quad \text{Ec.36}$$

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

$$P_{g_{Tbh}} = 100e^{\left(19,016 \frac{4064,95}{T_{bh1} + 236,25}\right)} \quad \text{Ec.37}$$

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.

1.5.3.2 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:

$$\dot{m}_{RS}(X_{R1} - X_{Rc}) = \dot{m}_A(X_{Ac} - X_{A1}) \quad \text{Ec.38}$$

$$X_{Ac} = X_{A1} + \frac{\dot{m}_{RS}(X_{R1} - X_{Rc})}{\dot{m}_A} \quad \text{Ec.39}$$

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

$$H_{Ac} = (Cp_A + X_{Ac} Cv) (T_{Ac} - T_0) + X_{Ac} \cdot \lambda_0 \quad \text{Ec.40}$$

Despejando la temperatura en el punto crítico se obtiene:

$$T_{Ac} = T_0 + \frac{H_{Ac} - X_{Ac} \cdot \lambda_0}{Cp_A + X_{Ac} Cv} \quad \text{Ec.41}$$

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

$$H_{Ac} = H_{A1} + \frac{\dot{m}_{RS}(h_{R1} - h_{Rc})}{\dot{m}_A} \quad \text{Ec.42}$$

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

$$h_{Rc} = (Cp_R + X_{Rc} \cdot Cp_{H_2O}) (T_{Rc} - T_0) \quad \text{Ec.43}$$

1.5.4 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:

$$t_T = t_c + t_d \quad \text{Ec.44}$$

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:

$$h_c \cdot A \cdot \Delta T_{ml1} = -\lambda_{bh} \frac{dm_g}{dt} \quad \text{Ec.45}$$

Donde:

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

A = Área de la gota (m^2)

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

λ_{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:

$$A = \pi D_g^2 \quad \text{Ec.46}$$

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:

$$m_g = \frac{\pi}{6} D_g^3 \rho_{H_2O} \quad \text{Ec.47}$$

Donde:

m_g = masa de la gota (Kg)

D_g = Diámetro de la gota (m)

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

Sustituyendo estas ecuaciones en la ecuación de coeficiente de transferencia de calor se obtiene:

$$h_c \cdot \pi D_g^2 \cdot \Delta T_{ml1} = -\frac{\pi}{6} \lambda_{bh} \rho_{H_2O} \frac{d(D_g^3)}{dt} \quad \text{Ec.48}$$

$$dt = -\frac{\lambda_{bh} \rho_{H_2O}}{2 h_c \Delta T_{ml1}} dD_g \quad \text{Ec.49}$$

Integrando desde la entrada a la cámara de secado hasta el punto crítico se tiene:

$$\int_0^{t_c} dt = -\frac{\lambda_{bh} \rho_{H_2O}}{2 \Delta T_{ml1}} \int_{D_g}^{D_c} \frac{dD_g}{h_c} \quad \text{Ec.50}$$

El valor de la media logarítmica de las temperaturas permitirá determinar la temperatura a la cual se está realizando la transferencia de calor hacia el fluido.

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

$$\Delta T_{ml1} = \frac{(T_{A1} - T_{R1}) - (T_{Ac} - T_{Rc})}{\ln \frac{(T_{A1} - T_{R1})}{(T_{Ac} - T_{Rc})}} \quad \text{Ec.51}$$

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

$$\lambda_{bh} = 2502535,259 - 2385,76424 \cdot T_{bh} \quad \text{Ec.52}$$

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

$$h_c = \frac{N_u k_d}{D_g} \quad \text{Ec.53}$$

Donde:

N_u = Número de Nusselt

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

Para la transferencia de calor entre un fluido en movimiento y la superficie de una esfera se recomienda la siguiente ecuación:

$$N_u = 2 + 0,6Re^{\frac{1}{2}} \cdot Pr^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ec.54}$$

Donde

Re = Número de Reynolds

Pr = Número de Prandtl

El número de Reynolds es igual a:

$$Re = \frac{D_g v_{rel}}{\nu} \quad \text{Ec.55}$$

Como la velocidad relativa de la gota con respecto al aire (v_{rel}) es despreciable el número de Reynolds queda:

$$Re = 0$$

Por lo tanto el número de Nusselt es igual a:

$$Nu = 2$$

Cabe mencionar que la conductividad térmica se evalúa a una temperatura promedio entre la temperatura del aire y la temperatura superficial de la gota.

Reemplazando los datos en la integral obtenemos:

$$\int_0^{tc} dt = -\frac{\lambda_{bh} \rho_{H_2O}}{2 \Delta T_{ml1}} \int_{D_g}^{D_c} \frac{dD_g}{\frac{2k_d}{D_g}} \quad \text{Ec.56}$$

Integrando:

$$tc = \frac{\lambda_{bh} \rho_{H_2O}}{8 k_d \Delta T_{ml1}} (D_g^2 - D_c^2) \quad \text{Ec.57}$$

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:

$$m_g = \frac{\pi}{6} D_c^3 \rho_{RS} X_R \quad \text{Ec.58}$$

Reemplazando esta expresión en la ecuación (45) se tiene:

$$\frac{2k_d}{D_c} (\pi D_c^2) \Delta T_{ml1} = -\frac{\pi}{6} \lambda_{bh} D_c^3 \rho_{RS} \frac{dX_R}{dt} \quad \text{Ec.59}$$

$$dt = \frac{-\lambda_{bh} D_c^2 \rho_{RS}}{12 k_d \Delta T_{ml2}} d(X_R) \quad \text{Ec.60}$$

Integrando desde el punto crítico hasta la salida de la cámara de secado:

$$\int_0^{t_d} dt = \frac{-\lambda_{bh} D_c^2 \rho_{RS}}{12 k_d \Delta T_{ml2}} \int_{X_{Rc}}^{X_{R2}} X_R \quad \text{Ec.61}$$

$$t_d = \frac{\lambda_{bh} D_c^2 \rho_{RS}}{12 k_d \Delta T_{ml2}} (X_{Rc} - X_{R2}) \quad \text{Ec.62}$$

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

$$\Delta T_{ml2} = \frac{(T_{Ac} - T_{Rc}) - (T_{A2} - T_{R2})}{\ln \frac{(T_{Ac} - T_{Rc})}{(T_{A2} - T_{R2})}} \quad \text{Ec.63}$$

1.5.4.1 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:

$$t_v = \frac{(R_{cs} - \frac{Dr}{4})^2}{2,4 v_{res} (b \frac{Dr}{2})^{1/2}} \quad \text{Ec.64}$$

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:

$$R_{cs} = \frac{Dr}{4} + \left[2,4t_T V_{res} \left(b \frac{Dr}{2} \right)^{1/2} \right]^{1/2} \quad \text{Ec.65}$$

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.

1.5.5 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:

$$Q_{tf} = \frac{12k_d \Delta T_{ml3}}{\rho_R D_g^2} \dot{m}_R t_v \quad \text{Ec.66}$$

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:

$$\Delta T_{ml3} = \frac{(T_{A1}-T_{R1})-(T_{A2}-T_{R2})}{\ln\left(\frac{T_{A1}-T_{R1}}{T_{A2}-T_{R2}}\right)} \quad \text{Ec.67}$$

1.5.6 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:

$$Q_{nec} = \dot{m}_A (Cp_A + X_{A1} C_v) (T_{A1} - T_{A2}) \quad \text{Ec.68}$$

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

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

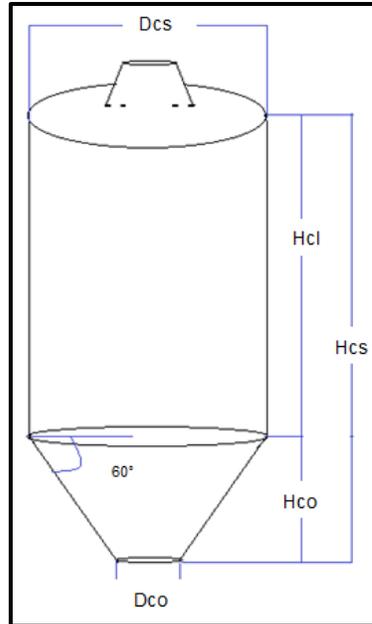
En caso de no cumplirse la condición, se debe aumentar el valor del calor transferido, aumentando el tiempo de viaje de la gota, y por ende se deberá aumentar el diámetro de la cámara de secado para optimizar el proceso y así evitar pérdidas.

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

1.5.7 Cámara de secado.

La cámara permite encerrar el spray que se produce y asegurar que las gotas sean secadas con el flujo de aire caliente y para suministrar un tiempo de residencia suficiente para evaporar la humedad. La cámara de secado tiene la siguiente forma:



Elaborado por: CRUZ L./HINOJOSA K.,/ ESPOCH/2015

Figura 16-1: Dimensiones de la cámara de secado

Donde:

D_{cs} = Diámetro de la cámara de secado (m)

H_{cs} = Altura de la cámara de secado (m)

H_{cl} = Altura del cilindro de la cámara de secado (m)

H_{co} = Altura del cono de la cámara de secado (m)

D_{co} = Diámetro del sifón de la cámara de secado (m)

La relación entre las dimensiones de la cámara de secado se expone a continuación:

$$H_{cs} = 2D_{cs} \quad \text{Ec.69}$$

$$D_{co} = \frac{D_{cs}}{6} \quad \text{Ec.70}$$

$$H_{co} = \left(\frac{D_{cs} - D_{co}}{3,8} \right) \tan 60^\circ \quad \text{Ec.71}$$

$$H_{cl} = H_{cs} - H_{co} \quad \text{Ec.72}$$

1.5.8 Dimensionamiento de equipos auxiliares

La función de los equipos auxiliares es el encendido y control de las condiciones de funcionamiento. Los equipos auxiliares que componen el secador por aspersión son los siguientes:

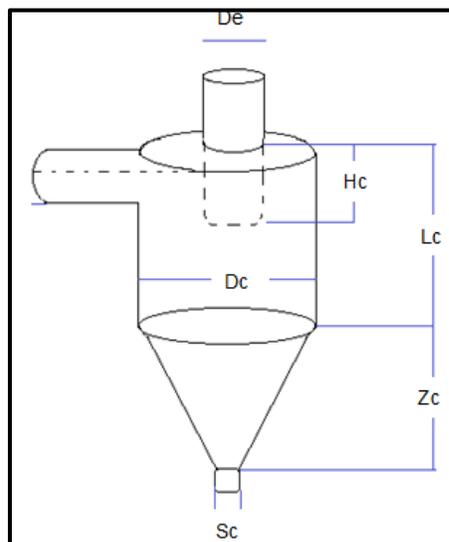
- Ciclón
- Ventilador
- Sistema de calentamiento
- Bomba dosificadora o de diafragma
- Compresor

A continuación se detalla el procedimiento para la selección de cada uno de ellos.

1.5.8.1 Ciclón.

En los ciclones hay variables que se deben tomar en cuenta como la caída de presión, la velocidad de entrada y velocidad de saltación, pero generalmente tienen como parámetro principal de diseño el diámetro, es por ello que a continuación se presentan relaciones para el diseño basadas en el diámetro del cuerpo del ciclón.

El ciclón tiene la siguiente forma:



Elaborado por: CRUZ L./HINOJOSA K.,/ ESPOCH/2015

Figura 17-1: Dimensiones del ciclón

Donde:

D_c = Diámetro del ciclón (m)

L_c = Longitud del cuerpo del ciclón (m)

Z_c = Longitud del cono del ciclón (m)

H_c = Altura del freno del ciclón (m)

S_c = Diámetro del sifón del ciclón (m)

D_e = Diámetro del freno (m)

Una vez determinado el diámetro del cuerpo del ciclón se calcula todas las demás dimensiones según las siguientes relaciones.

$$D_e = \frac{D_c}{2} \quad \text{Ec.73}$$

$$L_c = \frac{2}{3} D_c \quad \text{Ec.74}$$

$$z_c = 2L_c \quad \text{Ec.75}$$

$$H_c = \frac{D_c}{2} \quad \text{Ec.76}$$

$$S_c = \frac{D_c}{4} \quad \text{Ec.77}$$

1.5.8.2 Ventilador

Para el cálculo de la potencia del ventilador se debe tener un conocimiento previo del caudal de aire con el que se desea trabajar y el diámetro del ducto por el cual va a circular.

$$\dot{P} = C_A \cdot P_T \quad \text{Ec.78}$$

Donde:

\dot{P} = Potencia (W)

C_A = Caudal de aire (m^3/s)

P_T = Presión total (Pa)

La presión total es la sumatoria de la presión dinámica y la presión estática

$$P_T = P_d + P_e \quad \text{Ec.79}$$

Para el cálculo de la presión dinámica se tiene la siguiente expresión:

$$P_d = \frac{1}{2} \rho_A v^2 \quad \text{Ec.80}$$

Donde:

P_d = Presión dinámica (Pa)

ρ_A = Densidad del aire (Kg/m³)

v = Velocidad (m/s)

Para el cálculo de la presión estática la expresión siguiente:

$$P_e = g \cdot P_{ec} \quad \text{Ec.81}$$

Donde:

P_e = Presión estática (Pa)

g = Gravedad (m/s²)

P_{ec} = Presión estática en el conducto (Pa)

Otro de los parámetros que debemos conocer es la energía mecánica específica que es la energía por unidad de masa del aire, y la podemos calcular con la siguiente expresión:

$$W_{esp} = \frac{P_T}{\rho_A} \quad \text{Ec.82}$$

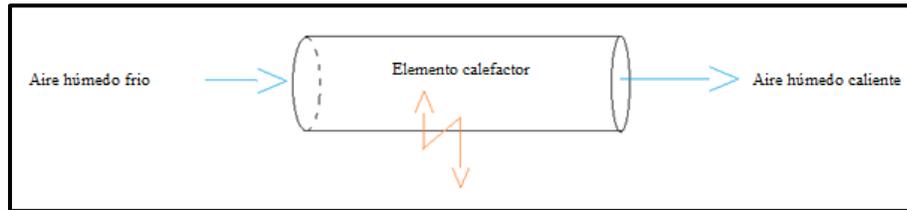
Dónde:

W_{esp} = Energía mecánica específica (m²/s)

P_T = Presión total (Pa)

ρ_A = Densidad del aire (Kg/m³)

1.5.8.3 Sistema de calentamiento de aire



Elaborado por: CRUZ L./HINOJOSA K.,/ ESPOCH/2015

Figura 18-1: Sistema de calentamiento eléctrico

Si se dispone de corriente a 220 voltios trifásico, la capacidad en KW, se expresa por la siguiente ecuación:

$$kW = C_A \cdot C_p \cdot \Delta T \cdot \frac{1,2}{3412} \quad \text{Ec.83}$$

Donde

C_A = flujo de aire: (lb/h).

ΔT = temperatura de elevación (°F)

C_p = capacidad calorífica del aire a la temperatura máxima de operación (BTU/lb °F)

La capacidad calorífica se puede calcular mediante las relaciones que se presentan en el siguiente

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

1.5.8.3.1 Transferencia de calor

Se tiene la siguiente expresión:

$$Q_x = \frac{T_{A_1} - T_a}{R_T} \quad \text{Ec.84}$$

Donde

Q_x = Calor transferido (W)

T_{A_1} = Temperatura de calentamiento (K)

T_a = Temperatura ambiente (K)

R_T = Resistencias térmicas (K/W)

Se debe considerar que para el calentamiento del aire, existen diferentes mecanismos de transferencia de calor que se evidencian en este sistema, es así que se debe considerar convección, conducción y una transferencia combinada de convección y radiación, entonces:

$$R_T = \sum R_s$$

$$R_T = R_{conv-rad} + R_{cond} + R_{conv-rad} \quad \text{Ec.85}$$

Un de las consideraciones que se debe tomar en cuenta para estos casos es que las superficies interiores de la tubería están a la misma temperatura y, por tanto, aunque el fluido sea un gas el intercambio de calor por radiación es despreciable (o nulo). Consecuentemente, en el interior sólo se considerará el intercambio de calor por convección entonces tendremos.

$$R_T = R_{conv} + R_{cond} + R_{conv-rad} \quad \text{Ec.86}$$

Para la determinación de las resistencias térmicas se tiene la siguiente expresión:

1.5.8.3.1.1 Resistencia térmica convectiva:

$$R_{conv} = \frac{1}{h_c \cdot A_d} \quad \text{Ec.87}$$

Donde:

h_c = Coeficiente convectivo (W/m^2K)

A_d = Área del ducto (m^2)

Cuando la convección es forzada la determinación del coeficiente convectivo:

$$h_c = 9,42 + 3,68v_A \quad \text{Ec.88}$$

Donde:

v_A = Velocidad del flujo (m/s)

1.5.8.3.1.2 Resistencia térmica conductiva:

$$R_{cond} = \frac{\ln \frac{r_0}{r_i}}{2\pi.k.L_i} \quad \text{Ec.89}$$

Donde:

r_0 = Radio externo (m)

r_i = Radio interno (m)

k = Conductividad (W/mK)

L_i = Longitud del intercambiador (m)

La conductividad es específica de cada material por el cual se da la transferencia de calor por conducción de calor.

1.5.8.3.1.3 Resistencia térmica combinada de convección-radiación

$$R_{conv-rad} = \frac{1}{h_{conv-rad}.A_{ex}} \quad \text{Ec.90}$$

Donde:

$h_{conv-rad}$ = Coeficiente combinado de convección radiación (W/m^2K)

A_{ex} = Área externa del ducto (m^2)

Para el cálculo del coeficiente combinado (convección-radiación) se debe sumar el coeficiente convectivo y el coeficiente de radiación.

$$h_{conv-rad} = h_c + h_{rad} \quad \text{Ec.91}$$

Cuando el coeficiente de convección es natural o libre se tiene:

$$h_c = 1,32 \left(\frac{\Delta T}{d_{ex}} \right)^{1/4} \quad \text{Ec.92}$$

Donde:

ΔT = Variación de temperatura (K)

d_{ex} = Diámetro externo del intercambiador (m)

La determinación del coeficiente de radiación se tiene la expresión siguiente:

$$h_{rad} = \varepsilon \sigma (T_{A_1} - T_a) (T_{A_1}^2 + T_a^2) \quad \text{Ec.93}$$

Donde:

h_{rad} = Coeficiente de radiación (W/m^2K)

ε = Emisividad

σ = Constante de Boltzmann (W/m^2K)

T_{A_1} = Temperatura del ducto (K)

T_a = Temperatura ambiente (K)

1.5.8.3.2 Instalación del intercambiador

Para el diseño de este sistema de calentamiento requerimos calcular ciertos parámetros para su instalación, así por ejemplo tenemos:

El número de tubos (resistencias eléctricas) requeridos para esta operación se deduce de la relación:

$$N_{elementos} = \frac{\text{total vatios operación}}{\text{watts ofrece cada elemento}} \quad \text{Ec.94}$$

La longitud del intercambiador

$$L_R = L_i - (d \cdot e) - (a \cdot N) \quad \text{Ec.95}$$

Donde:

L_R = Longitud de las resistencias (m)

L_i = Longitud del intercambiador(m)

d = Distancia(m)

e = Espacios

a = Ancho(m)

N = Número de elementos

Número de filas de elementos:

$$filas (f) = \frac{Nelementos}{Nelementos\ por\ fila} \quad \text{Ec.96}$$

Diámetro del intercambiador de calor

$$D_R = (d \cdot e) + (a \cdot N) \quad \text{Ec.97}$$

Donde

D_R = Diámetro del intercambiador (m)

Debemos anotar que el calentamiento del aire sucede a humedad constante.

1.5.8.4 Bomba de diafragma

Para el transporte de un fluido se requiere de tres tipos de energías de presión, cinética y potencial; y a través del Teorema de Bernoulli se demuestra que la energía no se crea ni se destruye solo se transforma.

El balance de energía mecánica entre dos puntos para líquidos incompresibles se expresa mediante la ecuación de Bernoulli:

$$\frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + (Z_2 - Z_1) + h_f = H \quad \text{Ec.98}$$

Donde:

v = Velocidad (m/s)

g = Gravedad (m/s^2)

P = Presión (Pa)

Z_1 = Altura de succión (m)

Z_2 = Altura de descarga (m)

h_f = Pérdidas de energía por fricción (m)

Debido a que en entre los dos puntos que se desea transportar el fluido la presión atmosférica es la misma $P_2 = P_1$ este factor se anula.

$$\frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + (Z_2 - Z_1) + h_f = H \quad \text{Ec.99}$$

Además considerando que el fluido que se va a succionar esta estacionario $v_1 = 0$.

$$\frac{v_2^2}{2g} + (Z_2 - Z_1) + h_f = H \quad \text{Ec.100}$$

Entonces la velocidad de salida quedaría:

$$v_2 = \frac{4C_R}{\pi D^2} \quad \text{Ec.101}$$

Donde

C_R = Caudal (m^3/s)

D = Diámetro (m)

Parar el cálculo de las pérdidas totales de energía por fricción se debe considerar las pérdidas de energía por fricción longitudinales (h_{fL}) y las perdidas de energía por fricción en accesorios (h_{fm})

$$h_f = h_{fL} + h_{fm} \quad \text{Ec.102}$$

La determinación de las pérdidas de energía por fricción longitudinales se realiza con la siguiente expresión:

$$h_{fL} = f \frac{L}{\phi} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad \text{Ec.103}$$

Donde:

f = Factor de fricción Fanning

L = Longitud (m)

ϕ = Diámetro (m)

El factor de fricción Fanning es adimensional y está relacionado con el régimen del fluido. Para régimen laminar ($Re < 2000$) el factor de fricción se calcula como

$$f = \frac{64}{N_{Re}} \quad \text{Ec.104}$$

Para régimen turbulento ($Re > 4000$) el factor de fricción esta función de la rugosidad relativa y del diámetro de la tubería, con estos parámetros el factor de fricción se determina gráficamente con el Diagrama de Moody.

El número de Reynolds es un número adimensional utilizado en mecánica de fluidos, diseño de reactores y fenómenos de transporte para caracterizar el movimiento de un fluido.

$$N_{Re} = \frac{\rho \phi v}{\mu} \quad \text{Ec.105}$$

Para el cálculo de las pérdidas de energía por fricción en accesorios se tiene la siguiente expresión:

$$h_{fm} = \sum k \cdot \frac{v^2}{2g} \quad \text{Ec.106}$$

Donde

k = Constante de accesorios

Para la medición de las alturas de succión y de descarga es recomendable fijarse un nivel de referencia para las dos alturas.

Para determinar la capacidad que requiere la bomba se tiene la siguiente expresión.

$$\dot{P} = \frac{H \cdot Q \cdot \rho \cdot g}{\eta_v \cdot 367} \quad \text{Ec.107}$$

Donde:

\dot{P} = Potencia de la bomba (KW)

Q = Caudal (m^3/h)

ρ = Densidad del zumo de remolacha (kg/m^3)

η_v = Rendimiento de la bomba

Para el cálculo del rendimiento volumétrico se tiene:

$$\eta_v = \frac{C_{Real}}{C_{Teórico}} \quad \text{Ec.108}$$

Este rendimiento volumétrico oscila entre 80 y 99 % según el tipo de bomba, su construcción y tolerancias internas, y según las condiciones específicas de velocidad, presión, viscosidad del fluido, temperatura, etc.

1.5.8.5 Compresor

El compresor tiene la función de aspirar aire del ambiente y lo comprime hasta cederle una presión mayor, el trabajo que realiza considerando un proceso isotérmico se lo define con la siguiente ecuación:

$$-W = k \ln \left(\frac{P_2}{P_1} \right) \quad \text{Ec.109}$$

$$k = P_1 V_1$$

$$-W = (2,3026) P_1 V_1 \log \left(\frac{P_2}{P_1} \right) \quad \text{Ec.110}$$

Donde:

P_1 = Presión de la localidad (lb/pie^2)

V_1 = volumen del compresor (pie^3)

P_2 = presión del aire de salida del compresor (lb/pie^2)

Debido a que el desplazamiento y la fuerza tienen sentidos opuestos, al trabajo se le designa un valor negativo ya que este se realiza sobre el sistema

1.5.9 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.

1.5.9.1 Eficiencia térmica del secador por aspersión.

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

$$n_t = \frac{\dot{m}_{RS}(X_{R1}-X_{R2})\lambda_{bh}}{\dot{m}_A (Cp_A + X_{a1} Cv) (T_{A1} - T_{bh1})} \quad \text{Ec.111}$$

1.5.9.2 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.

$$n_{ev} = \frac{Q_{nec}}{Q_{tf}} \cdot 100 \quad \text{Ec.112}$$

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.

1.5.10 Recuperación de sólidos

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

$$\mathbf{Recuperacion} = \frac{m_p}{m.\%SA} \cdot 100 \quad \text{Ec.113}$$

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

1.5.11 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

$$\mathbf{Rendimiento} = \frac{m_p}{m} \quad \text{Ec.114}$$

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

1.5.12 Productividad

Es la cantidad producida por unidad de tiempo

$$\mathbf{Productividad} = \frac{m_p}{t} \quad \text{Ec.115}$$

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

CAPITULO II

2 PARTE EXPERIMENTAL

El presente trabajo de investigación se orienta al diseño y construcción de un secador por atomización que permita obtener un colorante natural en polvo (Betalaínas) a partir del extracto líquido de remolacha (*beta vulgaris*), el mismo que se encuentra en el Laboratorio de Procesos Industriales de la Escuela de Ingeniería Química de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH del Cantón de Riobamba Provincia Chimborazo.

Por lo cual se realiza diferentes ensayos de laboratorio y pruebas en el equipo para determinar y optimizar las variables de proceso como temperatura de entrada y salida, flujo de alimentación, flujo de aire de calentamiento y comprimido que permitan obtener un colorante de calidad apto para su empleo y que el equipo cumpla con su mayor eficiencia.

Complementando a la investigación se prueba con dos encapsulantes en diferentes concentraciones, optando por el que conserva las propiedades de la remolacha, estabilidad del colorante en polvo y mayor eficiencia de producción.

2.1 Plan de muestreo

Para el desarrollo de esta investigación se empleó un muestreo aleatorio simple, el cual, se llevó a cabo en tres mercados de la ciudad: Mercado Mayorista, San Alfonso y Santa Rosa; la frecuencia del muestreo será 2 muestras al mes, en un período de dos meses adquiriendo un total de 12 muestras.

2.2 Metodología

2.2.1 Métodos y técnicas

2.2.1.1 Métodos

Este documento evidencia una investigación de carácter explicativa y experimental con el fin de responder las posibles interrogantes que se puedan presentar en el desarrollo del secado por atomización. Facilitando las herramientas teóricas y técnicas que permitan describir el equipo de secado y evaluar el producto obtenido.

2.2.1.1.1 Método descriptivo.

El debido dimensionamiento del 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”, así como la variación de costos y disponibilidad en cada uno de los mercados, analizando las 12 muestras se elige trabajar con la remolacha del Mercado Mayorista, la misma que proviene del Cantón Chambo.

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 las formulaciones con los dos encapsulantes, maltodextrina y goma arábica en diferentes concentraciones, 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.

2.2.1.2 Técnicas

Se utilizaron ciertas técnicas para recabar información de la investigación realizada como las siguientes:

- 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.

2.2.1.2.1 Determinación del porcentaje de sólidos y humedad

Cuadro 3-2: 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"> • Estufa • Balanza analítica • Desecador • Capsulas de porcelana • Pinza de capsula 	<ul style="list-style-type: none"> • Tarar la capsula • Pesar la capsula tarada vacía • Pesar 5 g de muestra en la capsula • Ingresar a la estufa la capsula con la muestra a 110°C por un lapso de 8-12 h • Enfriar la capsula con la muestra en el desecador hasta temperatura ambiente. • Pesar la capsula fría hasta alcanzar un peso constante 	$\%SA = \frac{P_1 - P_2}{P_1}$ $\%H = \frac{M_1 - M_2}{M_1}$ <p>Donde:</p> <p>%SA = Porcentaje de sólidos totales</p> <p>P₁ =Peso de la cápsula más muestra líquida (g)</p> <p>P₂ =Peso de la cápsula más muestra seca (g)</p> <p>%H =Humedad</p> <p>M₁ =Peso de la cápsula más sólido húmedo (g)</p> <p>M₂ =Peso de la cápsula más sólido seco (g)</p>

Fuente: MOREANO, B., Técnica Guía Laboratorio Análisis Químico Instrumental I, ESPOCH/ 2012

2.2.1.2.2 Determinación de la densidad por el método del picnómetro

Cuadro 4-2: 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"> Balanza Analítica Picnómetro 10 mL 	<ul style="list-style-type: none"> Pesar el picnómetro de 10 ml vacío Llenar el picnómetro hasta el borde con la muestra de extracto de remolacha Colocar el capilar del picnómetro Pesar el picnómetro lleno con la muestra de extracto de remolacha 	$m = pm - pv$ <p>Donde:</p> <p>m = Peso del extracto de remolacha (g)</p> <p>pm = Peso picnómetro con muestra de extracto (g)</p> <p>pv = Peso picnómetro vacío(g)</p> $\rho = \frac{m}{v}$ <p>Donde:</p> <p>ρ: densidad del extracto de remolacha (g/mL)</p> <p>v = Volumen muestra (10mL)</p> <p>m = Peso del extracto de remolacha (g)</p>

Fuente: ANDRES. O., Técnica Guía Laboratorio Química Orgánica I, ESPOCH/2014

2.2.1.2.3 Determinación de la densidad de sólidos

Cuadro 5-2: Determinación de la densidad del colorante de remolacha en polvo

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

Fuente: JUÁREZ M., Manual para laboratorio de fisicoquímica de alimentos., <http://www.biblioteca.upibi.ipn.mx/Archivos/MateriaDidactico/MANUALDEFISICOQDEALIM.pdf>/2005

2.2.1.2.4 *Determinación de la viscosidad dinámica mediante el viscosímetro rotatorio*

Cuadro 6-2: 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"> • Viscosímetro digital de rotación • Termómetro • Vaso precipitación 250 mL 	<ul style="list-style-type: none"> • Tomar una muestra del extracto en el vaso de precipitación de 250 mL • Medir la temperatura de la muestra • Instale el husillo seleccionado en el tornillo de unión. • Encienda el equipo • Seleccione el número de husillo L1 • Seleccione la velocidad de rotación a 60 rpm. • 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. • Compruebe que el equipo este bien nivelado • Pulse el botón de inicio de la medida; el husillo comenzará a girar. • Registrar el valor • Presione el botón de parada; el motor se apagará y se puede retirar el husillo para su limpieza. • Apagar el equipo

Fuente: ARIZA M., Departamento de física aplicada., <http://www.ual.es/~mjariza/pract6.pdf>

2.2.1.2.5 *Determinación de grados brix (°bx) mediante el refractómetro*

Cuadro 7-2: 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"> • Refractómetro • Pipeta Pasteur • Pizeta • Agua destilada 	<ul style="list-style-type: none"> • Agregar al prisma del refractómetro una gota de muestra del extracto de remolacha utilizando la pipeta Pasteur. • Apuntar el refractómetro a un fuerte foco de luz. • Ajustar el ocular enfocable hasta que sea visible la escala del refractómetro, en grados °Brix. • Lavar el prisma con el agua destilada mediante la ayuda de la Pizeta y secar.

Fuente: Laboratorio de Análisis Instrumental, ESPOCH/2015

2.2.1.2.6 Determinación de la tensión superficial mediante el método del capilar

Cuadro 8-2: 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"> • Vaso de precipitación 250 mL • Tubo capilar • Termómetro • Regla 	<ul style="list-style-type: none"> • Tomar una muestra del extracto de remolacha en el vaso de precipitación. • Medir la temperatura • Fijar el capilar a la regla e introducirlos en el vaso. • Esperar hasta que el fluido ascienda por el capilar y se mantenga constante. • Tomar la medida de la altura de ascenso del fluido por el capilar 	$\gamma = \frac{1}{2} g \cdot h \cdot r \cdot \rho$ <p>Donde:</p> <p>γ = Tensión superficial del extracto de remolacha dina/cm</p> <p>g = Gravedad 980 cm/s²</p> <p>h = Altura de ascenso del líquido por el capilar cm</p> <p>r = Radio del tubo capilar cm</p> <p>ρ = Densidad del extracto de remolacha g/cm³</p>

Fuente: LEVVIT B., Química Física Práctica de Findlay., España/1979

2.2.1.2.7 *Determinación de higroscopia*

Cuadro 9-2: 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"> • Balanza analítica • Cajas Petri • Espátula 	<ul style="list-style-type: none"> • Pesar 5 g de muestra de polvo de remolacha en la caja Petri. • Tapar las caja Petri • Tomar el peso cada 2 h 	<p>$m = p_2 - p_1$</p> <p>Donde:</p> <p>m = Masa de agua que ha aumentado en el polvo de remolacha (g)</p> <p>p_1 = Peso inicial de la caja Petri con el polvo de remolacha (g)</p> <p>p_2 = Peso de la caja Petri con el polvo de remolacha después del periodo de tiempo establecido. (g)</p>

Fuente: Laboratorio de Análisis Instrumental, ESPOCH/2015

2.2.1.2.8 *Determinación de solubilidad*

Cuadro 10-2: Determinación de solubilidad del colorante de remolacha en polvo

FUNDAMENTO	MATERIALES	TÉCNICA
<p>La solubilidad es la capacidad que tiene un sólido (soluto) 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"> • Balanza analítica • Tubos de ensayo • Espátula • Varilla de agitación • Agua destilada 	<ul style="list-style-type: none"> • En un tubo de ensayo añadir un volumen conocido de agua. • Pesar 1 g de polvo de remolacha • Agregar el polvo de remolacha en el tubo de ensayo • Observar la facilidad con que las partículas se desplazan en el líquido • Agitar • Observar si todas las partículas de colorante se han disuelto

Fuente: Laboratorio de Análisis Instrumental, ESPOCH/2015

2.2.1.2.9 *Determinación del tamaño de partículas por tamizado*

Cuadro 11-2: 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"> • Balanza analítica • Juego de mallas o tamices N° 70, 100, 140, 270, 400 y charola de fondo 	<ul style="list-style-type: none"> • Pesarse exactamente 50 g de colorante en polvo de remolacha • Montar el juego de tamices del N° 70 al 400 • Transferir el colorante en polvo de remolacha a la malla seleccionada. • 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. • Pesarse el polvo retenido en cada tamiz

Fuente: http://www.equiposylaboratorio.com/sito/contenidos_mo.php?it=9539., Colombia/2015

2.2.1.2.10 *Determinación de características organolépticas*

Cuadro 12-2: 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"> • Cajas Petri • Espátula 	<ul style="list-style-type: none"> • Colocar una muestra representativa del colorante en polvo de remolacha en la caja Petri • Clasificar las cajas Petri con las diferentes muestras en función de su intensidad de color. • Observar en el transcurso de los días si existe algún cambio en su color y textura. • Saborear cada una de las muestras • Percibir cada una de las muestras

Fuente: Laboratorio de Análisis Instrumental, ESPOCH/2015

2.2.1.2.11 *Determinación de presencia de betalaínas mediante espectrofotometría uv-visible*

Cuadro 13-2: 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"> • Espectrofotómetro UV-Vis • Celda de cuarzo de 1cm • Matraz aforado de 25ml • Pipeta 10 mL • Piceta • Agua destilada 	<ul style="list-style-type: none"> • Preparar las disoluciones del extracto y colorante en polvo de remolacha en una relación 1:25 en agua destilada. • Encender el Espectrofotómetro • Realizar un blanco con agua destilada y encerrar. • 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. • Lavar muy bien la celda con la muestra que se va a realizar la medida • Medir la absorbancia de cada una de las disoluciones.

Fuente: FAUSTO, T., Técnica Guía Laboratorio Análisis Instrumental, ESPOCH/2015

2.2.1.2.12 *Determinación de presencia de betalainas mediante espectrometría infrarroja*

Cuadro 14-2: 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"> • Espectrofotómetro IR • Espátula • Pipeta Pasteur • Alcohol • Algodón 	<ul style="list-style-type: none"> • Encender el Espectrómetro IR y el computador con el software de control. • Limpiar adecuadamente el cristal con algodón y alcohol • Colocar una gota o cantidad de polvo de muestra en el cristal del Espectrómetro IR • Bajar el brazo de la prensa y atornillar • Enviar a correr el programa • Observar los espectros • Cerrar el programa y apagar el equipo.

Fuente: FAUSTO, T., Técnica Guía Laboratorio Análisis Instrumental. ESPOCH/2015

2.3 Datos

2.3.1 Diagnóstico

La remolacha o beterraba es un tubérculo cultivado en gran cantidad en la zona sierra centro del país, en el caso de Riobamba los mercados son abastecidos por remolacha procedente del cantón Chambo la misma que llega al mercado mayorista y es distribuida a los demás mercados de la ciudad.

Este tubérculo es consumido en ensaladas o jugos debido a su alto contenido en nutrientes y propiedades favorables para la salud del ser humano, pero no ha sido empleado en la industria ecuatoriana. Es por ello que en base a investigaciones realizadas sobre su composición se ha identificado la presencia de betalaínas pigmentos rojos-amarillos que pueden ser empleados como colorantes naturales. Colorantes que en otros países están siendo utilizados para remplazar a los colorantes rojos sintéticos que son tóxicos, alcanzando su aplicabilidad al sector agroalimentario, cosmético, medicinal y textil.

La investigación realizada establece el diseño de un secador por atomización que permita obtener el colorante natural en polvo a partir del extracto de zumo de remolacha, analizando los diferentes componentes del equipo y los parámetros necesarios para su operación, se estableció que algunos de estos parámetros puedan ser manipulados para posibles cambios de acuerdo a las necesidades de alimentación y producto.

Para que sea viable la producción de colorante en polvo es imprescindible emplear un material encapsulante, considerando como opciones la maltodextrina y goma arábica. Estos encapsulantes fueron sometidos a diferentes ensayos de secado, variando la concentración de cada uno de ellos en el extracto de remolacha y temperatura del aire de secado. Con todos los datos recolectados se realizaron graficas comparativas de propiedades a evaluar en el producto, como es color del polvo, pegajosidad e higroscopia, además rendimiento de producción y obstrucciones presentadas en el equipo.

Considerando todos los aspectos a juzgar se debe optar por un encapsulante que le concede al colorante de remolacha en polvo una alta calidad y además que su producción sea rentable.

2.3.1.1 Datos experimentales

Los datos que se describen a continuación, son los adquiridos en los ensayos con los encapsulantes maltodextrina y goma arábica, con los cuales se realiza las gráficas comparativas para seleccionar el adecuado para el proceso de obtención de colorante de remolacha en polvo.

Tabla 5-2: Extracto de remolacha con maltodextrina evaluada a varias concentraciones y temperaturas.

T °C	C (%P/P)	Producción	η (%)	t (min)	Color polvo	Obstrucciones	Perdidas	Pegajosidad.	Color solución	Higroscopia %
120	10	6	5,45	16	6	2	1	1	-	9,04
120	25	20	16,13	26	6	2	1	1	2	6,79
120	50	51	34	16	5	1	1	1	3	4,05
120	75	20	13,33	14	4	2	2	2	1	4,35
140	10	4	3,6	12	6	1	1	1	-	6,88
140	25	18	14,4	35	5	2	2	1	3	4,16
140	50	31	20,7	42	4	2	1	1	2	2,44
140	75	32	20	26	4	2	2	2	1	2,83
140	100	30	16,2	30	3	1	1	2	1	2,51
160	10	1	0,9	6	6	2	1	1	-	1,42
160	25	10	8	11	4	1	2	1	2	10,63
160	50	40	26,7	34	3	1	1	2	2	2,37
160	75	39	23,03	30	3	1	2	1	2	3,52
180	25	12	9,6	22	2	1	1	1	-	4,31
180	50	22	14,67	29	2	1	1	1	-	3,53

Color Polvo = 1-6 (6 color más intenso) Color solución = 1-3 (3 color más intenso) Obstrucciones - pérdidas- pegajosidad = (1) Ausencia (2) Presencia

Elaborado por: CRUZ L./HINOJOSA K., Laboratorio de Procesos Industriales, ESPOCH/2015

Tabla 6-2 : Extracto de remolacha con goma arábica evaluada a varias concentraciones y temperaturas.

T °C	C (%P/P)	Producción	η (%)	t (min)	Color polvo	Obstrucciones	Pérdidas	Pegajosidad	Higroscopia. (%)
120	10	0,5	0,45	13	6	2	2	2	5,53
120	25	5	4	62	6	2	2	2	9,19
120	50	11	7,33	87	4	2	2	2	12,6
140	10	2	1,81	31	5	2	2	2	6,42
140	25	7	5,83	31	5	2	2	2	5,65
140	50	20	13,33	120	3	2	2	2	5,98
160	50	14	9,33	34	2	2	2	2	5,72

Color Polvo = 1-6 (6 color más intenso) Obstrucciones - pérdidas- pegajosidad = (1) Ausencia (2) Presencia

Elaborado por: CRUZ L./HINOJOSA K., Laboratorio de Procesos Industriales, ESPOCH/2015

Tabla 7-2: Propiedades de extracto de remolacha con maltodextrina a varias concentraciones

C (%P/P)	° Bx.	ρ (g/ml)	μ (Poise)	pH
0	9,32	1,08	0,06	5,5
10	16,8	1,11	0,09	5,9
25	26,6	1,12	0,13	5,86
50	34,4	1,15	0,19	5,83
75	41,4	1,17	0,24	5,88
100	56,2	1,21	0,29	5,8

Elaborado por: CRUZ L./HINOJOSA K., Laboratorio de Análisis Instrumentales., ESPOCH/2015

Tabla 8-2: Datos experimentales del extracto de remolacha a 50% maltodextrina 20 °C

Propiedad	Valor	Unidades
ρ_R	1,15	g/cm^3
μ_R	0,19	$g/cm.s$
γ_R	73,26	dyn/cm
°Bx	34,4	°Brix

Elaborado por: CRUZ L./HINOJOSA K., Laboratorio de Análisis Instrumentales, ESPOCH/2015

Tabla 9-2: Datos experimentales del secador por atomización

Parámetro	Valor	Unidades
m	0,3	Kg
t	1200	s
\dot{m}_R	$2,5 \times 10^{-4}$	Kg/s
SA	36,67	%
SP	96,91	%
T_a	20	°C
T_{bh1}	17	°C
T_{bh}	35	°C
T_{R1}	20	°C
T_{R2}	60	°C
T_{A1}	120	°C
T_{A2}	70	°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
ρ_{RS}	0,432982	g/m^3
D_r	0,002	m
b	1×10^{-3}	m

Elaborado por: CRUZ L./HINOJOSA K., Laboratorio de Procesos Industriales, ESPOCH/2015

Tabla 10-2: Datos experimentales dimensionamiento de la cámara de secado y ciclón

Parámetro	Valor	Unidades
D_{cs}	0,29	m
D_c	0,29	m

Elaborado por: CRUZ L./HINOJOSA K., Laboratorio de Procesos Industriales, ESPOCH/2015

Tabla 11-2: Datos experimentales selección del ventilador

Parámetro	Valor	Unidades
v	15	m/s
\emptyset	0,1216	m

Elaborado por: CRUZ L./HINOJOSA K., Laboratorio de Procesos Industriales, ESPOCH/2015

Tabla 12-2: Datos experimentales dimensionamiento del sistema de calentamiento de aire

Parámetro	Valor	Unidades
v_A	4,7	m/s
r_i	23,5	mm
r_0	25,5	mm
r_0'	50,65	mm
r_0''	52,65	mm
L_i	0,8	m
A_{ex}	0,08464	m^2
e	3	-
d	0,0019	m
a	0,0127	m

Elaborado por: CRUZ L./HINOJOSA K., Laboratorio de Procesos Industriales, ESPOCH/2015

Tabla 13-2: Datos experimentales selección de la bomba dosificadora

Parámetro	Valor	Unidades
C_R	$2,2222 \times 10^{-7}$	m^3/s
\emptyset	0,005	m
L	1,08	m
Z_1	0,69	m
Z_2	1,05	m

Elaborado por: CRUZ L./HINOJOSA K., Laboratorio de Procesos Industriales, ESPOCH/2015

2.3.2 Datos adicionales

Tabla 14-2: Datos adicionales generales

gravedad	980	(cm/s^2)
Altura	2750	$msnm$
φ	80,3	%
Temperatura de referencia	0	$^{\circ}C$

Elaborado por: CRUZ L./HINOJOSA K., Laboratorio de Procesos Industriales, ESPOCH/2015

Tabla 15-2: Datos adicionales del extracto de remolacha 20 $^{\circ}C$

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

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

Tabla 16-2: Datos adicionales del aire

Propiedad	Valor	Unidades
k_d	0,024	W/mK
ρ_A (20 $^{\circ}C$)	1,2	Kg/m^3
Cp_A (0 $^{\circ}C$)	1004,67	J/KgK
λ_0 (0 $^{\circ}C$)	2502535,259	J/Kg

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

Tabla 17-2: Datos adicionales del agua

Propiedad	Valor	Unidades
ρ_{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

Tabla 18-2: Datos adicionales selección del ventilador

Parámetro	Valor	Unidades
P_{ec}	66,6	$mm. c. a.$

Fuente: Ventilador., <http://spanish.alibaba.com/product-gs/ab242291-ac-sirocco-fan-blower-561757382.html>

Tabla 19-2: Datos adicionales dimensionamiento del sistema de calentamiento de aire

Parámetro	Valor	Unidades
$k_{acero\ inoxidable\ 304}$	16,3	W/mK
$k_{fibra\ cerámica}$	0,04	W/mK
$k_{aluminio}$	238	W/mK
ε	1	-
Σ	$5,67 \times 10^{-8}$	W/m^2K^4
$W_{cada\ resistencia}$	20	KW

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

Tabla 20-2: Datos adicionales selección de la bomba dosificadora

Constantes de Accesorios	Valor
K_{acople}	0,024
K_{codo}	0,9
$K_{valvula\ reguladora}$	24
$K_{boquilla}$	0,83

Fuente: BRITO H., Solucionario de Problemas de Mecánica de Fluidos., 2008

Tabla 21-2: Datos adicionales selección del compresor

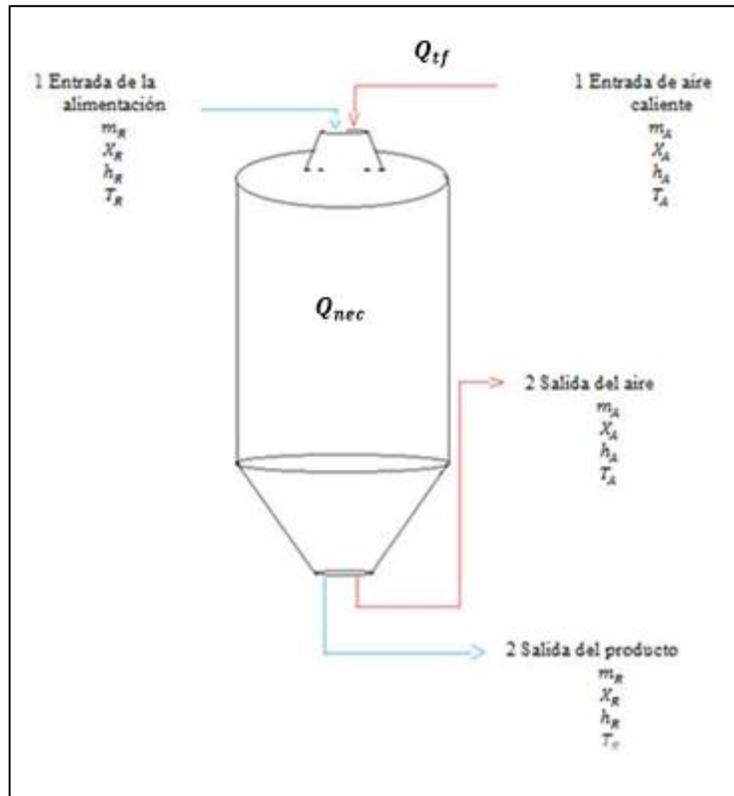
Parámetro	Valor	Unidades
P	30	psi
v	150	L/min

Fuente: Catálogo del Compresor, 2015

CAPITULO III

3 CÁLCULOS Y RESULTADOS

3.1 Diseño de ingeniería



Elaborado por: CRUZ L./HINOJOSA K.,/ ESPOCH/2015

Figura 19-3. Diagrama de flujo de la cámara de secado

3.1.1 Balance de masa y energía

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

$$\dot{m}_{RS} = 2,5 \times 10^{-4} \frac{36,67}{100}$$

$$\dot{m}_{RS} = 9,1675 \times 10^{-5} \text{Kg ss/s}$$

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:

$$\dot{m}_{RH_2O_1} = (9,1675 \times 10^{-5})(1,73)$$

$$\dot{m}_{RH_2O_1} = 1,5860 \times 10^{-4} \text{ Kg } H_2O / s$$

Humedad del producto. Según la Ec.3 es:

$$X_{R2} = \frac{100 - 96,91}{96,91}$$

$$X_{R2} = 0,0319 \text{ Kg } H_2O / \text{Kg } ss$$

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

$$\dot{m}_{RH_2O_2} = (9,1675 \times 10^{-5})(0,0319)$$

$$\dot{m}_{RH_2O_2} = 2,9244 \times 10^{-6} \text{ Kg } H_2O / s$$

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

$$\ln P_{vs} = 19,016 - \frac{4064,95}{20 + 236,25}$$

$$P_{vs} = 23,4010 \text{ mBar}$$

$$P_{vs} = 2340,10 \text{ Pa}$$

La presión parcial de vapor. Según la Ec.6

$$P_v = (0,803)(2340,10)$$

$$P_v = 1879,10 \text{ Pa}$$

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

$$X_A = 0,62 \frac{1879,10}{139505,02 - 1879,10}$$

$$X_{A_1} = 0,01 \text{ Kg } H_2O / \text{Kg as}$$

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

$$h_{R1} = [1672 + 1,73(4217,6)](293 - 273)$$

$$h_{R1} = 179368,96 \text{ J/Kg}$$

Entalpía del producto. Según la Ec.16 es:

$$h_{R2} = [1672 + 0,0319(4217,6)](333 - 273)$$

$$h_{R2} = 108392,49 \text{ J/Kg}$$

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

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

$$H_{A1} = 147805,75 \text{ J/Kg}$$

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

$$X_{A2} = \frac{[147805,75 - 1004,67(343 - 273)](1,73 - 0,0319) + 0,01(108392,49 - 179368,96)}{[1850(343 - 273) + 2502535,259](1,73 - 0,0319) + (108392,49 - 179368,96)}$$

$$X_{A2} = 0,029 \text{ Kg } H_2O / \text{Kg as}$$

Flujo de aire. Según la Ec.26 es:

$$\dot{m}_A = 9,1675 \times 10^{-5} \frac{(1,73 - 0,0319)}{(0,029 - 0,01)}$$

$$\dot{m}_A = 8,1933 \times 10^{-3} \text{ Kg/s}$$

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

$$\dot{m}_{AH_2O_1} = 8,1933 \times 10^{-3} \times 0,01$$

$$\dot{m}_{AH_2O_1} = 8,1933 \times 10^{-5} \text{ Kg } H_2O / \text{s}$$

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

$$\dot{m}_{AH_2O_2} = 1,5860 \times 10^{-4} + 8,1933 \times 10^{-5} - 2,9244 \times 10^{-6}$$

$$\dot{m}_{AH_2O_2} = 2,3761 \times 10^{-4} \frac{\text{Kg } H_2O}{\text{s}}$$

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

$$H_{A_2} = \frac{9,1675 \times 10^{-5}(179368,96 - 108392,49)}{8,1933 \times 10^{-3}} + 147805,75$$

$$H_{A_2} = 148599,91 \text{ J/Kg}$$

3.1.2 Diámetro de la gota

Velocidad relativa del gas con respecto al líquido

$$u = 21 - 3$$

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

Flujo volumétrico del líquido

$$\dot{V}_l = \frac{2.5 \times 10^{-4}}{1,15} \cdot 3600$$

$$\dot{V}_l = 0,7826 \text{ L/h}$$

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

$$D_g = \frac{585\sqrt{73,26}}{18\sqrt{1,15}} + 597 \left(\frac{0,19}{\sqrt{73,26(1,15)}} \right)^{0,45} \left(\frac{1000(0,7826)}{1200} \right)^{1,5}$$

$$D_g = 314,3148 \mu$$

$$D_g = 3,1431 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Masa de la gota. Según la Ec.29 es:

$$m_g = 3,3 \times 10^{-9} (1150)$$

$$m_g = 3,83 \times 10^{-6} \text{ Kg}$$

Diámetro de la gota en el punto crítico

$$D_2 = D_c = 1,5 \times 10^{-4} \text{ m}$$

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

$$\alpha_r = \frac{\pi}{6} [(3,1431 \times 10^{-4})^3 - (1,5 \times 10^{-4})^3] 998,29$$

$$\alpha_r = 1,4466 \times 10^{-8} \text{ Kg}$$

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

$$\alpha_p = \frac{3,83 \times 10^{-6}}{1 + 0,0319} \cdot 0,0319 - 1,4466 \times 10^{-8}$$

$$\alpha_p = 1,0393 \times 10^{-7} \text{ Kg}$$

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

$$X_{R_c} = \frac{1,0393 \times 10^{-7}}{\frac{3,83 \times 10^{-6}}{1 + 1,73}}$$

$$X_{R_c} = 0,0741 \text{ Kg } H_2O / \text{Kg } ss$$

Temperatura de la gota en el punto crítico

$$T_{R_c} = T_{bh_1} = 35^\circ \text{C} = 308 \text{ }^\circ \text{K}$$

3.1.3 Humedad y temperatura del aire en el punto crítico.

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

$$X_{Ac} = 0,01 + \frac{9,1675 \times 10^{-5} (1,73 - 0,0741)}{8,1933 \times 10^{-3}}$$

$$X_{Ac} = 0,0285 \text{ Kg } H_2O / \text{Kg as}$$

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

$$h_{R_c} = [1672 + 0,0741(4217,6)](308 - 273)$$

$$h_{R_c} = 69458,35 \text{ J/Kg}$$

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

$$H_{Ac} = 147805,75 + \frac{9,1675 \times 10^{-5} (179368,96 - 69458,35)}{8,1933 \times 10^{-3}}$$

$$H_{Ac} = 149035,54 \text{ J/Kg}$$

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

$$T_{Ac} = 273 + \frac{149035,54 - (0,0285)(2502535,259)}{1004,67 + (0,0285)(1850)}$$

$$T_{Ac} = 346,50^\circ\text{K}$$

$$T_{Ac} = 73,50^\circ\text{C}$$

3.1.4 Tiempo de secado.

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

$$\Delta T_{ml1} = \frac{(120 - 20) - (73,5 - 35)}{\ln \frac{(120 - 20)}{(73,5 - 35)}}$$

$$\Delta T_{ml1} = 64,43^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{ml1} = 337,43^{\circ}\text{K}$$

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

$$\lambda_{bh} = 2502535,259 - 2385,76424. (308)$$

$$\lambda_{bh} = 1767719,873 \text{ J/Kg}$$

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

$$t_c = \frac{(1767719,873) (998,29)}{(8) (0,024). (337,43)} [(3,1431 \times 10^{-4})^2 - (1,5 \times 10^{-4})^2]$$

$$t_c = 2,08 \text{ s}$$

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

$$\Delta T_{ml2} = \frac{(73,5 - 35) - (70 - 60)}{\ln \frac{(73,5 - 35)}{(70 - 60)}}$$

$$\Delta T_{ml2} = 21,14^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{ml2} = 294,14^{\circ}\text{K}$$

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

$$t_d = \frac{(1767719,873)(1,5 \times 10^{-4})^2 (432,982)}{(12) (0,024) (294,14)} (0,0745 - 0,0319)$$

$$t_d = 8,66 \times 10^{-3} \text{ s}$$

Tiempo de secado. Según la Ec.44 es:

$$t_T = 2,08 + 8,66 \times 10^{-3}$$

$$t_T = 2,09 \text{ s}$$

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

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

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

$$t_v \geq t_T$$

3.1.5 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:

$$\Delta T_{ml3} = \frac{(120 - 20) - (70 - 60)}{\ln \frac{(120 - 20)}{(70 - 60)}}$$

$$\Delta T_{ml3} = 39,09^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{ml3} = 312,09^\circ\text{K}$$

Según la Ec.66 es:

$$Q_{tf} = \frac{(12)(0,024)(312,09)}{(1150)(3,1431 \times 10^{-4})^2} (2,5 \times 10^{-4})(2,9)$$

$$Q_{tf} = 573,58 \text{ J/S}$$

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

3.1.6 Calor necesario para secar la alimentación

Según la Ec.68 es:

$$Q_{nec} = 8,1933 \times 10^{-3} (1004,67 + 0,01(1850))(393 - 343)$$

$$Q_{nec} = 419,16 \text{ J/s}$$

3.1.7 Cámara de secado.

Altura total. Según la Ec.69 es:

$$H_{cs} = 2(0,29)$$

$$H_{cs} = 0,58 \text{ m}$$

Diámetro del sifón. Según la Ec.70 es:

$$D_{co} = \frac{(0,29)}{6}$$

$$D_{co} = 0,048 \text{ m}$$

Altura del cono. Según la Ec.71 es:

$$H_{co} = \left(\frac{0,29 - 0,048}{3,8} \right) \tan 60^\circ$$

$$H_{co} = 0,11\text{m}$$

Altura del barril. Según la Ec.72 es:

$$H_{cl} = 0,58 - 0,11$$

$$H_{cl} = 0,47\text{m}$$

3.1.8 Dimensionamiento de equipos auxiliares

3.1.8.1 Ciclón

Diámetro del freno. Según la Ec.73 es:

$$D_e = \frac{0,29}{2}$$

$$D_e = 0,15\text{ m}$$

Longitud del barril. Según la Ec.74 es:

$$L_c = \frac{2}{3}(0,29)$$

$$L_c = 0,2\text{m}$$

Longitud del cono. Según la Ec.75 es:

$$z_c = 2(0,2)$$

$$z_c = 0,4\text{m}$$

Altura del freno. Según la Ec.76 es:

$$H_c = \frac{0,29}{2}$$

$$H_c = 0,15\text{m}$$

Diámetro de sifón. Según la Ec.77 es:

$$S_c = \frac{0,29}{4}$$

$$S_c = 0,07\text{m}$$

3.1.8.2 Ventilador

Caudal

$$C_A = \frac{\pi(0,126)^2}{4} \cdot 15$$

$$C_A = 0,187\text{ m}^3/\text{s}$$

Presión dinámica. Según la Ec.80 es:

$$P_d = \frac{1}{2}(1,2)(15)^2$$

$$P_d = 135\text{ Pa}$$

Presión estática. Según la Ec.81 es:

$$P_e = (9,8)(66,6)$$

$$P_e = 652,68\text{ Pa}$$

Presión total. Según la Ec.79 es:

$$P_T = 135 + 652,68$$

$$P_T = 787,68 \text{ Pa}$$

Energía mecánica. Según la Ec.82 es:

$$W_{esp} = \frac{787,68}{1,2}$$

$$W_{esp} = 656,4 \text{ m}^2/\text{s}$$

Potencia. Según la Ec.78 es:

$$\dot{P} = (0,187)(787,68)$$

$$\dot{P} = 147,29 \text{ W}$$

$$HP = 0,2$$

Factor de seguridad de 20%

$$\dot{P} = 176,75 \text{ W}$$

$$HP = 0,24$$

3.1.8.3 Sistema de calentamiento de aire

Capacidad calorífica a temperatura máxima de operación. Según la Tabla 4.

$$C_p = 28,09 + (0,1965 \times 10^{-2}) \cdot 393 + (0,4799 \times 10^{-5}) 393^2 - (1,965 \times 10^{-9}) 393^3$$

$$C_p = 29,48 \text{ J/mol}^\circ\text{K}$$

$$C_p = 1016,69 \text{ J/Kg}^\circ\text{K}$$

$$C_p = 0,2428 \text{ BTU/lb}^\circ\text{F}$$

Según la Ec.83 se tiene:

$$kW = (1837,44)(0,2428) \cdot (212) \cdot \frac{1,2}{3412}$$

$$kW = 33,26$$

Coefficiente convectivo forzado. Según la Ec.88 es:

$$h_c = 9,42 + 3,68(4,7)$$

$$h_c = 26,716W/m^2K$$

Resistencia convectiva (despreciando la radiación). Según la Ec.87 es:

$$Rs_1 = \frac{1}{(26,716) \cdot (0,118)}$$

$$Rs_1 = 0,317^\circ K/W$$

Resistencia conductiva a través de las paredes de la tubería. Según la Ec.89 es:

$$Rs_2 = \frac{\ln \frac{25,5}{23,5}}{2\pi \cdot (16,3)(0,8)}$$

$$Rs_2 = 9,97 \times 10^{-4} K/W$$

Resistencia conductiva a través de la fibra cerámica. Según la Ec.89 es:

$$Rs_3 = \frac{\ln \frac{50,65}{23,5}}{2\pi \cdot (0,04)(0,8)}$$

$$Rs_3 = 3,81^\circ K/W$$

Resistencia conductiva a través del aluminio. Según la Ec.89 es:

$$Rs_4 = \frac{\ln \frac{52,65}{23,5}}{2\pi \cdot (238)(0,8)}$$

$$Rs_4 = 6,7429 \times 10^{-4} K/W$$

Coefficiente convectivo libre. Según la Ec.92 es:

$$h_c = 1,32 \left(\frac{303 - 293}{0,05262} \right)^{1/4}$$

$$h_c = 4,90 W/m^2 K$$

Coefficiente de radiación. Según la Ec.93 es:

$$h_{rad} = (1)(5,67 \times 10^{-8})(393 - 293)(393^2 - 293^2)$$

$$h_{rad} = 9,35 W/m^2 K$$

Coefficiente combinado (convección - radiación). Según la Ec.91 es:

$$h_{conv-rad} = 4,9 + 9,35$$

$$h_{conv-rad} = 13,7 W/m^2 K$$

Resistencia de convección radiación con el medio. Según la Ec.90 es:

$$Rs_{conv-rad} = \frac{1}{(13,7) \cdot (0,08464)}$$

$$Rs_{conv-rad} = 0,862 K/W$$

Calor cedido al exterior. Según la Ec.84 es:

$$Q_x = \frac{393 - 293}{4,99}$$

$$Q_x = 20W$$

Instalación del intercambiador

El número de elementos. Según la Ec.94 es:

$$N = \frac{33,26}{20}$$

$$N = 1,66 = 2$$

La longitud de las resistencias. Según la Ec.95 es:

$$L_R = 0,8 - (0,0019 \times 3) - (0,0127 \times 2)$$

$$L_R = 0,7689m$$

Número de filas de elementos. Según la Ec.96 es:

$$filas (f) = \frac{2}{1}$$

$$filas (f) = 2$$

Diámetro del intercambiador de calor. Según la Ec.97 es:

$$D_R = (0,0019 \times 3) + (0,0127 \times 2)$$

$$D_R = 0,0311 m$$

$$D_R = 1,22 \text{ plg.} \approx 1 \text{ plg.}$$

$$D_i = 2 (1)$$

$$D_i = 2 \text{ plg.}$$

3.1.8.4 Bomba de diafragma

Velocidad. Según la Ec.101 es:

$$v_2 = \frac{4(2,2222 \times 10^{-7})}{\pi(0,005)^2}$$

$$v_2 = 0,0113 \frac{m}{s}$$

Reynolds. Según la Ec.105 es:

$$N_{Re} = \frac{(0,0113)(0,005)(1150)}{0,02}$$

$$N_{Re} = 3,2488$$

Fanning. Según la Ec.104 es:

$$f = \frac{64}{3,2488}$$

$$f = 19,6996$$

Pérdidas de energía por fricción longitudinales. Según la Ec.103 es:

$$h_{fL} = 19,6996 \cdot \frac{1,08}{0,005} \cdot \frac{(0,0113)^2}{2(9,8)}$$

$$h_{fL} = 0,0277 \text{ m}$$

Pérdidas de energía por fricción por accesorios. Según la Ec.106 es:

$$h_{fm} = (4 * 0,04 + 24 + 0,9 + 0,83) \frac{(0,0113)^2}{2(9,8)}$$

$$h_{fm} = 1,6867 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Perdida de energía total por fricción. Según la Ec.102 es:

$$h_f = 0,0277 + 1,6788 \times 10^{-4}$$

$$h_f = 0,02787 \text{ m}$$

Altura de carga máxima. Según la Ec.100 es:

$$\frac{(0,0113)^2}{2(9,8)} + (1,05 - 0,69) + 0,02787 = H$$

$$H = 0,3879 \text{ m}$$

El rendimiento volumétrico. Según la Ec.108 es:

$$\eta_v = \frac{0,78}{0,8}$$

$$\eta_v = 0,98$$

Potencia. Según la Ec.107 es:

$$\dot{P} = \frac{(7,826 \times 10^{-4})(0,3879)(1150)(9,8)}{367 * 0,98}$$

$$\dot{P} = 9,51 \times 10^{-3} \text{ KW}$$

$$\dot{P} = 9,51 \text{ W}$$

Factor de seguridad de 20%

$$\dot{P} = 11,412 \text{ W}$$

$$HP = 0,015$$

3.1.8.5 Compresor

Trabajo. Según la Ec.110 es:

$$-W = (2,3026)(2913,12)(5,2972) \log \left(\frac{7233,12}{2913,12} \right)$$

$$-W = 14034,09 \text{ pie lb/min}$$

Potencia

$$HP = \frac{14034,09}{33000}$$

$$HP = 0,43$$

Factor de seguridad de 20%

$$HP = 0,43$$

$$HP = 0,52$$

3.1.9 Eficiencias

3.1.9.1 Eficiencia térmica del secador por aspersión

Según la Ec.111 es:

$$n_t = \frac{9,1675 \times 10^{-5} (1,73 - 0,0319) 1767719,873}{8,1933 \times 10^{-3} (1004,67 + 0,01(1850)) (393 - 308)} \cdot 100$$

$$n_t = 38,64\%$$

3.1.9.2 Eficiencia de evaporación

Según la Ec.112 es:

$$n_{ev} = \frac{419,166}{573,58} \cdot 100$$

$$n_{ev} = 73,08\%$$

3.1.10 Recuperación de solidos

Según la Ec.113 es:

$$Recuperacion = \frac{0,08}{0,3 \left(\frac{36,67}{100} \right)} \cdot 100$$

$$Recuperacion = 72,73\%$$

3.1.11 Rendimiento

Según la Ec.114 es:

$$Rendimiento = \frac{0,08}{0,3}$$

$$Rendimiento = 0,267 \text{ Kg colorante/Kg extracto remolacha}$$

3.1.12 Producción

3.1.12.1 Productividad

Según la Ec.115 es:

$$Productividad = \frac{80}{20}$$

$$Productividad = 4 \text{ g/min}$$

3.1.12.2 Producción de 1kg

Tiempo

$$x = \frac{(1Kg)(20min)}{(0,08Kg)}$$

$$x = 250min$$

$$x = 4h$$

$$x = 4,16 \approx 4h$$

Extracto necesario

$$x = \frac{(173,91mL)(1kg)}{(0,08Kg)}$$

$$x = 2173,88 \text{ mL de extracto}$$

Remolacha entera necesaria

$$x = \frac{(4Kg)(2173,88mL)}{(2250mL)}$$

$$x = 3,86 \text{ Kg de remolacha entera}$$

Precio de remolacha entera

$$x = \frac{(\$1,25)(3,86 \text{ Kg})}{(4Kg)}$$

$$x = \$1,21$$

Maltodextrina necesaria

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

$$x = 1,25 \text{ Kg}$$

Precio de la maltodextrina

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

$$x = \$2,38$$

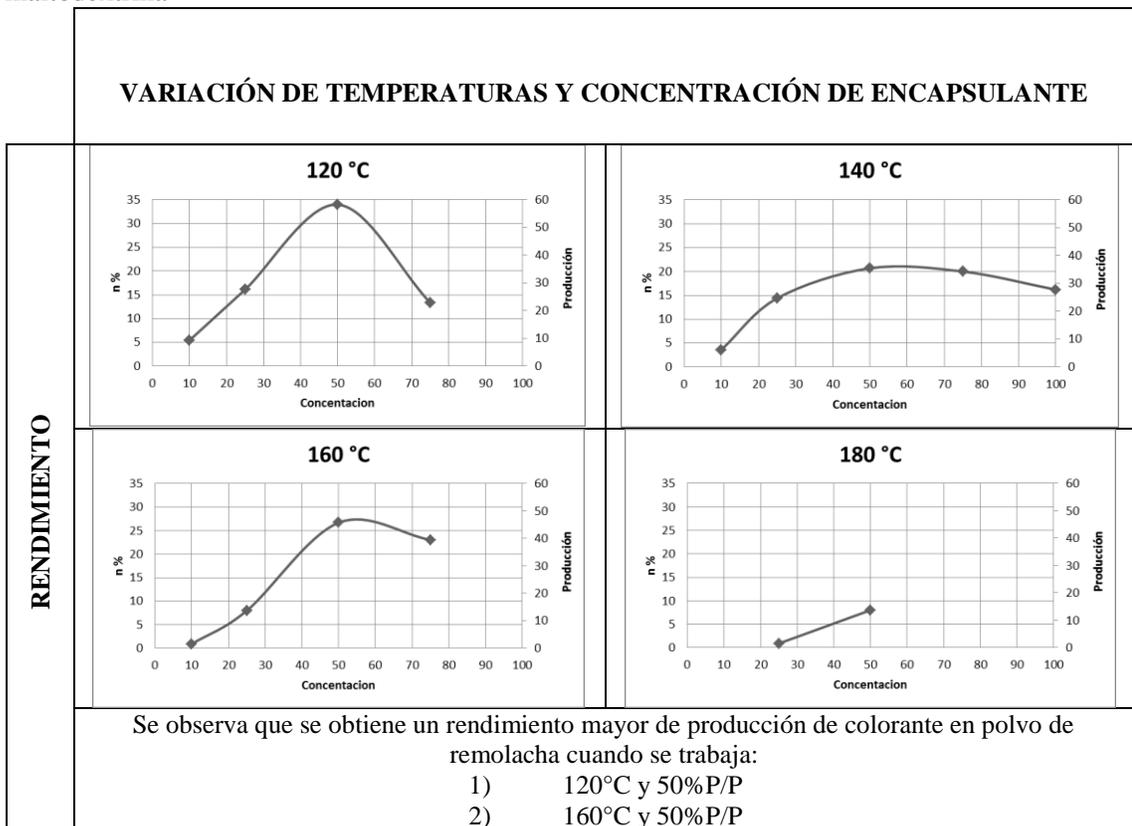
Consumo de energía eléctrica

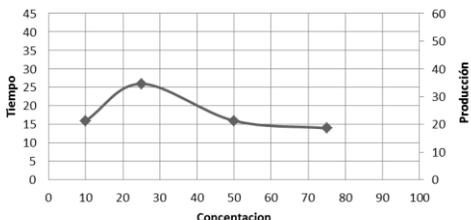
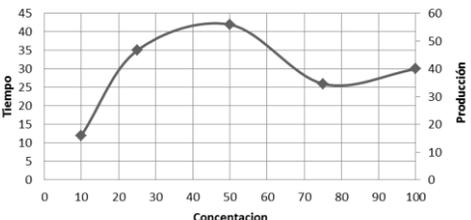
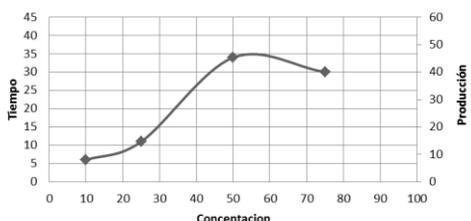
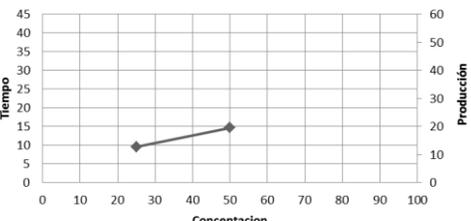
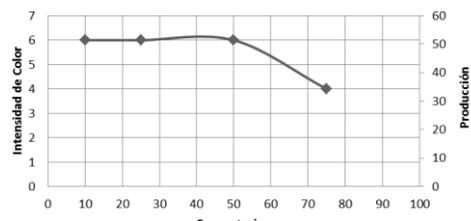
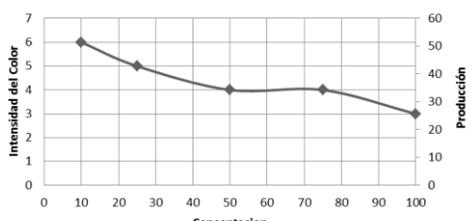
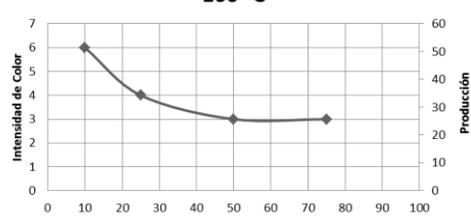
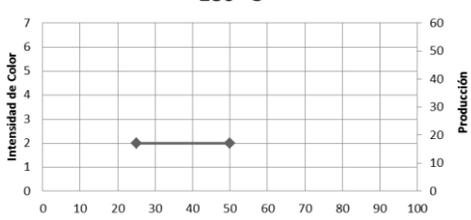
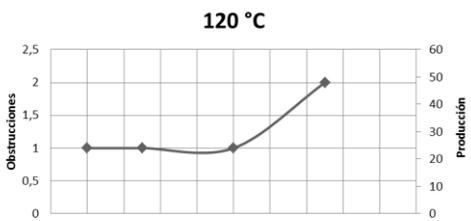
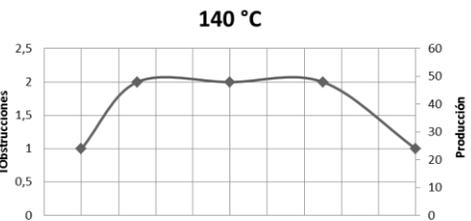
$$x = (0,2 + 40 + 0,06 + 0,975)KW(4h) \times \frac{\$0,02}{(1KWh)}$$

$$x = \$3,30$$

3.2 Resultados

Cuadro 15-3: Resultados de los ensayos para la comparación de parámetros al utilizar maltodextrina



TIEMPO	120 °C	140 °C
		
	160 °C	180 °C
		
<p>Se observa el tiempo de producción es menor cuando se trabaja con.</p> <p>1) 160°C y 10%P/P</p> <p>2) 120°C y 50%P/P o 120°C y 75%P/P</p> <p>Nota: no se ha considerado el tiempo de producción a 180°C debido a que esta fue interrumpida, ya que el producto se quemaba por recalentamiento.</p>		
INTENSIDAD DEL COLOR DEL POLVO	120 °C	140 °C
		
	160 °C	180 °C
		
<p>Se observa que el color del polvo de la remolacha es más intenso a una concentración del 10, 25 y 50 %P/P cuando se trabaja a 120°C.</p>		
OBSTRUCCIONES DE LA BOQUILLA	120 °C	140 °C
		

	<p style="text-align: center;">160 °C</p>	<p style="text-align: center;">180 °C</p>	
<p style="text-align: center;">Se observa que se presentan menores obstrucciones al trabajar con: 120°C y 10,25,50 %P/P 160°C y 25,50,75 %P/P</p> <p style="text-align: center;">Nota: no se ha considerado los valores obtenidos a 180°C debido a que el proceso se interrumpió, ya que el producto se quemaba por recalentamiento.</p>			
HIGROSCOPIA	<p style="text-align: center;">120 °C</p>	<p style="text-align: center;">140 °C</p>	
	<p style="text-align: center;">160 °C</p>	<p style="text-align: center;">180 °C</p>	
	<p style="text-align: center;">Se observa una menor higroscopia en el colorante en polvo de remolacha obtenido al trabajar con: 120°C y 50 %P/P 140°C y 50 %P/P</p> <p style="text-align: center;">Nota: no se ha considerado los valores de higroscopia obtenidos a 180°C ya que el producto esta quemado.</p>		

Elaborado por: CRUZ L./HINOJOSA K., Laboratorio de Procesos Industriales., ESPOCH/2015

Cuadro 16-3: Resultados de los ensayos para la comparación de parámetros al utilizar goma arábica.

VARIACIÓN DE TEMPERATURAS Y CONCENTRACIÓN DE ENCAPSULANTE	
RENDIMIENTO	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>120 °C</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>140 °C</p> </div> </div> <p style="text-align: center;">Se observa que se obtiene un rendimiento mayor de producción de colorante en polvo de remolacha cuando se trabaja: 1) 140°C y 50%P/P</p>
TIEMPO	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>120 °C</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>140 °C</p> </div> </div> <p style="text-align: center;">Se observa el tiempo de producción es menor cuando se trabaja con: 1) 120°C y 10%P/P</p>
INTENSIDAD DEL COLOR DEL POLVO	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>120 °C</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>140 °C</p> </div> </div> <p style="text-align: center;">Se observa que el color del polvo de la remolacha es más intenso a una concentración del 10 y 25 %P/P cuando se trabaja a 120°C.</p>
HIGROSCOPIA	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>120 °C</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>140 °C</p> </div> </div> <p style="text-align: center;">Se observa una menor higroscopia en el colorante en polvo de remolacha obtenido al trabajar con: 120°C y 10 %P/P</p>

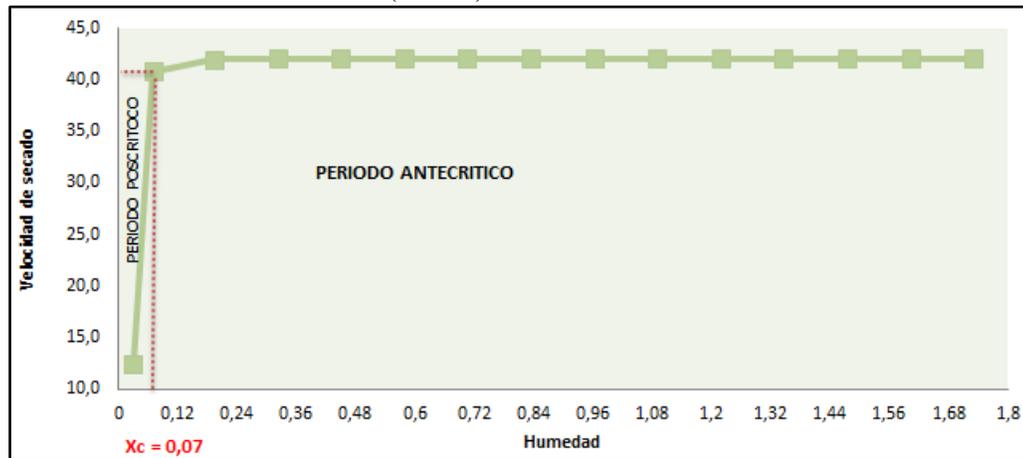
Elaborado por: CRUZ L./HINOJOSA K., Laboratorio de Procesos Industriales, ESPOCH/2015

Tabla 22-3: Resultados del secador por atomización

Parámetro	Valor	Unidad	Procedencia
\dot{m}_{RS}	$9,1675 \times 10^{-5}$	<i>Kg ss/s</i>	Balance de masa
X_{R_1}	1,73	<i>Kg H₂O/Kg ss</i>	
X_{R_2}	0,0319	<i>Kg H₂O/Kg ss</i>	
$\dot{m}_{RH_2O_1}$	$1,5860 \times 10^{-4}$	<i>Kg H₂O/s</i>	
$\dot{m}_{RH_2O_2}$	$2,9244 \times 10^{-6}$	<i>Kg H₂O/s</i>	
X_{A_1}	0,01	<i>Kg H₂O/Kg as</i>	
X_{A_2}	0,029	<i>Kg H₂O/Kg as</i>	Balance de energía
h_{R_1}	179368,96	<i>J/Kg</i>	
h_{R_2}	108392,49	<i>J/Kg</i>	
H_{A_1}	147805,75	<i>J/Kg</i>	
H_{A_2}	148599,91	<i>J/Kg</i>	
\dot{m}_A	$8,1933 \times 10^{-3}$	<i>Kg/s</i>	Balance de masa
$\dot{m}_{AH_2O_1}$	$8,1933 \times 10^{-5}$	<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
\dot{V}_L	0,7826	<i>L/h</i>	
D_g	$3,1431 \times 10^{-4}$	<i>m</i>	
m_g	$3,83 \times 10^{-6}$	<i>Kg</i>	
X_{RC}	0,0741	<i>Kg H₂O/Kg ss</i>	
X_{AC}	0,0285	<i>Kg H₂O/Kg as</i>	
h_{RC}	69458,35	<i>J/Kg</i>	
H_{AC}	149035,54	<i>J/Kg</i>	
T_{AC}	73,5	<i>°C</i>	
ΔT_{ml1}	64,43	<i>°C</i>	
λ_{bh}	1767719,873	<i>J/Kg</i>	Tiempo de secado
t_c	2,08	<i>s</i>	
ΔT_{ml2}	21,14	<i>°C</i>	
t_d	$8,66 \times 10^{-3}$	<i>s</i>	
t_T	2,09	<i>s</i>	
t_v	2,9	<i>s</i>	
ΔT_{ml3}	39,09	<i>°C</i>	
Q_{tf}	573,58	<i>J/s</i>	
Q_{nec}	419,16	<i>J/s</i>	

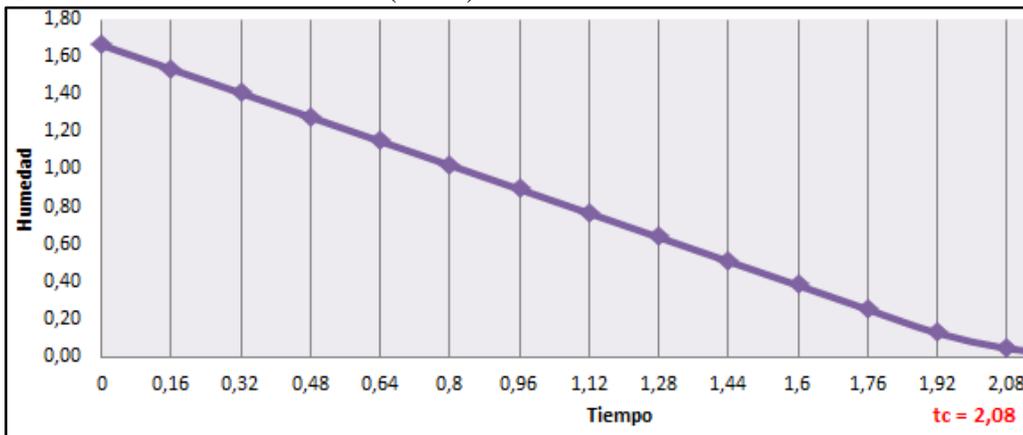
Elaborado por: CRUZ L./HINOJOSA K., Laboratorio de Procesos Industriales, ESPOCH/2015

Gráfica 1-3: Curvas de secado (X vs v)



Elaborado por: CRUZ L./HINOJOSA K., Laboratorio de Procesos Industriales, ESPOCH/2015

Gráfica 2-3: Curvas de secado (t vs X)



Elaborado por: CRUZ L./HINOJOSA K., Laboratorio de Procesos Industriales, ESPOCH/2015

La grafica 1 y 2 son representativas; en estas se evidencia los dos periodos de secado, el periodo antecrítico que tarda 2,08s., y el periodo poscrítico $8,66 \times 10^{-3}$ s. estos están separados por un punto crítico al cual le corresponde una humedad crítica de $0,07Kg H_2O/Kg ss$, considerándose también un tiempo crítico de 2,07s., además se puede evidenciar que este tipo de secado principalmente se da en el periodo de velocidad constante (antecrítico) en el cual la mayor cantidad de agua de la gota es removida.

Tabla 23-3: Resultados dimensionamiento de la cámara de secado.

Parámetro	Valor	Unidad	Procedencia
H_{CS}	0,58	m	Cámara de secado
D_{CO}	0,05	m	
H_{CO}	0,11	m	
H_{CL}	0,5	m	

Elaborado por: CRUZ L./HINOJOSA K., Laboratorio de Procesos Industriales, ESPOCH/2015

Tabla 24-3: Resultados dimensionamiento ciclón

Parámetro	Valor	Unidad	Procedencia
D_e	0,15	<i>m</i>	Ciclón
L_C	0,2	<i>m</i>	
Z_C	0,4	<i>m</i>	
H_C	0,15	<i>m</i>	
S_C	0,07	<i>m</i>	

Elaborado por: CRUZ L./HINOJOSA K., Laboratorio de Procesos Industriales, ESPOCH/2015

Tabla 25-3: Resultados de eficiencias

Parámetro	Valor	Unidad	Procedencia
n_t	38,64	%	Eficiencia
n_{ev}	73,08	%	
Recuperación de solidos	72,73	%	
Rendimiento	0,267	<i>Kg colorante/Kg de extracto</i>	Rendimiento
Productividad	4	<i>g/min</i>	Productividad

Elaborado por: CRUZ L./HINOJOSA K., Laboratorio de Procesos Industriales, ESPOCH/2015

Tabla 26-3: Resultados de Producción de colorante de remolacha en polvo

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: CRUZ L./HINOJOSA K., Laboratorio de Procesos Industriales, ESPOCH/2015

Tabla 27-3: Resultados de consumo de energía del equipo

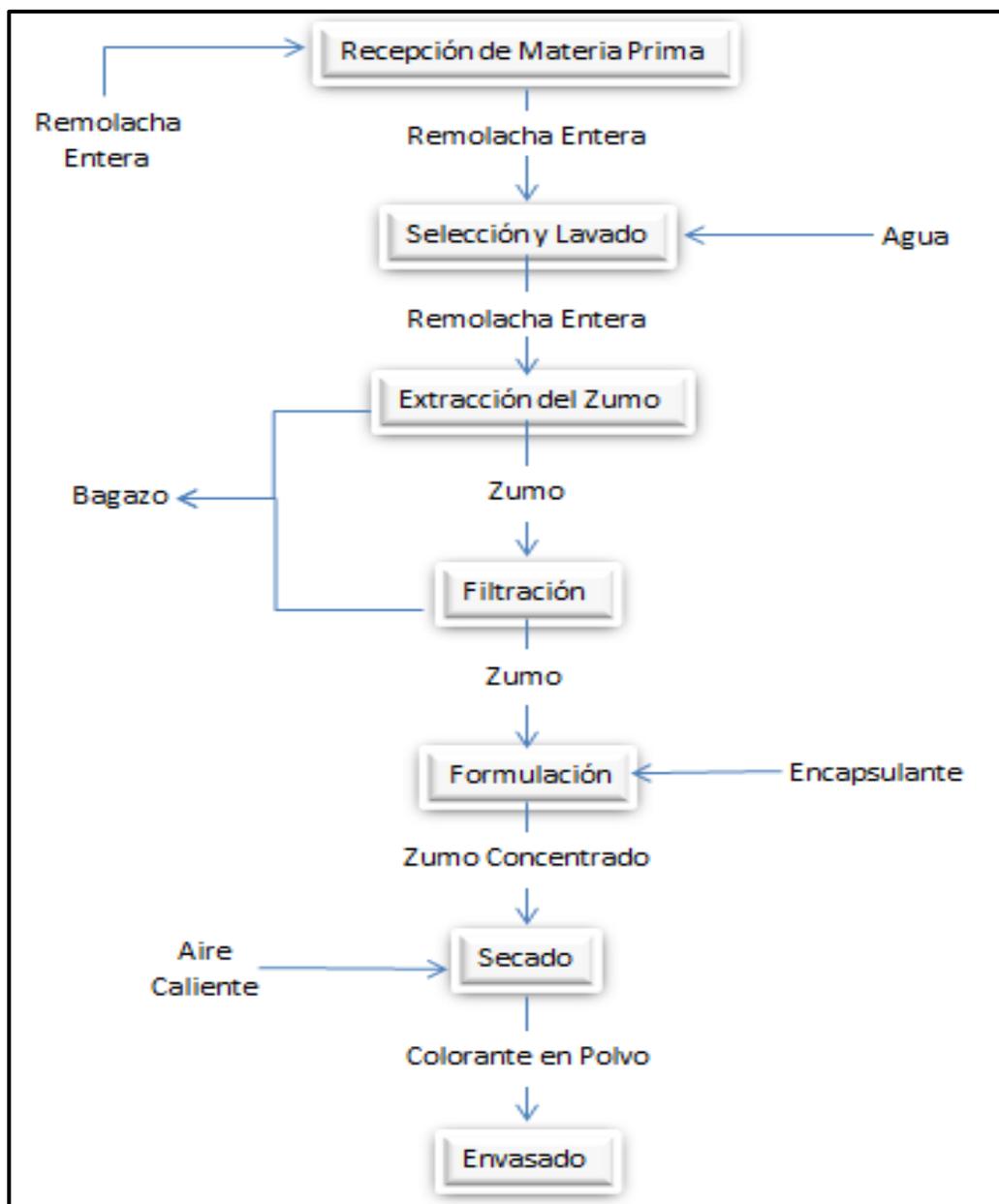
Equipo	Consumo	
	KW	4Horas
Ventilador	0,2	0,02
Resistencias	40	3,20
Bomba	0,06	0,0048
Compresor	0,975	0,08
Total		3,30

Elaborado por: CRUZ L./HINOJOSA K., Laboratorio de Procesos Industriales, ESPOCH/2015

3.3 Propuesta

Con la investigación realizada, el diseño y construcción de un secador por atomización, se propone que en el laboratorio de procesos industriales de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo se produzca colorante natural de remolacha en polvo, para ser empleado en otros procesos como materia prima o para su comercialización; impulsándose de esta manera la iniciativa para la creación de plantas pilotos que conlleven a un aporte académico, económico y laboral, para los estudiantes de la institución.

Para llevar a cabo este proyecto, primero se debe conocer el proceso, los flujos de materia prima, insumos y aditivos necesarios, el mismo que se describe en el siguiente diagrama de bloques:



Elaborado por: CRUZ L./HINOJOSA K., Laboratorio de Procesos Industriales, ESPOCH/2015

Figura 20-3: Diagrama de bloques del proceso de colorante de remolacha en polvo.

3.3.1 Descripción del secado por atomización

La ejecución de un secador por atomización viene determinada en primer lugar por el modo de pulverización; el mecanismo de dos fluidos es el más recomendado para equipos a nivel de laboratorio, es por ello que para diseñar este equipo se ha optado por utilizar una boquilla

neumática, empleando aire comprimido y para la alimentación del fluido una bomba de desplazamiento positivo recíprocante de diafragma que trabaja al 40% de su capacidad.

La forma en la cual se mezcla la corriente de producto líquido y la corriente de aire caliente es crítica para tener un secado rápido y uniforme. La circulación del aire y del líquido se efectúa en corriente del mismo sentido conocida también como cocorriente o corriente paralela, en donde ambas corrientes son alimentadas por la parte superior de la cámara. Esta distribución protege y aumenta la eficiencia del secado cuando se trata elementos termosensibles.

Las gotitas se forman en una cámara cilíndrica de secado por la acción de la boquilla neumática que tiene un diámetro de 2 mm y emplea aire proporcionado por un compresor para mejorar su aspersión. Es esencial evitar que las gotitas o partículas húmedas choquen con superficies sólidas de la cámara antes de que el secado tenga lugar, por lo cual el tamaño de la cámara de secado debe estar en función del tiempo de viaje de la gota.

Las partículas secas son arrastradas mediante el flujo de aire hacia un ciclón que permite reducir su velocidad y temperatura, las partículas de sólido seco se recuperan por la parte inferior del ciclón por gravedad, mientras que el aire húmedo se despoja por la parte superior del ciclón.

3.3.2 Propuesta del secador por atomización

Tabla 28-3: Costos de recursos materiales

Materiales y Equipo	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Precio Total
Ventilador	1	Unidad	120	120
Compresor	1	Unidad	490	490
Bomba	1	Unidad	400	400
Sistema de Calentamiento	1	Unidad	150	150
Cámara de Secado	1	Unidad	800	800
Sistema Atomizador	1	Unidad	300	300
Ciclón	1	Unidad	700	700
Sistema de Tuberías	1	Unidad	100	100
Mesa de trabajo	1	Unidad	380	380
Tableros de Control	1	Unidad	600	600
Tanque de Alimentación	1	Unidad	50	50
Balanza	1	Unidad	50	50
Total				4140,00

Elaborado por: CRUZ L./HINOJOSA K., Laboratorio de Procesos Industriales, ESPOCH/2015

Tabla 29-3: Costos de recursos humanos

Denominación	Costo
Mano de obra para la construcción del equipo	1.000
Total	1000

Elaborado por: CRUZ L./HINOJOSA K., Laboratorio de Procesos Industriales, ESPOCH/2015

Tabla 30-3: Dimensiones del secador por atomización

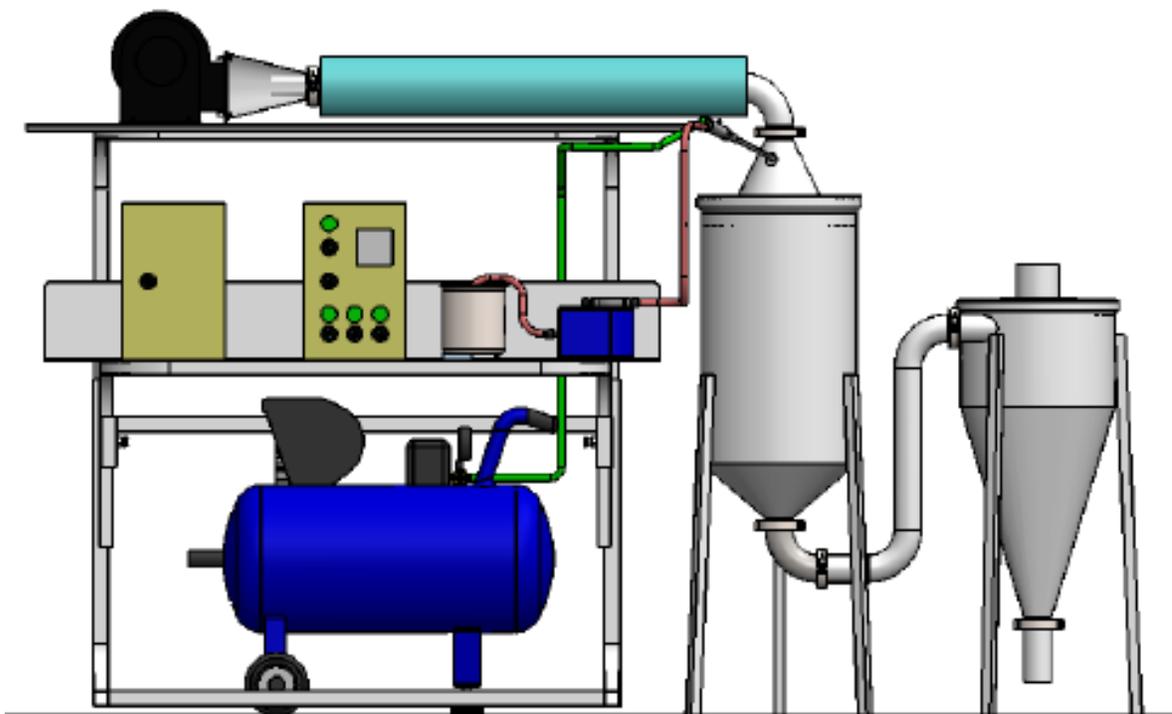
ESPECIFICACIÓN	VARIABLE	DIMENSIÓN	UNIDAD
ATOMIZADOR NEUMÁTICO	Diámetro de la boquilla	0,002	<i>m</i>
	Material: Bronce		
CÁMARA DE SECADO	Altura total	0,58	<i>m</i>
	Diámetro del sifón	0,05	<i>m</i>
	Altura del cono	0,11	<i>m</i>
	Altura del barril	0,5	<i>m</i>
	Material: Acero inoxidable 304		
CICLON	Diámetro del freno	0,15	<i>m</i>
	Longitud del barril	0,2	<i>m</i>
	Longitud del cono	0,4	<i>m</i>
	Altura del freno	0,15	<i>m</i>
	Diámetro del sifón	0,07	<i>m</i>
	Material: Acero inoxidable 304		
VENTILADOR	Velocidad	16,64	<i>m/s</i>
	Presión total	818,813	<i>Pa</i>
	Potencia	176,75	<i>W</i>
SISTEMA DE CALENTAMIENTO	Kilowatts	33,26	<i>KW</i>
	Número de elementos	2	-
	Longitud de las resistencias	0,7689	<i>m</i>
	Filas de elementos	2	-
	Diámetro del intercambiador	2	<i>plg</i>
BOMBA DE DIAFRAGMA	Velocidad	0,0113	<i>m/s</i>
	Altura de carga máxima	0,3879	<i>m</i>
	Potencia	0,02	<i>HP</i>
COMPRESOR	Capacidad	20	<i>L</i>
	Potencia	0,52	<i>HP</i>

Elaborado por: CRUZ L./HINOJOSA K., Laboratorio de Procesos Industriales, ESPOCH/

Tabla 31-3: Variables de proceso.

ESPECIFICACIÓN	VARIABLE	RANGO	VALOR DE OPERACIÓN	UNIDAD
VENTILADOR	Flujo	0,41-9,5	0,49	<i>m³/min</i>
SISTEMA DE CALENTAMIENTO	Temperatura	110-150	120	<i>°C</i>
BOMBA DE DIAFRAGMA	Flujo	0,2-1	0,8	<i>L/h</i>
COMPRESOR	Presión	15-50	30	<i>psi.</i>

Elaborado por: CRUZ L./HINOJOSA K., Laboratorio de Procesos Industriales, ESPOCH/



Elaborado por: CRUZ L./HINOJOSA K., Laboratorio de Procesos Industriales, ESPOCH/2015

Figura 21-3: Secador por atomización

3.4 Análisis y discusión de resultados

Para obtener el colorante de remolacha en polvo se empleó maltodextrina y goma arábica como encapsulantes, ya que el extracto presenta una elevada pegajosidad, a causa de su alto contenido en azúcares 9,56%. Es por esto que se realizó varios ensayos, con dos formulaciones, las cuales diferían en concentración de encapsulante y temperatura de secado.

En los cuadros 15 y 16 los resultados de los ensayos fueron comparados, dando como mejor opción parámetros específicos para trabajar con una alimentación de extracto de remolacha con maltodextrina en una concentración del 50% P/P y a la temperatura de secado de 120°C, debido a que en estas condiciones se presentó un mayor rendimiento de producción del 34%, en un menor tiempo de 16 min.; esta temperatura de operación debe ser mayor a la de ebullición del agua en Riobamba, debido a que existen pérdidas de calor y variación de temperaturas en el sistema desde 120 a 70°C. El análisis de estos valores indica que no se obstruye la boquilla atomizadora y no hay pérdidas del producto.

Durante el proceso la humedad del aire de secado incrementó de 0,01 Kg H_2O/Kg as hasta 0,029 Kg H_2O/Kg as, esto se debe a que la humedad de la gota es cedida al aire caliente, reduciendo su diámetro desde 314,3114 μ hasta obtener un polvo de 150 μ con una humedad de 0,03 Kg H_2O/Kg ss, como consecuencia de la alta eficiencia de evaporación del 73,08%, este porcentaje muestra la relación entre la capacidad de evaporación real con la capacidad que se obtendría en el caso ideal de que el aire de salida hubiese llegado hasta la saturación.

Con los parámetros seleccionados se llevó a cabo la producción del colorante de remolacha en polvo, con una de alimentación de 0,2Kg. de extracto y 0,1 Kg. de maltodextrina, la producción se dio en 20 min., obteniendo 0,08 Kg de polvo de remolacha, es decir un 72,73% de recuperación de sólidos. Este porcentaje se considera aceptable debido a que existe un 27,27% de pérdidas de las partículas más finas del colorante en las paredes del equipo y en la corriente de aire de salida, además queda un residuo en el tanque de alimentación a causa de que el nivel del líquido no alcanza la succión del filtro.

Para el diseño de este tipo de secadores y en base al modelo de los equipos NIRO, existen condiciones que se deben cumplir, donde el tiempo de viaje de la gota hacia las paredes de la cámara de secado es 2,9s., el cual debe ser mayor al tiempo de secado que es de 2,09 s. debido a que se requiere evitar que las gotas alcancen a chocar con las paredes sin antes secarse; además el calor transferido que es de 573,58 J/s, debe ser mayor al calor necesario que tiene un valor 419,16 J/s. de esta manera asegurando el secado, estos valores indican que se cumple con las exigencias por tanto la cámara de secado tiene las dimensiones correctas para que el proceso sea óptimo y así evitar pérdidas. No obstante la eficiencia térmica del equipo es de 38,64% a causa de que es un sistema no adiabático y se generan pérdidas de calor, esto se evidencia por la diferencia entre el calor trasferido y el necesario; este porcentaje se podría aumentar aislando el equipo, ya que un proceso adiabático es más eficiente que uno no adiabático.

En el caso de tener un proceso adiabático a eficiencia de evaporación y la eficiencia térmica deben ser iguales.

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 obtiene un colorante natural de remolacha en polvo con una humedad de $0,03 \text{ Kg } H_2O/Kgss$, y cumple con parámetros de calidad especificados en la norma NMX-F-262-1975 “COLORANTE ORGÁNICO- SINTÉTICO ROJO”.
- De la alimentación de 0,3 Kg en concentración de maltodextrina 50%P/P se tiene 0,08 Kg de colorante de remolacha en polvo en 20 min.
- Las variables de proceso para el secado por atomización del extracto de remolacha son: un flujo de aire de 8,19 g/s a 120°C , 30 psi de aire comprimido, 40% de la capacidad de la bomba con un flujo de alimentación 0,25 g/s.
- El diseño del equipo especifica las dimensiones de la cámara de secado con 0,29 m de diámetro, 0,5m de altura del cilindro, 0,11m de altura del cono y 0,05m de diámetro del sifón; y dimensiones para el ciclón 0,29m de diámetro, 0,15m de diámetro del freno, 0,2m de longitud del cuerpo, 0,4m de longitud del cono, 0,15m de altura del freno y 0,07m de diámetro del sifón.
- El sistema de pulverización requerido para este equipo fue un atomizador neumático con una boquilla de 0,002 m de diámetro, el cual genera gotas de $314,3148 \mu$ empleando aire comprimido a una presión de 30 psi.
- Se validó el equipo en el Laboratorio de Procesos Industriales con un rendimiento de recuperación de sólidos del 72,73%, con una eficiencia de evaporación del 73,08% y una eficiencia térmica del 38,64%. Evaluando así que el equipo funciona de manera correcta.

RECOMENDACIONES

- Comprobar que la conexión eléctrica sea de 220 V trifásico polarizado y verificar el correcto montaje de todos los componentes del equipo antes de encenderlo.
- Acabado el proceso dejar encendido el ventilador hasta que la temperatura del sistema de calentamiento sea de 20°C para evitar deformaciones de las resistencias.
- 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.
- Ampliar la investigación para la aplicación del secado por atomización en otros productos de importancia industrial.

BIBLIOGRAFÍA

ÁLVAREZ J. Bombas. 3.ed., México DF-México, LIMUSA. 2004, pp.14

BARBER P. Maquinaria de Obras Públicas. San Vivente-España, Club Universitario. 2003, pp.14-17

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

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>

2015-02-20

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>

2015-02-02

GOMEZ R., Pedro A. Diseño y cálculo de compresores. (Tesis) (Ing.). Universidad Nacional de Piura, Facultad de Minas y Petróleo, Escuela de Ingeniería Industrial. Piura-Perú. 2008, pp.20-25

<http://www.unp.edu.pe/facultades/minas/petroleo/alumn/pyg/CURSODISEÑOYCALCULODECOMPRESORES.pdf>

2015-02-05

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

2014-12-03

MECÁNICA DE FLUIDOS PARA SISTEMAS DE AGUA POR GRAVEDAD Y BOMBEO.

Salazar K. 2003

[http://www.itacanet.org/esp/agua/Seccion%201%20Sistemas%20de%20agua%20en%20general/Mecanica de Fluidos.pdf](http://www.itacanet.org/esp/agua/Seccion%201%20Sistemas%20de%20agua%20en%20general/Mecanica_de_Fluidos.pdf)

2014-12-04

MICROENCAPSULACION DE ALIMENTOS. Parra R. 2010

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

2014-11-26

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

ORNA Ch., Javier E. Estandarización Del Diseño De Secaderos Por Aspersión De Materiales Pastosos. (Tesis) (Ing.). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería Mecánica. Riobamba-Ecuador. 2012, pp.31-33, 48-88

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1886/1/15T00498.pdf>

2015-01-15

ORREGO C. Procesamiento de Alimentos. Manizales-Colombia, 2003, pp.206

<http://www.bdigital.unal.edu.co/9053/1/958932280.pdf>

2015-01-23

PÉREZ R., Severiano F. Dinámica de fluidos. (Tesis) (MSc.). Universidad De Cantabria, Departamento de Ingeniería Eléctrica Y Energética. Cantabria-España. 2003, pp. 4-10

<http://ocw.unican.es/enseñanzas-tecnicas/mecanica-de-fluidos-y-maquinas-hidraulicas/materiales/T04.pdf>

2015-01-27

PIERRE Mafart. Ingeniería Industrial Alimentaria. Zaragoza-España, ACRIBIA. 1994, pp. 253-254

RAMIREZ C., Mayra P. Proyecto de prefactibilidad para la exportación de betania al mercado estadounidense periodo 2007-2016. (Tesis) (Ing.). Universidad Tecnológica Equinoccial, Facultad de Ciencias Económicas y Negocios, Escuela de Comercio Exterior e Integración. Quito-Ecuador, 2007, pp. 14

http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/6998/1/28575_1.pdf

2015-01-25

SECADOR. Catalunya-España. 2005

<http://epsem.upc.edu/~assecadordesolids/castella/fonaments%20energia.html>

2015-03-14

SECADO POR ASPERSIÓN - LECHE EN POLVO. DC. Charles. 2015

<http://farmupibi.blogspot.com/2015/03/secado-por-aspersion-de-leche.html>

2015-02-01

SELECCIÓN DE EQUIPOS DE TRANSPORTE DE FLUIDOS, Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR), 2012

http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reconocidos/Reconocidos/Climatizacion_10_Bombas_y_Ventiladores_10.pdf

2014-11-25

SEVERNS W.H. Energía mediante vapor, agua o gas. Madrid-España, Reverte. 2007, pp. 215-217

TAFOYA A, HERNÁNDEZ F. Biotecnología alimentaria. 4. ed., DF-México, LIMUSA. 2002, pp. 479-495

VERA P., Madalyd Y. Metodología de Diseño Simultáneo de Proceso y Control aplicada a un secado por atomización multiproducto para sustancias químicas naturales. (Tesis) (MSc.). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, Escuela de Procesos y Energía. Medellín-Colombia. 2012, pp. 17

<http://www.bdigital.unal.edu.co/8519/4/37393350.2012.pdf>

2015-02-30

VENTILADOR. Cedeño M. 2003

<http://www.fao.org/docrep/x5058s/x5058S08.htm>

2014-11-15

YILEY J. Spray Drying Technology. 4. ed., New York-EE.UU. 2010, pp. 6-48

http://userpages.umbc.edu/~dfrey1/ench445/apv_dryer.pdf

2015-02-25

WESTERGAARD Vang. Tecnología de la Leche en Polvo Evaporación y Secado por Atomización. 5.ed.,Copenhague-Dinamarca, Niro. 2004, pp.70-73, 75-77

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>

2015-01-15

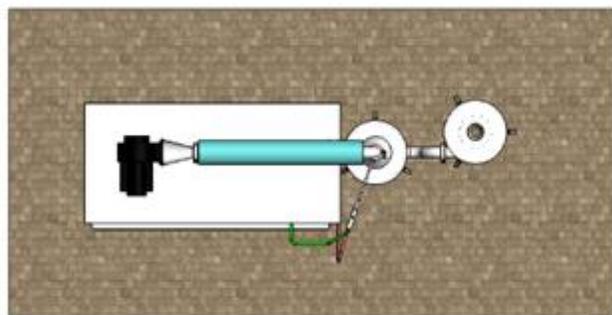
YANZA H., Erik G. Diseño De Un Secador Por Atomización A Nivel Piloto Para Jugo Concentrado De Tomate De Árbol. (Tesis) (Ing.). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería y Agricultura, Escuela de Ingeniería Química. Manizales-Colombia. 2003, pp. 31-38

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

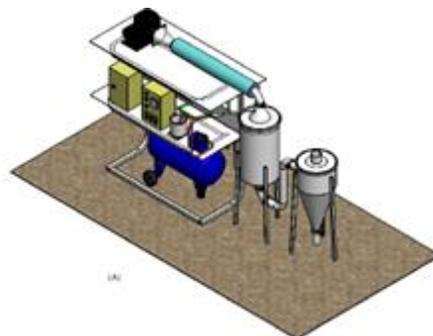
2015-01-25

ANEXOS

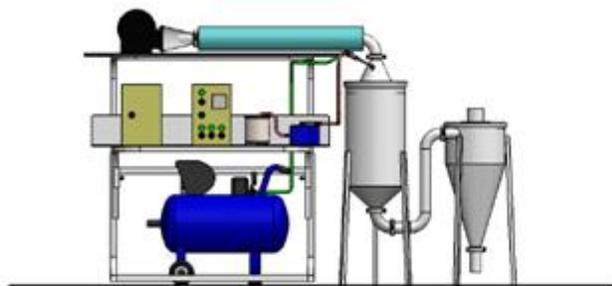
ANEXO I
SECADOR POR ATOMIZACIÓN



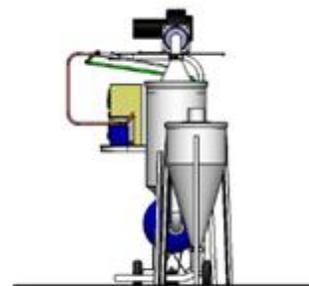
D



A



B

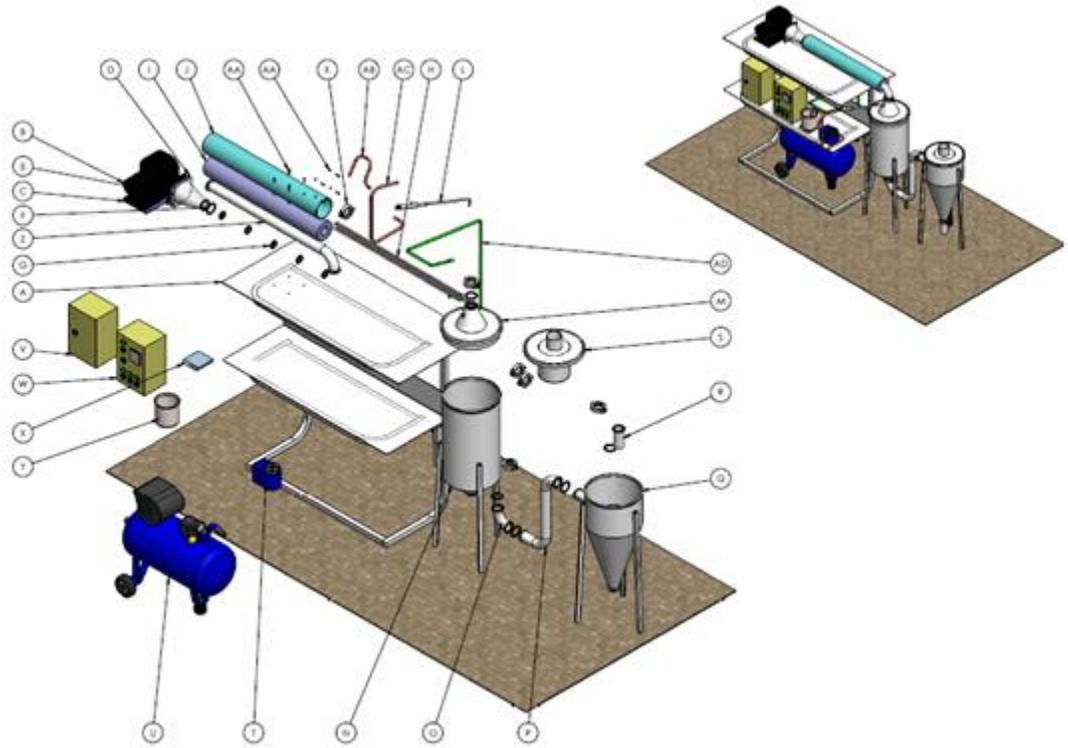


C

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	<p style="text-align: center;">ESPOCH</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>HINOJOSA K - CRUZ L</p>	SECADOR POR ATOMIZACIÓN					
<p>A. Secador por atomización</p> <p>B. Vista lateral</p> <p>C. Vista frontal</p> <p>D. Vista superior</p>	<p><input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBAR</p> <p><input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN</p>		<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>LÁMINA</th> <th>ESCALA</th> <th>FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1:1</td> <td>2015/05/04</td> </tr> </tbody> </table>	LÁMINA	ESCALA	FECHA	1	1:1
LÁMINA	ESCALA	FECHA						
1	1:1	2015/05/04						

ANEXO II

SECADOR POR ATOMIZACION



NOTAS

A MESA	K ABRICADORA	U COMPRESOR
B VENTILADOR	L SOPLETE SOLDADOR	V TABLERO ELÉCTRICO
C EMPAQUE BAIE VEN	M TAPA CAMARA DE SECADO	W TABLERO DE CONTROL
D EMPAQUE DEL CONO	N CAMARA DE SECADO	X BALANZA
E CONO	O CODO 90°	Y RECIPIENTE DE MATERIA PRIMA
F EMPAQUES TUB INOX	P TUBERIA DE CONEXIÓN	Z TUBERIA DE AIRE CALIENTE
G BASE DE RESISTENCIAS	Q CICLÓN	AA PERNOS Y TUERCAS
H RESISTENCIAS	R TUBERIA DE PRODUCTO	AB EMPUÑADERA DE BOMBEO
I AISLANTE GERARDO	S TAPA CICLÓN	AC BOMBA
J PROTECCION AISLANTE	T BOMBA DOSEADORA	AD MANGUERA DE AIRE

CATEGORIA DEL DIAGRAMA

- | | |
|--|---------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> CERTIFICADO | <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR |
| <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO | <input type="checkbox"/> POR APROBAR |
| <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR | <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN |

ESPOCH

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA

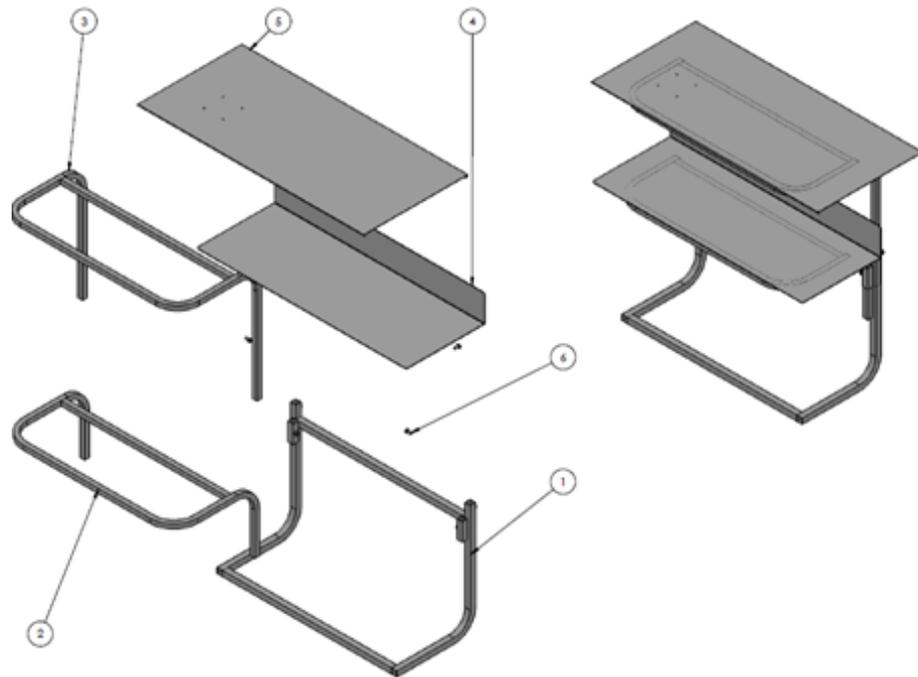
HINOJOSA K - CRUZ L

**SECADOR POR
ATOMIZACIÓN**

LÁMINA	ESCALA	FECHA
2	1:1	2015/05/04

ANEXO III

MESA



NOTAS

N.º DE ELEM	DENOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN	CANT
1	BASE INFERIOR	TUBO CUADRADO 30 X 30 X 1.5	1
2	BASE INTERMEDIA	TUBO CUADRADO 25 X 25 X 1.5	1
3	BESE SUPERIOR	TUBO CUADRADO 25 X 25 X 1.5	1
4	TABLERO INTERMEDIO	ESPESOR 2 mm	1
5	TABLERO SUPERIOR	ESPESOR 2 mm	1
6	PERNO	M10	4

CATEGORIA DEL DIAGRAMA

- CERTIFICADO POR ELIMINAR
 APROBADO POR ABROBAR
 POR CALIFICAR INFORMACIÓN

ESPOCH

FACULTAD DE CIENCIAS

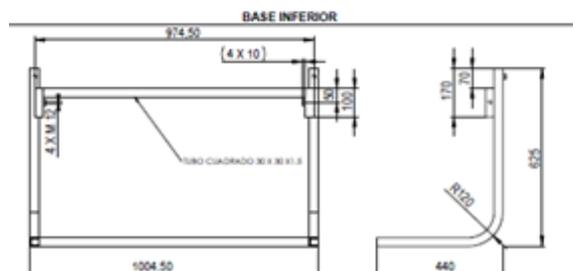
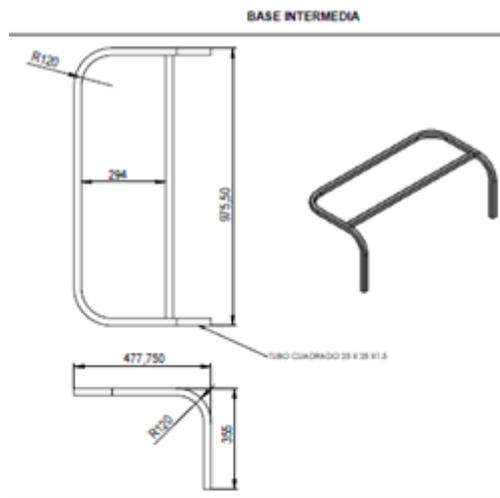
ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA

HINOJOSA K - CRUZ L

MESA

LÁMINA	ESCALA	FECHA
3	1:1	2015/05/04

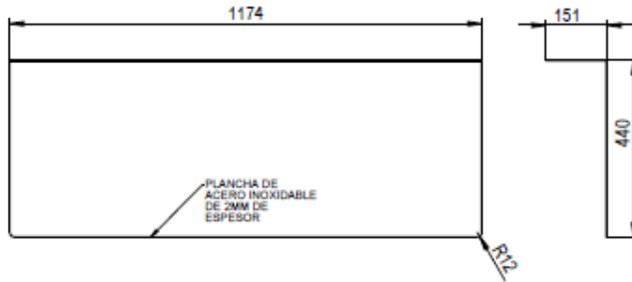
ANEXO IV
SOPORTES DE LA MESA



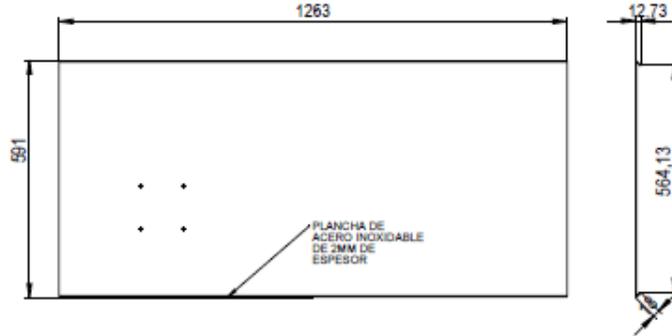
NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	SOPORTES DE LA MESA		
Material: Acero inoxidable 304	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA HINOJOSA K - CRUZ L	LÁMINA	ESCALA	FECHA
			4	1:1	2015/05/04

ANEXO V
TABLEROS DE LA MESA

TABLERO INFERIOR

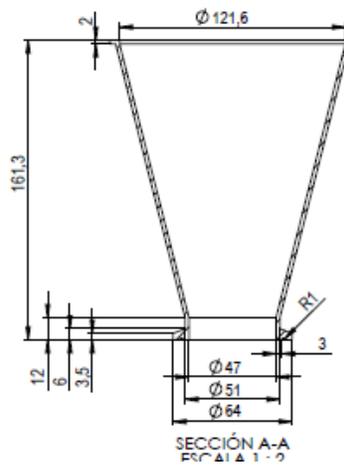
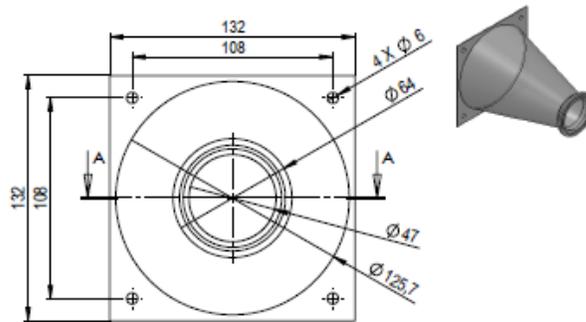


TABLERO SUPERIOR



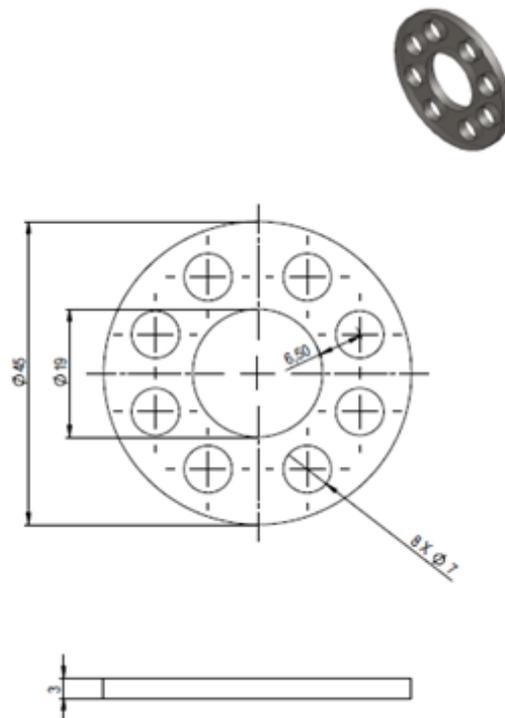
NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	TABLEROS DE LA MESA		
Material: Acero inoxidable 304	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA HINOJOSA K - CRUZ L	LÁMINA	ESCALA	FECHA
			5	1:1	2015/05/04

ANEXO VI
CONO



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	<p style="text-align: center;">ESPOCH</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>HINOJOSA K - CRUZ L</p>	CONO					
<p>Material: Acero inoxidable 304</p>	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN		<table border="1"> <thead> <tr> <th>LÁMINA</th> <th>ESCALA</th> <th>FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>6</td> <td>1:1</td> <td>2015/05/04</td> </tr> </tbody> </table>	LÁMINA	ESCALA	FECHA	6	1:1
LÁMINA	ESCALA	FECHA						
6	1:1	2015/05/04						

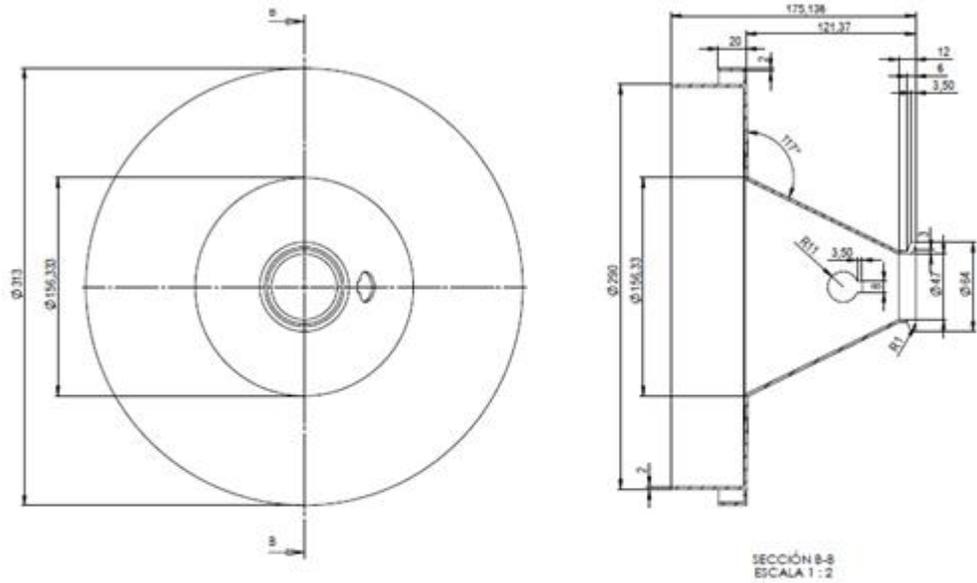
ANEXO VII
SOPORTES DE LAS RESISTENCIAS



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	SOPORTES DE LAS RESISTENCIAS								
Material: Acero inoxidable 304	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR	FACULTAD DE CIENCIAS	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>LÁMINA</td> <td>ESCALA</td> <td>FECHA</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>1:1</td> <td>2015/05/04</td> </tr> </table>			LÁMINA	ESCALA	FECHA	7	1:1	2015/05/04
	LÁMINA					ESCALA	FECHA				
7	1:1	2015/05/04									
<input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBAR	ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA										
<input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN	HINOJOSA K - CRUZ L										

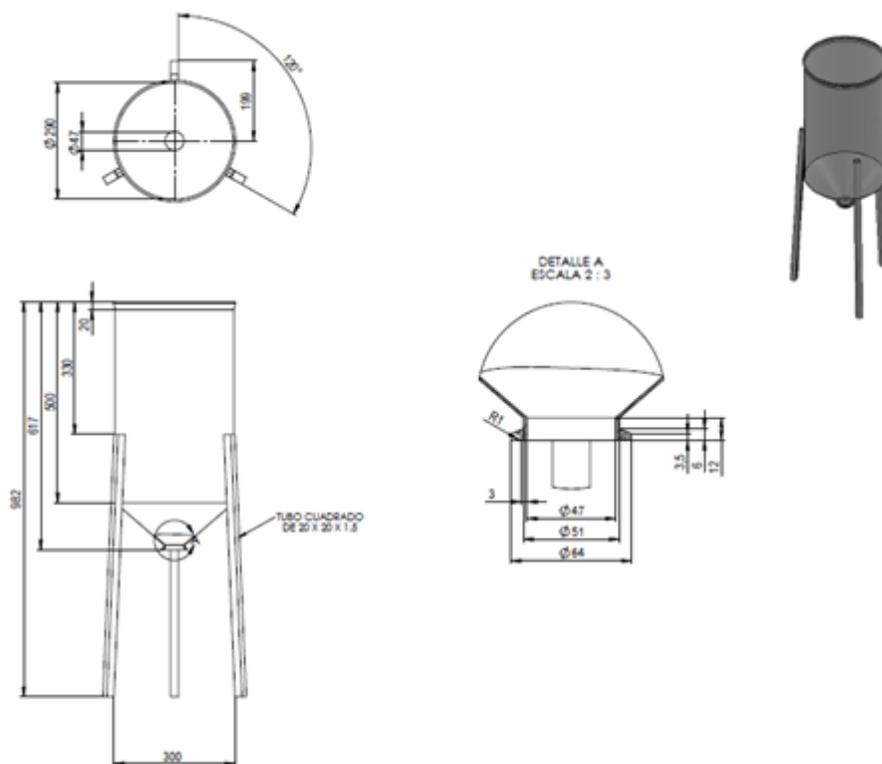
ANEXO VIII

TAPA DE LA CAMARA DE SECADO



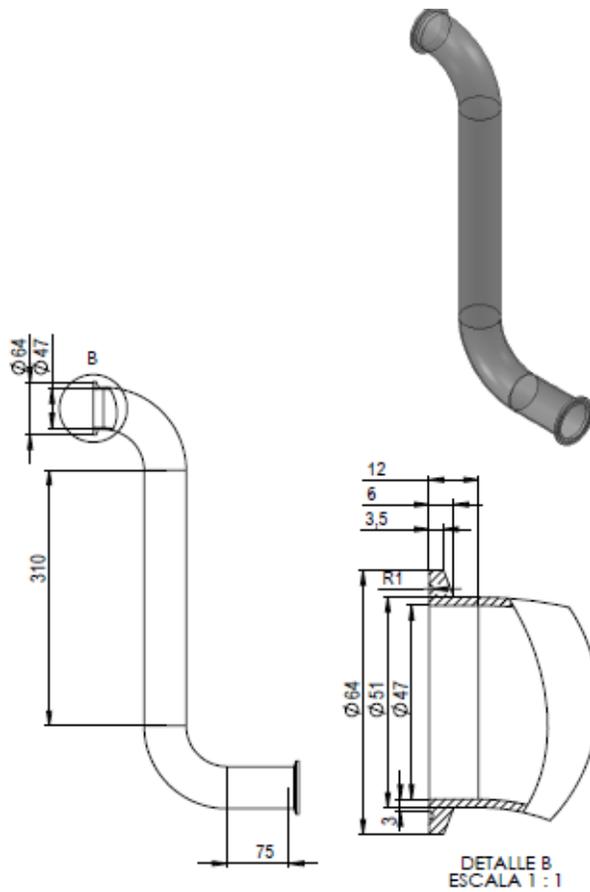
NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	TAPA DE LA CAMARA DE SECADO								
Material: Acero inoxidable 304	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA HINOJOSA K - CRUZ L	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="1295 1822 1388 1858">LÁMINA</th> <th data-bbox="1388 1822 1481 1858">ESCALA</th> <th data-bbox="1481 1822 1583 1858">FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="1295 1858 1388 1890">8</td> <td data-bbox="1388 1858 1481 1890">1:1</td> <td data-bbox="1481 1858 1583 1890">2015/05/04</td> </tr> </tbody> </table>			LÁMINA	ESCALA	FECHA	8	1:1	2015/05/04
	LÁMINA		ESCALA	FECHA							
	8		1:1	2015/05/04							
<input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBAR											
<input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN											

ANEXO IX
CÁMARA DE SECADO



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	CÁMARA DE SECADO		
Material: Acero inoxidable 304	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA HINOJOSA K - CRUZ L	LÁMINA	ESCALA	FECHA
			9	1:1	2015/05/04

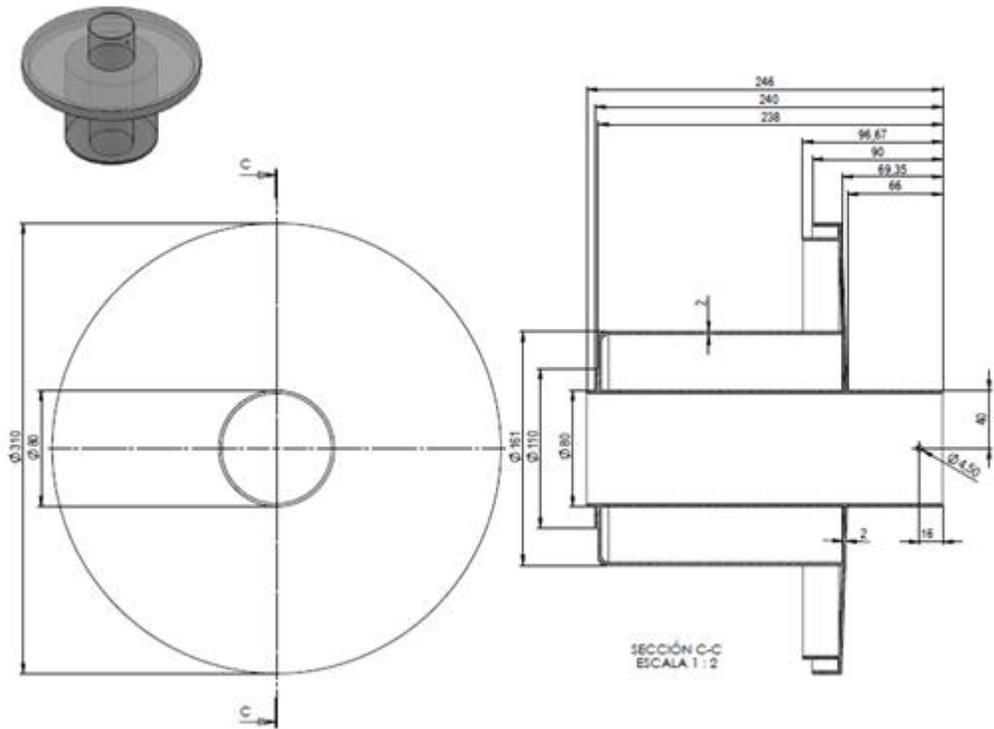
ANEXO X
TUBERIA DE CONEXIÓN



DETALLE B
ESCALA 1 : 1

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	TUBERIA DE CONEXIÓN		
Material: Acero inoxidable 304	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR	FACULTAD DE CIENCIAS			
	<input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBAR	ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA			
	<input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN	HINOJOSA K - CRUZ L			
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
			10	1:1	2015/05/04

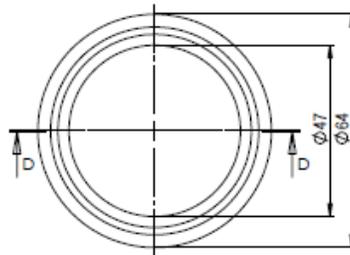
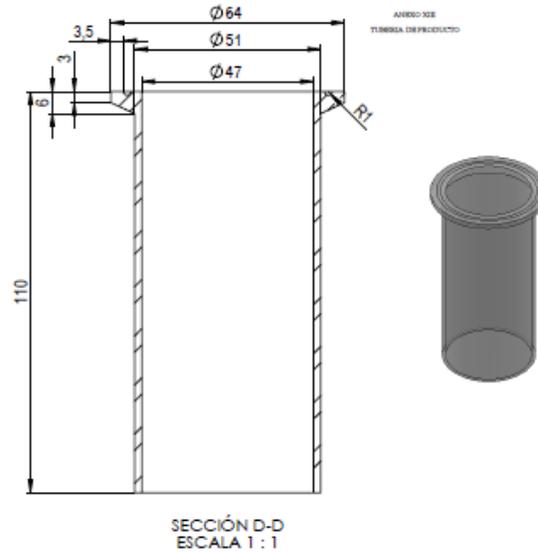
ANEXO XII
TAPA DEL CICLÓN



SECCIÓN C-C
ESCALA 1:2

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	<p style="text-align: center;">ESPOCH</p> <p style="text-align: center;">FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p style="text-align: center;">ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p style="text-align: center;">HIJOSOSA K - CRUZ L</p>	TAPA DEL CICLÓN		
<p>Material: Acero inoxidable 304</p>	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN		LÁMINA	ESCALA	FECHA
				12	1:1

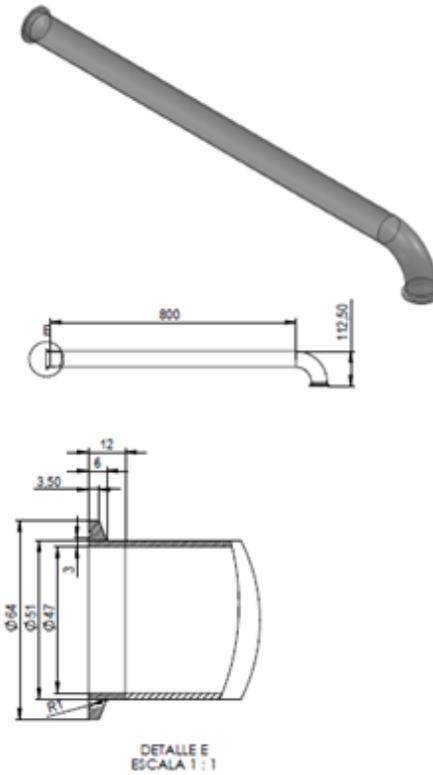
ANEXO XIII
TUBERIA DEL PRODUCTO



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	TUBERIA DEL PRODUCTO		
Material: Acero inoxidable 304	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA HINOJOSA K - CRUZ L	LÁMINA	ESCALA	FECHA
			13	1:1	2015/05/04

ANEXO XIV

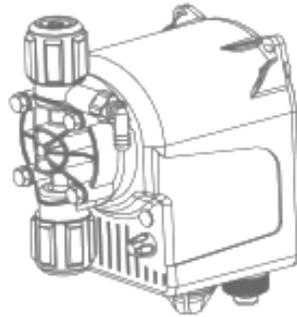
TUBERÍA DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	<p>ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA HINOJOSA K - CRUZ L</p>	<p>TUBERÍA DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO</p>		
<p>Material: Acero inoxidable 304</p>	<p> <input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN </p>		LÁMINA	ESCALA	FECHA
				14	1:1

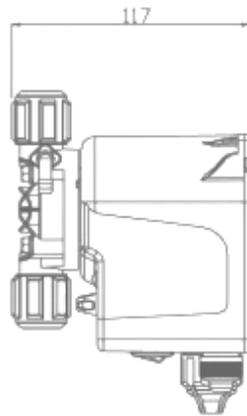
ANEXO XV

BOMBA

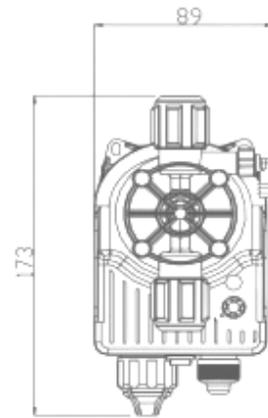


Model	Type	Power supply	Type of head	Installation kit	Optional
KCL	633	N	VF	W	00
Type	Pressure (bar)	Flow rate (l/h)	Connections (IN/OUT)	Strokes/min	
632	7	2	4/6	100	
633	5	5	4/6	180	
Head Type	Pump head	Ball valves	Seals and valves	Diaphragm	
VF	PVC	Pyrex	FPM	PTFE	
VF	PVC	Pyrex	EPDM	PTFE	

(A)



(B)



(C)

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	BOMBA		
A. Datos generales B. Vista lateral C. Vista frontal	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA HINOJOSA K - CRUZ L	LÁMINA	ESCALA	FECHA
	15		1:1	2015/05/04	

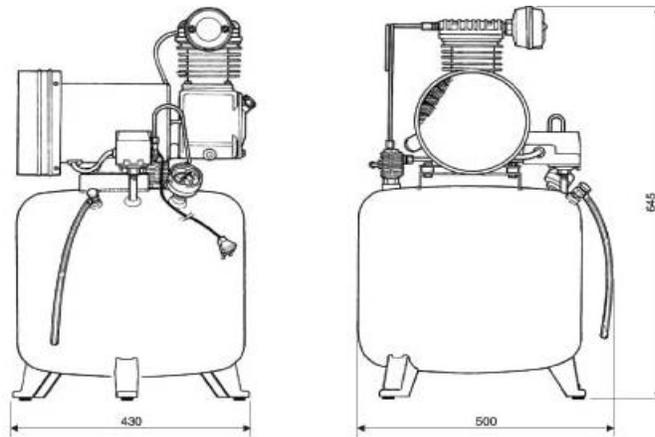
ANEXO.XVI

COMPRESOR



Características Técnicas	Technical Specifications	
Capacidad de Descarga	Maximum Air Production	5.2 CFM a 40 libras 4 CFM a 90 libras
Potencia	Motor Power	2 hp / 1,500W
Voltage y Frecuencia	Voltage and Frequency	110V / 60 Hz / 1 Phase
Volumen del Tanque	Tank Volume	25 litros
Presión de Alivio	Discharge Pressure	8 Kgs/cm2
Revoluciones del Motor	Motor Speed	1,720 rpm
Dimensiones Exteriores	Overall Dimension	60 cm x 30 cm x 64 cm
Peso Neto	Net Weight	25 kg

(A)



(B)

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	COMPRESOR		
A. Datos generales B. Vista lateral C. Vista frontal	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA HINOJOSA K - CRUZ L	LÁMINA	ESCALA	FECHA
	16		1:1	2015/05/04	

ANEXO XVII.

VENTILADOR

AB 242291

242x240x291mm
(9.52"x9.44"x11.45")

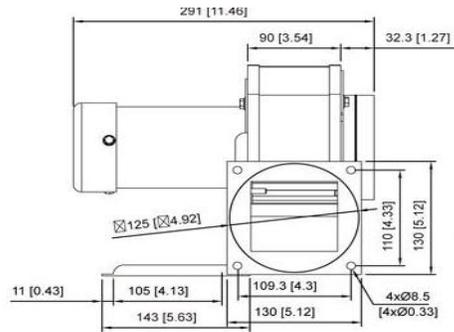


HOUSING	Steel
IMPELLER	Aluminum
BEARING	Ball
TERMINATION	Lead Wire
OPERATING TEMPERATURE	0°C to + 55°C
INSULATION RESISTANCE	10M Ohms min.@500VDC
DIELECTRIC STRENGTH	1,500VAC for 1 minute
WEIGHT	6.1 kg
ROHS COMPLIANCE	YES
IP LEVEL	IP44 included

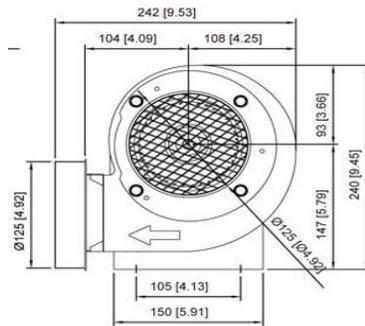
Datos Básicos

Voltaje:	115/230/380 v	Lugar del origen:	Taiwán	Marca:	sybang
Montaje:	equipos industriales	Número de Modelo:	ab242291	Velocidad:	3480 rpm
Material de la lámina:	de aluminio	Tipo:	Ventilador centrífugo	Certificación:	CE
Energía:	200 w	Tipo de la corriente eléctrica:	CA	Volumen de aire:	409 pies cúbicos por minuto
tamaño:	242x240x291mm	de la serie:	siroco del ventilador del ventilad...		

(A)



(B)



(C)

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	VENTILADOR		
A. Datos generales B. Vista frontal C. Vista lateral	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA HINOJOSA K - CRUZ L	LÁMINA	ESCALA	FECHA
			17	1:1	2015/05/04

ANEXO XVIII.

ANÁLISIS DE CALIDAD DE COLORANTE



LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES



INFORME DE ANALISIS

NOMBRE: Srta. Lizbeth Cruz

INFORME N°: 004 - 15

N° SE: 004 -15

EMPRESA: Proyecto de Tesis ESPOCH

DIRECCIÓN: Cda. Fausto Molina Mz 8 Casa 2

FECHA DE RECEPCIÓN: 24 -03- 15

TELÉFONO: 032947848

NÚMERO DE MUESTRAS: 1

FECHA DE INFORME: 06-04 -15

TIPO DE MUESTRA: Colorante natural remolacha

IDENTIFICACIÓN:

M1 Colorante natural

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de las muestras.

RESULTADOS DE ANÁLISIS

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Sulfatos	mg/kg	STANDARD METHODS 4500 SO ₄ -E	5	N/A	24-03-15
* Nitratos	mg/kg	STANDARD METHODS 4500 NO ₃ - E mod.	19,9	N/A	24-03-15
* Arsénico	mg/kg	STANDARD METHODS 3500 As -3111D	0,014	N/A	24-03-15
* Plomo	mg/kg	STANDARD METHODS 3500 Pb 3111B	0,027	N/A	24-03-15
* Cromo	mg/kg	STANDARD METHODS 3500 - Cr - 3111B	0,002	N/A	24-03-15
* Materia Volátil	%	STANDARD METHODS 2540 - D	2,53	N/A	24-03-15
* Cloruros	mg/kg	STANDARD METHODS 3500 - Cl E mod	9,90	N/A	24-03-15
* Óxidos mixtos	mg/kg	METODO INTERNO	0,336	N/A	24-03-15
* Cenizas insolubles en Acido	%	METODO INTERNO	0,49	N/A	24-03-15
* Acidez	meq/kg	STANDARD METHODS 2310 - B	401,92	N/A	24-03-15

RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:

Dr. Juan Carlos Lara R.
Dr. Mario Ruiz

Dr. Juan Carlos Lara R.
TECNICO L.S.A.

-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).
-Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.

Página 1 de 1

FMC2101-01

L.S.A. Campus Máster Edison Riera Km 1 1/2 vía a Cuango Bloque Administrativo.

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	ANÁLISIS DE CALIDAD DE COLORANTE		
Resultado de los análisis del polvo (Laboratorio Certificado)	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA HINOJOSA K - CRUZ L	LÁMINA	ESCALA	FECHA
	<input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBAR		18	1:1	2015/05/04
	<input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN				

ANEXO XIX.

ANÁLISIS ORGANOLÉPTICO DEL EXTRACTO Y DEL POLVO DE REMOLACHA



(A)



(B)

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	<p style="text-align: center;">ESPOCH</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>HINOJOSA K - CRUZ L</p>	ANÁLISIS ORGANOLÉPTICO		
<p>A. Clasificación de color</p> <p>B. Degustación</p>	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN		LÁMINA	ESCALA	FECHA
				19	1:1

ANEXOS XX.

DENSIDAD DEL EXTRACTO DE REMOLACHA



(A)



(B)

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	<p style="text-align: center;">ESPOCH</p> <p style="text-align: center;">FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p style="text-align: center;">ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p style="text-align: center;">HIJOSOSA K - CRUZ L</p>	DENSIDAD DE LÍQUIDO		
<p>A. Pesar el picnómetro vacío</p> <p>B. Peso del picnómetro lleno</p>	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN		LÁMINA	ESCALA	FECHA
				20	1:1

ANEXO XXI.

DENSIDAD DEL POLVO DE REMOLACHA



(A)



(B)

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	<p style="text-align: center;">ESPOCH</p> <p style="text-align: center;">FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p style="text-align: center;">ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p style="text-align: center;">HIJOSOSA K - CRUZ L</p>	DENSIDAD DE SÓLIDOS		
<p>A. Peso del vaso vacío</p> <p>B. Peso del vaso lleno</p>	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN		LÁMINA	ESCALA	FECHA
				21	1:1

ANEXO XXII.

DETERMINACIÓN DE PORCENTAJE DE SÓLIDOS EN EL POLCO Y HUMEDAD DEL EXTRACTO DE REMOLACHA



(A)



(B)



(C)



(D)

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	PORCENTAJE DE SÓLIDOS Y HUMEDAD		
A. Peso de la capsula vacía	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA HINOJOSA K - CRUZ L	LÁMINA	ESCALA	FECHA
B. Peso de la capsula llena	<input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBAR		22	1:1	2015/05/04
C. Secado	<input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN				
D. Peso de la Capsula llena y seca					

ANEXO XXIII.

DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA POR TAMIZADO



(A)



(B)

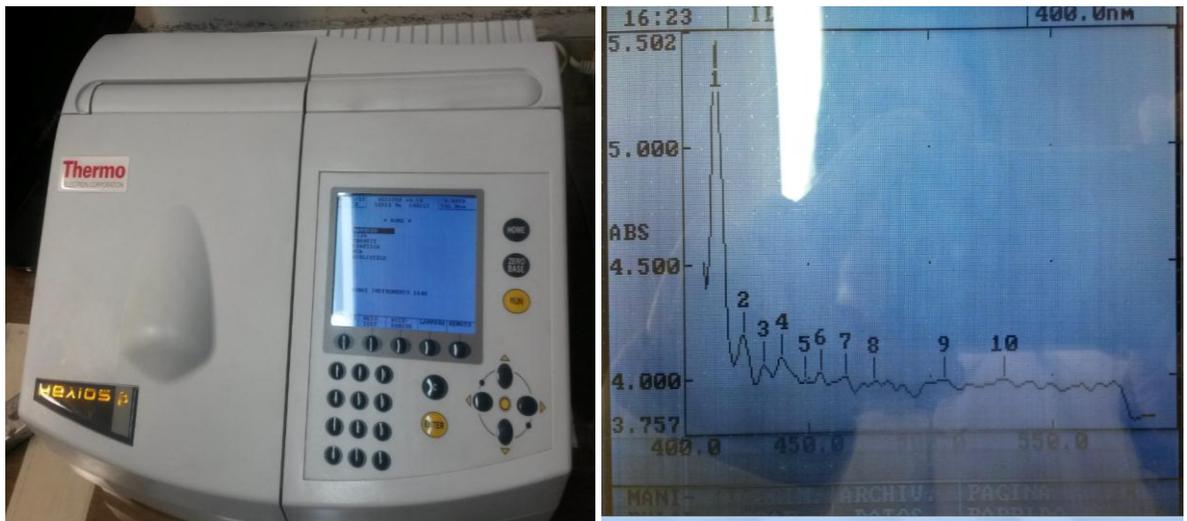
NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	<p style="text-align: center;">ESPOCH</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>HINOJOSA K - CRUZ L</p>	<p style="text-align: center;">TAMIZADO</p>		
<p>A. Montar el juego de tamices del N° 70 al 400</p> <p>B. Agitar vigorosamente los tamices y Pesar el polvo retenido en cada tamiz</p>	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN				
			23	1:1	2015/05/04

ANEXO XXIV.

ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN UV – VISIBLE



(A)

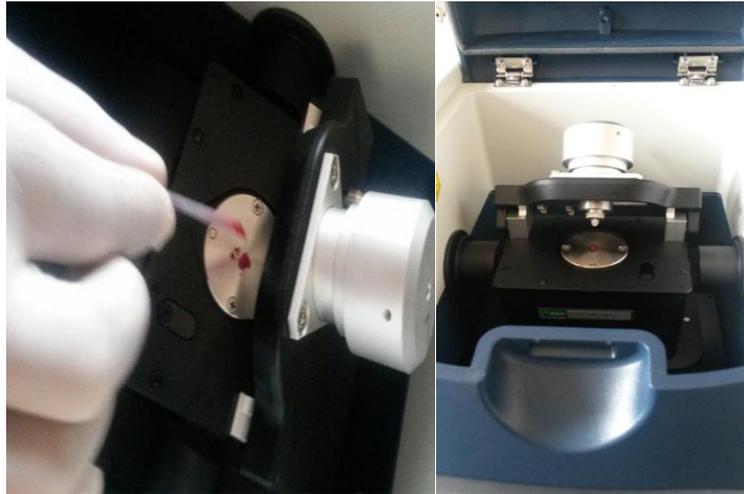


(B)

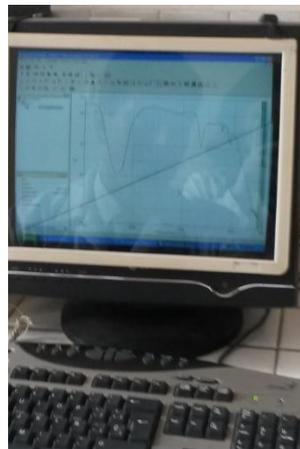
NOTAS		CATEGORIA DEL DIAGRAMA		ESPOCH	ESPECTROFOTOMETRÍA UV – VISIBLE		
A. Depositar la muestra en la celda de cuarzo B. Lectura de la absorción UV- visible		<input type="checkbox"/> CERTIFICADO	<input type="checkbox"/> POR ELIMINAR		FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA HINOJOSA K - CRUZ L	LÁMINA	ESCALA
		<input checked="" type="checkbox"/> APROBADO	<input type="checkbox"/> POR ABROBAR	24		1:1	2015/05/04
		<input type="checkbox"/> POR CALIFICAR	<input type="checkbox"/> INFORMACIÓN				

ANEXO XXV.

ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN INFRARROJA



(A)



(B)

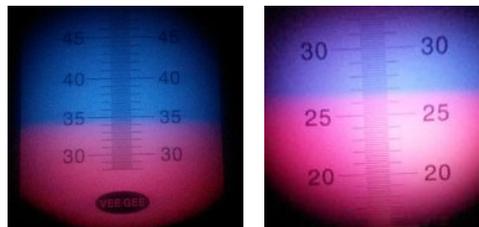
NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	<p style="text-align: center;">ESPOCH</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>HINOJOSA K - CRUZ L</p>	<p>ESPECTROMETRÍA INFRARROJA</p>		
<p>A. Colocación de la muestra en el diamante</p> <p>B. Lectura de absorción infrarroja</p>	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN		LÁMINA	ESCALA	FECHA
			25	1:1	2015/05/04

ANEXO XXVI.

GRADOS BRIX



(A)



(B)

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA	GRADOS BRIX		
A. Colocación de la muestra en el prisma del refractómetro B. Lectura de los ° Bx	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN	HINOJOSA K - CRUZ L	LÁMINA 26	ESCALA 1:1	FECHA 2015/05/04

ANEXO XXVII.

HIGROSCOPIA.



(A)



(B)

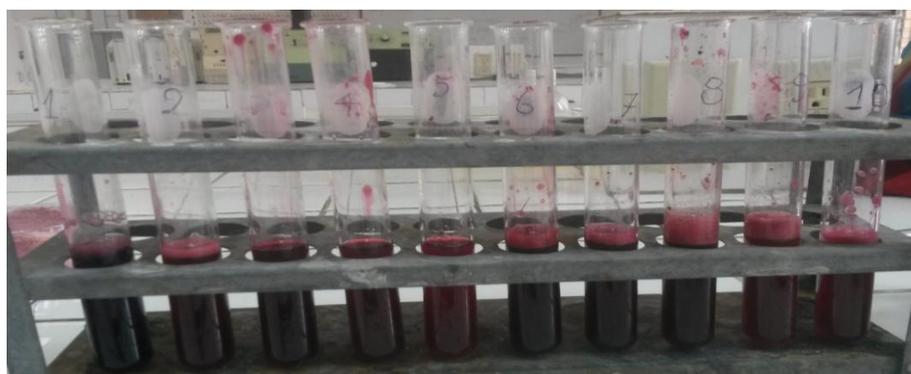
NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	<p style="text-align: center;">ESPOCH</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>HINOJOSA K - CRUZ L</p>	HIGROSCOPIA.		
<p>A. Colocación de muestra en una caja Petri</p> <p>B. Pesaje cada dos horas</p>	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN				
			27	1:1	2015/05/04

ANEXO XXVIII.

SOLUBILIDAD.



(A)



(B)



(C)

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA HINOJOSA K - CRUZ L	SOLUBILIDAD.		
A. Disolver el colorante en agua B. Comparación de color grupo 1 C. Comparación de color grupo 2	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN		LÁMINA	ESCALA	FECHA
			28	1:1	2015/05/04

ANEXO XXIX.

TENSIÓN SUPERFICIAL.



(A)



(B)



(C)

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	<p style="text-align: center;">ESPOCH</p> <p style="text-align: center;">FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p style="text-align: center;">ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p style="text-align: center;">HIHOJOSA K - CRUZ L</p>	TENSIÓN SUPERFICIAL.		
<p>A. Medir la temperatura</p> <p>B. Introducir el capilar y la regla juntos</p> <p>C. Medición del asenso</p>	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN		LÁMINA	ESCALA	FECHA
			29	1:1	2015/05/04

ANEXO XXX.
 VISCOSIDAD DINÁMICA



(A)

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA HINOJOSA K - CRUZ L	VISCOSIDAD DINÁMICA		
Determinación de la viscosidad en un viscosímetro digital de rotación	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN		LÁMINA	ESCALA	FECHA
				30	1:1

ANEXO XXXI.

COMPARACIÓN DE ENCAPSULANTES



(A)

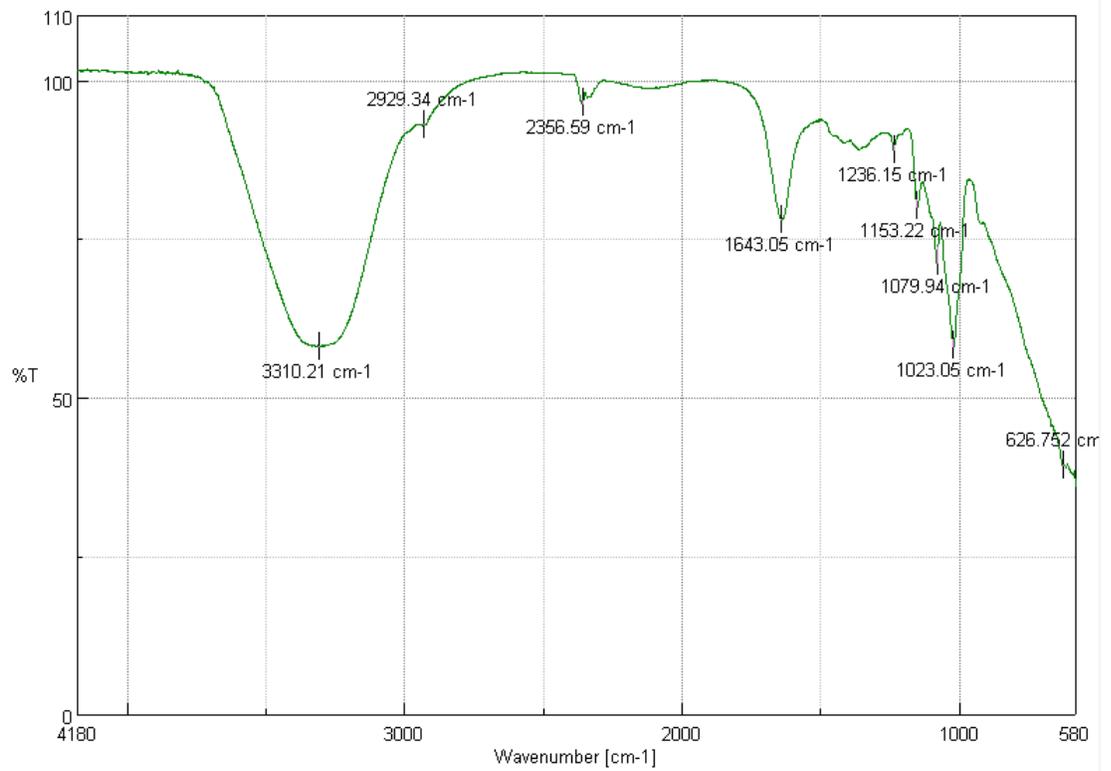


(B)

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA	ENCAPSULANTES		
A. Colorante encapsulado con maltodextrina B. Colorante encapsulado con goma arábica	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN	HINOJOSA K - CRUZ L	LÁMINA	ESCALA	FECHA
			31	1:1	2015/05/04

ANEXO XXXII.

ESPECTROMETRÍA INFRARROJO DE EXTRACTO DE REMOLACHA CON MALTODEXTRINA
50% PP

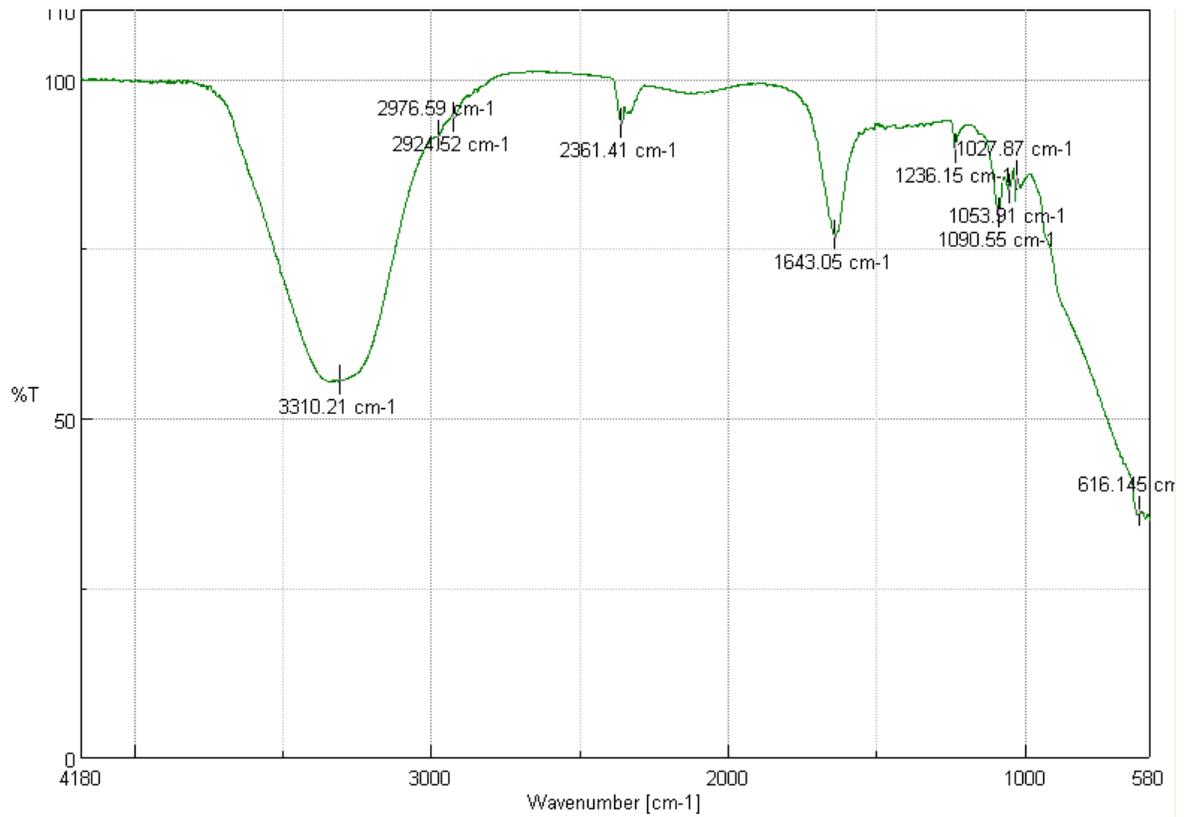


(A)

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA	ESPECTROMETRÍA INFRARROJO		
Espectrometría infrarrojo de remolacha con maltodextrina 50%P/P	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR	HIÑOJOSA K - CRUZ L	LÁMINA	ESCALA	FECHA
	<input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN		32	1:1	2015/05/04

ANEXO XXXIII.

ESPECTROMETRÍA INFRARROJO DEL POLVO DE REMOLACHA CON MALTODEXTRINA
50% PP

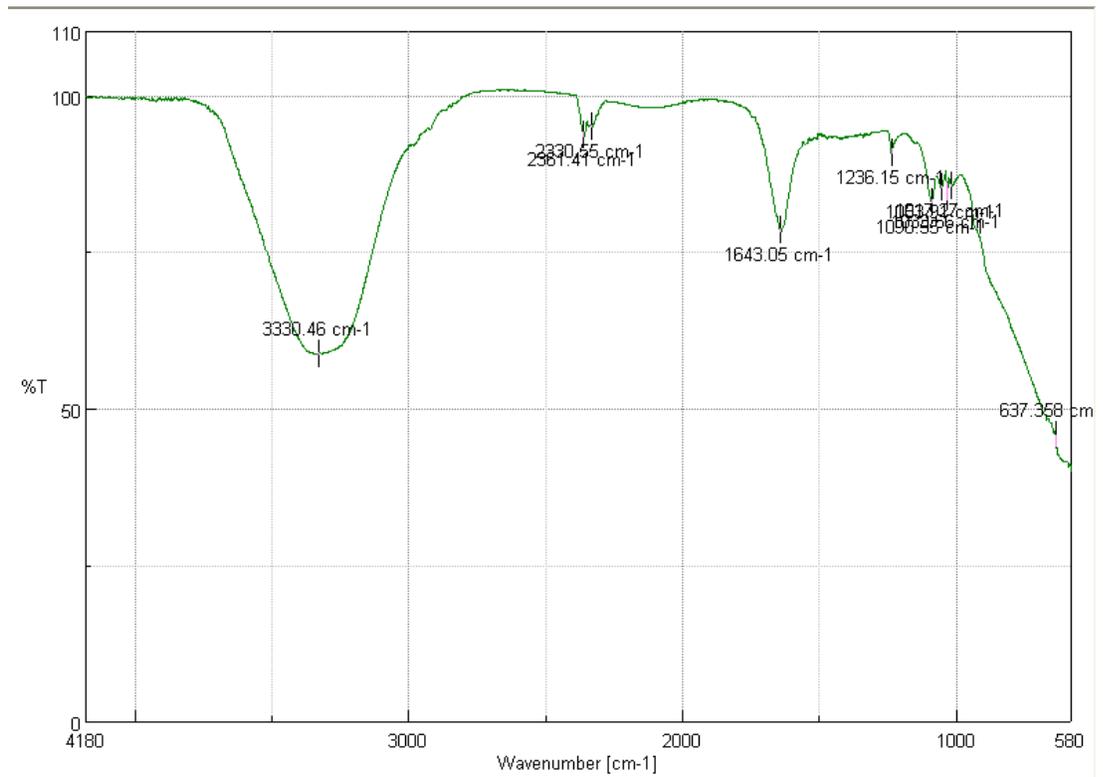


(A)

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	<p style="text-align: center;">ESPOCH</p> <p style="text-align: center;">FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p style="text-align: center;">ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p style="text-align: center;">HIJOSOSA K - CRUZ L</p>	ESPECTROMETRÍA INFRARROJO					
<p>Espectrometría infrarrojo del polvo con maltodextrina 50% P/P</p>	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN		<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>LÁMINA</th> <th>ESCALA</th> <th>FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>33</td> <td>1:1</td> <td>2015/05/04</td> </tr> </tbody> </table>	LÁMINA	ESCALA	FECHA	33	1:1
	LÁMINA	ESCALA	FECHA					
33	1:1	2015/05/04						

ANEXO XXXIV.

ESPECTROMETRÍA INFRARROJO DEL POLVO DE REMOLACHA CON MALTODEXTRINA
50% PP (TIEMPO DE VIDA)

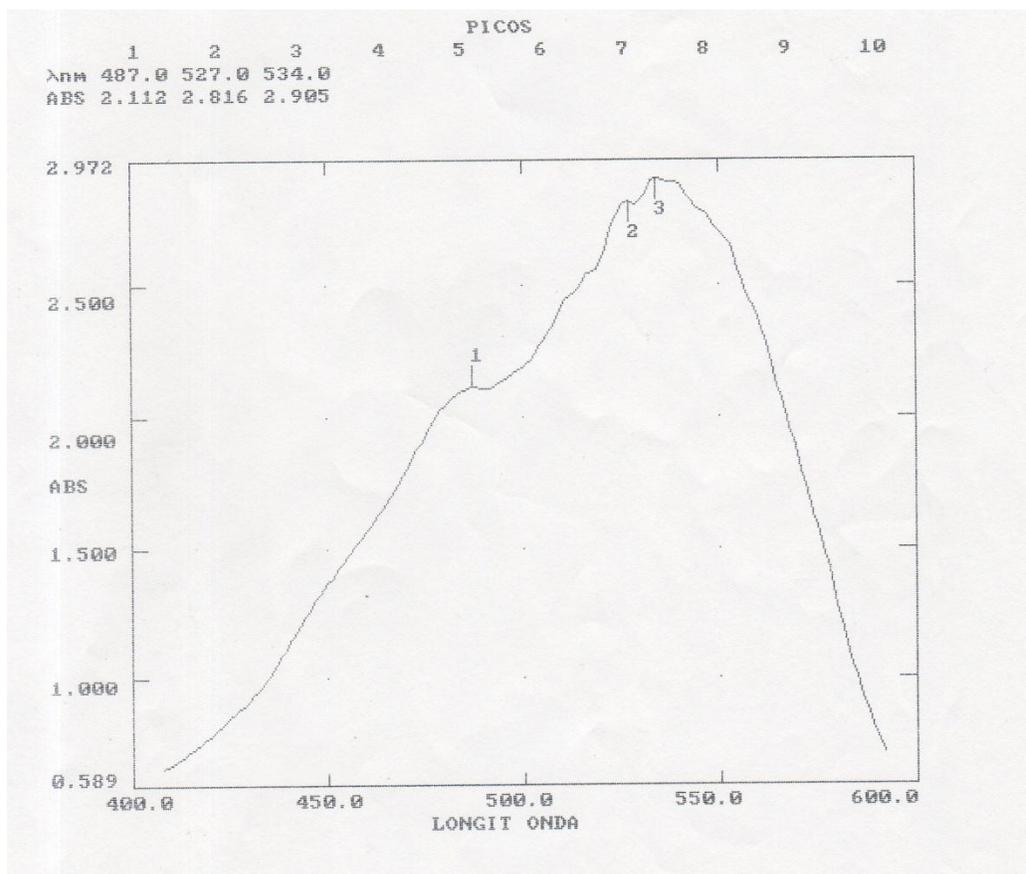


(A)

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	<p style="text-align: center;">ESPOCH</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>HINOJOSA K - CRUZ L</p>	ESPECTROMETRÍA INFRARROJO		
<p>Espectrometría infrarrojo del polvo con maltodextrina luego de un mes 50%P/P</p>	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN		LÁMINA	ESCALA	FECHA
				34	1:1

ANEXO XXXV.

ESPECTROMETRÍA UV-VISIBLE DEL EXTRACTO DE REMOLACHA CON MALTODEXTRINA
50% PP

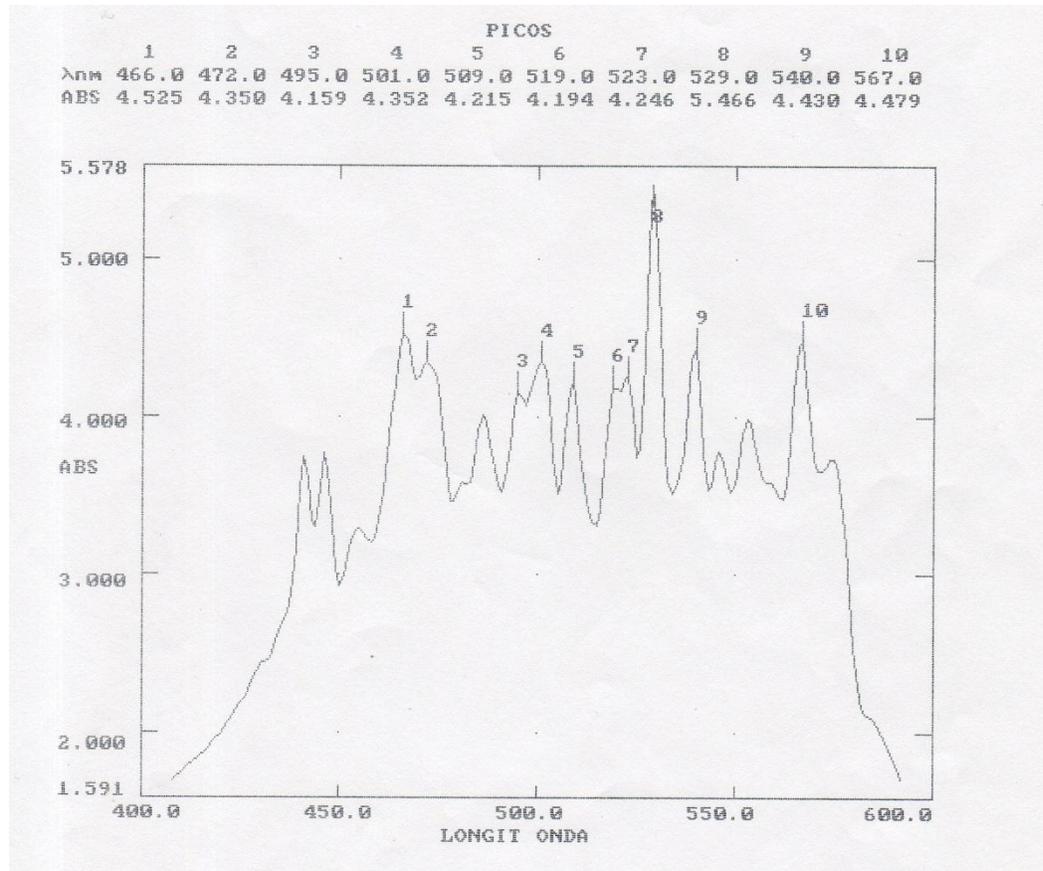


(A)

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	ESPECTROMETRÍA UV-VISIBLE		
Espectrometría UV-Visible del extracto con maltodextrina 50%P/P	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA HIÑOJOSA K - CRUZ L	LÁMINA	ESCALA	FECHA
	<input type="checkbox"/> POR ELIMINAR		35	1:1	2015/05/04
	<input checked="" type="checkbox"/> APROBADO				
	<input type="checkbox"/> POR ABROBAR				
	<input type="checkbox"/> POR CALIFICAR				
	<input type="checkbox"/> INFORMACIÓN				

ANEXO XXXVI.

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



(A)

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	ESPECTROMETRÍA UV-VISIBLE		
Espectrometría UV-Visible del polvo con maltodextrina 50% P/P.	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA HIÑOJOSA K - CRUZ L	LÁMINA ESCALA FECHA		
	<input type="checkbox"/> POR ELIMINAR				
	<input checked="" type="checkbox"/> APROBADO		<input type="checkbox"/> POR ABROBAR	36	1:1
<input type="checkbox"/> POR CALIFICAR	<input type="checkbox"/> INFORMACIÓN				

ANEXO XXXVII.

DETERMINACION DEL VAN Y TIR

(A)

AÑO	CANTIDAD	PRECIO
1	520	60,0000
2	520	60,0000
3	520	60,0000
4	520	60,0000
5	520	60,0000
6	520	60,0000
7	520	60,0000
8	520	60,0000
9	520	60,0000
10	520	60,0000

Elaborado por: CRUZ L./HINOJOSA K.,
Laboratorio de Procesos Industriales, ESPOCH/2015

(B)

Concepto	Precio Total
Aprobación de Constitución	620,00
Publicación extracto	85,00
Patente Municipal	120,00
Afiliación Cámara de Industrias	
Registro Mercantil	150,00
Puesta en marcha	960,00
Proyecto	200,00
Patentes	400,00
Abogado	160,00
Permiso de Funcionamiento	55,00
Registro Sanitario	1.020,00
Total	3.770,00

Elaborado por: CRUZ L./HINOJOSA K., Laboratorio de Procesos Industriales, ESPOCH/2015

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA HINOJOSA K - CRUZ L	VAN Y TIR					
A. Proyección de ventas de colorante de remolacha en polvo B. Gastos preoperativos y de constitución	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN		<table border="1"> <thead> <tr> <th>LÁMINA</th> <th>ESCALA</th> <th>FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>37</td> <td>1:1</td> <td>2015/05/04</td> </tr> </tbody> </table>	LÁMINA	ESCALA	FECHA	37	1:1
LÁMINA	ESCALA	FECHA						
37	1:1	2015/05/04						

Continuación.

(C)

Concepto	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Precio Total
Ventilador	1	Unidad	120	120
Compresor	1	Unidad	190	190
Bomba	1	Unidad	400	400
Sistema de Calentamiento	1	Unidad	150	150
Cámara de Secado	1	Unidad	800	800
Sistema Atomizador	1	Unidad	300	300
Ciclón	1	Unidad	700	700
Sistema de Tuberías	1	Unidad	100	100
Mesa de trabajo	1	Unidad	380	380
Tableros de Control	1	Unidad	600	600
Tanque de Alimentación	1	Unidad	50	50
Balanza	1	Unidad	50	50
Construcción	1	Unidad	1.300	1.300
Total				5.140

Elaborado por: CRUZ L./HINOJOSA K., Laboratorio de Procesos Industriales, ESPOCH/2015

(D)

Concepto	Cantidad	Unidad (meses)	Precio Unitario	Precio Total
Técnico	1	mes	354	354,00
Operarios	1	mes	354	354,00
TOTAL				8.496,00

Elaborado por: CRUZ L./HINOJOSA K., Laboratorio de Procesos Industriales, ESPOCH/2015

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	VAN Y TIR		
C. Maquinaria (Secador por atomización) D. Mano de obra	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA HINOJOSA K - CRUZ L	LÁMINA	ESCALA	FECHA
	38		1:1	2015/05/04	

Continuación.

(E)

Concepto	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Precio Total
MP + Insumos				3,64
Materia Prima				3,57
Remolacha	3,86	Kg	0,31	1,20
Maltodextrina	1,25	Kg	1,90	2,38
Insumos				0,07
Fundas plásticas	1	Unidad	0,02	0,02
Etiquetas	1	Unidad	0,05	0,05
Cofias	2	Unidad	0,00015	0,0003
Mascarillas	2	Unidad	0,00025	0,0005

Elaborado por: CRUZ L./HINOJOSA K., Laboratorio de Procesos Industriales, ESPOCH/2015

(F)

Concepto	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Precio Total
Insumos de Limpieza				40,20
Trapeadores	1	Unidad	4,00	4,00
Esponjas	1	Unidad	0,50	0,50
Desinfectante	1	Unidad	1,70	1,70
Detergente industrial	1	Unidad	5,00	5,00
Escobas	1	Unidad	2,00	2,00
Recogedor	1	Unidad	1,00	1,00
Desinfectante de manos	1	Unidad	2,00	2,00
Mandiles	2	Unidad	12,00	24,00

Elaborado por: CRUZ L./HINOJOSA K., Laboratorio de Procesos Industriales, ESPOCH/2015

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	VAN Y TIR		
E. Componentes por kilogramo de colorante F. Insumos de limpieza	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA HINOJOSA K - CRUZ L	LÁMINA	ESCALA	FECHA
	39		1:1	2015/05/04	

Continuación.

(G)

Concepto	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Precio Total
Agua	12	Mensual	50,00	600,00
Luz	12	Mensual	197,93	2.375,16
Servicios Básicos				2.975,16

Elaborado por: CRUZ L./HINOJOSA K., Laboratorio de Procesos Industriales, ESPOCH/2015

(H)

Concepto	% Anual	Precio Total
Ventilador	0,030	10
Compresor	0,030	10
Bomba	0,030	30
Tableros de Control	0,030	40
Balanza	0,030	30
Total		120,00

(I)

Concepto	Precio Total
Activos Fijos	5140,00
Activos Diferidos	3.770,00
Capital de Trabajo	3625,10
Imprevistos	188,03
Total	12723,13

Elaborado por: CRUZ L./HINOJOSA K., Laboratorio de Procesos Industriales, ESPOCH/2015

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	VAN Y TIR		
G. Servicios básicos H. Mantenimiento I. Inversión inicial	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA HINOJOSA K - CRUZ L	LÁMINA	ESCALA	FECHA
	40		1:1	2015/05/04	

Continuación.

(J)

Concepto	Cantidad	Precio	Precio Total
Mano de obra directa	1	8.496,00	8.496,00
Materia Prima	520	3,57	1.857,23
Insumos	520	0,07	36,82
Servicios Básicos	1	2.975,16	2.975,16
Mantenimiento Maquinaria	1	120,00	120,00
Interés	1	0,00	0,00
Depreciación	1	462,60	462,60
Amortización	1	754,00	754,00
Suma anual			14.701,81
Diario			40,28
Periodo de generación			90,00
Total			3.625,10

Elaborado por: CRUZ L./HINOJOSA K., Laboratorio de Procesos Industriales, ESPOCH/2015

(K)

Concepto	Valor de Adquisición	Vida Útil	Valor Residual	% por Ley	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Valor Acumulado	Valor en Libros
Depreciación					462,60	462,60	462,60	462,60	462,60	462,60	462,60	462,60	462,60	462,60	4.626,00	514,00
Materiales y Equipo	5.140,00	10	514,00	10%	462,60	462,60	462,60	462,60	462,60	462,60	462,60	462,60	462,60	462,60	4.626,00	514,00
Amortización	3.770,00	5,00	0,00	20%	754,00	754,00	754,00	754,00	754,00						3.770,00	6.786,00
TOTAL	8.910,00		514,00		1.216,60	1.216,60	1.216,60	1.216,60	1.216,60	462,60	462,60	462,60	462,60	462,60	8.396,00	7.300,00

Elaborado por: CRUZ L./HINOJOSA K., Laboratorio de Procesos Industriales, ESPOCH/2015

(L)

Fijos	1.336,60
Mantenimiento Maquinaria	120,00
Depreciación	462,60
interés	0,00
Amortización	754,00
Variables	13.365,21
Mano de obra directa	8.496,00
Materia Prima	1.857,23
Insumos	36,82
Servicios Básicos	2.975,16
Total	14.701,81

Elaborado por: CRUZ L./HINOJOSA K., Laboratorio de Procesos Industriales, ESPOCH/2015

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	VAN Y TIR		
J. Capital de trabajo K. Depreciación L. Punto de equilibrio	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA HINOJOSA K - CRUZ L	LÁMINA	ESCALA	FECHA
	<input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBAR		41	1:1	2015/05/04
	<input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN				

Continuación.

(M)

Punto de Equilibrio en Unidades:

$$PE = \frac{CFT}{P - CVu} = 38,97057$$

Donde:

CFT = Costo Fijo Total

P = Precio de Venta

CVu = Costo Variable Unitario

Punto de Equilibrio en Dólares

$$PE = \frac{CFT}{1 - \left[\frac{CVT}{IT}\right]} = 2338,234$$

Donde:

CFT = Costo Fijo Total

CVT = Costo Variable Total

IT = Ingreso Total

Elaborado por: CRUZ L./HINOJOSA K., Laboratorio de Procesos Industriales, ESPOCH/2015

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA HINOJOSA K - CRUZ L	VAN Y TIR		
M. Calculo del punto de equilibrio	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN		LÁMINA	ESCALA	FECHA
		42	1:1	2015/05/04	

Continuación.

(N)

PRODUCTO/AÑOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Colorante	31.200,00	31.200,00	31.200,00	31.200,00	31.200,00	31.200,00	31.200,00	31.200,00	31.200,00	31.200,00
INGRESOS ACUMULADOS										312.000,00

Elaborado por: CRUZ L./HINOJOSA K., Laboratorio de Procesos Industriales, ESPOCH/2015

(O)

Concepto/años	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Costo de Producción	13.485,21	14.298,73	14.773,45	15.263,93	15.770,69	16.294,28	16.835,25	17.394,18	17.971,66	18.568,32
Mano de obra directa	8.496,00	8.778,07	9.069,50	9.370,61	9.681,71	10.003,14	10.335,25	10.678,38	11.032,90	11.399,19
Materia Prima	1.857,23	1.918,89	1.982,60	2.048,42	2.116,43	2.186,69	2.259,29	2.334,30	2.411,80	2.491,87
Insumos	36,82	42,34	43,74	45,20	46,70	48,25	49,85	51,50	53,21	54,98
Servicios Básicos	2.975,16	3.421,43	3.535,03	3.652,39	3.773,65	3.898,93	4.028,38	4.162,12	4.300,30	4.443,07
Mantenimiento Maquinaria	120,00	138,00	142,58	147,32	152,21	157,26	162,48	167,87	173,45	179,21
Depreciación	462,60									
Amortización	754,00	754,00	754,00	754,00	754,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL	14.701,81	15.515,33	15.990,05	16.480,53	16.987,29	16.756,88	17.297,85	17.856,78	18.434,26	19.030,92

Elaborado por: CRUZ L./HINOJOSA K., Laboratorio de Procesos Industriales, ESPOCH/2015

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	VAN Y TIR		
N. Ingresos anuales O. Egresos	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA HINOJOSA K - CRUZ L	LÁMINA	ESCALA	FECHA
			43	1:1	2015/05/04

Continuación.

(P)

Concepto/años	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ventas	31.200,00	31.200,00	31.200,00	31.200,00	31.200,00	31.200,00	31.200,00	31.200,00	31.200,00	31.200,00
Costo de Producción	- 13.48 5,21	- 14.29 8,73	- 14.77 3,45	- 15.26 3,93	- 15.77 0,69	- 16.29 4,28	- 16.83 5,25	- 17.39 4,18	- 17.97 1,66	- 18.56 8,32
Utilidad bruta en Ventas	17.714,79	16.901,27	16.426,55	15.936,07	15.429,31	14.905,72	14.364,75	13.805,82	13.228,34	12.631,68
Depreciación	-462,60	-462,60	-462,60	-462,60	-462,60	-462,60	-462,60	-462,60	-462,60	-462,60
Amortización	-754,00	-754,00	-754,00	-754,00	-754,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Utilidad antes de participación e impuestos	16.498,19	15.684,67	15.209,95	14.719,47	14.212,71	14.443,12	13.902,15	13.343,22	12.765,74	12.169,08
Participación de Trabajadores (15%)	-2.474,73	-2.352,70	-2.281,49	-2.207,92	-2.131,91	-2.166,47	-2.085,32	-2.001,48	-1.914,86	-1.825,36
Utilidad antes de impuestos	14.023,46	13.331,97	12.928,46	12.511,55	12.080,80	12.276,65	11.816,83	11.341,74	10.850,88	10.343,71
Impuesto a la Renta (25%)	-3.505,87	-3.332,99	-3.232,11	-3.127,89	-3.020,20	-3.069,16	-2.954,21	-2.835,43	-2.712,72	-2.585,93
Utilidad Neta	10.517,60	9.998,98	9.696,34	9.383,66	9.060,60	9.207,49	8.862,62	8.506,30	8.138,16	7.757,79

Elaborado por: CRUZ L./HINOJOSA K., Laboratorio de Procesos Industriales, ESPOCH/2015

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	VAN Y TIR			
P. Estado de resultados del proyecto	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN		FACULTAD DE CIENCIAS	LÁMINA	ESCALA	FECHA
			ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA	44	1:1	2015/05/04
		HINOJOSA K - CRUZ L				

Continuación.

(Q)

Concepto	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ventas		31.200,00	31.200,00	31.200,00	31.200,00	31.200,00	31.200,00	31.200,00	31.200,00	31.200,00	31.200,00
Costo de Producción		-13.485,21	-14.298,73	-14.773,45	-15.263,93	-15.770,69	-16.294,28	-16.835,25	-17.394,18	-17.971,66	-18.568,32
Utilidad bruta en Ventas		17.715,79	16.903,27	16.429,55	15.940,07	15.429,31	14.905,72	14.364,75	13.805,82	13.228,34	12.631,68
Depreciación		-462,60	-462,60	-462,60	-462,60	-462,60	-462,60	-462,60	-462,60	-462,60	-462,60
Amortización		-754,00	-754,00	-754,00	-754,00	-754,00	0,00	0,00	-754,00	-754,00	-754,00
Utilidad antes de participación e impuestos		16.499,19	15.686,67	15.212,95	14.723,47	14.212,71	14.443,12	13.902,15	16.499,19	15.686,67	15.212,95
Participación de Trabajadores (15%)		-2.474,73	-2.352,70	-2.281,49	-2.207,92	-2.131,91	-2.166,47	-2.085,32	-2.474,73	-2.352,70	-2.281,49
Utilidad antes de impuestos		14.024,46	13.333,97	12.931,46	12.515,55	12.080,80	12.276,65	11.816,83	14.024,46	13.333,97	12.931,46
Impuesto a la Renta (25%)		-3.505,87	-3.332,99	-3.232,11	-3.127,89	-3.020,20	-3.069,16	-2.954,21	-3.505,87	-3.332,99	-3.232,11
Utilidad Neta		10.518,60	10.000,98	9.699,34	9.387,66	9.060,60	9.207,49	8.862,62	10.518,60	10.000,98	9.699,34
Depreciación		462,60	462,60	462,60	462,60	462,60	462,60	462,60	462,60	462,60	462,60
Amortización		754,00	754,00	754,00	754,00	754,00	0,00	0,00	754,00	754,00	754,00
Inversión Inicial	-9.098,03										
Capital de Trabajo	-3.625,10										
Valor en Libros											514,00
Flujo de Caja del Proyecto	-12.723,13	11.735,20	11.217,58	10.915,94	10.604,26	10.277,20	9.670,09	9.325,22	8.968,90	8.600,76	8.734,39
FLUJO NETO ACUMULADO											

Elaborado por: CRUZ L./HINOJOSA K., Laboratorio de Procesos Industriales, ESPOCH/2015

<p>NOTAS</p> <p>Q. Flujo de caja del proyecto.</p>	<p>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</p> <p><input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBAR</p> <p><input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN</p>	<p>ESPOCH</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>HINOJOSA K - CRUZ L</p>	<p>VAN Y TIR</p>		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
			45	1:1	2015/05/04

Continuación.

(U)

Concepto	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
II	- 12.723,13									II	- 12.723,13
fc		11.735,2	11.217,5	10.915,9	10.604,2	10.277,2	9.670,09	9.325,22	8.968,90	fc	
r	12,54%	12,54%	12,54%	12,54%	12,54%	12,54%	12,54%	12,54%	12,54%	r	12,54%
(1+r)^n	1,13	1,13	1,27	1,43	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60	(1+r)^n	1,13
FCD	- 12.723,13	10.427,5	8.856,97	7.658,44	6.610,78	6.406,89	6.028,41	5.813,42	5.591,29	5.361,78	5.445,09
VAN	55477,52	VAN > 0 → el proyecto es rentable.									

Elaborado por: CRUZ L./HINOJOSA K., Laboratorio de Procesos Industriales, ESPOCH/2015

(V)

	- 12,7230	11,73	11,21	10,91	10,60	10,27	9,670	9,325	8,969	8,601	8,74
TIR	88%										

Elaborado por: CRUZ L./HINOJOSA K., Laboratorio de Procesos Industriales, ESPOCH/2015

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	VAN Y TIR		
R. VAN del proyecto S. TIR del proyecto	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA HINOJOSA K - CRUZ L	LÁMINA	ESCALA	FECHA
	46		1:1	2015/05/04	

