



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SECADOR DE TUNEL PARA LA  
DESHIDRATAACION DEL MAIZ”**

**TESIS DE GRADO**

**Previa la Obtención del Título de:**

**INGENIERO QUIMICO**

**CARLOS EFRAIN AUCANCELA GUACHO**

**ENMA NATALI CHAVEZ CORDOVA**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2009**

## **AGRADECIMIENTO**

*En primer lugar damos gracias a Dios, por ser guía de nuestras vidas, y por ser la fortaleza para llegar a este gran sueño y anhelos.*

*A nuestros queridos padres, quienes con sacrificio y amor involucraron en nosotros el deseo de superación y progreso, que día a día fueron con cariño y paciencia incentivándonos en nuestra carrera universitaria.*

*A la Escuela de Ingeniería Química, a la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, de manera especial nuestro reconocimiento a los Ingenieros Hannibal Brito, Cesar Avalos, Mabel Parada distinguidos miembros de nuestro tribunal, por habernos brindado su mano amiga, quienes con sus conocimientos nos supieron dar un criterio correcto, acertado y oportuno, para la realización de esta tesis de grado y a todas aquellas personas que con su valioso aporte hicieron posible la culminación del presente trabajo investigativo.*

*Al Ing. Daniel Mayorga por haber hecho posible la construcción de nuestro equipo.*

*Y no podría faltar vuestro agradecimiento muy especial a nuestros amigos por sus respaldos y alientos en la culminación de esta tesis.*

## **DEDICATORIA**

*Dedico con todo corazón las páginas de esta memoria las mismas que fueron escritas con fe y optimismo, a las personas que más amo en mi vida que son mi soporte y mi aliento cada día como son mis padres José María y Francisca que con su amor, comprensión y sacrificio he podido salir adelante, a mis queridos hermanos José Luis, Paul Renato y Danny Moisés por vuestro cariño gracias por todos los consejos queridos hermanos. A mis abuelitos Domingo y Mercedes por su apoyo y cariño, los llevo en mi corazón. Gracias*

**Carlos Efraín**

*Dedico este trabajo a Dios por iluminarme y darme la capacidad, a mis queridos padres Eudoro y Luz Aurora por su apoyo, comprensión y sacrificio dándome la oportunidad de ser una profesional, a mis hermanos y familiares, quienes han sido el ejemplo de superación, enseñándome a vencer las adversidades de la vida.*

*A la persona que me brindo su cariño, amor y amistad quien será siempre recordado.*

**Enma Natali**

**NOMBRE**

**FIRMA**

**FECHA**

Dr. Edmundo Caluña

.....

.....

**DECANO FAC. CIENCIAS**

Ing. Hannibal Brito

.....

.....

**DIRECTOR ESC. ING. QUIMICA**

Ing. Hannibal Brito

.....

.....

**DIRECTOR DE TESIS**

Ing. Cesar Avalos

.....

.....

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

Tec. Carlos Rodríguez

.....

.....

**DIRECTOR CENTRO DOCUMENTACION**

**“Nosotros, CARLOS EFRAIN AUCANCELA  
GUACHO Y ENMA NATALI CHAVEZ  
CORDOVA, somos responsables de las ideas,  
doctrinas, resultados y propuestas expuestas en el  
presente trabajo de investigación y el patrimonio  
intelectual de la Memoria de Grado pertenece a la  
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE  
CHIMBORAZO”**

## INDICE DE ABREVIATURAS

$\lambda_v$	Calor latente de vaporización del agua
$^{\circ}Bx$	Grados Brix
$A$	Área
$AACC$	Asociación Americana de Químicos Cerealistas
$ASME$	America Society of Mechanical Engineers
$cm$	Centímetros
$C_p$	Capacidad Calorífica
$C$	Grados Celsius
$g$	Gramos
$h$	Horas
$h_i$	Entalpia especifica del aire $kJ/kgC$
$H_j$	Poder calorífico inferior
$h_f$	Entalpia final
$H_S$	Pode calorífico superior $(kJ/(kg^3))$
$INNEN$	Instituto Ecuatoriano de Normalización
$kcal$	Kilocalorías
$kg$	Kilogramo
$k/h$	Kilómetros por hora
$Lb$	Libras
$m$	Metros

$mg$	Miligramos
$mg/kg$	Miligramos por kilogramos
$mg/L$	Miligramos por litro
$mL$	Mililitros
$P$	Peso
$Pa$	Pascales
$ppm$	Partes por millón
$S$	Peso del solido seco
$T_0$	Temperatura de referencia
$U.I$	Unidades internacionales
$v_e$	Volumen especifico del aire (m <sup>3</sup> /kJ)
$\bar{W}$	Velocidad media de secado
$W$	Velocidad de secado
$W_c$	Velocidad de secado constante
$W_d$	Velocidad de secado decreciente
$x$	Humedad
$x^*$	Humedad de equilibrio
$x_c$	Humedad critica
$x_f$	Humedad final
$x_i$	Humedad inicial
$x - x^*$	Humedad libre
$\theta$	Tiempo
$\theta_a$	Tiempo antecritico

$\theta_p$	Tiempo poscrítico
$\Delta x$	Variación de humedad
$\Delta \theta$	Variación de tiempo

# TABLA DE CONTENIDOS

	<b>Pp.</b>
CARÁTULA	
AGRADECIMIENTO	
DEDICATORIA	
HOJA DE FIRMAS	
HOJA DE RESPONSABILIDAD	
INDICE DE ABREVIATURAS	
TABLA DE CONTENIDOS	
INDICE DE FIGURAS	
INDICE DE TABLAS	
INDICE DE GRAFICOS	
INDICE DE FOTOS	
INDICE DE ANEXOS	
INDICE DE ECUACIONES	
RESUMEN.....	i
SUMMARY.....	ii
INTRODUCCION.....	iii
ANTECEDENTES.....	iv
JUSTIFICACION.....	vi
OBJETIVOS.....	vii
<b>CAPITULO I</b>	
1. MARCO TEORICO.....	1
1.1 MAIZ, ZEA MAYS.....	1
1.1.1 HISTORIA.....	2
1.1.2 CLASIFICACION TAXONOMICA.....	2
1.1.2.1 TIPOS DE MAIZ.....	3
1.1.2.1.1 MAIZ DURO.....	3
1.1.2.1.2 MAIZ DENTADO.....	3
1.1.2.1.3 MAIZ ARENOSO.....	3

	<b>Pp.</b>
1.1.2.1.4 MAIZ REVENTON.....	3
1.1.2.2 COMPOSICION QUIMICA DEL MAIZ.....	3
1.1.2.3 PROPIEDADES.....	4
1.1.2.4 CONDICIONES DEL CULTIVO DEL MAIZ.....	5
1.1.2.4.1 SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS.....	5
1.1.2.4.2 EXIGENCIA DE CLIMA.....	5
1.1.2.4.3 EXIGENCIAS DEL SUELO.....	5
1.1.2.4.4 SEMILLAS.....	5
1.1.3 USOS DEL MAIZ.....	6
1.1.3.1 BIOPRODUCTOS.....	6
1.1.3.2 ALIMENTOS BALANCEADOS.....	6
1.1.3.3 PRODUCTOS.....	7
1.1.3.3.1 ALMIDONES NATIVOS Y MODIFICADOS.....	7
1.1.3.3.2 EDULCORANTES.....	7
1.1.3.3.3 FRUCTOSA.....	7
1.1.3.4 COPRODUCTOS.....	7
1.1.4 INFORMACIÓN NUTRICIONAL.....	8
1.2 SECADO.....	9
1.2.1 DEFINICION.....	9
1.2.1.1 OBJETIVOS DEL SECADO.....	10
1.2.1.2 FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE SECADO.....	10
1.2.1.3 CINETICA DEL SECADO.....	12
1.2.2 CURVAS DE CINETICA DE SECADO.....	12
1.2.2.1 CURVAS DE RÉGIMEN DE SECADO.....	13
1.2.2.2 CLASIFICACIÓN DE LA OPERACIÓN DE SECADO.....	15
1.2.2.3 TIPOS DE SECADORES.....	16
1.2.3 SELECCION DEL SECADOR.....	17
1.2.4 SECADOR CONTINUO DE TÚNEL.....	18
1.2.4.1 ZONAS Y PERFILES DE TEMPERATURAS.....	19
1.2.4.2 COMPONENTES PRINCIPALES DEL EQUIPO.....	23

	<b>Pp.</b>
1.2.4.3 CAMARA DE SECADO.....	23
1.2.4.4 FUENTE DE CALOR.....	25
1.2.4.5 VALVULAS DE SEGURIDAD.....	26
1.2.4.6 TRAMPA DE VAPOR.....	26
1.2.4.7 VENTILADORES.....	26
1.2.4.8 MATERIALES AUXILIARES.....	27
1.2.4.9 CONTROLADOR DE TEMPERATURA.....	27
1.3 DISEÑO.....	29
1.3.1 PRUEBAS DE ENSAYO DE SECADO.....	29
1.3.2 ECUACIONES PARA EL DISEÑO DEL SECADOR DE TUNEL.....	31

## **CAPITULO II**

2. PARTE EXPERIMENTAL.....	40
2.1 MUESTREO.....	40
2.2 METODOLOGIA.....	41
2.2.1 METODOS.....	41
2.2.1.1 INDUCTIVO.....	41
2.2.1.2 DEDUCTIVO.....	41
2.2.1.3 EXPERIMENTAL.....	42
2.2.2.2 TECNICAS.....	42
2.2.2.2.1 TECNICAS Y METODOLOGIA DE ENSAYO.....	42
2.2.2.2.2 TECNICAS PARA EL ANALISIS BROMATOLOGICO DEL MAIZ.....	42
2.2.2.2.2.1 DETERMINACIÓN DE CENIZAS (AACC 1412 ENSAYO DE LA ASOCIACIÓN AMERICANA DE QUÍMICOS CEREALISTAS).....	43
2.2.2.2.2.2 DETERMINACION DE HUMEDAD Y SUSTANCIA SECA NORMA INEN (1513).....	44
2.2.2.2.2.3 DETERMINACION DE PROTEINA (MÉTODO 2057 A.O.A.C. ADAPTADO EN EL DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN Y CALIDAD DEL INIAP).....	46
2.2.2.2.2.4 DETERMINACIÓN DE GRASA (AACC 1632 ENSAYO DE LA ASOCIACIÓN AMERICANA DE QUÍMICOS CEREALISTAS).....	48
2.2.2.2.2.5 DETERMINACIÓN DEL EXTRACTO LIBRE NO NITROGENADO (1687) ENSAYO.....	49

2.2.2.2.2.6 DETERMINACIÓN DE FIBRA (AACC 1232 ENSAYO DE LA ASOCIACIÓN AMERICANA DE QUÍMICOS CEREALISTAS.....	50
2.3 DATOS EXPERIMENTALES.....	52
2.3.1 ANALISIS BROMATOLOGICO DEL MAIZ ESTANDAR (NORMA INNEN 15133).....	52
2.3.2 DIAGNOSTICO.....	52
2.3.3 DATOS.....	54
2.3.3.1 ANALISIS BROMATOLOGICO DEL MAIZ HUMEDO Y SECO DE LA SIERRA.....	54
2.3.3.2 ANALISIS BROMATOLOGICO DEL MAIZ HUMEDO Y SECO DE LA COSTA.....	54
2.4 DATOS ADICIONALES.....	55
2.4.1 RESULTADOS DEL ANALISI BROMATOLOGICO DEL MAIZ.....	55
2.4.1.1 ANALISIS SENSORIAL DIFERENCIAL DEL MAIZ HUMEDO DE LA COSTA Y DE LA SIERRA.....	55

### **CAPITULO III**

3 DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SECADOR DE TUNEL PARA LA DESHIDRATACION DEL MAIZ.....	57
3.1 CALCULOS.....	57
3.1.1 DATOS PROCESADOS PARA OBTENER LAS DIFERENTES VARIABLES.....	57
3.1.2 VARIABLES DE PROCESO.....	59
3.1.2.1 CALCULO DE LA VELOCIDAD DE SECADO Y DEL TIEMPO DE SECADO PARA LOS DIFERENTES PERIODOS.....	59
3.1.3 CALCULOS PARA EL DISEÑO DEL SECADOR DE TUNEL.....	64
3.1.3.1 CALCULO DE LA LONGITUD.....	64
3.1.3.1.1 BALANCE DE MASA.....	64
3.1.3.1.2 BALANCE DE ENERGIA.....	65
3.1.3.1.2.1 CALCULO DE LAS ENTALPIAS DEL SOLIDO (MAÍZ).....	65
3.1.3.1.2.2 CALCULO DE LAS ENTALPIAS DEL AIRE.....	65
3.1.3.1.2.3 CALCULO DE LA HUMEDAD DE SALIDA DEL AIRE.....	66
3.1.3.1.2.4 CALCULO DE LA ENTALPIA DEL AIRE A LA SALIDA.....	66
3.1.3.1.2.5 CALCULO DE LA CANTIDAD DE CALOR PERDIDO.....	67
3.1.3.1.2.6 CALCULO DE LAS ENTALPIAS DEL SOLIDO EN LA ZONA II.....	68
3.1.3.1.3 CALCULO DEL NÚMERO DE ELEMENTOS DE TRANSMISION.....	68

3.1.3.1.3.1 CALCULO DEL NÚMERO DE ELEMENTOS DE TRANSMISION EN LA ZONA III.....	68
3.1.3.1.3.1.1 CALCULO DEL CALOR CEDIDO POR EL AIRE.....	68
3.1.3.1.3.1.2 CALCULO DEL CALOR ABSORBIDO POR EL SOLIDO.....	68
3.1.3.1.3.1.3 CALCULO DEL CALOR PERDIDO AL EXTERIOR.....	68
3.1.3.1.3.2 CALCULO DEL NÚMERO DE ELEMENTOS DE TRANSMISION EN LA ZONA I.....	69
3.1.3.1.3.3 CALCULO DEL NÚMERO DE ELEMENTOS DE TRANSMISION EN LA ZONA II.....	70
3.1.3.1.3.3.1 DISMINUCIÓN DE LA TEMPERATURA DEL GAS EN ESTA ZONA.....	70
3.1.3.1.3.3.2 DISMINUCIÓN DE LA TEMPERATURA POR PÉRDIDAS DE CALOR AL EXTERIOR.....	70
3.1.3.1.3.3.3 DISMINUCIÓN DE TEMPERATURA DEL GAS SI NO EXISTIERAN PÉRDIDAS.....	70
3.1.3.1.4 CÁLCULO DE LA ALTURA DEL ELEMENTO DE TRANSMISIÓN.....	71
3.1.3.2 CALCULO DEL CALOR SENSIBLE (CS).....	71
3.1.3.3 CALCULO DEL CALOR LATENTE ( $C_L$ ).....	72
3.1.3.4 CALCULO DE LA CANTIDAD DE CALOR NECESARIO PARA CALENTAR LA BASE SECA DEL MATERIAL DESDE 20 C A 80 C.....	73
3.1.3.4.1 CALCULO DEL CALOR TOTAL NECESARIO PARA CALENTAR EL SISTEMA.....	73
3.1.3.4.2 CALCULO DEL CALOR QUE DEBE SUMINISTRAR LOS SERPENTINES.....	73
3.1.3.5 CÁLCULOS ADICIONALES.....	74
3.1.3.5.1 CANTIDAD DE AIRE NECESARIO QUE DEBE SUMINISTRAR EL VENTILADOR.....	74
3.1.3.5.2 CAUDAL NECESARIO DE AIRE.....	75
3.1.3.5.3 VELOCIDAD DE LA BANDA TRANSPORTADORA.....	75
3.1.3.5.4 CALCULO DE LA EFICIENCIA DEL EQUIPO.....	76
3.2 RESULTADOS.....	77
3.2.1 CURVAS DE HUMEDAD EN FUNCION DEL TIEMPO.....	77
3.2.2 CURVAS DE VELOCIDAD EN FUNCION DE LA HUMEDAD.....	82
3.2.3.2 RESULTADOS OBTENIDOS EN EL SECADOR DE TUNEL.....	89

	<b>Pp.</b>
3.3 ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS.....	93
3.4 COSTOS.....	94
3.4.1 RECURSOS HUMANOS.....	94
3.4.2 RECURSOS MATERIALES.....	94
3.4.3 RECURSOS TOTALES.....	94
3.4.4 DIMENSIONAMIENTO DEL SECADOR DE TUNEL.....	95
3.4.5 MATERIALES UTILIZADOS PARA LA CONSTRUCCION DEL EQUIPO.....	96

## **CAPITULO IV**

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	98
4.1 CONCLUSIONES.....	98
4.2 RECOMENDACIONES.....	100

## **BIBLIOGRAFIA**

## **ANEXOS**

## INDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA</b>	<b>Pp.</b>
1.1-1 Maíz.....	1
1.2.2-1 Datos humedad libre en función del tiempo.....	13
1.2.2.1-1 Curva de velocidad de secado en función de la humedad libre.....	14
1.2.2.2-1 Diferentes tipos de humedades.....	15
1.2.4-1 Secador de túnel.....	18
1.2.4.1-1 Representación esquemática de un secador de túnel.....	20
1.2.4.1 – 2. Perfiles de Temperaturas para un Secador continuo a contracorriente.....	21

## INDICE DE TABLAS

<b>TABLA</b>	<b>Pp.</b>
1.1.2.2 -1 Composición química y proteica del maíz.....	3
1.2.2.3-1 Tipos de secadores.....	16
1.3.1.1-1 Variable e Indicadores.....	30
2.2.2.2.1-1 Determinación de cenizas del maíz.....	43
2.2.2.2.2-1 Determinación de humedad del maíz.....	44
2.2.2.2.3-1 Determinación de proteína del maíz.....	46
2.2.2.2.4-1 Determinación de grasa.....	48
2.2.2.2.5-1 Determinación del extracto libre de nitrógeno del maíz.....	49
2.2.2.2.6-1 Determinación de fibra del maíz.....	50
2.3.1-1 Análisis del grano (maíz húmedo).....	52
2.3.2.1-1 Análisis bromatológico del maíz húmedo y seco de la sierra.....	54
2.3.2.2-1 Análisis del maíz húmedo y seco de la costa.....	54
2.4.1.1-1 Análisis sensorial diferencial del maíz húmedo y seco de la Costa y Sierra.....	55
3.1.1-1 Datos Procesados para Obtener las Diferentes Variables.....	57
3.2.1-1 Resultados de la pérdida de humedad en función del tiempo en base seca (Muestra de la Sierra).....	77
3.2.1-2 Resultados de la perdida de humedad en función del tiempo en base seca (Muestra de la Costa).....	79
3.2.2-1 Resultados De La Velocidad De Secado En Función Del Tiempo (Maíz De La Sierra).82	
3.2.2-2 Resultados De La Velocidad De Secado En Función Del Tiempo (Maíz De La Costa).84	
3.2.3-1 Resultados de los cálculos del diseño del secador de túnel.....	87
3.2.3.2-1 Resultados Obtenidos en el Secador de Túnel (Maíz de la Costa) 60 C.....	91
3.4.1-1 Recursos Humanos.....	94
3.4.2-1 Recursos Materiales.....	94
3.4.3-1 Recursos Totales.....	94
3.4.4-1 Dimensionamiento del secador de túnel.....	95
3.4.4-1 Materiales Utilizados Para La Construcción Del Secador De Túnel.....	96

## INDICE DE GRAFICOS

GRAFICO	Pp.
3.1.4.1.1-1 Secador de Túnel.....	64
3.1.4.1.2-1 Distancias y Temperaturas en el Secador.....	67
3.1.4.1.3-1 Diferencias de temperaturas en cada zona.....	69
3.2.1-1.Contenido de $x = f(t)$ a 40 C (Muestra de la Sierra).....	78
3.2.1-2. Contenido de $x = f(t)$ a 50 C (Muestra de la Sierra).....	78
3.2.1-3 Contenido de $x = f(t)$ a 60 C (Maíz de la Sierra).....	78
3.2.1-4 Contenido de $x = f(t)$ a 40 C (Maíz de la Costa).....	80
3.2.1-5 Contenido de $x = f(t)$ a 50 C (Maíz de la Costa).....	80
3.2.1-6. Contenido de $x = f(t)$ a 60 C (Maíz de la Costa).....	80
3.2.1-7Comparación de las pérdidas de humedad en función del tiempo a diferentes temperaturas de secado del maíz de la sierra.....	81
3.2.1-8 Comparación de las pérdidas de humedad en función del tiempo a diferentes temperaturas de secado del maíz de la costa.....	81
3.2.2-1. Curva de $W = f(x)$ a 40 C (Maíz Sierra).....	83
3.2.2-2 Curva de $W = f(x)$ a 50 C (Maíz Sierra).....	83
3.2.2-3. Curva de $W = f(x)$ a 60 C (Maíz Sierra).....	83
3.2.2-4. Curva de $W = f(x)$ a 40 C (Maíz Costa).....	85
3.2.2-5 Curva de $W = f(x)$ a 50 C (Maíz Sierra).....	85
3.2.2-6 Curva de $W = f(x)$ a 60 C (Maíz Costa).....	85
3.2.2-7 Comparación de la velocidad de secado en función del tiempo a diferentes temperaturas de secado. (Maíz de la Sierra).....	86
3.2.2-8 Comparación de la velocidad de secado en función del tiempo a diferentes temperaturas de secado. (Maíz de la Costa).....	86
3.2.3.2-1. Contenido de $x = f(t)$ Sierra.....	90
3.2.3.2-2. Contenido de $x = f(t)$ Costa.....	92

## INDICE DE FOTOS

<b>FOTOS</b>	<b>Pp.</b>
1. Secador de túnel conectado a la caldera.....	111
2. Secador de túnel a vapor.....	112
3. Secador de túnel.....	113

## **INDICE DE ANEXOS**

<b>ANEXO</b>	<b>Pp.</b>
1.Resultado Del Análisis Bromatológico Del Maíz (Sierra).....	100
2.Resultado Del Análisis Bromatológico Del Maíz Seco (Sierra).....	101
3.Resultado Del Análisis Bromatológico Del Maíz (Costa).....	102
4.Resultado Del Análisis Bromatológico Del Maíz Seco (Costa).....	103
5. Resultados del Análisis Bromatológico del Maíz húmedo de la costa para el secador de túnel.....	104
6. Resultados del Análisis Bromatológico del Maíz húmedo de la sierra para el secador de túnel.....	105
7. Resultados del Análisis Bromatológico del Maíz seco de la costa en el secador de túnel.	106
8. Resultados del Análisis Bromatológico del Maíz seco de la sierra en el secador de túnel.	107
9. Diagrama psicométrico.....	108
10. Carta psicométrica para la ciudad de Ambato.....	109
11. Tabla Propiedades físicas del agua y del vapor de agua a 1 atm.....	110

## INDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN	Pp.
1.2.1.3-1 Cinética de secado.....	12
1.3.2-1 Humedad (en base seca).....	31
1.3.2-2. Humedad (en base Húmeda).....	32
1.3.2-3. Velocidad periodo constante.....	32
1.3.2-4. Velocidad total.....	32
1.3.2-5. Calculo del tiempo de secado.....	33
1.3.2-6 Tiempo de secado en el periodo constante.....	33
1.3.2-7 (a) Tiempo de secado en el periodo decreciente.....	34
1.3.2-7 (b) Tiempo de secado en el periodo decreciente.....	34
1.3.2-8 Humedad de salida del aire.....	35
1.3.2-9 Entalpía del aire a la salida del secadero.....	35
1.3.2-10 Entalpia del solido a la entrada.....	35
1.3.2-11 Temperatura de salida del gas.....	35
1.3.2-12 (a) Temperatura de salida del aire de las diferentes zonas del secadero.....	36
1.3.2-12 (b) Temperatura de salida del aire de las diferentes zonas del secadero.....	36
1.3.2-13 Número de elementos de transmisión de cada una de las zonas.....	36
1.3.2-14 Longitud de la unidad de transmisión.....	36
1.3.2-15 Longitud total del secador de túnel.....	37
1.3.2-16 Cantidad de calor perdido.....	37
1.3.2-17 Calor sensible.....	37
1.3.2-18 Calor Latente.....	37
1.3.2-19 Calor suministrado de vapor saturado.....	37
1.3.2-20 Cantidad de calor para calentar la base seca.....	37
1.3.2-21 Calor Total para calentar el sistema.....	37
1.3.2-22 Calor que deben suministrar los serpentines.....	37

	Pp.
1.3.2-23 Densidad del aire.....	38
1.3.2-24 Caudal del aire.....	38
2.3.1-1 Determinación de cenizas.....	43
2.3.2-1 Determinación de humedad.....	44
2.3.3-1 Determinación de proteína.....	46
2.3.4-1 Determinación de grasa.....	48
2.3.4-1 Determinación de Extracto Libre de Nitrógeno.....	49
2.3.5-1 Determinación de fibra.....	50

## RESUMEN

El objetivo de esta investigación es Diseñar y Construir un secador de túnel para satisfacer las necesidades de secado y deshidratación de granos del Laboratorio de Química Industrial de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

El dimensionamiento del equipo se realizó a través de cálculos de ingeniería de datos experimentales y variables de proceso obtenidas en los ensayos de laboratorio.

El equipo está construido de perfil estructural rectangular, tiene varios componentes: tolvas, dos ventiladores, un sensor digital que controlara la temperatura, de acero inoxidable AISI 304 y 430 para la cámara de secado y de aireación, banda transportadora de poliestireno, 4 rodillos acoplados para su movimiento con un reductor de velocidad y la innovación de la utilización de vapor producido por la caldera como fuente de calor por medio de los serpentines.

Tiene características como: 25 Kg/h de capacidad de carga, 3,00 m de largo, 0,50 m de ancho y altura, banda transportadora de 6 m de longitud y 0,28 m de ancho en cual es arrastrado por un reductor de velocidad a  $0,11 \frac{m}{s}$ . El vapor a suministrar en los serpentines es de  $0,081 \frac{kg}{h}$  a una presión de 10 psi y un calor latente de  $637,05 \frac{Kcal}{Kg}$ .

El secado del maíz se lo ejecuto en media hora a 60 °C con una humedad inicial de 30,5% y llegándose a una humedad final de 13,7 % en el de la costa y de 31,2% a 14,4% el de la sierra, con una eficiencia del 84,33 %.

## SUMMARY

The objective of this investigation is Designing and Constructing a tunnel dryer to meet the drying and dehydration needs of the grains of the Industrial Chemistry Lab of the Science Faculty of the Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

The equipment measurements were carried out through the engineering calculi of the experimental data and process variables obtained in the lab trials.

The equipment is made up of rectangular structural profile and various components: hoppers, two fans, a digital sensor to control temperature using stainless steel AISI 304 and 430 for the drying and aeration chamber, conveying band made up of polyesthyrene, 4 rollers matched for movement with speed reductor and the innovation of steam use produced by a boiler as a heat source through coils.

Its features are: 25 Kg load capacity, 3,00 m long, 0,50 m wide and high, 6 m long and 0,28 m wide delivery band to move the grain through a speed reductor at  $0,11 \frac{m}{s}$ . The steam to be provided in the coils is of  $0,081 \frac{kg}{h}$  at 10 psi pressure and a latent heat of  $637,05 \frac{Kcal}{Kg}$ .

The corn drying was carried out in half an hour at 60 C with an initial moisture of 30,5% and a final moisture of 13,7 % in the coast region and 31,2% to 14,4% in the sierra, with 84,33 % efficiency.

## INTRODUCCIÓN

El maíz es hoy por hoy el cereal más importante y significativo en la nutrición después del trigo, el mayor inconveniente de la cosecha de productos húmedos es la necesidad de reducir su contenido de humedad a niveles seguros para su almacenamiento, siendo un proceso que exige un gran consumo de energía.

El secado de los alimentos es uno de los métodos más antiguos que ha utilizado el hombre para conservar sus alimentos. Se empleaba la energía solar que calentaba el ambiente, para secar sus alimentos al aire libre. Actualmente el secado de frutas, hortalizas y granos es un proceso industrial muy importante en la preservación de la calidad de los productos agrícolas.

Este trabajo pretende darle un mayor valor agregado al maíz mediante un proceso de deshidratación que ayudará a conservar sus propiedades físico químicas en función del tiempo otorgándole una mayor durabilidad, así como facilitar el manejo posterior del producto y permitiendo el empleo satisfactorio del mismo.

Teniendo en cuenta lo anterior, esta investigación se basa en ensayos realizados en un secador estacionario lo cual nos permitió obtener datos que se utilizaran en el diseño y construcción de un secador de túnel tipo continuo, su modelación se basa en ecuaciones matemáticas tomadas para este tipo de estudios conjuntamente con los resultados que se han obtenido en laboratorio, además de los respectivos análisis que se hacen al maíz.

El equipo se destinará para los laboratorios de la Facultad de Ciencias y a un futuro mediano se lo podría destinar como parte de una Planta Piloto de Producción, paralelamente este equipo será de gran importancia académica pues en él se podrán desarrollar prácticas como son transferencia de calor, transferencia de masa y también se podrán realizar estudios bromatológicos, entre otros.

## ANTECEDENTES

La tecnología del secado ha sufrido nuevas transformaciones de calidad y velocidad de producción al inicio de la revolución industrial (1790), con el fin de satisfacer nuevos requerimientos compatibles con un mejor uso de la energía y una reducción de la contaminación ambiental. En este aspecto, la introducción de nuevas tecnologías y el uso de diferentes modos de secado han significado el reemplazo gradual del secado al ambiente. En este sentido, el uso de equipos de secado ha mostrado ser una excelente opción, indicando la importancia de este método de secado.

Por su extensa área de producción en América del Norte la calidad de los granos va depender de su pos-cosecha así como las condiciones de almacenaje es por esta razón surge el empleo de equipos de secado que ayuden de una manera eficiente a eliminar ciertas cantidades de agua logrando conservar las propiedades físico químicas del grano. Con el pasar del tiempo se van renovando estas tecnologías y logrando obtener mejores secadores con características que benefician a la calidad del grano del cual se requiere extraer la humedad para prolongar sus condiciones óptimas.

Debido a la calidad del grano y a las buenas condiciones climáticas y de suelo, el cultivo de maíz duro en el Ecuador, ha logrado un importante desarrollo ligado al crecimiento de la industria avícola principal demandante de este producto para la elaboración de alimentos balanceados. En la actualidad 57 empresas fabricantes de alimentos balanceados, afiliadas a AFABA, cubren el 98% de la producción, entre ellas, PRONACA, Grupo ORO, Grupo Anhalzer, AVESCA y POFASA, producen el 80% de los balanceados en el país utilizando diferentes secaderos con aire caliente. Este desarrollo ha sido paralelo al crecimiento alcanzado por la agroindustria de alimentos balanceados, avícolas y en el diseño de secadores en los últimos años.

El cultivo del maíz en la Provincia de Chimborazo especialmente en Riobamba y sus alrededores ha registrado un significativo crecimiento, debido principalmente a la ampliación del área cultivada, pues la productividad se ha mantenido anteriormente en niveles bajos. Bajo el enfoque de cadenas productivas, del maíz así como otros granos comprende a los productores agrícolas, a las industrias locales fabricantes de alimentos balanceados y harinas y al sector avícola mejorar tecnológicamente en el diseño de secadores, molienda, tamizado, cultivo, etc.

En la actualidad no existe en la Escuela de Ingeniería Química un secador continuo de túnel que pueda ser aprovechado con fines didácticos respectivos solamente se encuentran un secador rotatorio “Diseño y Construcción de un Deshidratador (Equipo Piloto) para Sangre de Bovinos” por los Srs. Rosario Jara y Jorge Orozco“ y 2 secadores de bandejas que son sistemas estacionarios como es el primer caso de la tesis titulada “Diseño y construcción de un Secador de bandejas para germen de trigo” por los Srs. Juan Carlos Gómez Tapia y Danilo Rafael León Peñafiel egresados de la facultad de ciencias de la Escuela de Ingeniería Química de la E.S.P.O.CH. y en el segundo caso el “Diseño y Construcción de un Secador de Bandejas para Pulpa de Fruta “realizado por el Tnlg. Jorge Magi Estudiante de SEMIQ realizadas previo a la obtención del título de Ingeniero Químico

## JUSTIFICACION

Las Industrias de Proceso Químico enfrentan cada vez mayores exigencias, en cuanto a ahorro de energía, conservación de recursos valiosos, mejoramiento en la productividad y desempeño ambiental. En tiempos en que la competencia puede encontrarse al otro lado del mundo, los laboratorios de operaciones unitarias se están inclinando hacia tecnologías de procesamiento avanzado y automatización para estar a la vanguardia y permanencia de ellos.

La calidad de los granos luego de la etapa de cosecha, es un tema de sumo interés para toda la cadena de comercialización agraria. Pero más interesante es resguardar las condiciones físico-químicas de los granos, ya que van a determinar la calidad del producto final.

El secado es una de las Operaciones Unitarias más relevantes en la industria química que conlleva una alta utilización de recursos energéticos. Por este motivo esta operación es de continuo interés en esta investigación, tanto en el empleo de métodos de secado con una mayor eficacia, como en sistemas que supongan una reducción en el consumo energético. La eliminación de agua de los componentes sólidos es un objetivo prioritario en la industria para obtener el producto con mayor pureza y, en definitiva, incrementar la calidad del producto final, junto con el aumento de su tiempo de conservación disminuyendo los costes asociados de manejo, transporte y almacenamiento.

Como futuros profesionales de la Escuela de Ingeniería Química de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo con conocimientos sobre la importancia de los diversos procesos industriales y manuales, además del incremento de precios en los combustibles en los últimos años ha originado el interés en el aprovechamiento de nuevas forma de energía para el secado de productos agropecuarios

sin alterar sus características empleando menos mano de obra, por tal razón la necesidad de realizar la presente investigación buscando la manera de aplicar los conceptos para la realización de diseños básicos de secaderos convectivos empleando aire caliente.

Adicionalmente, abordamos los principios y aplicaciones de otros métodos de secado que se emplean a nivel industrial y que son objeto de investigación en la actualidad para su uso en la construcción de un secador de túnel con las debidas condiciones técnicas, en el secado de maíz.

# OBJETIVOS

## GENERAL

- ✚ Diseñar y construir un secador de túnel para la deshidratación de maíz

## ESPECIFICOS

- ✚ Caracterizar la materia prima (maíz) antes y después del proceso.
- ✚ Determinar las diferentes variables del proceso de secado.
- ✚ Efectuar los cálculos de ingeniería para el diseño de un secador de túnel y realizar el respectivo dimensionamiento (utilizando los datos de las pruebas de laboratorio).
- ✚ Controlar el funcionamiento del equipo.

# **CAPITULO I**

## **MARCO TEORICO**

# CAPITULO I

## 1. MARCO TEORICO

### 1.1 MAÍZ, *Zea Mays*



**Fig. 1.1-1 Maíz**

“El maíz es la planta más domesticada y evolucionada del reino vegetal. El origen y la evolución del maíz han sido un misterio porque el maíz ha llegado a nosotros altamente evolucionado, sin conocerse formas intermedias. A pesar de extensivas búsquedas de las formas silvestres de esta planta, no ha sido encontrada alguna.

Mientras que los cereales del Viejo Mundo tienen variedades silvestres que se preservan en la naturaleza, el maíz es conocido solamente por la especie cultivada (*Zea mays*). Desde el siglo pasado diversas teorías han sido expuestas para explicar el origen y la evolución del maíz, la más popular de ellas acepta al teocintle de Chalco (*Zea mays* ssp mexicana) como el antecesor directo del maíz.

El maíz pertenece a la familia de las gramíneas. La planta alcanza de medio metro a seis metros de alto. Las hojas forman una larga vaina íntimamente arrollada al tallo y un limbo más ancho, alargado y flexuoso.”<sup>1</sup>

### 1.1.1 HISTORIA

“El maíz es un cereal nativo de América, cuyo centro original de domesticación fue Mesoamérica, desde donde se difundió hacia todo el continente. No hay un consenso sobre cuándo se empezó a domesticar el maíz, pero los indígenas mexicanos dicen que esta planta representa, para ellos, diez mil años de cultura (Riveiro, 2004). El nombre maíz, con que se lo conoce en el mundo de habla española, proviene de mahís, una palabra del idioma taíno, que hablaban pueblos indígenas de Cuba, donde los europeos tuvieron su primer encuentro con este cultivo. La región andina es uno de los centros de origen de la agricultura. Diversas sociedades andinas crearon los sistemas productivos, adaptados a distintos pisos ecológicos y domesticaron una gran cantidad de cultivos que fueron la base de su dieta. Aunque en Sud América no se domesticó el maíz, éste cultivo fue introducido tempranamente en el mundo andino y desde entonces ha sido mejorado intensamente”<sup>2</sup>.

### 1.1.2 CLASIFICACION TAXONOMICA

**Nombre común o vulgar:** “Maíz dulce, Choclo, Elote

**Nombre científico o latino:** *Zea mays* var. *Saccharata*

**Familia:** Poáceas (Gramíneas).

---

<sup>1</sup>Maíz, [http:// www.monografias.com](http://www.monografias.com), el maíz, Hm

<sup>2</sup>Historia del Maíz, [http:// www.produccion agrícola del maíz](http://www.produccion-agricola.com), historia y origen

### 1.1.2.1 TIPOS DE MAIZ

**1.1.2.1.1 MAIZ DURO.-** -“Los granos de este tipo de maíz son redondos, duros y suaves al tacto. Este germina mejor que otros tipos de maíz, particularmente en suelos húmedos y fríos.

**1.1.2.1.2 MAIZ DENTADO.-** es el tipo de maíz cultivado más comúnmente para grano y ensilaje. El endosperma del maíz dentado tiene más almidón blando que los tipos duros y el almidón duro está limitado solo a los lados del grano.

**1.1.2.1.3 MAIZ HARINOSO.-** El endospermo de los maíces harinosos está compuesto casi exclusivamente de un almidón muy blando, que se raya fácilmente con la uña aún cuando no esté maduro.

**1.1.2.1.4 MAIZ REVENTON.-** Es una forma extrema de maíz duro con endospermo duro que ocupa la mayor parte del grano y una pequeña cantidad de almidón blando en la parte basal del mismo.”<sup>3</sup>

### 1.1.2.2 COMPOSICION QUIMICA DEL MAIZ

**TABLA 1.1.2.2 -1**

#### **Composición Química y Proteica del Maíz**

<b>Principios inmediatos</b>	<b>%</b>	<b>Principios inmediatos</b>	<b>%</b>
Agua	12,3	Cloro	0,028
Hidratos de carbono	70,7	Manganeso	0,0007
Gram	3	Aluminio	0,0002
Proteínas	8,5	Yodo	0,00001
Celulosa	2,1	Cobalto	0,00001

<sup>3</sup> Tipos de Maíz. [http:// www.Consultas/MAIZ/Choclo.Tipos de maiz.com.htm](http://www.Consultas/MAIZ/Choclo.Tipos%20de%20maiz.com.htm)

Cenizas	3,4	Cobre	0,00044
<b>Sales minerales</b>	<b>%</b>	Cinc	0,000002
Potasio	0,357	Flúor	0,000062
Sodio	0,027	<b>Vitaminas</b>	
Calcio	0,021	Vitamina A	750 U.I.
Magnesio	0,157	Vitamina K	500 U.I.
Hierro	0,007	Vitamina B1	182 microgramos
Fósforo	0,296	Vitamina B2	71 microgramos
Azufre	0,080	Vitamina PP	550 microgramos

Nota al pie. La dosis diaria recomendada es la fijada por la FDA para adultos  
Fuente: USDA Nutrient database

### 1.1.2.3 PROPIEDADES

“El Maíz se trata de un alimento muy energético y nutritivo, rico en vitamina A. Se le atribuye propiedades analgésicas, antihemorrágicas, hipercolesterolemiantes, diuréticas, hipoglucemiantes y sedantes.

- Su alto contenido en **hidratos de carbono** de fácil digestión, lo convierten en un alimento ideal para los niños y los deportistas.
- Su aporte en fibra, favorece la digestión y reduce el **colesterol**, Nos ofrece el **antioxidante Betacaroteno**, muy recomendado en la prevención del **cáncer**.

También nos ofrece vitaminas del grupo B, específicamente B1, B3 y B9, las cuales actúan ante el **sistema nervioso**.

#### **1.1.2.4 CONDICIONES DEL CULTIVO DEL MAIZ**

##### **1.1.2.4.1 SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS**

El maíz es uno de los productos agrícolas más importantes de la economía nacional, tanto por su elevada incidencia social, ya que casi las tres cuartas partes de la producción total proviene de unidades familiares campesinas, la mayoría de ellas de economías de subsistencia, como también por constituir la principal materia prima para la elaboración de alimentos concentrados (balanceados) destinados a la industria animal, muy en particular, a la avicultura comercial, que es una de las actividades más dinámicas del sector agropecuario.

##### **1.1.2.4.2 EXIGENCIA DE CLIMA**

El maíz requiere una temperatura de 25 a 30 C. Para que se produzca la germinación en la semilla la temperatura debe situarse entre los 15 a 20 C. El maíz llega a soportar temperaturas mínimas de hasta 8 C y a partir del 30 C pueden aparecer problemas serios debido a mala absorción de nutrientes minerales y agua.

##### **1.1.2.4.3 EXIGENCIAS DEL SUELO**

El maíz se adapta muy bien a todos tipos de suelo pero suelos con pH entre 6 a 7 son a los que mejor se adaptan. También requieren suelos profundos, ricos en materia orgánica, con buena circulación del drenaje para no producir encharques que originen asfixia radicular.

##### **1.1.2.4.4 SEMILLAS**

No se puede mencionar la variedad más difundida o el híbrido más utilizado, este factor es de relativa importancia ya que el uso de estos depende de algunos aspectos: la zona,

el método del cultivo, el manejo y las labores, el tipo de inversión y el tipo de agricultor que vaya a sembrar.”<sup>4</sup>

### **1.1.3 USOS DEL MAIZ**

#### **1.1.3.1 BIOPRODUCTOS**

“Los bioproductos, incluyen una gran variedad de productos refinados a partir de maíz, y reemplazan a productos hechos a partir de materia prima distinta o a través de síntesis química. El más conocido es el etanol, un aditivo de motores obtenido a partir de la fermentación del maíz. El etanol es hecho de la fermentación de azúcares del almidón del maíz. Muchas refinerías de maíz producen etanol y otros derivados del maíz como almidones, edulcorantes, aceite y piensos. En varios países sudamericanos, el etanol como combustible juega un papel importante en el balance de pagos de ese país, pues evita importaciones de petróleo por unos dos mil millones de dólares. La dextrosa originada a partir de maíz fermentado ha creado un grupo nuevo de bioproductos: ácidos orgánicos, amino ácido, vitaminas y aditivos alimenticios.

#### **1.1.3.2 ALIMENTOS BALANCEADOS**

El maíz como grano interviene, aproximadamente, en el 50% en las raciones. Además subproductos de ciertas industrias del maíz también intervienen como ingredientes. La calidad requerida por esta industria varía según el tipo de alimento a elaborar. Los fabricantes de alimentos avícolas requieren maíz de tipo colorado por su alto contenido de pigmentos lo cual evita o reduce el agregado de pigmentos sintéticos.

---

<sup>4</sup> CIRILO, A. y ANDRADE, F. 1998. Maíz. En: Calidad de Productos Agrícolas: Bases eco fisiológicas, genéticas y de manejo agronómico. 2a. ed. México D.F., 1998. pp. 76-136.

### **1.1.3.3 PRODUCTOS**

#### **1.1.3.3.1 ALMIDONES NATIVOS Y MODIFICADOS**

El almidón se modifica químicamente para alterar sus propiedades funcionales y así ampliar su campo de aplicaciones. Estas modificaciones son: adelgazamiento ácido, oxidación, “cross-linking”, derivatización, sustitución, entre otras. Los almidones nativos y modificados se usan en la industria de papel y cartón, textil, farmacéutica, alimenticia y otras, por su disponibilidad a bajo costo y porque puede ser convertido en una variedad de productos por medios químicos y bioquímicos.

#### **1.1.3.3.2 EDULCORANTES**

Los principales edulcorantes incluyen el jarabe de dextrosa de maíz y la fructosa. El jarabe de maíz previene la formación de cristales en productos congelados, y permite que productos como salchichas, alimentos enlatados y en otros alimentos industriales se mezclen los distintos elementos.

#### **1.1.3.3.3 FRUCTOSA**

Desde el punto de vista cuantitativo la fructosa es el producto derivado del almidón de mayor importancia en nuestro país. Se produce como jarabe, a dos niveles de concentración (42 y 55%), por hidrólisis del almidón y posterior conversión enzimática. El jarabe de 55% se usa principalmente en bebidas sin alcohol y aperitivos. El de 42% se emplea en bebidas gaseosas, alcohólicas, jugos, etc.

#### **1.1.3.4 COPRODUCTOS**

Del germen de maíz se extrae un aceite que es reconocido como uno de los de mejor calidad, superior a la mayoría de los obtenidos de las oleaginosas. Como residuo queda

una torta, rica en proteína y otros nutrientes, que se usa en alimentación animal. Se emplea principalmente en la alimentación de aves.”<sup>5</sup>.

#### **1.1.4 INFORMACIÓN NUTRICIONAL**

“El maíz posee gran riqueza en hidratos de carbono que le proporcionan su abundante almidón. Como consecuencia el maíz es un alimento muy saciante capaz de calmar el hambre durante mucho rato sin tener que recurrir a otros alimentos más ricos en grasas pero menos saludables. El maíz presenta una riqueza en fibra soluble por lo que se mantiene durante más tiempo en el aparato digestivo, eliminando el estado de ansiedad ocasionado por el hambre. Hay que destacar la importancia de la fibra en el control del colesterol, en la prevención del estreñimiento o en la protección de cierto tipo de cánceres. El maíz es una planta con más riqueza en Vitamina B1 o tiamina. Es necesaria para que el organismo transforme los alimentos en energía y para que el cerebro pueda absorber glucosa, necesaria para su buen funcionamiento. La falta de esta vitamina produce depresión, cansancio, estrés, falta de vigor y poca capacidad mental. El maíz es un alimento muy energético y nutritivo, rico en vitamina A. Se le atribuye propiedades analgésicas, antihemorrágicas, hipercolesterolemiantes, diuréticas, hipoglucemiantes y sedantes”<sup>6</sup>.

---

<sup>5</sup> Productos que se obtienen del Maíz, [http://www.consultas/MAIZ/Comportamiento de Algunas Propiedades Físico-Químicas, condiciones de cultivo, composición, tipos de Maíz-Matarratón.mht](http://www.consultas/MAIZ/Comportamiento%20de%20Algunas%20Propiedades%20F%C3%ADsico-Qu%C3%ADmicas,%20condiciones%20de%20cultivo,%20composici%C3%B3n,%20tipos%20de%20Ma%C3%ADz-Matarrat%C3%B3n.mht)

<sup>6</sup> Propiedades del Maíz, [http://www.Sika.Maiz.Composicion](http://www.Sika.Maiz.Composicion%20nutricional,%20Calidad%20de%20producto,%20propiedades%20nutricionales.com.ec) nutricional, Calidad de producto, propiedades nutricionales.com.ec

## 1.2 SECADO

“El exceso de humedad contenida por los materiales puede eliminarse por métodos mecánicos (sedimentación, filtración, centrifugación). Sin embargo, la eliminación más completa de la humedad se obtiene por evaporación y eliminación de los vapores formados, es decir, mediante el secado térmico, ya sea empleando una corriente gaseosa o sin la ayuda del gas para extraer el vapor (Knoule, 1968).

La operación de secado es una operación de transferencia de masa de contacto gas-sólido, donde la humedad contenida en el sólido se transfiere por evaporación hacia la fase gaseosa, en base a la diferencia entre la presión de vapor ejercida por el sólido húmedo y la presión parcial de vapor de la corriente gaseosa. Cuando estas dos presiones se igualan, se dice que el sólido y el gas están en equilibrio y el proceso de secado cesa.

### 1.2.1 DEFINICION

- El proceso de secado consiste en la remoción de humedad de una sustancia, involucrando los fenómenos de transferencia de calor y masa, en forma simultánea. La transferencia de masa ocurre cuando el sólido pierde humedad y la transferencia de calor se verifica cuando el medio ambiente entrega calor al sólido el que se emplea en la evaporación del agua que se va incorporando al aire a medida que transcurre el proceso de secado. Una de las formas usuales de secado consiste en hacer circular una corriente de aire caliente por sobre el material a secar.”<sup>7</sup>
- “El secado es la operación unitaria de separación mediante la cual se remueve agua o algún otro compuesto volátil por evaporación, de la que se obtiene un producto sólido, y se lleva a cabo por diferentes razones relacionadas con el proceso, o bien

---

<sup>7</sup> Secado, <http://www.armfield.com>

para preservar o prolongar la vida útil como es el caso de algunos productos biológicos, entre ellos los alimentos. Durante el secado, se lleva a cabo fenómenos de transferencia de masa, calor y momento, interrelacionados entre si y que dependen de las propiedades estructurales o moleculares del material a secar”<sup>8</sup>.

- “El secado constituye uno de los métodos que permite separar un líquido de un sólido. En general, entendemos por secado la separación de la humedad de los sólidos (o de los líquidos) por evaporación en una corriente gaseosa; en consecuencia, en cualquier proceso de secado hemos de tener en cuenta los mecanismos de transmisión de calor y transporte de materia.”<sup>9</sup>.

### **1.2.1.1 OBJETIVOS DEL SECADO**

“El objetivo primordial del proceso de deshidratación es reducir el contenido de humedad del producto a un nivel que limite el crecimiento microbiano y las reacciones químicas.

- ✚ Evita el deterioro de los granos por hongos en época de invierno
- ✚ El grano obtiene características óptimas para su almacenaje
- ✚ Se mantiene la calidad del grano o producto para su eventual comercialización

### **1.2.1.2 FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE SECADO**

#### **a. Temperatura del aire**

En la práctica del secado, la elección de la temperatura se lleva a cabo tomando en consideración la especie que se vaya a someter al proceso. Existen diversos niveles de

---

<sup>8</sup> Definición de Secado, <http://www.virtual.unal.edu.com>

<sup>9</sup> Objetivos del Secado, <http://www.scielo.cl>

temperatura que se mantienen durante el proceso técnico de secado. Durante el proceso de secado, se origina un gradiente de temperatura con respecto al espesor del material, mismo que tiende a disminuir conforme se reduce el contenido de humedad.

#### **b. Humedad relativa del aire**

La humedad del aire se define como la razón de la presión de vapor de agua presente en ese momento, con respecto a la presión de saturación de vapor de agua a la misma temperatura. Generalmente, se expresa en porcentaje (%), a medida que se incrementa la temperatura del aire aumenta su capacidad de absorción de humedad y viceversa.

#### **c) Velocidad del aire**

La velocidad del aire dentro del secador tiene como funciones principales, en primer lugar transmitir la energía requerida para calentar el agua contenida en el material facilitando su evaporación, y en segundo lugar, transportar la humedad saliente del material. La capa límite que existe entre el material a secar y el aire juega un papel importante en el secado. La forma de la corriente del aire es importante para la velocidad, una corriente turbulenta es mucho más eficaz que una laminar, pues la primera afecta en mayor forma la capa límite y el aire. Durante las primeras etapas del secado, la velocidad del aire desempeña un papel muy importante, sobre todo cuando el material contiene un alto contenido de humedad.

A mayor velocidad, mayor será la tasa de evaporación disminuye y el tiempo de secado aumenta. Por tal razón, para asegurar un secado rápido y uniforme es indispensable una circulación del aire a regular.”<sup>10</sup>

---

<sup>10</sup> Factores en el Proceso de Secado, [www.Aspectos teóricos de la operación de secado y su aplicación en productos sólidos.htm](http://www.Aspectos teóricos de la operación de secado y su aplicación en productos sólidos.htm)

### 1.2.1.3 CINÉTICA DEL SECADO

“Se define la velocidad de secado por la pérdida de humedad del sólido húmedo en la unidad de tiempo, y más exactamente por el cociente diferencial  $(-dX/d\theta)$  operando en condiciones constantes de secado, es decir con aire cuyas condiciones (temperatura, presión, humedad y velocidad) permanecen constantes con el tiempo. Analíticamente, la velocidad de secado se refiere a la unidad de área de superficie de secado, de acuerdo con la ecuación:

$$W = \frac{S}{A} = \left( -\frac{dx}{d\theta} \right) \quad \text{Ec: 1.2.1.3-1 Cinética de secado}$$

Siendo:

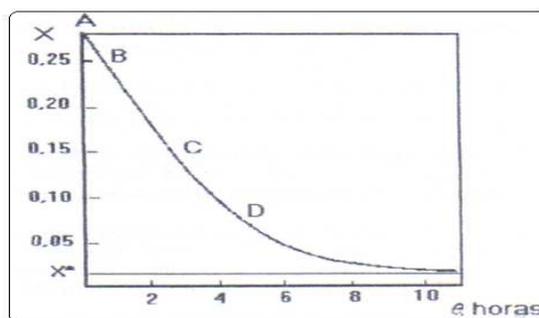
S = peso de sólido seco

A = área de superficie expuesta

W = velocidad de secado.

### 1.2.2 CURVAS DE CINÉTICA DE SECADO

A partir de las curvas de cinética de secado ( $x$  vs  $t$ ,  $dx/dt$  vs  $x$ ), que deben ser obtenidas a nivel de laboratorio, puede tenerse una idea del tiempo de secado, del consumo de energía, del mecanismo de migración de humedad, de las condiciones predominantes en la transferencia de calor y masa y de la influencia que tienen en la velocidad de secado las variables del proceso tales como: temperatura, humedad de entrada, velocidad del aire, etc. Con los datos obtenidos durante la prueba de secado o sea de la variación de la humedad con el tiempo, puede hacerse un gráfico de contenido de humedad en función del tiempo (Treybal, 1965).



**Fig. 1.2.2-1 Datos humedad libre en función del tiempo**

**Fase B;** estabilización, en el cual las condiciones de la superficie del sólido se equilibran con las del aire de secado. Generalmente es una proporción despreciable del total de secado.

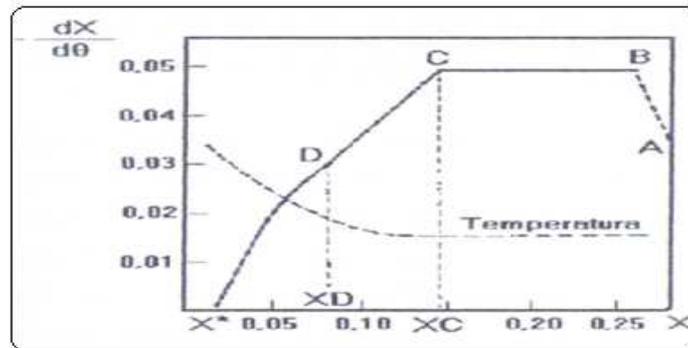
**Fase C;** periodo de velocidad constante, Durante el mismo la superficie del sólido se mantiene saturada de agua líquida debido a que el movimiento del agua desde el interior del sólido hasta la superficie ocurre a la misma velocidad que la de la evaporación en la superficie.

**Fase D;** periodo de velocidad decreciente, la superficie del sólido comienza a desecarse porque el agua aun se halla en su interior encuentra dificultades para llegar a la superficie del sólido. La temperatura del sólido comienza hasta aproximarse a la temperatura aire de secado cuando el producto se ha desecado totalmente. Esto es lo que determina que la temperatura del aire deba moderarse para evitar que la temperatura del producto supere la temperatura crítica.

### 1.2.2.1 CURVAS DE RÉGIMEN DE SECADO

Se puede obtener abundante información si se convierten los datos a regímenes de secado, y se lleva a un gráfico en función del contenido de humedad. Generalmente se pueden apreciar dos partes notorias de la curva de régimen de secado: un período de

régimen constante y uno de caída de régimen, aunque teóricamente existen o se pueden apreciar tres etapas del proceso o períodos de secado.



**Fig. 1.2.2.1-1 Curva de velocidad de secado en función de la humedad libre**

**Etapa A-B:** Es una etapa de calentamiento inicial del sólido normalmente de poca duración en la cual la evaporación no es significativa por su intensidad ni por su cantidad. En esta etapa el sólido se calienta desde la temperatura ambiente hasta que se alcance el equilibrio entre el enfriamiento por evaporación y la absorción de calor de los gases. Este equilibrio se alcanza a la temperatura de bulbo húmedo del gas.

**Etapa B-C:** Es el llamado primer período de secado o período de velocidad de secado constante; donde se evapora la humedad libre o no ligada del material y predominan las condiciones externas. La velocidad de secado se mantiene constante si el gas tiene un estado estacionario y en general depende solo de las propiedades y velocidad del mismo. Durante este período la temperatura del sólido se mantiene igual a la de bulbo húmedo del gas, ya que se mantiene el equilibrio alcanzado al final de la etapa de calentamiento.

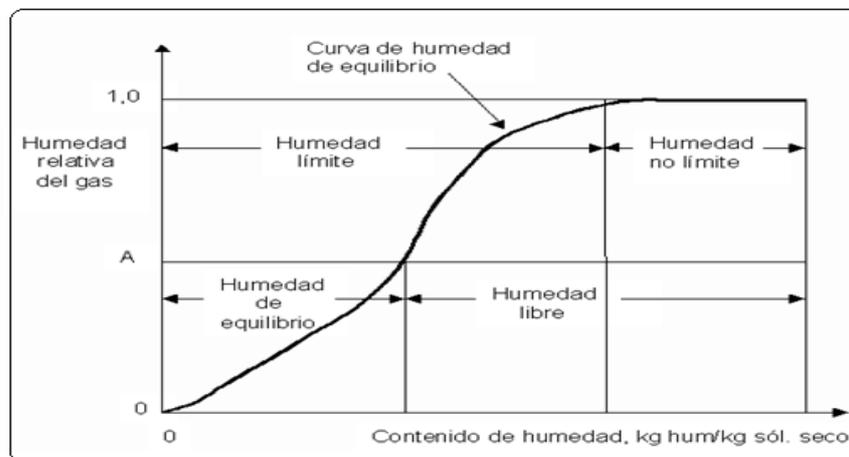
**Etapa C-E:** Es el segundo período de secado o período de velocidad de secado decreciente; donde se evapora la humedad ligada del material y predominan las condiciones internas o las características internas y externas simultáneamente. Durante el período, la temperatura del material sobrepasa la de bulbo húmedo debido a que el

descenso de la velocidad de secado rompe el equilibrio térmico que mantiene estable la temperatura y una parte considerable del calor se emplea en un calentamiento del sólido”<sup>11</sup>.

### 1.2.2.2 CLASIFICACIÓN DE LA OPERACIÓN DE SECADO

“De modo general se pueden clasificar las operaciones de secado en continuas y discontinuas. En las operaciones continuas pasan continuamente a través del equipo tanto la sustancia a secar como el gas.

La operación discontinua en la práctica se refiere generalmente a un proceso semicontinuo, en el que se expone una cierta cantidad de sustancia a secar a una corriente de gas que fluye continuamente en la que se evapora la humedad (Treybal, 1965).



**Fig.1.2.2.2-1 Diferentes tipos de humedades**

Los equipos utilizados para secar se pueden clasificar también de acuerdo a cualquiera de estas categorías:

- ✓ Métodos de operación: Continuos ó Discontinuos

<sup>11</sup> CHRISTIE, J, GEANKOPLIS. Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias: Curvas de Secado. México: Continental S.A, 1982. Pp.452, 453.

- ✓ Métodos de propiciar el calor necesario para la evaporación de la humedad: En secaderos directos e indirectos
- ✓ Naturaleza de la sustancia a secar: Puede ser la sustancia un sólido rígido como la madera, un material flexible como el papel o la tela, un sólido granular tal como la masa de cristales, una pasta espesa o delgada o una solución.

### 1.2.2.3 TIPOS DE SECADORES

De acuerdo a la clasificación de la operación de secado encontramos los siguientes tipos de equipos (Treybal, 1965):

**TABLA 1.2.2.3-1**  
**Tipos de Secadores**

<b>Secaderos de calentamiento directo</b>		<b>Secaderos de calentamiento indirecto</b>	
<b>Equipos discontinuos</b>	<b>Equipos continuos</b>	<b>Equipos discontinuos</b>	<b>Equipos continuos</b>
.Secaderos de bandejas con corriente de aire.	.Secaderos de túnel. .Secaderos neumáticos. .Secaderos ciclónicos.	.Secaderos de bandejas a vacío. .Secaderos de bandejas a presión atmosférica.	.Secaderos de tambor. .Secaderos con circulación a través del lecho <sup>12</sup>
.Secaderos de cama fluidizada. .Secaderos con circulación a través del lecho sólido.	.Secaderos de cama chorreada. .Secaderos de cama vibratoria. .Secadero de cama fluidizada. .Secaderos sprays. .Secaderos de tipo turbina. .Secaderos rotatorios.	.Secaderos por congelación.	

<sup>12</sup> CHRISTIE, J, GEANKOPLIS. Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias: Secadores. México: Continental S.A de C.U, 1982. Pp.454-455.

### 1.2.3 SELECCION DEL SECADOR

“El diseño y la elección del secador se deciden por las características de los flujos húmedo y seco:

- ✚ **Selección inicial de los secadores.-** Se deben seleccionar los secadores que sean más adecuados para manejar el material mojado y el producto seco que se adapten a la continuidad del proceso como un todo y generen un producto con las propiedades físicas adecuadas.
- ✚ **Comparación inicial de los secadores.-** Los secadores seleccionados de esta manera se evaluarán en forma aproximada, basándose en los datos de coste y funcionamiento. Partiendo de esta evaluación, los secadores que parezcan ser menos económicos o poco apropiados desde el punto de vista de su funcionamiento no se deberán someter a consideraciones posteriores.
- ✚ **Pruebas de secado.-** Dichas pruebas determinarán las condiciones óptimas de operación y las características del producto, y constituirán la base para obtener presupuestos rigurosos de los distribuidores de este tipo de equipo.
- ✚ **Selección final del equipo.-** Una vez que se hayan recopilado los resultados de las pruebas de secado y las cotizaciones sobre los equipos, se hará la selección final del secador más apropiado para el caso”<sup>13</sup>.

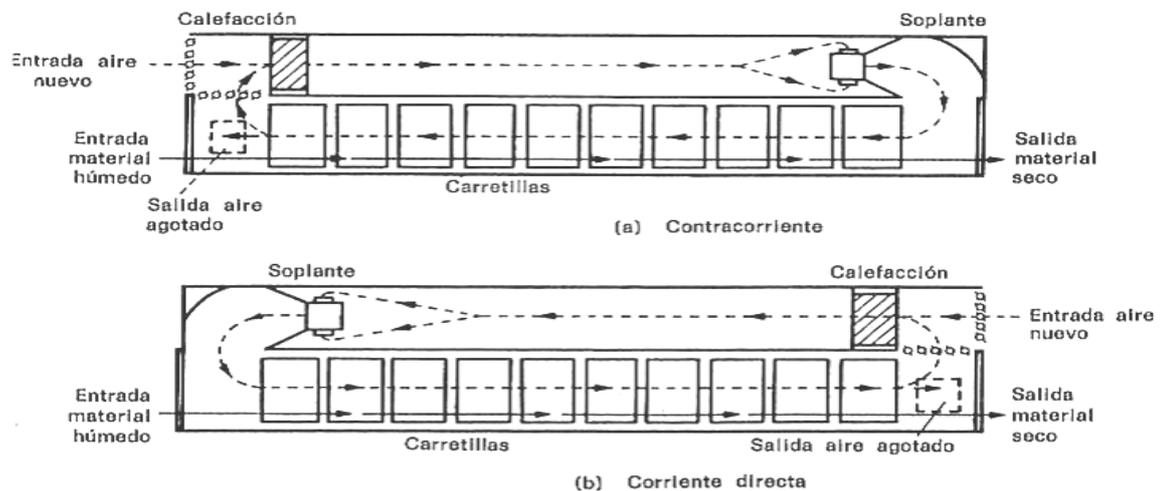
---

<sup>13</sup> CRUZ VIERA Luis. Introducción a la Ingeniería Química. Cuba: Pueblo y Educación, 1990. Pp. 60-67

## 1.2.4 SECADOR CONTINUO DE TÚNEL

“Los secadores de túnel son muy comunes en la deshidratación de alimentos. Pueden configurarse en paralelo y contra corriente siendo la primera la más suave para el producto mientras que, en la segunda, el contacto del aire más caliente con el producto seco propicia el endurecimiento de su superficie.

Pueden alcanzar hasta 24m de longitud y consisten en una cabina en la que hay un mecanismo de rieles que mueven carros con producto a lo largo de ella. El proceso es entonces semi continuo.



**Fig. 1.2.4-1 Secador de túnel**

Este tipo de secador está formado por un túnel, por el cual pasan bandejas o carretillas con el material a secar, dentro del túnel, se hace fluir, generalmente a contracorriente, aire caliente, el cual sirve para secar los sólidos.

Este tipo de secador es típico de la industria alimenticia. Actualmente existen algunos modelos que reemplazan a los vagones por una banda transportadora sin fin que hace el mismo recorrido del material a través del túnel de secado. En este tipo de secadores la humedad y temperatura cambian continuamente, como consecuencia el periodo de velocidad constante del secado de los materiales no aparece como constante porque

decrece a medida que la temperatura disminuye, por tal razón las curvas de velocidad de secado no se aplican a los procesos de secado continuos.

En la actualidad existe una demanda de productos deshidratados de alta calidad con características equivalentes a las encontradas en los productos frescos. Además el proceso de secado debería tener unos costes de producción reducidos, y un bajo impacto ambiental.

Los secadores con banda transportadora se utilizan para secar todo tipo de productos tales como verduras y hortalizas, pescado, carne y frutas. Además del secado de alimentos y productos del campo, el secador de cinta también puede utilizarse para la deshidratación de productos químicos y farmacéuticos. Este secador tiene como características destacadas la alta eficiencia y el bajo consumo energético”<sup>14</sup>

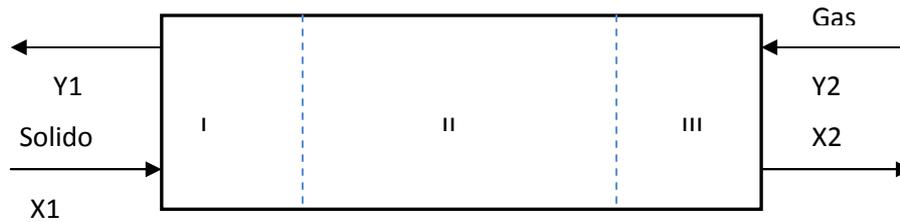
#### **1.2.4.1 ZONAS Y PERFILES DE TEMPERATURAS**

“El secado continuo representa ciertas ventajas sobre el secado por lotes. Casi siempre es posible usar equipos de tamaño más pequeño y el producto tiene un contenido de humedad más uniforme. En un secador continuo, el sólido se desplaza por el secador estando en contacto con una contracorriente de gas que puede fluir en contracorriente, el gas caliente de entrada entra en contacto con el sólido que sale ya que se ha secado. En la operación adiabática en paralelo, el gas caliente de entrada se pone en contacto con el sólido húmedo.

En la figura 1.2.4.1-1 se representa esquemáticamente un secadero adiabático continuo con funcionamiento en contracorriente, en donde el túnel de secado está dividido en zonas, manteniendo en cada una temperatura diferente.

---

<sup>14</sup> Secador Continuo de Túnel, <http://www.secadores de túnel, operaciones de secado tesis.htm>



**Fig 1.2.4.1-1 Representación esquemática de un secador de túnel**

Se distingue así tres zonas de secado:

- ❖ **Zona I** o de pre calefacción, en la que los sólidos se calientan hasta la temperatura de saturación adiabática, no efectuándose aquí el secado.
- ❖ **Zona II**, es la zona en la que se separa prácticamente toda la humedad del sólido, permaneciendo este a la temperatura de saturación adiabática.
- ❖ **Zona III**, en donde vuelve a elevarse la temperatura del sólido sin variar prácticamente su humedad.

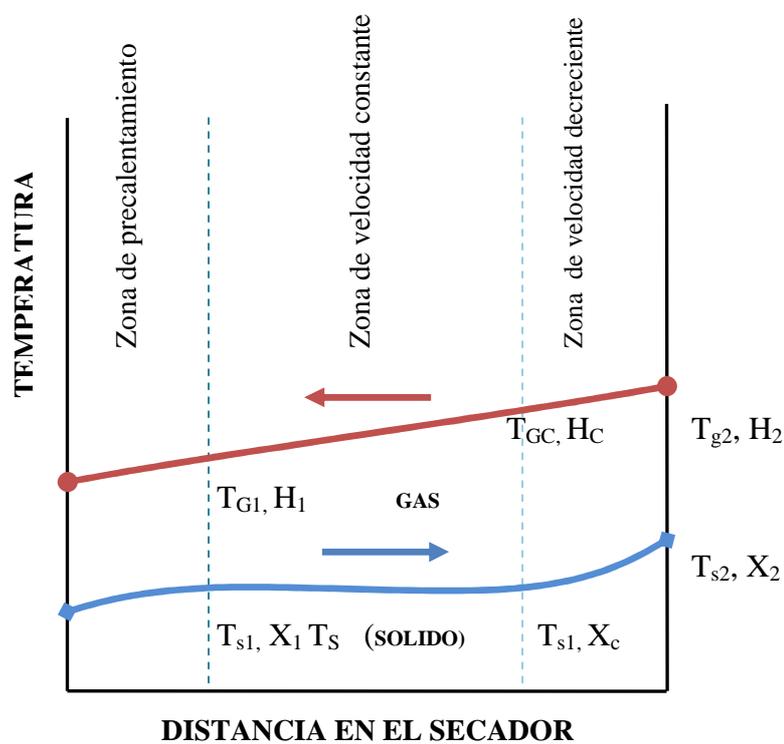
Cada zona lleva su sistema de calentamiento y de circulación de aire y, en caso necesario, su sistema de evacuación de aire. Cuando la banda transportadora atraviesa la zona el aire caliente pasa a través del producto de arriba hacia abajo o de abajo hacia arriba. De esta forma se consigue un secado de producto uniforme.

En la figura 1.2.4.1-2 se muestra los perfiles típicos de temperatura para el gas  $T_g$  y el sólido,  $T_s$  en un secador continuo a contracorriente. En la zona de precalentamiento, el sólido se calienta hasta alcanzar la temperatura de bulbo húmedo o de saturación adiabática. Esta zona produce poca evaporación y casi siempre se ignora cuando se trata de un secado a temperaturas bajas.

En la zona de velocidad constante, se evapora la humedad sin combinar y la superficial, mientras la temperatura de saturación adiabática, cuando el calor se transfiere por

convección. La velocidad de secado sería constante en este caso, pero la temperatura del gas varía, y también lo hace la humedad.

El contenido de humedad decae al valor crítico  $X_c$  al final de este periodo. En la zona de velocidad decreciente se evapora la humedad superficial y saturada y la humedad combinada, mientras el sólido se seca hasta su valor final  $X_2$ . La humedad del gas de entrada a la zona III es  $H_2$  y sale con una humedad  $H_c$ ”<sup>15</sup>.



**Figura 1.2.4.1 – 2. Perfiles de Temperaturas para un Secador continuo a contracorriente**

“Dependiendo del producto el túnel puede ir preparado con una sección de enfriado y con un elemento de vibración a la salida para reducir la temperatura final del producto. Los diferentes tipos de secaderos de túnel se suelen clasificar según la dirección del aire.

<sup>15</sup> GEANKOPLIS J., Proceso de Transporte y Operaciones Unitarias, 1ª. ed. México: Continental, 1982. Pp 471- 483

De esta manera, **los secadores de túnel de flujo paralelo** producto/aire, alcanzan altas velocidades de evaporación. Esta velocidad de secado conlleva productos de baja densidad, dada la escasa contracción que tiene lugar. Según progresa el producto en el túnel, el producto entra en contacto con aire más frío y húmedo, para evitar el deterioro del producto.

Los **secadores por flujo contracorriente** ofrecen una velocidad inicial de secado menor, provocando una mayor contracción en el producto. Tras la fase inicial, el producto es expuesto a un aire caliente y seco, por lo que habrá que controlar adecuadamente esta fase si no se quiere arriesgar a perder calidad en el producto. La humedad final que consigue este túnel suele ser mayor que la conseguida con los secaderos de túnel.

**Secadero de flujo transversal:** la corriente de aire caliente fluye desde los costados del túnel. Los hay que proveen calor desde un solo lateral, no son los más convenientes, y los que suministran calor desde ambos lados del túnel y a lo largo del recorrido.

Como consecuencia de la frecuencia con que cambia la dirección del aire se obtiene un producto de humedad uniforme. Su funcionamiento y mantenimiento son más complejos y el costo es mayor. Esta combinación suele contar en primer lugar con el túnel en paralelo, para conseguir un secado rápido, con bajo contenido de humedad y minimizando la pérdida de calidad.

Los secadores con banda transportadora proporcionan muchas ventajas:

- Secado a medida
- Curva óptima de tiempo/secado para cada producto
- Sistema de secado en continuo

- Adecuado para productos húmedos granulados, en fibra, preformados o extrusionados
- Alta eficiencia energética
- Utilización del espacio eficiente
- Secado uniforme y suave
- Sistema modular, flexible y fácil de enviar e instalar”<sup>16</sup>.

#### **1.2.4.2 COMPONENTES PRINCIPALES DEL EQUIPO**

“Tenemos como componentes principales de este secador de túnel los siguientes:

- a) Cámara de secado
- b) Fuente de calor
- c) Ventiladores
- d) Materiales auxiliares
- e) Controlador de temperatura
- f) Banda transportadora
- g) Serpentes
- h) Trampa de vapor
- i) Válvula solenoide

#### **1.2.4.3 CAMARA DE SECADO**

Esta constituye uno de los ejes principales para el diseño de un secador de túnel. En este se efectuara el proceso de deshidratación, por lo que este debe estar acorde a las necesidades y requerimientos teniendo como base tanto las pruebas bromatológicas realizadas al producto (maíz), como las pruebas de secado realizadas en el laboratorio.

---

<sup>16</sup>Secador de Túnel Flujo Paralelo, [http:// www.monografias.com/secadores-continuos-y-aplicación-de-un-banda-transportadora.htm/ec](http://www.monografias.com/secadores-continuos-y-aplicacion-de-un-banda-transportadora.htm/ec)

Para lograr un funcionamiento satisfactorio del mismo va depender del mantenimiento de una temperatura constante y una velocidad de aire uniforme sobre todo el material que se esté secando. En la cámara de secado se encuentra una banda transportadora, una cámara de distribución del aire caliente cuyo material de esta debe estar acorde con las condiciones de temperatura y corrosión presentes en la cámara de secado.

Para la construcción de la cámara de secado se tendrá en cuenta varios aspectos como:

- ✓ Dimensiones del secador de túnel
- ✓ Compartimiento y rieles de descargue de la banda transportadora
- ✓ Longitud y diámetro de la banda transportadora
- ✓ Ubicación de los serpentines
- ✓ Aplicación de aislante térmico
- ✓ Forraje de la cámara de secado

Para la posterior construcción de la cámara de secado se colocara los rieles de descarga de la banda transportadora por la cual se destinara el grano a secarse, como es habitual la generación de calor se efectuara por medio de 4 serpentines ubicados a los lados de los rieles de descarga.

De igual forma en la parte superior de los rieles de descarga se colocara un distribuidor cuya función como su nombre lo indica es proporcionar el calor de regreso a la cámara de distribución de aire para sí distribuir otra vez uniformemente en toda la cámara de secado y evitar la incineración del producto por las altas temperaturas.

Para la concentración del calor en la cámara de secado se forrara con un aislante térmico (madera) con la finalidad de mantener una temperatura deseable para el secado, Se colocara un corte de una plancha de acero inoxidable en la parte superior y inferior y a los extremos de la misma, con la finalidad de evitar el efecto que el aire de entrada del

ventilador que ingrese en forma paralela y que pueda ocasionar que el producto se difunda dentro de toda la cámara, se construye este dispositivo y así se evitara problemas operativos como mencionamos.

#### **1.2.4.4 FUENTE DE CALOR**

Esta fuente de calor es utilizada cuando las cargas de alimentación son muy grandes. La operación de secado con previa utilización de vapor presenta ventajas de usar vapor sobre calentado en un sistema de secador de túnel a contra corriente de aire. No es nuevo el conocimiento de vapor sobre calentado como una mejor alternativa. Se ha hecho investigaciones sobre secado con vapor sobre calentado de lecho fijo por lotes, lechos fluidizados, neumáticos, spray, de túnel e impregnación, sin embargo la aceptación de esta tecnología no se abre camino fácilmente por la falta de conocimientos acerca del uso del vapor sobre calentado y los equipos necesarios para manipularlo.

Un sistema de vapor sobrecalentado a gran escala debe funcionar con una temperatura levemente mayor a la de saturación y a una presión ligeramente superior a la atmosférica para evitar la entrada de aire al sistema. De otra forma se requeriría un aislante perfecto.

**Proceso de vaporización.-** El vapor o el agua caliente se producen mediante la transferencia de calor del proceso de combustión que ocurre en el interior de la caldera, elevando, de esta manera, su presión y su temperatura. Debido a estas altas presiones y temperaturas se desprende que el recipiente contenedor o recipiente de presión debe diseñarse de forma tal que se logren los límites de diseño deseado, con un factor de seguridad razonable. Por lo general, en las calderas pequeñas empleadas para la

calefacción domestica, la presión máxima de operación es de 104000 N/m<sup>2</sup>. En el caso del agua caliente, esta es igual a 232 C (450 F).

La generación del vapor es uno de los aspectos importantes para el buen desempeño de secaderos si es tomado como fuente de calor para el funcionamiento de este, por cuanto si no hay una buena temperatura el proceso es ineficiente. La temperatura en este caso se logra mediante una adecuada generación de vapor. Para convertir el agua en vapor saturado, es necesario llegar a una temperatura de 341.27 F y una presión de 105.3 p.s.i.

#### **1.2.4.5 VALVULAS DE SEGURIDAD**

Para seleccionar las válvulas de seguridad, no tanto por el diámetro sino por la presión de apertura (Lbs/hora), por lo menos 10% más sobre la presión de generación de la caldera. Este dispositivo se destinara para la entrada de vapor a las líneas de serpentines según la cantidad de temperatura deseada.

#### **1.2.4.6 TRAMPA DE VAPOR**

Una trampa de vapor es un equipo auxiliar en líneas o equipos de calentamiento con vapor, y su función consiste en evacuar los condensados que se van produciendo, sin permitir el paso de vapor. Según el principio físico que se use para seleccionar el paso de condensados”<sup>17</sup>.

#### **1.2.4.7 VENTILADORES**

“Se define como ventilador a un aparato destinado a mover aire o gases, por medio de un rodete como unidad impulsora. Un ventilador tiene al menos un orificio de aspiración y un orificio de impulsión, dichos orificios pueden o no tener elementos para

---

<sup>17</sup> Componentes Principales del Equipo, <http://www.Industriaalimenticia.Secado y componentes de secadores continuos.com.htm>

su conexión al ducto de equipo. El que va accionado por medio de un motor eléctrico y la transmisión puede ser directo.

#### **1.2.4.8 MATERIALES AUXILIARES**

Existe más de un material que se puede emplear alternativamente en el equipo de secado y que podría servir para una aplicación específica.

**Acero Inoxidable:** ya que se maneja un producto alimenticio, el material que se utilice en la construcción deberá ser resistente a la corrosión, a la humedad y temperatura con que se esté operando. Siendo el acero inoxidable el material ideal para la construcción del secador.

**Aislante Térmico.-** como es un secador de gran longitud, el material para la concentración de calor en el mismo se tomara la opción de colocar madera en el interior de la cámara de secado para sí facilitar el desenvolvimiento de la operación de secado.

#### **1.2.4.9 CONTROLADOR DE TEMPERATURA**

El controlador de temperatura es un dispositivo que se encarga de regular y mantener constante una temperatura de entrada, fijada como consigna, actuando sobre una resistencia. Su funcionamiento se basa en el principio de realimentación, un elemento esencial de todos los mecanismos de control que permite al diseñador dotar de una maquina de capacidad de autocorrección.

**Control PID:** Estos controladores han mostrado ser robustos y extremadamente beneficiosos en el control de muchas aplicaciones de importancia en la industria. PID significa: **P**roportional **I**ntegral **D**erivativo.

Hoy en día, a pesar de la abundancia de sofisticadas herramientas y métodos avanzados de control, el controlador PID es aun el más ampliamente utilizado en la industria moderna, controlando más del 95% de los procesos industriales.

**Sensor de temperaturas:** La medida de la temperatura constituye una de las mediciones más comunes y mas importantes que se efectúan en este tipo de sistemas, las limitaciones del sistema de medida quedan definidas en cada tipo de aplicación por la precisión, por la velocidad de captación de la temperatura, por la distancia ente el elemento y el aparato receptor y por el tipo de instrumento indicador, registrador o controlador necesario: es importante señalar que es esencial una comprensión clara de los distintos métodos de medida con sus ventajas y desventajas propias para lograr una selección optima del sistema más adecuado.

**Tipos de Sensores de Temperaturas:** Existen diferentes tipos de sensores que son usados para medir la temperatura: Termisores y RTD<sub>s</sub>, Termopares y sensores de estado sólido.

**Termistores:** Son elementos conductores que están diseñados para cambiar su resistencia eléctrica cuando son sometidos a cambios de temperatura. La cantidad en el cambio de la resistencia está definida por el coeficiente de temperatura del material, el cual es medido en ohms de cambio de resistencia por ohms de resistencia por grado Celsius.

**Termopares.-** Son transductores que consiste de 2 metales diferentes u otros materiales que fundidos y unidos, el extremo del uno con el otro. La unión de estos materiales o metales produce un voltaje cuando este es expuesto al calor. Los termopares pueden ser conectados en serie o en paralelo con el propósito de encontrar un significado aritmético a muchas temperaturas.

Sensores de temperatura de estado sólido: También son conocidos como sensores de unión PN, ya que si un ordinario diodo rectificador de estado sólido es conectado a un óhmetro se observa que la resistencia del diodo cambia conforme la temperatura cambia.”<sup>18</sup>.

### **1.3 DISEÑO DEL EQUIPO**

#### **1.3.1 PRUEBAS DE ENSAYO DE SECADO**

Las pruebas de ensayo se realizan con la finalidad de obtener los datos necesarios para que haciendo uso de las diferentes ecuaciones podamos diseñar el equipo, además de graficar las curvas de secado que nos van a permitir saber con precisión la humedad crítica, humedad de equilibrio así como la velocidad de secado y el tiempo necesario para la operación de secado.

Es necesario conocer las variables físicas que intervienen en el secado que en resumen son las siguientes:

- ✚ Peso del material
- ✚ Humedad Total contenida en el material
- ✚ Humedad inicial y final del material en cada etapa
- ✚ Duración del secado
- ✚ Cantidad de agua evaporada por hora
- ✚ Temperatura crítica del producto
- ✚ Temperatura máxima al entrar al secador
- ✚ Grado de saturación del aire a la salida del secador
- ✚ Temperatura y humedad relativa del aire al exterior

---

<sup>18</sup> LEON, D. y GOMEZ, J. Diseño y Construcción de un Secador de Bandejas para Germen de trigo. Tesis. Ing. Químico. Riobamba Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias. 2005. Pp. 76-79.

**TABLA 1.3.1-1**  
**Variable e Indicadores**

VARIABLES	INDICADORES	INDICES
<i>Preparación</i>		
Temperatura	centígrados	18 - 23 C
Tiempo	días	5 días
Humedad	gramos %	
<i>Secado</i>		
Temperatura	C	40-60 C
Humedad	gramos %	30 -13
Velocidad	m/s	
Tiempo	horas	1,4 - 2,2 horas

La forma de como se recopilaron los datos es la siguiente:

- ✚ Lo primero que debemos saber es la humedad con que inicia esta etapa de secado en donde se somete la materia prima (maíz) a un calentamiento a temperatura constante en un secador de aire caliente (VER ANEXO I a IV). Obteniendo las pérdidas de humedad en un tiempo determinado.
- ✚ En la etapa de secado la recopilación de datos se va tomar en minutos.
- ✚ Una vez tabulados los datos hacemos uso de las ecuaciones necesarias para realizar las curvas respectivas (Humedad VS Tiempo, Humedad vs Velocidad de Secado, Velocidad de secado vs tiempo), las cuales sirven para controlar el comportamiento que tiene el maíz y así poder elegir la temperatura y el tiempo ideal para el proceso de secado del mismo.
- ✚ Las variables del proceso obtenidas en los diferentes ensayos del Laboratorio desecado nos permitirá dimensionar nuestro equipo de acuerdo a las necesidades del producto. En lo cual es fundamental determinar las curvas de secado que es una base del los objetivos fundamentales de este trabajo.

- ✚ Una de las tareas principales en el estudio del secado de un sólido, es la identificación del modelo cinético que más adecuadamente se requiere a los datos experimentales de secado.

El reordenamiento de un modelo de secado consiste en la estimación de sus parámetros según algún criterio de comportamiento que tome en cuenta el peso de la humedad media del sólido y el peso de la humedad calculada por el modelo propuesto.

### 1.3.2 ECUACIONES PARA EL DISEÑO DEL SECADOR DE TUNEL

El método utilizado para el procedimiento de los datos experimentales se basa en una ecuación cinética que permite describir todo el proceso de secado, donde todos los parámetros de la ecuación se pueden determinar fácilmente a partir de las curvas y las condiciones límites de secado.

El contenido de humedad puede expresarse en base seca o base húmeda, para los cálculos de secado resulta más conveniente referir la humedad a base seca debido a que esta permanece constante durante el proceso de secado.

- **Humedad ( en base seca)**

$$X = \frac{P_{SH} - P_{SS}}{P_{SS}}$$

Ec: 1.3.2-1 Humedad (en base seca)

Donde:

X = Humedad

P<sub>SH</sub> = Peso del solido Húmedo

P<sub>SS</sub> = Peso del solido seco

- **Humedad (en base húmeda)**

$$W_C = \frac{S}{A} \left[ \frac{\Delta X}{\Delta \theta} \right]$$

Ec: 1.3.2-2. Humedad (en base Húmeda)

Donde:

X= Humedad

P<sub>SH</sub> = Peso del solido húmedo

P<sub>SS</sub> = Peso del solido seco

**Velocidad Periodo Contante.-** Este periodo va desde la humedad inicial X<sub>0</sub>, hasta la humedad critica X<sub>C</sub>. Para este periodo hacemos uso de la Ec. 1.2.1.3-1:

$$W = W_1 + W_2$$

Ec: 1.3.2-3. Velocidad periodo constante

Donde:

W<sub>C</sub> = Velocidad de secado constante

A = Superficie expuesta al secado

S = Solido seco

Variación de la humedad en base seca

Variación del tiempo de secado

**Velocidad total en la operación de secado**

$$X = \frac{P_{SH} - P_{SS}}{P_{SH}}$$

Ec: 1.3.2-4. Velocidad total

Donde:

$W_1$  = Velocidad para el periodo constante

$W_2$  = Velocidad para el periodo decreciente

**Calculo del Tiempo de Secado en el periodo constante.-** Es el tiempo necesario para que la humedad del solido descienda desde su valor inicial por integración y se obtiene a partir de:

$$\theta = \frac{S}{A} \int_{X_f}^{X_i} \frac{dX}{W}$$

Ec: 1.3.2-5. Calculo del tiempo de secado

**Periodo anticrítico.-** Como durante este periodo  $w = \text{constante}$ , la integración de la Ec: 1.3.2-5 desde la humedad inicial hasta la humedad critica nos lleva a:

$$\theta_a = \frac{S}{A} \left( \frac{X_i - X_c}{W_c} \right)$$

Ec: 1.3.2-6 Tiempo de secado en el periodo constante

Donde:

$\theta_a$  = Tiempo anticrítico

$W_c$  = Velocidad de secado constante

$A$  = Superficie expuesta al secado

$S$  = Sólido seco

$X_i$  = Humedad inicial

$X_c$  = Humedad critica

**Periodo Poscritico.-** este se lo realiza por

1.- El método grafico si no se conoce la relación analítica  $W = f(x)$ , la integración de la ecuación 1.3.2-5 ha de hacerse gráficamente representando  $X$  frente a  $1/W$  este valor será el real limitada por la curva, el eje de las abscisas y las ordenadas extremas  $X_c$  y  $X_f$ .

2.- El Método Analítico si la velocidad de secado varía linealmente con la humedad, desde la humedad crítica hasta la final, la integración de la ecuación 1.3.2-5 conduce a:

- **Calculo del tiempo de secado en el periodo decreciente**

$$\theta_p = \frac{S(x_c - x_f)}{A(W_c - W_f)} \ln \frac{W_c}{W_f} = \frac{S(x_c - x_f)}{AW_{log}}$$

Ec: 1.3.2-7 (a) Tiempo de secado en el periodo decreciente

$$\theta_p = \frac{S(x_c - x^*)}{AW_c} \ln \frac{(x_c - x_f)}{(x_c - x^*)}$$

Ec: 1.3.2-7 (b) Tiempo de secado en el periodo decreciente

Donde:

Tiempo anticrítico

=Velocidad de secado constante

=Velocidad final

=Superficie expuesta al secado

=Solido seco

=Humedad final

=Humedad critica

=Humedad en equilibrio

- **Calculo de la longitud del secadero**

Para el cálculo de la longitud del secadero se basara en la transmisión de calor en donde la temperatura del aire como la del solido varía a lo largo del secadero.

El método para calcular la longitud de un secadero continuo circulando el gas y el sólido en contracorriente consiste en el empleo de elementos de transmisión basado en la convección del calor y la longitud de la unidad de transmisión. Cabe distinguir en estos tipos de secadores está distribuido en 3 zonas de secado para lo cual cada nivel de estas tendrá su temperatura.

Se calcula la humedad de salida del aire por aplicación de un balance de materia:

✓ *Humedad de salida del aire*

$$Y_1 = Y_2 + \frac{G_s}{G}(X_1 - X_2) \quad \text{Ec: 1.3.2-8}$$

Se calcula la entalpia del aire a la salida del secadero por aplicación de un balance general de energía:

✓ *Entalpia del aire a la salida del secadero*

$$H_{2 \text{ (aire de salida)}} = (0,24 + 0,46Y_2)T_2 + 597,2Y_2 \quad \text{Ec: 1.3.2-9}$$

✓ *Entalpia del solido a la entrada*

$$H_{1 \text{ (sólido entrada)}} = (Cps + x_1)T_{s1} \quad \text{Ec: 1.3.2-10}$$

Se calcula la temperatura de salida del aire empleando la ecuación

$$H_{\text{aire}} = (0,24 + 0,46Y)T + 597,2Y$$

✓ *Temperatura de salida del gas*

$$T_1 = \frac{H_{1 \text{ (aire entrada)}} - 597,2Y_1}{0,24 + 0,46Y_1} \quad \text{Ec: 1.3.2-11}$$

Se calcula la temperatura de salida del aire de las zona III,  $T_B$  y la temperatura del sólido en la zona II, que es la temperatura humedad del aire en esta zona, por aplicación de un balance de energía a la zona III del que se deduce que:

✓ *Temperatura de salida del aire de las diferentes zonas del secadero*

$$T_B = T_2 - \frac{C_S G_S}{cG} (T_{s2} - T_W)$$

**Ec: 1.3.2-12 (a)**

Este cálculo ha de efectuarse por tanteo, para lo cual se supone un valor de  $T_w$ . Se calcula  $T_B$  para el valor supuesto de  $T_w$  y con este valor de  $T_B$  e  $Y_2$  se determina  $T_w$  en el diagrama psicométrico que ha de coincidir con el valor supuesto.

Se calcula la temperatura de salida del aire de la zona II,  $t_A$  por un balance de energía de acuerdo con la ecuación:

$$T_A = T_1 \left[ \frac{G_S}{G} (C_S + X_1 C_1 / C) \right] (T_w - T_{s1})$$

**Ec: 1.3.2-12 (b)**

Se calcula separadamente el número de elementos de transmisión de cada una de estas zonas, de acuerdo a la ecuación:

✓ *Número de elementos de transmisión de cada una de las zonas*

$$N_{OT} = \frac{\Delta t'}{(\Delta T)_{\log}}$$

**Ec: 1.3.2-13**

Se calcula la longitud de la unidad de transmisión de acuerdo con la ecuación:

✓ *Longitud de la unidad de transmisión*

$$H_{OT} = \frac{57 \cdot c \cdot G^{0.2}}{a}$$

**Ec: 1.3.2-14**

✓ *Longitud total del secador de túnel*

$$z = (H_{OT} N_{OT})_I + (H_{OT} N_{OT})_{II} + (H_{OT} N_{OT})_{III}$$

Ec: 1.3.2-15

### **Cálculos adicionales presentes en el secador de túnel**

✓ *Cantidad de calor perdido*

$$q = G \times F \times i_2$$

Ec: 1.3.2-16

✓ *Calor sensible*

$$C_s: (H_{agua(T)} - H_{agua(T)})$$

Ec: 1.3.2-17

✓ *Calor Latente*

$$C_L: (H_{vapor\ sat(T)} - H_{agua\ sat(T)})$$

Ec: 1.3.2-18

✓ *Calor suministrado de vapor saturado*

$$q_s = \text{calor sensible} + \text{calor latente}$$

Ec: 1.3.2-19

✓ *Cantidad de calor para calentar la base seca*

$$Q = mc_p \Delta T$$

Ec: 1.3.2-20

✓ *Calor Total para calentar el sistema*

$$Q_T = q_{vapor\ sat} + Q_{sitema}$$

Ec: 1.3.2-21

✓ *Calor que deben suministrar los serpentines*

$$Q_{serpentin} = G(H_{2(airesalida)} - H_{aire\ atmosferico})$$

Ec: 1.3.2-22

✓ *Densidad del aire*

$$\delta_{as} = \frac{m_{as}}{V_{aire}}$$

Ec: 1.3.2-23

✓ *Caudal del aire*

$$Q_{aire} = \frac{V_{aire}}{t}$$

Ec: 1.3.2-24

Donde:

$T_{s2}$  = Temperatura de salida del solido

$T_w$  = Temperatura del aire en la zona III

C = Calor especifico del aire

$x_1$  = Fracción de humedad de entrada del solido

$x_2$  = Fracción de humedad de salida del solido

$Y_1$  = Fracción de humedad del aire de entrada

$Y_2$  = Fracción de humedad del aire a la salida

G = Flujo másico del aire

$G_s$  = Flujo másico del sólido

# **CAPITULO II**

## **PARTE EXPERIMENTAL**

## **CAPITULO II**

### **2. PARTE EXPERIMENTAL**

En condiciones de ensayos para la recopilación de datos, este estudio se realizó con parámetros establecidos en la literatura o estudios ya realizados anteriormente con una serie de variaciones de las variables y controladores de proceso para así establecer las condiciones óptimas y necesarias que nos facilitara para el mejor desenvolvimiento en el dimensionamiento del equipo (secador continuo) el mismo que presenta características ejemplares y único como la utilización del caldero como fuente de energía, existente en el Laboratorio de Química Industrial y así poder obtener un secado eficiente sin alteración de las propiedades físico – químicas del grano a prueba.

#### **2.1 MUESTREO**

Para la deshidratación del maíz en los secadores existentes en el Laboratorio de Química Industrial se requirió la presencia de dos clases de maíz producidos en el Ecuador, como son de las Regiones Interandina (Sierra) y Litoral (Costa).

En el primer caso se realizó un sondeo local en función de sus propiedades bromatológicas presentes en el maíz serrano en la Provincia de Chimborazo para utilizarlos en ensayos debido a que existen diferencias en el contenido de humedad con el maíz producido en la Costa. El maíz que se tomara como muestra de ensayo es del Cantón Riobamba de la parroquia Licto.

De acuerdo a características y estadísticas productivas de maíz en el Ecuador, la Provincia de los Ríos tiene el mayor porcentaje de producción agrícola de maíz frente a otros lugares del país donde se cultiva este grano, por tal razón se eligió el maíz producido en esta parte del país, específicamente del Cantón La Mana.

## **2.2 METODOLOGIA**

### **2.2.1 METODOS Y TECNICAS**

#### **2.2.2.1 METODOS**

El presente estudio utilizara recursos teóricos como experimental para obtener apropiadamente la metodología adecuada a través de la implementación del proyecto de diseño, selección y aplicación de todas las herramientas y componentes necesarios para la deshidratación del maíz, en respuesta a las posibles interrogantes que se puedan presentar en el transcurso del secado.

##### **2.2.2.1.1 INDUCTIVO**

Por medio de las curvas de secado se obtendrá la temperatura óptima y el tiempo requerido para la deshidratación del maíz y así obtener el porcentaje de humedad establecido por la Norma INEN 2050:95 presente en el maíz seco, a través de los ensayos de laboratorio en un secador de prototipo de bandejas.

Encontrada la temperatura óptima de secado se obtendrá las diferentes variables de proceso y de ingeniería, los cuales estos se van a convertirse en nuestros datos de partida para el dimensionamiento del secador de túnel apropiado para la deshidratación del maíz.

##### **2.2.2.1.2 DEDUCTIVO**

De acuerdo a investigaciones nacionales y locales en la industrialización de granos se ha visto la necesidad de equipos de secado para la optimización del tiempo de desecación del maíz y otros. A más de los Diseños de secadores existentes se establecerá en esta investigación, estudios complementarios de Transferencia de Calor, Alimentos,

Operaciones Unitarias y otras, cuya aplicación permitirá la búsqueda de límites de las variables operaciones del sistema de secado.

### **2.2.1.3 EXPERIMENTAL**

Los análisis de esta investigación a nivel de laboratorio siguieron una serie de variaciones de los parámetros de humedad establecidos previamente en tablas o en estudios ya realizados, para encontrar las condiciones optimas que sean favorables para el dimensionamiento del secador de túnel y así obtener el maíz con un porcentaje de humedad aceptable por la norma INEN 2050:95.

A nivel de laboratorio los métodos utilizados dentro de esta investigación son:

- Métodos de laboratorio para determinación del contenido de humedad
- Análisis proximal del maíz
- Métodos para la caracterización físicas del grano

## **2.3 TÉCNICAS PARA EL ANÁLISIS BROMATOLÓGICO DEL MAÍZ.**

Mediante la investigación encontramos varias técnicas que nos facilitaron el desarrollo de los objetivos planteados en un inicio.

### **2.2.2.2 TECNICAS**

#### **2.2.2.2.1TECNICAS Y METODOLOGIA DE ENSAYO**

#### **2.2.2.2.2 TECNICAS PARA EL ANALISIS BROMATOLOGICO DEL MAIZ**

**2.2.2.2.1 DETERMINACIÓN DE CENIZAS (AACC 1412 Ensayo De La Asociación Americana De Químicos Cerealistas)**

**TABLA 2.2.2.2.1-1**

**Determinación de cenizas del maíz**

<b>PRINCIPIO</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<b>CALCULOS</b>
La materia orgánica se quema a la temperatura más baja posible y la materia inorgánica remanente se enfría y pesa. El calentamiento se realiza en etapas, primero para eliminar el agua, a continuación para carbonizar el producto totalmente (esto se realiza en Sorbona) y, finalmente, para incinerar en horno de mufla a 660 C.	Balanza analítica. Mufla eléctrica con temperatura regulable. Crisoles de porcelana. Desecador. Pinzas. Espátula.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tarar los crisoles y pesarlos</li> <li>2. Pesar 2g. de muestra</li> <li>3. Se carboniza en mechero en una sorbona, hasta que no se produzca hinchazón o producción de humos</li> <li>4. Introducir los crisoles en la mufla (620-650C) hasta peso constante. (3 horas)</li> <li>5. Retirar los crisoles de la mufla, colocar en el desecador hasta que alcance temperatura ambiental (30 minutos)</li> <li>6. Pesar</li> </ol>	<p>Se expresan en porcentaje, y se deduce según la fórmula siguiente:</p> $\%C = \frac{(m_2 - m_1)}{p} * 100$ <p><b>Ec: 2.2.2.2.1-1 .Determinación de cenizas</b></p> <p><b>Donde:</b></p> <p>m<sub>1</sub> = masa en gramos del crisol vacío</p> <p>m<sub>2</sub> = masa en gramos del crisol con la muestra tras la incineración</p> <p>p = peso de la muestra en gramos.</p>

**2.2.2.2.2 DETERMINACION DE HUMEDAD Y SUSTANCIA SECA NORMA INEN (1513)**

**TABLA 2.2.2.2.2-1**

**Determinación de humedad del maíz**

PRINCIPIO	MATERIALES	PREPARACION	PROCEDIMIENTO	CALCULOS
<p>La determinación de la humedad por medio de la gradiente de la temperatura en su oficio de grado de elevación y la utilización eventualmente al vacío, es el método más antiguo para obtener el intervalo de humedad y</p>	<p>Estufa eléctrica Balanza analítica Cápsulas de metal Desecador Pinza de cápsula</p>	<p>-La muestra para el ensayo será tomada de acuerdo con la norma Inen 1233 y debe estar envasada en recipientes de vidrio, plástico u otro material inoxidable herméticamente cerrados, limpios, completamente llenos, con o sin impurezas.  -Preferentemente se usaran muestras sin impurezas óseas</p>	<p>-La determinación debe efectuarse por duplicado sobre la misma muestra preparada.  -Pesar, con aproximación al 0,1 g, la capsula limpia, seca y su tapa.  -Colocar rápidamente en la capsula entre 25 a 40 g del grano entero de maíz y distribuirlo uniformemente.</p>	<p>El contenido de humedad en el maíz entero se calcula mediante:</p> $H = (m_1 - m_2) \times \frac{100}{m_1 - m_0}$ <p><b>Ec: 2.2.2.2.2-1</b></p> <p><b>.Determinación de humedad</b></p> <p><b>Donde:</b> H=Contenido de humedad en porcentajes de masa</p>

<p>de sólidos totales de un alimento.</p> <p>La muestra presenta una humedad libre en donde este se expulsa por medio de aire caliente en circulación.</p>		<p>aquellas que han sido cribadas en una zaranda circular de 11,2 mm con bandeja de fondo.</p> <p>-Lo que pasa a la bandeja de fondo se criba nuevamente en una zaranda de cobertura triangular simple de 2 mm, recibiendo el cribado en otra bandeja de fondo. Si antes de llevar la muestra al laboratorio, han sido separadas las impurezas se tomaran para los cálculos.</p>	<p>-Cerrar inmediatamente la capsula con la tapa y pesar con aproximación al 0,1 gr.</p> <p>-Colocar la capsula abierta con su contenido y su tapa en la estufa calentada entre 130-133°C, manteniéndola en esta durante el <math>38 \pm 2</math> horas.</p> <p>Luego sacar la capsula de la estufa, colocar la tapa, y pesar con aproximación al 0,01.</p>	<p><math>m_0</math> = masa de la capsula vacía y tapa en g.</p> <p><math>m_1</math> = masa de la capsula, la tapa con la muestra sin sacar, en g.</p> <p><math>m_2</math> = masa de la capsula, la tapa con la muestra seca en g.</p>
--	--	--	---	---

**2.2.2.2.3 DETERMINACION DE PROTEINA (Método 2057 A.O.A.C. Adaptado en el Departamento de Nutrición y Calidad del INIAP)**

**TABLA 2.2.2.2.3-1**

**Determinación de proteína del maíz**

<b>PRINCIPIO</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<b>CALCULOS</b>
<p>El nitrógeno de las proteínas y otros compuestos se transforman en sulfato de amonio al ser digeridas en ácido sulfúrico en ebullición.</p> <p>El residuo se enfría, se diluye con agua y se le agrega hidróxido de</p>	<p>Balanza analítica</p> <p>Aparato de digestión y destilación micro Kjeldahl</p> <p>Balones Kjeldahl de 50 mL</p> <p>Erlenmeyer de 250 mL</p> <p>Titulador</p> <p>Acido sulfúrico (grado técnico)</p> <p>Acido clorhídrico 0.02 N estandarizado</p> <p>Hidróxido de sodio al 40%</p>	<p><b>a.Digestión</b></p> <p>Pesar exactamente alrededor de 0.04 g de muestra, colocar dentro de un balón de digestión y añadir 0.5 g de catalizador y 2 mL de ácido sulfúrico al 92% (grado técnico)</p> <p>Colocar los balones en el digestor Kjeldahl con los calentadores a 500 °C hasta que la solución adquiera una coloración verde. Esto es indicativo de haberse eliminado toda la materia orgánica</p> <p>Retirar los balones del digestor y enfriar.</p>	<p>Se calcula mediante:</p> $\%P = \frac{V * N * 0.014 * 5.7}{P_m} * 100$ <p><b>Ec: 2.2.2.2.3-1.</b></p> <p><b>Determinación de proteína</b></p> <p><b>Donde:</b></p>

<p>sodio.</p> <p>El amonio presente se desprende y a la vez se destila y se recibe en una solución de ácido bórico que luego se titula con ácido sulfúrico estandarizado.</p>	<p>(grado técnico)</p> <p>Acido bórico al 4%</p> <p>Indicador mixto: rojo de metilo al 0.1% y verde de bromocresol al 0.2% en alcohol de 95%</p> <p>Mezcla catalizadora: 800 g de sulfato de potasio o sodio, 50 g de sulfato cúprico pentahidratado y 50 g de dióxido de selenio</p> <p>Agua desmineralizada</p>	<p><b>b. Destilación</b></p> <p>Disolver la muestra con 4 mL de agua destilada</p> <p>Colocar la muestra en el destilador y añadir 10 mL de hidróxido de sodio al 40% más tiosulfato de sodio al 5% (4:1) destilar recogiendo el destilado en 6 mL de ácido bórico al 4% hasta obtener 15 mL</p> <p><b>c. Titulación</b></p> <p>Al destilado se agrega 2 gotas del indicador mixto y se titula con ácido clorhídrico 0.022 N, hasta que la solución cambie de color</p>	<p>%P = porcentaje de proteína</p> <p>V = mililitros de ácido gastado en la muestra</p> <p>N = normalidad del ácido titulante</p> <p>5.7 = factor proteico</p> <p>Pm = peso de la muestra en gramos</p>
---	---	---	---

**2.2.2.2.4 DETERMINACIÓN DE GRASA (AACC 1632 Ensayo de la Asociación Americana de Químicos Cerealistas) Y**

**TABLA 2.2.2.2.4-1**

**Determinación de grasa y del extracto libre de nitrógeno del maíz**

PRINCIPIO	MATERIALES	PROCEDIMIENTO	CALCULOS
<p>La grasa se extrae con éter de petróleo a partir del residuo desecado obtenido en la determinación del contenido de humedad. El solvente se elimina por evaporación y se pesa el residuo de grasa</p>	<p>Equipo SOXHLET Reverbero Hexano</p>	<p>-Pesar 2 gramos de muestra, colocar en un papel filtro cerrado -El papel filtro más la muestra colocarlo en un dedal de papel filtro y en el interior del equipo SOXHLET, embonar en el equipo y en el balón añadir un volumen de hexano -Someter a calentamiento por 8 horas -Luego de este tiempo sacar el cono de papel filtro y colocar seguido el balón que contiene el solvente-graso, para recuperar el solvente y nos quede solo la grasa -Secar la grasa en la estufa, pesar y determinar.</p>	<p>Se calcula mediante la ecuación:</p> $EE(\%) = \left[ \frac{(m_2 - m_1)}{M} \right] * 100$ <p><b>Ec: 2.2.2.2.4-1. Determinación de grasa</b></p> <p><b>Donde:</b>  <math>m_1</math> = masa en gramos del balón vacío  <math>m_2</math> = masa en gramos del balón con la muestra tras el desecado  <math>p</math> = peso de la muestra en gramos.</p>

**2.2.2.2.5 DETERMINACIÓN DEL EXTRACTO LIBRE NO NITROGENADO (Ensayo 1687 AACC de la Asociación Americana de Químicos Cerealistas)**

**TABLA 2.2.2.2.5-1**

**Determinación del extracto libre de nitrógeno del maíz**

<b>DETERMINACION DEL EXTRACTO LIBRE NO NITROGENADO</b>	
Se determina mediante la ecuación general:	$ELN = 100 - (\text{humedad} + \text{proteína} + \text{grasa} + \text{cenizas} + \text{fibra})$ <p><b>Ec: 2.2.2.2.4-2. Determinación de Extracto Libre de Nitrógeno</b></p>

**2.2.2.2.6 DETERMINACIÓN DE FIBRA (AACC 1232 Ensayo de la Asociación Americana de Químicos Cerealistas)**

**TABLA 2.2.2.2.6-1**

**Determinación de fibra del maíz**

<b>PRINCIPIO</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<b>CALCULOS</b>
La muestra molida y desecada se hierve a reflujo durante 2 horas con bromuro de cetiltrimetilamonio en ácido sulfúrico 1 N. El residuo filtrado y desecado se considera como fibra detergente	Estufa Erlenmeyer de 500 ml. Condensador de dedo frío. Crisoles Bromuro de cetiltrimetilamoni o Dekalina antiespumante Acetona	Moler todas las muestras con molino de martillos hasta pasar un tamiz de 1mm. Tomar una submuestra y desecarla durante la noche en estufa a 95 °C Enfriar las muestras en desecador Pesar por duplicado, hasta el mg más próximo, 1 g de muestra molida y desecada a un erlenmeyer de 500 mL Añadir 100 mL de solución detergente ácida enfriada y 2 mL de dekalina antiespuma. Conectar al erlenmeyer el condensador de dedo frío y colocar sobre la isomanta de calentamiento. Hacer que entre en ebullición rápidamente (3-5 minutos) y proseguir hirviendo ligera y uniformemente bajo reflujo durante 2 horas	Se calcula mediante la Ec: $\%CF = \left(\frac{W_2}{W_1}\right) * 100$ <b>Ec: 2.2.2.2.5-1</b> <b>Determinación de fibra</b> Donde: W <sub>1</sub> = peso en gramos de la muestra W <sub>2</sub> = peso en gramos del residuo

ácida.		<p>Filtrar el contenido del matraz (por gravedad) a través del crisol filtrante previamente tarado</p> <p>Lavar el matraz con agua destilada caliente añadiendo el líquido de los lavados al crisol</p> <p>Utilizando ligera succión lavar perfectamente el contenido del crisol con agua caliente (utilizar aproximadamente 300 mL de agua caliente en total)</p> <p>Lavar el residuo con acetona y succionar hasta dejarlo seco</p> <p>Colocar el crisol con su contenido en estufa a 95 °C desecar durante la noche.</p> <p>Enfriar en desecador y pesar</p>	
--------	--	---	--

## 2.3 DATOS EXPERIMENTALES

### 2.3.1 ANALISIS BROMATOLOGICO DEL MAIZ ESTANDAR (NORMA INEN 2050:95)

**TABLA 2.3.1-1**

**Análisis del grano (maíz húmedo)**

<b>Formas de expresión</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Resultados %</b>
Maíz húmedo	Humedad	<b>30</b>
	Cenizas	2,8
	Proteína	11,3
Maíz seco	Humedad	<b>12,0 - 13,0</b>
	Cenizas	1,0 - 2,0
	Proteína	10,0 - 11,0

Fuente: Servicio de información agropecuaria del ministerio de agricultura y ganadería del Ecuador

### 2.3.2 DIAGNOSTICO

- El análisis sensorial que se presenta en la Tabla 2.3.1-1, se lo realizó con la finalidad de determinar la calidad estándar de la materia prima del Maíz de la Sierra y de la Costa, con estos resultados que indican las características del maíz húmedo y seco, mostrando diferencia en cada uno de los parámetros como la humedad, cenizas y proteínas.
- Los resultados presentes en las Tabla 2.3.2.1-1 y 2.3.2.2-1, corresponden al análisis de humedad, cenizas y proteína, tanto para el grano húmedo como el seco de las muestras de la sierra y de la costa realizados en el Laboratorio de

Nutrición Animal y Bromatología FCP-ESPOCH y CESTTA que nos muestra un alto valor nutritivo, y que los valores obtenidos están dentro de los márgenes establecidos.

- La humedad inicial con la cual se tiene la muestra es de 30,2 % en el caso del maíz de la Costa a diferencia de la Sierra que posee un valor 31 % de acuerdo al tipo de muestreo realizado.
- Durante la etapa de secado realizado en un secador de bandejas del laboratorio de Química Industrial de la Facultad de Ciencias, la humedad tanto del maíz del Sierra y de la Costa va disminuyendo significativamente durante un intervalo de tiempo hasta llegar a un 13% como se ve en las Tabla 2.3.2.2-1, que es la humedad con la que el producto conserva en su gran parte las propiedades nutritivas.
- Una vez que se analizado las propiedades químicas del maíz tanto húmedo como seco, sus características físicas, las pruebas de secado y haber obtenido las variables del proceso con estos datos obtenidos se tendrá que dimensionar el equipo en este caso al de un Secador de Túnel que servirá para la deshidratación del Maíz. El tiempo de secado se obtiene mediante las curvas de cinética de secado, que son realizadas a nivel de laboratorio, logrando tener valores y condiciones, de cambio humedad, características de transferencia de calor y masa y la influencia que tiene la velocidad de secado en las variables de proceso tales como: temperatura, humedad de entrada y salida del Maíz y del aire y otros factores que influyen.

### 2.3.3 DATOS

#### 2.3.3.1 ANALISIS BROMATOLOGICO DEL MAIZ HUMEDO Y SECO DE LA SIERRA

TABLA 2.3.2.1-1

Análisis bromatológico del maíz húmedo y seco de la sierra

Formas de expresión	Parámetros	Resultados	Lugar del análisis	Secador de prototipo de ensayo
Maíz húmedo	Humedad	<b>31</b>	LABORATORIO DE NUTRICION ANIMAL Y BROMATOLOGIA FCP-ESPOCH	Secador de bandejas del Laboratorio de Química Industrial
	Cenizas	1,5		
	Proteína	8,5		
Maíz seco	Humedad	<b>14,3</b>		
	Cenizas	1,4		
	Proteína	8,1		

Fuente: Laboratorio FCP (Ver ANEXO 1 Y 2)

#### 2.3.3.2 ANALISIS BROMATOLOGICO DEL MAIZ HUMEDO Y SECO DE LA COSTA

TABLA 2.3.2.2-1

Análisis del maíz húmedo y seco de la costa

Formas de expresión	Parámetros	Resultados	Lugar del análisis	Secador de prototipo de ensayo
Maíz húmedo	Humedad	<b>30,2</b>	CESTTA	Secador de bandejas del Laboratorio de Química Industrial
	Cenizas	1,6		
	Proteína	7,9		
Maíz seco	Humedad	<b>13</b>		
	Cenizas	1,4		
	Proteína	8,4		

Fuente: CESTTA (Ver ANEXO 3 Y 4)

## 2.4 DATOS ADICIONALES

### 2.4.1 RESULTADOS DEL ANALISIS BROMATOLOGICO DEL MAIZ

#### 2.4.1.1 ANALISIS SENSORIAL DIFERENCIAL DEL MAIZ HUMEDO DE LA COSTA Y DE LA SIERRA

**TABLA 2.4.1.1-1**

**Análisis sensorial diferencial del maíz húmedo y seco de la Costa y Sierra**

FACTORES		MAIZ HUMEDO		MAIZ SECO	
		Costa	Sierra	Costa	Sierra
APARIENCIA	<b>Color</b>	Amarillento	Blanco	Amarillento claro	Blanco
	<b>Tamaño</b>	<i>20 mm</i>	<i>12 mm</i>	<i>20 mm</i>	<i>12mm</i>
	Forma	Ovalada	Ovalada	Ovalada	Ovalada
	Aspecto	Granular	Granular	Granular	Granular
	Consistencia	Solido	Solido	Solido	Solido
TEXTURA	<b>Blando</b>	<i>Si</i>	<i>No</i>	<i>No</i>	<i>No</i>
	<b>Suave</b>	<i>Si</i>	<i>No</i>	<i>No</i>	<i>Si</i>
	<b>Duro</b>	<i>No</i>	<i>Si</i>	<i>Si</i>	<i>No</i>
	Chicloso	No	No	No	No
SABOR Y OLOR	Acido	No	No	No	No
	Dulce	No	No	No	No
	Amargo	No	No	No	No
	Agradable	Si	Si	Si	Si
AUDICION	<b>Crocante</b>	No	No	<i>Si</i>	<i>No</i>
	Espumante	No	No	No	No

Fuente: Tesistas

# **CAPITULO III**

## **DISEÑO Y CONSTRUCCION**

### 3 DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SECADOR DE TUNEL PARA LA DESHIDRATACION DEL MAIZ

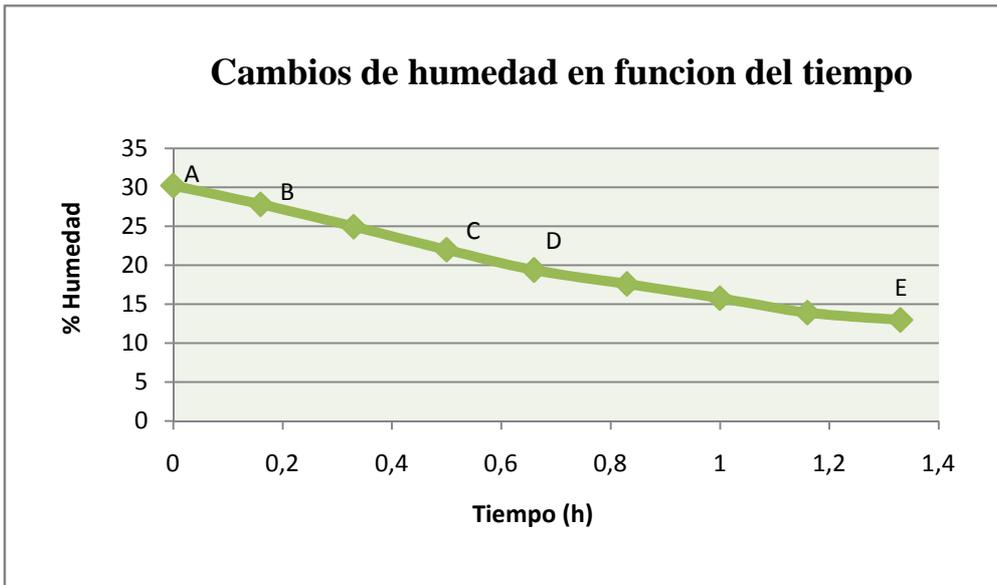
#### 3.1 CALCULOS

##### 3.1.1 DATOS PROCESADOS PARA OBTENER LAS DIFERENTES VARIABLES

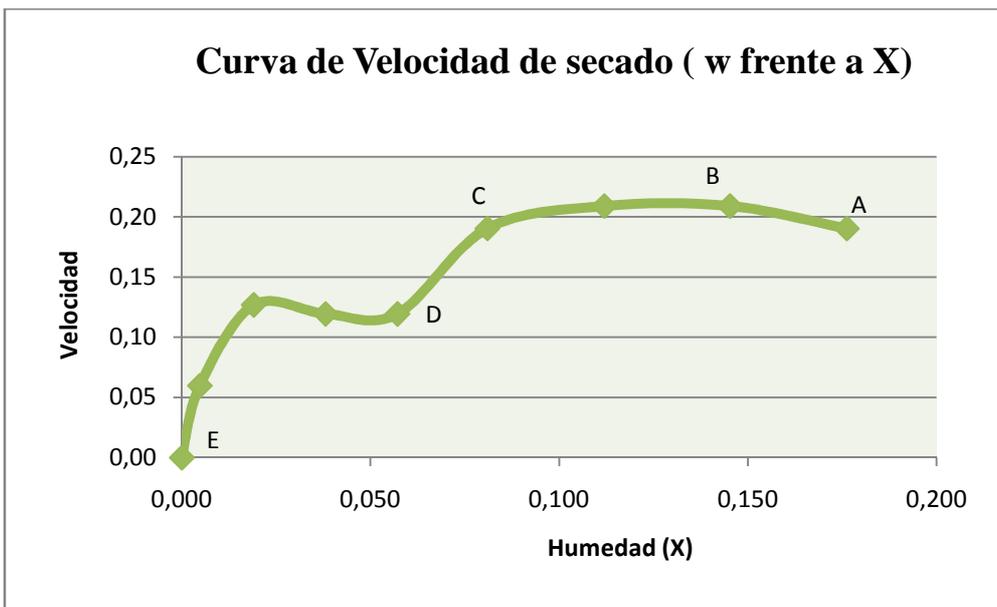
**TABLA 3.1.1-1**

**Datos Procesados para Obtener las Diferentes Variables**

N°	$\Theta$ (h)	P ( kg)	Humedad total (kg)	X (kg/kg)	X media	$\Delta\theta$	W (kg/h.m <sup>2</sup> )	% Humedad perdida	%Humedad
1	0	0,250	0,302	0,190	-	-	-		30,21
2	0,16	0,244	0,278	0,162	0,176	0,16	0,190	2,4	27,8
3	0,33	0,237	0,249	0,129	0,145	0,17	0,209	2,9	24,9
4	0,50	0,230	0,220	0,095	0,112	0,17	0,209	3,0	22,0
5	0,66	0,224	0,194	0,067	0,081	0,16	0,190	2,6	19,4
6	0,83	0,220	0,176	0,048	0,057	0,17	0,119	1,8	17,6
7	1,00	0,216	0,158	0,029	0,038	0,17	0,119	1,8	15,8
8	1,16	0,212	0,139	0,010	0,019	0,16	0,127	1,9	13,9
9	1,33	0,210	0,130	0,000	0,005	0,17	0,060	0,9	13,0



(a)



(b)

Graf 3.2-1 Curvas típica de velocidad de secado para condiciones de secado constante: (a) Grafica de los datos como humedad libre en función del tiempo, (b) Curva de velocidad de secado en función del contenido de humedad libre.

### 3.1.2 VARIABLES DE PROCESO

#### 3.1.2.1 Cálculo de la velocidad de secado y del tiempo de secado para los diferentes periodos

De acuerdo a la curva de velocidad de secado habrá un periodo de velocidad de secado constante y otro de velocidad de secado constante.

❖ Período Constante o Anticrítico

1) Para calcular la velocidad constante hacemos uso de la Ec. : 1.2.1.3-1

$$W_c = \frac{S}{A} \left[ -\frac{\Delta x}{\Delta \theta} \right]$$

**Donde:**

$W_c$  = Velocidad de secado constante

A= Superficie expuesta al secado

S= Solido seco

$\Delta x$  = Variación de humedad en base seca

$\Delta \theta$  = Variación de tiempo de secado

**Datos:**

$$x_{inicial} = 0,112$$

$$x_{critica} = 0,081$$

$$t_1 = 0,50h$$

$$t_2 = 0,66h$$

$$S = 0,210 \text{ Kg}$$

$$A = 0,197 \text{ m}^2$$

### Solución

$$W_c = \frac{S}{A} \left[ -\frac{\Delta x}{\Delta \theta} \right]$$

$$W_c = \frac{0,210}{0,197} \left[ -\frac{0,112-0,081}{0,66-0,50} \right]$$

$$W_c = 0.206 \frac{kg}{hm^2}$$

- 2) Para calcular el tiempo de secado en condiciones constantes, se lo hace a partir de la Ec: 1.3.2-5. Que es la siguiente:

$$\theta_a = \frac{S}{A} \left( \frac{x_i - x_c}{W_c} \right)$$

### Donde:

$\theta_a$  = Tiempo anticrítico

$W_c$  = Velocidad de secado constante

A= Superficie expuesta al secado

S= Solido seco

$x_i$  = Humedad inicial

$x_c$  = Humedad critica

### Datos:

$$x_{inicial} = 0,112$$

$$x_{critica} = 0,081$$

$$S = 0,210$$

$$A = 0,197$$

$$W_c = 0,206 \frac{kg}{hm^2}$$

**Solución:**

$$\theta_a = \frac{S}{A} \left( \frac{x_i - x_c}{W_c} \right)$$

$$\theta_a = \frac{0,210}{0,197} \left( \frac{0,031}{0,206} \right)$$

$$\theta_a = 0,160 \text{ h}$$

❖ **Período Decreciente o Poscrítico**

**Método de Integración Gráfica**

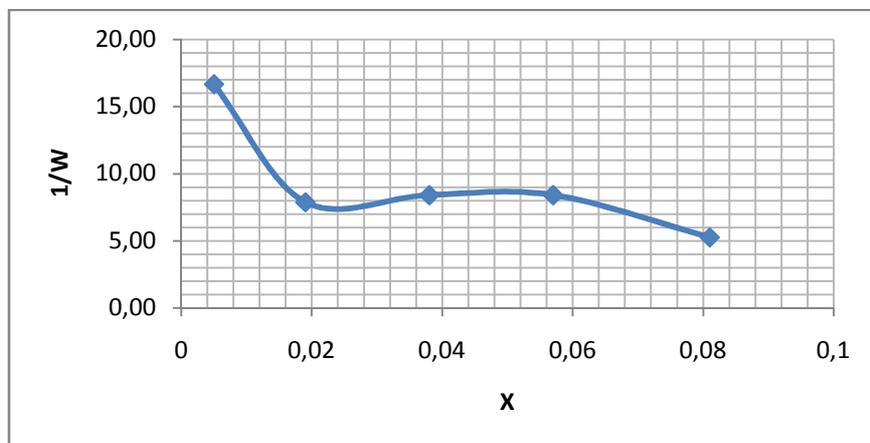
Para el periodo de velocidad decreciente desde  $x_c = 0,081$  hasta  $x_f = 0,005$ , podemos emplear el método de integración grafica. A partir de la curva de velocidad de secado se prepara la siguiente tabla leyendo los valores de velocidad (W) para los diferentes valores de x.

**TABLA 3.1.2-6**

**Humedad x en función de 1/W**

X	W	1/W
0,081	0,19	5,26
0,057	0,12	8,40
0,038	0,12	8,40
0,019	0,13	7,87
0,005	0,06	16,67

Se grafica las variables de 1/W en función de x, y se determina el área bajo la curva.



**Graf. 3.1.2.6-1 Curva de Humedad x en función de 1/W**

$$\text{Área} = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6 + A_7 + A_8 + A_9 + A_{10}$$

$$\text{Área} = (0,015 \times 7,87) + (0,015 \times 8,8/2) + (0,010 \times 0,15) + (0,019 \times 7,87) + (0,019 \times 0,53) + (0,019 \times 8,40) + (0,019 \times 8,40) + (0,024 \times 5,26) + (0,024 \times 3,14/2)$$

$$\text{Área} = 0,66$$

1) Sustituyendo en la Ec.9 tenemos:

$$\theta_p = \frac{S}{A} \int_{x_2}^{x_1} \frac{dx}{W}$$

$$\theta_p = \frac{S}{A} \int_{x_2}^{x_1} \frac{dx}{W}$$

$$\theta_p = \frac{0,210}{0,197} \int_{x_2}^{x_1} \frac{dx}{W}$$

$$\theta_p = \frac{0,210}{0,197} (0,66)$$

$$\theta_p = 0,7035 \text{ h}$$

2) El tiempo total de secado es

$$\theta_T = \theta_a + \theta_p$$

$$\theta_T = 0,160 \text{ h} + 0,7035 \text{ h}$$

$$\theta_T = 0,864 \text{ h}$$

3) Entonces sustituyendo los datos en la Ec.1 tenemos la velocidad decreciente:

$$W_d = 0,047 \frac{\text{kg}}{\text{hm}^2}$$

La velocidad total es:

$$W_T = W_c + W_d$$

$$W_T = 0,206 \frac{\text{kg}}{\text{hm}^2} + 0,047 \frac{\text{kg}}{\text{hm}^2}$$

$$W_T = 0,253 \frac{\text{kg}}{\text{hm}^2}$$

### Método analítico:

- 1) Tomando en cuenta la línea de secado entre los puntos C y D de carácter rectilínea, se puede calcular el tiempo de secado entre los intervalos siguientes y a través de la

Ec (a):

$$x_c = 0,081 \text{ y } x_D = 0,057$$

$$\theta_p = \frac{S}{A} \frac{x_c - x_f}{w_c - w_f} \ln \frac{W_c}{W_f}$$

$$\theta_p = \frac{0,210}{0,197} \left( \frac{0,081 - 0,057}{0,206 - 0,046} \right) \ln \frac{0,206}{0,046}$$

$$\theta_p = 0,239 \text{ h}$$

El tiempo de secado entre D y E se determina gráficamente entre los límites de 0,057 y 0,005, y el resultado es el Área (0,476) = Tiempo (0,507)

Por este método, el tiempo de secado proscritico da:

$$\theta_p = 0,239 \text{ h} + 0,507 \text{ h}$$

$$\theta_p = 0,746 \text{ h}$$

El tiempo total de secado es la siguiente:

$$\theta = 0,74 + 0,160$$

$$\theta = 0,906 \text{ h}$$

El valor de tiempo encontrado por esta forma de cálculo es considerablemente cercano al que se determino por el método de integración grafica.

### 3.1.3 CALCULOS PARA EL DISEÑO DEL SECADOR DE TUNEL

#### 3.1.3.1 CALCULO DE LA LONGITUD

##### 3.1.3.1.1 BALANCE DE MASA



Graf. 3.1.4.1.1-1 Secador de Túnel

$G_s =$ Caudal del sólido	0,250 kg/h
$x_1 =$ Humedad del sólido a la entrada	0,30
$x_2 =$ Humedad del sólido a la salida	0,13
$Y_2 =$ Humedad del aire a la entrada	0,009 kg de H <sub>2</sub> O/kg de aire seco
$T_{s1} =$ Temperatura del sólido a la entrada	20 C
$T_{s2} =$ Tempertaura del solido a la salida	48 C
$T_2 =$ Temperatura del aire a la entrada	90 C
$T_1 =$ Temperatura del aire a la salida	50 C
$C_{ps} =$ Capacidad calorifica del maiz	0,65 kcal/kg C
$c =$ calor especifico del aire	0,24 kcal/kg C
$G =$ Caudal del gas	
$Y_1 =$ Humedad del aire a la salida	

$$x_1 G_s + Y_2 G = x_2 G_s + Y_1 G$$

$$0,30 \times 0,25 + 0,009 G = 0,13 \times 0,250 + Y_1 G$$

$$0,075 + 0,009 G = 0,0325 + Y_1 G$$

### 3.1.3.1.2 BALANCE DE ENERGIA

$$H_{1(\text{entalpía sólido})}G_S + H_{2(\text{entalpía aire})}G = H_{2(\text{entalpía sólido})}G_S + H_{1(\text{entalpía aire})}G + q$$

#### 3.1.3.1.2.1 CALCULO DE LAS ENTALPIAS DEL SOLIDO (Maíz)

Para el cálculo de las entalpias tanto de la entrada y salida se utilizara la Ec. 1.3.2-10

Entrada

$$H_{1(\text{sólido entrada})} = (Cps + x_1)T_{s1}$$

$$H_1 = (0,65 + 0,30) \times 20 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot \text{C}} \cdot C$$

$$H_1 = 19 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$$

Salida

$$H_{2(\text{sólido salida})} = (Cps + x_2)T_{s2}$$

$$H_2 = (0,65 + 0,13) \times 48 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot \text{C}} \cdot C$$

$$H_2 = 37,44 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$$

#### 3.1.3.1.2.2 CALCULO DE LAS ENTALPIAS DEL AIRE

En las entalpias del aire se utilizara la Ec: 1.3.2-9

Entrada

$$H_{2(\text{aire entrada})} = (0,24 + 0,46Y_2)t_2 + 597,2Y_2$$

$$H_2 = (0,24 + (0,46 \times 0,009)) \times 90 + (597,2 \times 0,009)$$

$$H_2 = 27,34 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$$

Salida

$$H_{1(\text{aire salida})} = [(0,24 + 0,46Y_1)]t_1 + 597,2Y_1$$

$$H_1 = (0,24 + 0,46Y_1)50 + 597,2Y_1$$

$$H_1 = 12 + 620,2Y_1$$

El cálculo de la cantidad necesaria de aire y su humedad de salida se efectúa por aplicación de un balance simultáneo de materia y energía con  $q=0$ , pues no hay pérdidas de calor:

$$H_{1(\text{entalpía sólido entrada})}G_s + H_{2(\text{entalpía aire entrada})}G = H_{2(\text{entalpía sólido})}G_s + H_{1(\text{entalpía aire salida})}G + q \rightarrow 0$$

$$(19) \times (0,250) + 27,34 G = (37,34) \times (0,250) + (12 + 620,2Y_1)G$$

$$4,75 + 27,34G = 9,363 + 12G + 620,2Y_1G$$

$$15,34G = 4,613 + 620,2Y_1G$$

$$G = 3,17 \frac{\text{kg aire seco}}{\text{h}}$$

Este aire será calentado mediante vapor proveniente de una caldera, en serpentines auxiliares. Como en este calentamiento por contacto indirecto la humedad absoluta del aire se mantiene constante.

### 3.1.3.1.2.3 CALCULO DE LA HUMEDAD DE SALIDA DEL AIRE

A partir de la cantidad de aire a suministrar se obtendrá la humedad del aire a la salida

$$Y_1G = 0,0425 + 0,009G$$

$$Y_1 = 0,022$$

### 3.1.3.1.2.4 CALCULO DE LA ENTALPIA DEL AIRE A LA SALIDA

$$H_1 = 12 + 620,2Y_1$$

$$H_1 = 12 + 620,2(0,022)$$

$$H_1 = 25,64 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$$

### 3.1.3.1.2.5 CALCULO DE LA CANTIDAD DE CALOR PERDIDO

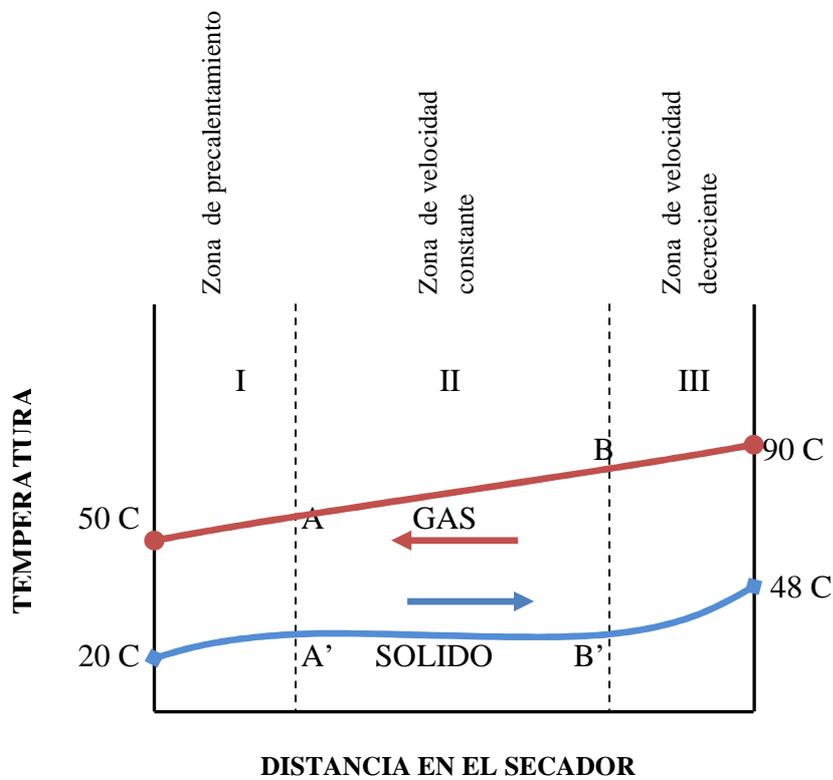
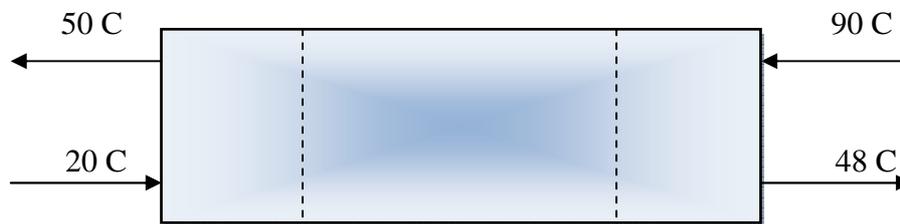
Las pérdidas de calor el exterior se estima en un 10% de la entalpia total del aire de entrada a través de la Ec: 1.3.2-16

$$q = G \times F \times H_2(\text{entalpia aire entrada})$$

$$q = 3,17 \times 0,10 \times 27,34$$

$$q = 8,67 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

Tomaremos para la temperatura de interface de la zona II el valor de 30 C



Graf. 3.1.4.1.2-1 Distancias y Temperaturas en el Secador

### 3.1.3.1.2.6 CALCULO DE LAS ENTALPIAS DEL SOLIDO EN LA ZONA II

Las entalpias del sólido en los extremos de estas zonas son obtenidas por medio de la Ec:1.3.2-10

$$H'_{A(\text{entrada zona II})} = (0,65 + 0,30) \times 30 = 28,5 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$$

$$H'_{B(\text{salida zona II})} = (0,65 + 0,13) \times 30 = 23,4 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$$

### 3.1.3.1.3 CALCULO DEL NÚMERO DE ELEMENTOS DE TRANSMISION

El cálculo del número de elementos de transmisión ha de efectuarse separadamente para cada zona.

Vamos a suponer que en estas zonas II y III las pérdidas totales de calor son de 10%, mientras que en la zona II son de 40%. La zona III será la más corta dado que la diferencia de temperatura es la más elevada.

### 3.1.3.1.3.1 CALCULO DEL NÚMERO DE ELEMENTOS DE TRANSMISION EN LA ZONA III

El cálculo de temperatura de salida del aire de esta zona se efectúa por un balance entalpico

#### 3.1.3.1.3.1.1 CALCULO DEL CALOR CEDIDO POR EL AIRE

$$3,17 \times 0,24 (90 - T_B) = G c (T_1 - T_B)$$

#### 3.1.3.1.3.1.2 CALCULO DEL CALOR ABSORBIDO POR EL SOLIDO

$$0,50 \times (37,44 - 23,44) = 3,5 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

#### 3.1.3.1.3.1.3 CALCULO DEL CALOR PERDIDO AL EXTERIOR

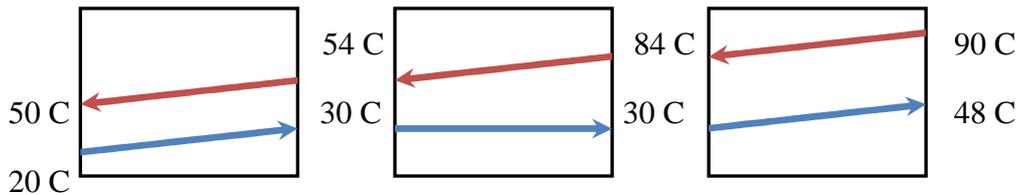
$$0,10 \times 8,67 = 0,867 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

En consecuencia

$$3,17 \times 0,24 \times (90 - t_B) = 4,367$$

$$T_B = 84,3 \text{ C}$$

La diferencia media de temperaturas entre el aire y el sólido para esta zona



Graf. 3.1.4.1.3-1 Diferencias de temperaturas en cada zona

$$(\Delta T)_{log} = \frac{42 + 54}{2} = 48 \text{ C}$$

Si no hubiera pérdidas al exterior, la temperatura de salida del aire de esta zona seria

$$3,17 \times 0,24 \times (90 - T_{B'}) = 3,5$$

$$T_{B'} = 85,46 \text{ C}$$

Por consiguiente:

$$\Delta T' = 4,54 \text{ C}$$

Números de elementos de transmisión para esta zona será obtenida de la Ec: 1.3.2-13

$$(N_{OT})_{III} = \frac{4,54}{48} = 0,095$$

### 3.1.3.1.3.2 CALCULO DEL NÚMERO DE ELEMENTOS DE TRANSMISION EN LA ZONA I

Por balance entalpico calculamos la temperatura de entrada a esta zona:

$$3,17 \times 0,26 \times (T_A - 50) = 0,250(28,5 - 19) + 0,10 \times 8,67$$

$$T_A = 53,9 \text{ C}$$

Diferencia media de temperaturas entre el aire y el sólido para esta zona

$$(\Delta T)_{log} = \frac{24 + 30}{2} = 27C$$

Si no hubiera pérdidas al exterior:

$$G(0,26) \times (T_{A'} - 50) = 0,250 \times (28,5 - 19)$$

$$3,17 \times (0,26) \times (T_{A'} - 50) = 2,375$$

$$T_{A'} = 52,91C$$

$$\Delta T_{A'} = T_{A'} - 50$$

$$\Delta T_{A'} = 52,91 - 50$$

$$\Delta T_{A'} = 2,91C$$

El número de elementos de transmisión de acuerdo a la Ec: 1.3.2-13 será

$$(N_{OT})_I = \frac{2,91}{27} = 0,11$$

### **3.1.3.1.3.3 CALCULO DEL NÚMERO DE ELEMENTOS DE TRANSMISION EN LA ZONA II**

#### **3.1.3.1.3.3.1 DISMINUCIÓN DE LA TEMPERATURA DEL GAS EN ESTA ZONA**

$$\Delta T = 84,3 - 53,9 = 30,4C$$

#### **3.1.3.1.3.3.2 DISMINUCIÓN DE LA TEMPERATURA POR PÉRDIDAS DE CALOR AL EXTERIOR**

$$\Delta T_p = \frac{0,30 \times 8,67}{3,17 \times 0,04}$$

$$\Delta T_p = 20,5 C$$

#### **3.1.3.1.3.3.3 DISMINUCIÓN DE TEMPERATURA DEL GAS SI NO EXISTIERAN PÉRDIDAS**

$$\Delta T' = \Delta T - \Delta T_p$$

$$\Delta T' = 30,4 - 20,5 = 9,9 C$$

Diferencia media de temperaturas entre el aire y el sólido para esta zona

$$(\Delta T)_{log} = \frac{48 - 24}{\ln \frac{48}{24}} = 34,32 \text{ C}$$

Número de elementos de transmisión para esta zona mediante la Ec: 1.3.2-13

$$(N_{OT})_{II} = \frac{9,9}{34,62} = 0,285$$

El número total de elementos de transmisión para el secadero de túnel será

$$N_{OT} = 0,095 + 0,11 + 0,285 = 0,49$$

#### 3.1.3.1.4 CÁLCULO DE LA ALTURA DEL ELEMENTO DE TRANSMISIÓN

Para el cálculo de la altura del elemento de transmisión se utiliza la Ec: 1.3.2-14

$$H_{OT} = \frac{57 \cdot c \cdot G^{0,2}}{a}$$

$$H_{OT} = \frac{57 \times 0,24 \times 3,17^{0,2}}{2,862}$$

$$H_{OT} = 6,02$$

**Para el cálculo de la longitud del secador de túnel** se determinara mediante la Ec: 1.3.2-15

$$z = ((H_{OT} \cdot N_{OT}))_I + ((H_{OT} \cdot N_{OT}))_{II} + ((H_{OT} \cdot N_{OT}))_{III}$$

$$z = (6,02 \times 0,11) + (6,02 \times 0,285) + (6,02 \times 0,095)$$

$$z = 2,95 \text{ m}$$

#### 3.1.3.2 CALCULO DEL CALOR SENSIBLE (CS)

Para calentar la cantidad de agua desde 20 C hasta la temperatura de saturación de 86 C.

Por medio de la carta psicométrica se halla la temperatura de saturación, los valores de entalpia H del agua se toma de las tablas de relación agua - vapor “Propiedades Termodinámicas del vapor de agua saturada”, (Se encuentra en la separata).

$$H_{agua(20C)} = 20,005 \frac{Kcal}{Kg}$$

$$H_{agua(86C)} = 85,964 \frac{Kcal}{Kg}$$

$$C_s: (H_{agua(86C)} - H_{agua(20C)}) \quad \text{Ec: 1.3.2-17}$$

$$C_s = (85,964 - 20,005) \frac{Kcal}{Kg}$$

$$C_s = 65,96 \frac{Kcal}{Kg}$$

### 3.1.3.3 CALCULO DEL CALOR LATENTE ( $C_L$ )

$$H_{vapor\ sat(86C)} = 633,69 \frac{Kcal}{Kg}$$

$$C_L: (H_{vapor\ sat(86C)} - H_{agua\ sat(86C)}) \quad \text{Ec: 1.3.2-18}$$

$$C_L = (633,69 - 85,964) \frac{Kcal}{Kg}$$

$$C_L = 547,73 \frac{Kcal}{Kg}$$

Calculo del calor suministrado para llevar de 20 C a 86 C de vapor saturado

$$q_s = \text{calor sensible} + \text{calor latente} \quad \text{Ec. 1.3.2-19}$$

$$q_s = (65,96 + 547,73) \frac{Kcal}{Kg}$$

$$q_s = 613,66 \frac{Kcal}{Kg}$$

Transformamos a Kilocalorías y tenemos:

$$q_s = 613,66 \frac{Kcal}{Kg} \times 0,250Kg$$

$$q_s = 153,4 \text{ Kcal}$$

### 3.1.3.4 CALCULO DE LA CANTIDAD DE CALOR NECESARIO PARA CALENTAR LA BASE SECA DEL MATERIAL DESDE 20 C A 80 C

De acuerdo a la Ec. 1.3.2-20

$$Q = mc_p\Delta T$$

$$c_{PS} = \text{calor específico del solido} = 0,65 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg C}}$$

$$m_{H_2O\text{eliminada}} = \text{masa de agua eliminada} = 0,40 \text{ Kg}$$

$$\Delta T = \text{variación de temperatura} = (80C - 20C) = 60 C$$

$$Q = 0,40\text{Kg} \times 60 C \times 0,65 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg C}}$$

$$Q = 15,6 \text{ Kcal}$$

#### 3.1.3.4.1 CALCULO DEL CALOR TOTAL NECESARIO PARA CALENTAR EL SISTEMA

$$Q_T = q_{\text{vapor sat}} + Q_{\text{sistema}} \quad \text{Ec: 1.3.2-20}$$

$$Q_T = (153,4 + 15,6)\text{Kcal}$$

$$Q_T = 169 \text{ kcal}$$

#### 3.1.3.4.2 CALCULO DEL CALOR QUE DEBE SUMINISTRAR LOS SERPENTINES

El calor que debe suministrar los serpentines auxiliares es

$$Q_{\text{serpentin}} = G(H_2(\text{aire entrada}) - H_{\text{aire atmosferico}}) \quad \text{Ec: 1.3.2-21}$$

$$Q_{\text{serpentin}} = 3,17 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} (27,34 - 11,142) \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

$$Q_{\text{serpentin}} = 51,35 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

Con vapor de 10 psi, si el calor latente de ese vapor es de  $637,05 \frac{Kcal}{Kg}$  (datos obtenidos del Diseño y Construcción de la Caldera realizado por Beatriz Mercedes Moreno y Patricia Paz), por lo tanto se debe suministrar:

$$vapor\ a\ suministrar = \frac{Q_{serpentin}}{calor\ latente\ del\ vapor} \quad Ec: 1.3.2-22$$

$$vapor\ a\ suministrar = \frac{51,35 \frac{Kcal}{h}}{637,05 \frac{Kcal}{Kg}}$$

$$vapor\ a\ suministrar = 0,081 \frac{kg}{h} \text{ de vapor a esa presion}$$

El consumo específico de vapor es entonces:

$$v_{especifico} = 0,0023 \text{ kg}$$

de vapor por kilogramo de agua evaporada desde el sólido. Este consumo se debe a que además de evaporar, hay que calentar el sólido.

### 3.1.3.5 CÁLCULOS ADICIONALES

#### 3.1.3.5.1 CANTIDAD DE AIRE NECESARIO QUE DEBE SUMINISTRAR EL VENTILADOR

$$\delta_{as} = \frac{m_{as}}{V_{aire}} \quad Ec: 1.3.2-23$$

Despejamos la ecuación y tenemos

$$V_{aire} = \frac{m_{as}}{\delta_{aire}}$$

Donde:

$$\delta_{as} = \text{densidad del aire a } 80 \text{ C ( Ver ANEXO VI )} = (1,0048)$$

$$m_{as} = \text{masa del aire seco ( Kg)}$$

$$V_{aire} = \text{Volumen del aire (m}^3\text{)}$$

Se obtiene:

$$V_{aire} = \frac{3,17 \text{ Kg aire seco}}{1,0048 \text{ Kg/m}^3}$$

$$V_{aire} = 3,15 \text{ m}^3$$

### 3.1.3.5.2 CAUDAL NECESARIO DE AIRE

$$Q_{aire} = \frac{V_{aire}}{t} \text{ Ec: 1.3.2-24}$$

Donde:

$Q_{aire}$  = Caudal del aire que debera suministrar el ventilador  $\frac{m^3}{h}$

$V_{aire}$  = Volumen de aire  $m^3$

$t$  = tiempo

El tiempo requerido es de 0,5 horas:

$$Q_{aire} = \frac{3,15 \text{ m}^3}{0,5 \text{ h}}$$

$$Q_{aire} = 6,3 \frac{m^3}{h}$$

### 3.1.3.5.3 VELOCIDAD DE LA BANDA TRANSPORTADORA

$$v = \frac{\Delta x}{t} \text{ Ec: 1.3.2-25}$$

$v$  = Velocidad de descarga

$t$  = Tiempo de recorrido

$\Delta x$  = desplazamiento de descarga

$$v = \frac{6 \text{ m}}{56 \text{ s}}$$

$$v = 0,11 \frac{m}{s}$$

### 3.1.3.5.4 CALCULO DE LA EFICIENCIA DEL EQUIPO

Para calcular la eficiencia del secador como punto de referencia tenemos la materia prima de entrada y el producto deshidratado con sus respectivas fracciones de humedad.

$$E = \frac{\text{Maíz Seco}}{\text{Maíz Húmedo}} \times 100$$

$$E = \frac{0,253 \text{ Kg}}{0,300 \text{ Kg}} \times 100$$

$$E = 84,33 \%$$

La eficacia en un equipo de secado para alimentos esta basado en que el producto conserve su valor nutricional durante la deshidratación, en nuestro caso el maíz conserve su valor nutritivo, en lo que tiene que ver a proteínas, grasa y fibra.

### 3.2 RESULTADOS

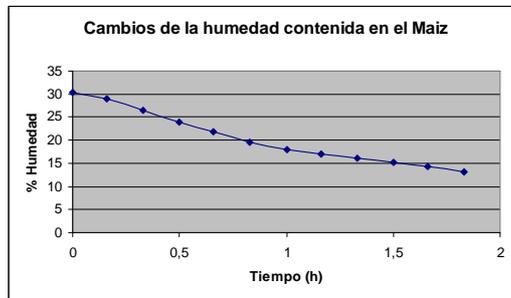
#### 3.2.1 CURVAS DE HUMEDAD EN FUNCION DEL TIEMPO

TABLA 3.2.1-1

Resultados de la pérdida de humedad en función del tiempo en base seca (Muestra de la Sierra)

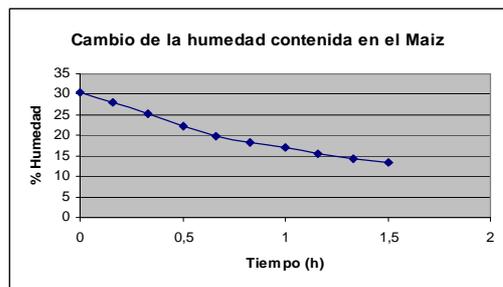
MUESTRA DE LA SIERRA								
TEMPERATURA			40 C		50 C		60 C	
N°	$\theta$ (horas)	P (g)	% Humedad perdida	%Humedad	% Humedad perdida	%Humedad	% Humedad perdida	%Humedad
1	0	0,250		31,1		31,1		31,1
2	0,16	0,246	1,6	29,5	2,4	28,7	3,2	27,9
3	0,33	0,240	2,4	27,1	2,9	25,8	3,7	24,2
4	0,50	0,234	2,5	24,6	3,0	22,9	2,6	21,6
5	0,66	0,229	2,1	22,4	2,6	20,3	2,2	19,4
6	0,83	0,224	2,2	20,2	1,3	18,9	2,3	17,2
7	1,00	0,220	1,8	18,5	1,4	17,6	2,3	14,8
8	1,16	0,218	0,9	17,5	1,4	16,2	0,9	13,9
9	1,33	0,216	0,9	16,6	1,4	14,8		
10	1,50	0,214	0,9	15,7	0,9	13,9		
11	1,66	0,212	0,9	14,8				
12	1,83	0,210	0,9	13,8				

- Las graficas que se muestran a continuación, representan los resultados que se obtuvieron con los procedimientos ya mencionados, de la pérdida de humedad en función del tiempo a 40 C utilizando un secador de bandejas podemos ver que su comportamiento es lineal, y la duración del proceso de secado es de 1,83 h dando una humedad de 13,8%.



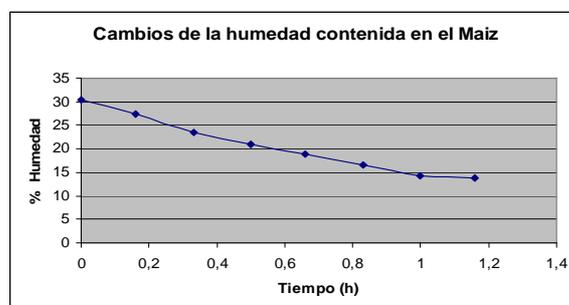
Graf 3.2.1.1-1.Contenido de  $x= f(t)$  a 40 C

- A 50 C y conservando los rangos de medición de la humedad observamos que en la grafica pierde mayor humedad a mientras más elevada es la temperatura empleando menos tiempo.



Graf 3.2.1.1-2.Contenido de  $x= f(t)$  a 50 C

- Al tratar de obtener una curva lo más real posible al proceso de secado, se opto entonces por someter al producto a una temperatura de 60 C con una duración del proceso de 1,16 horas logrando tener una humedad que se encuentra de acuerdo a los análisis de humedad realizados.



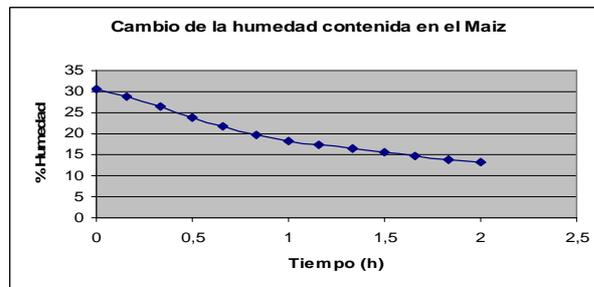
Graf 3.2.1.1-3Contenido de  $x= f(t)$  a 60 C

**TABLA 3.2.1-2**

**Resultados de la pérdida de humedad en función del tiempo en base seca (Muestra de la Costa)**

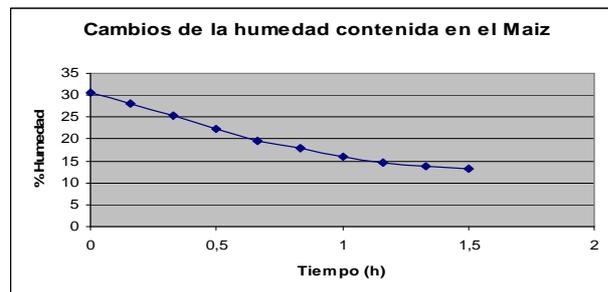
<b>MUESTRA DE LA COSTA</b>								
<b>TEMPERATURA</b>			<b>40 C</b>		<b>50 C</b>		<b>60 C</b>	
<b>N°</b>	<b>θ (horas)</b>	<b>P (g)</b>	<b>% Humedad perdida</b>	<b>%Humedad</b>	<b>% Humedad perdida</b>	<b>%Humedad</b>	<b>% Humedad perdida</b>	<b>%Humedad</b>
1	0	0,250		30,21		30,21		30,21
2	0,16	0,246	1,6	28,6	2,4	27,8	2,4	27,8
3	0,33	0,240	2,4	26,2	2,9	24,9	2,9	24,9
4	0,50	0,234	2,5	23,7	3,0	22,0	3,0	22,0
5	0,66	0,229	2,1	21,5	2,6	19,4	2,6	19,4
6	0,83	0,224	2,2	19,4	1,8	17,6	1,8	17,6
7	1,00	0,221	1,3	18,0	1,8	15,8	1,8	15,8
8	1,16	0,219	0,9	17,1	1,4	14,4	1,9	13,9
9	1,33	0,217	0,9	16,2	0,9	13,4	0,9	13,0
10	1,50	0,215	0,9	15,3	0,5	13,0		
11	1,66	0,213	0,9	14,3				
12	1,83	0,211	0,9	13,4				
13	2,00	0,210	0,5	12,9				

- De manera similar se realizaron los cálculos con los datos de la Tabla 3.1.1-1 de la variación de la humedad en función del tiempo para la muestra de maíz de la costa en este caso la logrando mediante una temperatura de 40 C una eliminación considerable de humedad a las 2 horas



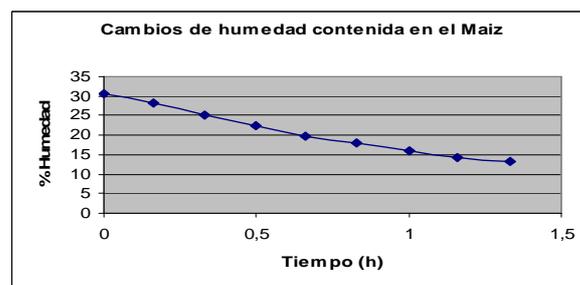
Graf 3.2.1.2 - 1. Contenido de  $x = f(t)$  a 40 C

- La eliminación de humedad contenida en el maíz de la costa presenta el mismo comportamiento en los diferentes intervalos de temperatura y tiempo, en el que no existen variaciones muy marcadas la humedad lograda a esta temperatura es de 13%.



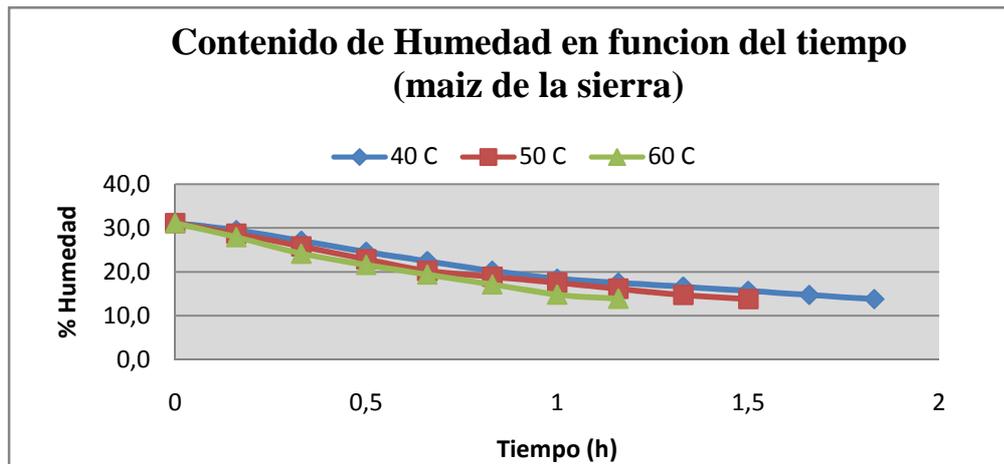
Graf 3.2.1.2 -2. Contenido de  $x = f(t)$  a 50 C

- La humedad obtenida a 60C para el maíz de la costa fue del 13% datos que coinciden con los datos obtenidos en los analisis de humedad realizados en el laboratorio pero con una diferencia que el tiempo que se consigue esta humedad es de 1,33 horas.

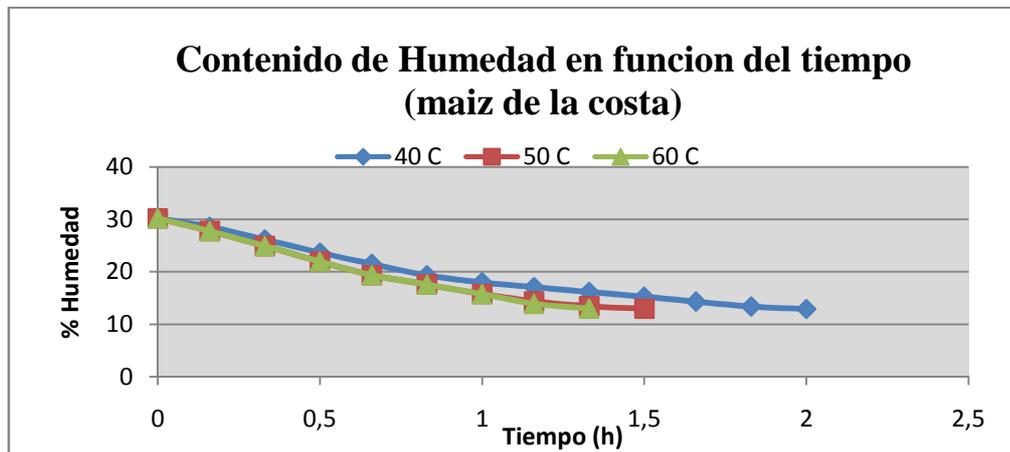


Graf 3.2.1.2-3 Contenido de  $x = f(t)$  a 60 C

## Comparación de las diferentes graficas a distintas Temperaturas



Graf 3.2.1-7 Comparación de las pérdidas de humedad en función del tiempo a diferentes temperaturas de secado del maíz de la sierra.



Graf 3.2.1-8 Comparación de las pérdidas de humedad en función del tiempo a diferentes temperaturas de secado del maíz de la costa.

Las curvas analizadas tienen un comportamiento normal en el secado del maíz de la sierra como de la costa a diferentes intervalos de temperatura y tiempo, en la cual no se observa ningún proceso de degradación y además la humedad final está acorde a los resultados obtenidos por el Laboratorio. De todas estas curvas nos damos cuenta que a mayor temperatura hay mayor pérdida de humedad, el tiempo de secado es variable de 1.33 horas para coincidir la temperatura optima de 60 C con un comienzo de humedad de 30.21 % a 13% en el caso del maíz de la costa (Ver Anexo3 y 4).

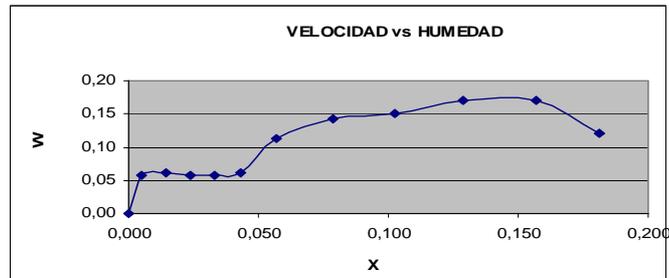
### 3.2.2 CURVAS DE VELOCIDAD EN FUNCION DE LA HUMEDAD

TABLA 3.2.2-1

#### RESULTADOS DE LA VELOCIDAD DE SECADO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO (MAÍZ DE LA SIERRA)

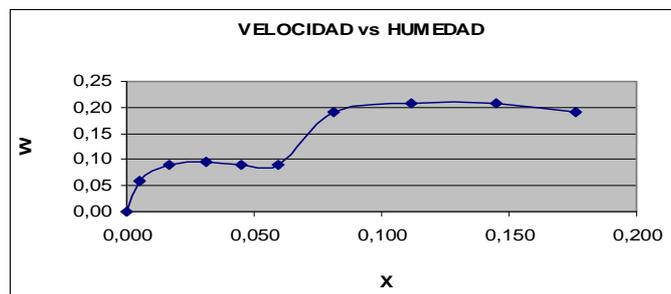
40 C			50 C			60 C		
X (kg/kg)	W (kg/h.m <sup>2</sup> )	Aproximación	X (kg/kg)	W (kg/h.m <sup>2</sup> )	aproximación	X (kg/kg)	W (kg/h.m <sup>2</sup> )	aproximación
0,181	0,127	0,13	0,176	0,190	0,19	0,171	0,254	0,25
0,157	0,179	0,18	0,145	0,209	0,21	0,131	0,269	0,27
0,129	0,179	0,18	0,112	0,209	0,21	0,095	0,179	0,18
0,102	0,159	0,16	0,081	0,190	0,19	0,069	0,159	0,16
0,079	0,149	0,15	0,060	0,090	0,09	0,045	0,149	0,15
0,057	0,119	0,12	0,045	0,090	0,09	0,021	0,149	0,15
0,043	0,063	0,06	0,031	0,095	0,10	0,005	0,063	0,06
0,033	0,060	0,06	0,017	0,090	0,09			
0,024	0,060	0,06	0,005	0,060	0,06			
0,014	0,063	0,06	0,000					
0,005	0,060	0,06						

- Una vez aplicadas las distintas ecuaciones podemos llegar a representar los datos de la velocidad de secado en función de la humedad podemos observar que al principio no es estable debido a que inicia el secado y posteriormente vemos que tiende a estabilizarse debido a que las variables permanecen constantes.



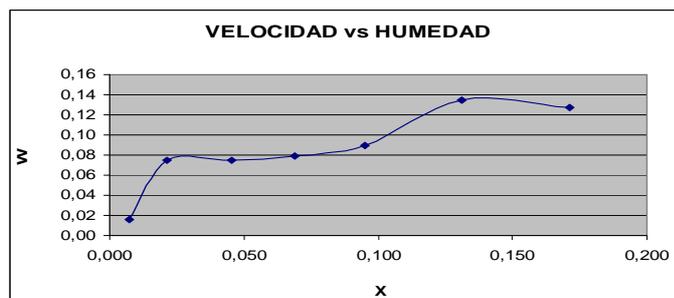
Graf 3.2.2-1. Curva de  $W = f(x)$  a 40 C

- A una temperatura más elevada podemos ver que se distinguen fácilmente los periodos de velocidad constante debido a la mayor estabilidad durante el proceso de deshidratación del contenido de humedad.



Graf 3.2.2-2. Curva de  $W = f(x)$  a 50 C

- Debido al incremento de la temperatura el comportamiento característico que tiene el maíz en la etapa del secado se puede observar mediante los diferentes periodos de velocidad que se presentan en las graficas mostrando una variación continua con la pérdida de humedad.



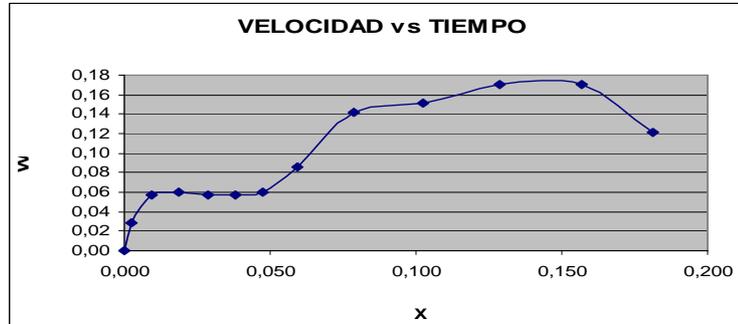
Graf 3.2.2-3. Curva de  $W = f(x)$  a 60 C

**TABLA 3.2.2-2**

**RESULTADOS DE LA VELOCIDAD DE SECADO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO (MAÍZ DE LA COSTA)**

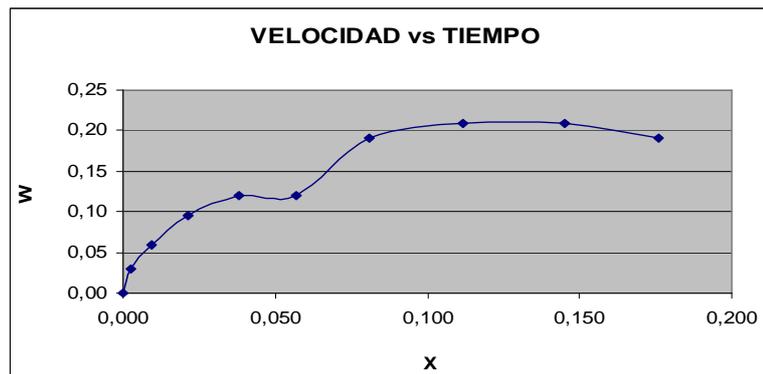
40 C			50 C			60 C		
X (kg/kg)	W (kg/h.m <sup>2</sup> )	Aproximación	X (kg/kg)	W (kg/h.m <sup>2</sup> )	aproximación	X (kg/kg)	W (kg/h.m <sup>2</sup> )	aproximación
0,181	0,127	0,13	0,176	0,190	0,19	0,176	0,190	0,19
0,157	0,179	0,18	0,145	0,209	0,21	0,145	0,209	0,21
0,129	0,179	0,18	0,112	0,209	0,21	0,112	0,209	0,21
0,102	0,159	0,16	0,081	0,190	0,19	0,081	0,190	0,19
0,079	0,149	0,15	0,057	0,119	0,12	0,057	0,119	0,12
0,060	0,090	0,09	0,038	0,119	0,12	0,038	0,119	0,12
0,048	0,063	0,06	0,021	0,095	0,10	0,019	0,127	0,13
0,038	0,060	0,06	0,010	0,060	0,06	0,005	0,060	0,06
0,029	0,060	0,06	0,002	0,030	0,03	0,000	0,000	0,00
0,019	0,063	0,06	0,000	0,000	0,00			
0,010	0,060	0,06						
0,002	0,030	0,03						
0,000	0,000	0,00						

- Debido al contenido de humedad podemos ver que no existe estabilidad al inicio del proceso de secado ya que en este se produce solo el calentamiento del grano y a medida que avanza el proceso tiende a estabilizarse o permanecer constante la velocidad.



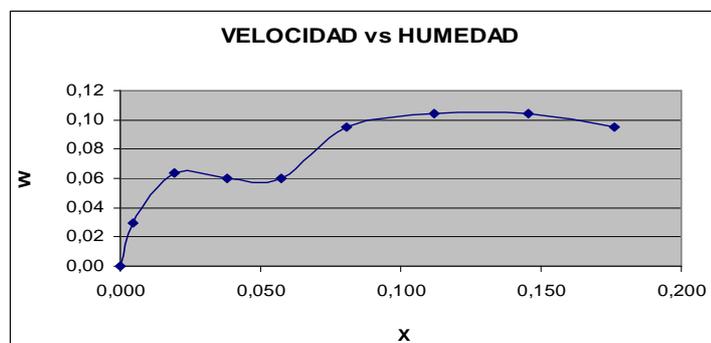
Graf 3.1.2-4. Curva de  $W = f(x)$  a 40 C

- Podemos ver en la grafica que a esta temperatura el periodo de velocidad constante es corto debido a una variación en las variables que intervienen a esta temperatura y a las condiciones que fue realizado el secado.

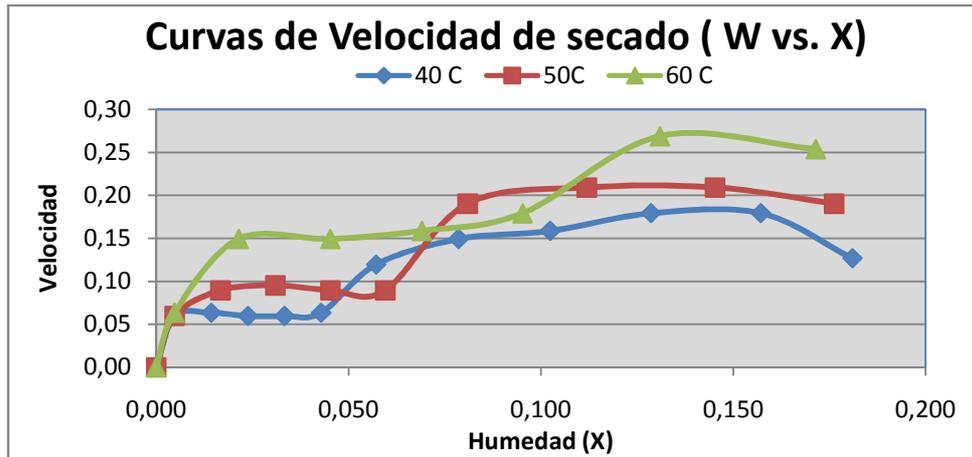


Graf 3.1.2-5. Curva de  $W = f(x)$  a 50 C

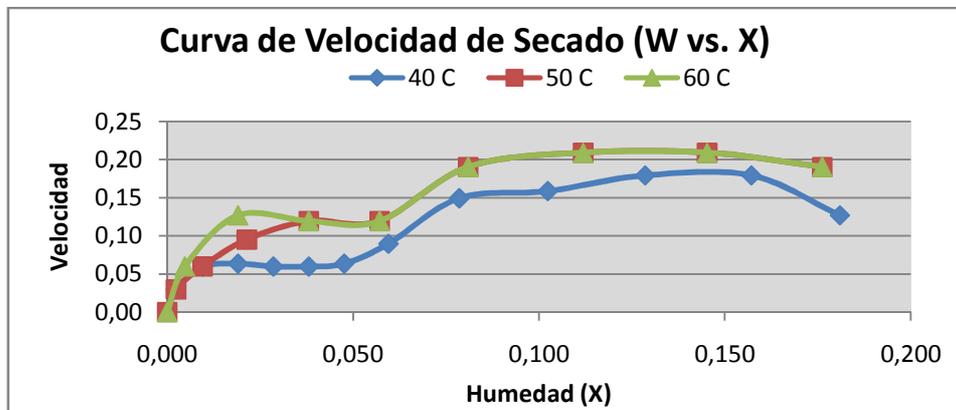
- Existe una ligera similitud de la curva obtenidas a esta temperatura y la de 50 C debido a que no hay mucha diferencia en el intervalo de Temperatura y coincidió con los análisis realizados, por esta razón la utilizamos en el cálculo de las diferentes variables del proceso.



Graf 3.1.2-6. Curva de  $W = f(x)$  a 60 C



Graf 3.1.2-7 Comparación de la velocidad de secado en función del tiempo a diferentes temperaturas de secado. (Maíz de la Sierra)



Grafica 3.1.2-8 Comparación de la velocidad de secado en función del tiempo a diferentes temperaturas de secado. (Maíz de la Costa)

✚ Todas las curvas de secado que se han representado corresponden a la velocidad de secado en función a la humedad, a lo cual tienen un comportamiento similar a las curvas características de secado. En el primer caso se observa las curvas no van acordes a las diferentes temperaturas debido a una variación en el tiempo de secado y pérdida del contenido de humedad, mientras tanto en el segundo caso se presenta una similitud de las curvas de secado a diferentes temperaturas, en la cual la curva de 50 y 60 C coincidió con los datos obtenidos de los análisis realizados en el CESTTA, de estas tomaremos solamente la curva de 60 C como base para los cálculos posteriores. A continuación se muestra la tabla elegida para partir para el resto de cálculos del diseño y posterior construcción.

**TABLA 3.2.3-1**

**Resultados de los cálculos del diseño del secador de túnel**

<p>(1)</p> <p><b>BALANCE DE MASA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Cantidad de agua eliminada</li> <li style="padding-left: 40px;">0,40 kg</li> <li>✚ Caudal del aire (entrada)</li> <li style="padding-left: 40px;"><math>3,17 \frac{kg \text{ aire seco}}{h}</math></li> <li>✚ Humedad de aire (salida)</li> <li style="padding-left: 40px;">0,022</li> </ul> <p><b>BALANCE DE ENERGIA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Entalpia del solido (entrada)</li> <li style="padding-left: 40px;"><math>19 \frac{kcal}{kg}</math></li> <li>✚ Entalpia del solido (salida)</li> <li style="padding-left: 40px;"><math>37,44 \frac{kcal}{kg}</math></li> <li>✚ Entalpia del aire (entrada)</li> <li style="padding-left: 40px;"><math>27,34 \frac{kcal}{kg}</math></li> </ul>	<p>(2)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Entalpia del aire (salida)</li> <li style="padding-left: 40px;"><math>25,64 \frac{kcal}{kg}</math></li> <li>✚ Calor perdido</li> <li style="padding-left: 40px;"><math>8,67 \frac{kcal}{h}</math></li> <li>✚ Calor sensible</li> <li style="padding-left: 40px;"><math>65,96 \frac{Kcal}{Kg}</math></li> <li>✚ Calor latente</li> <li style="padding-left: 40px;"><math>547,73 \frac{Kcal}{Kg}</math></li> <li>✚ Calor suministrado para llevar de 20 C a 86 C de vapor saturado</li> <li style="padding-left: 40px;">153,4 Kcal</li> <li>✚ Cantidad de calor necesario para calentar la base seca desde 20 C a 80 C</li> <li style="padding-left: 40px;">15,6 Kcal</li> </ul>	<p>(3)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Calor total necesario para calentar el sistema</li> <li style="padding-left: 40px;">169 kcal</li> <li>✚ Calor que debe suministrar los serpentines</li> <li style="padding-left: 40px;"><math>51,35 \frac{Kcal}{h}</math></li> <li>✚ Cantidad de vapor a suministrar</li> <li style="padding-left: 40px;"><math>0,081 \frac{kg}{h}</math></li> <li>✚ Consumo específico de vapor</li> <li style="padding-left: 40px;">0,0023 kg</li> <li>✚ Temperatura media del sólido y del aire</li> <li style="padding-left: 40px;">48 C</li> <li>✚ Temperatura de salida del aire si no hubiera perdidas</li> <li style="padding-left: 40px;">85,46 C</li> <li>✚ Número de elementos de transmisión</li> <li style="padding-left: 40px;">0,095</li> </ul>
---	--	--

<p>(4)</p> <p><b>CALCULOS PARA LA LONGITUD DEL SECADOR</b></p> <p style="text-align: center;"><b>ZONA II</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Entalpia del solido (entrada)</li> </ul> $28,5 \frac{kcal}{kg}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Entalpia del solido (salida)</li> </ul> $23,4 \frac{kcal}{kg}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Temperatura del gas</li> </ul> $30,4 C$ <ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Temperatura del gas por perdidas (exterior)</li> </ul> $20,5 C$ <ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Temperatura del gas sin perdidas</li> </ul> $9,9 C$ <ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Número de elementos de transmisión</li> </ul> $0,285$	<p>(5)</p> <p style="text-align: center;"><b>ZONA I</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Temperatura de Entrada</li> </ul> $53,9 C$ <ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Temperatura media del sólido y gas</li> </ul> $27 C$ <ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Temperatura del gas sin perdidas al exterior</li> </ul> $2,91 C$ <ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Número de elementos de transmisión</li> </ul> $0,11$ <p style="text-align: center;"><b>ZONA III</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Calor absorbido por el solido</li> </ul> $3,5 \frac{kcal}{h}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Calor perdido al exterior</li> </ul> $0,867 \frac{kcal}{h}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Calor cedido por el aire</li> </ul> $84,3 C$	<p>(6)</p> <p style="text-align: center;"><b>SECADOR DE TUNEL</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Número total de elementos de transmisión</li> </ul> $0,49$ <ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Altura del elemento de transmisión</li> </ul> $6,02$ <ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Longitud del secador de túnel</li> </ul> $2,95 m$ <p style="text-align: center;"><b>CALCULOS ADICIONALES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Cantidad de aire necesario que debe suministrar el Venterol</li> </ul> $3,15 m^3$ <ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Caudal del aire</li> </ul> $6.30 \frac{m^3}{h}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>✚ Velocidad de la banda transportadora</li> </ul> $v = 0.11 \frac{m}{s}$
---	--	---

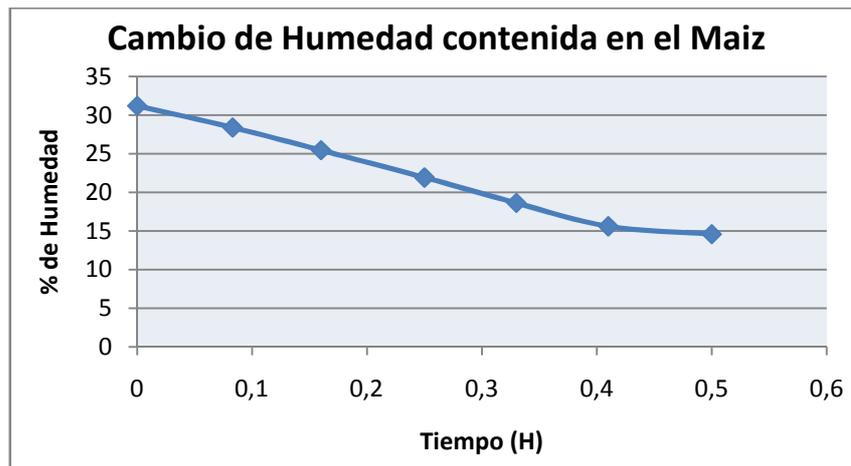
### 3.2.3.2 RESULTADOS OBTENIDOS EN EL SECADOR DE TUNEL

**TABLA 3.2.3.2-1**

**Resultados Obtenidos en el Secador de Túnel (Maíz de la Sierra) 60 C**

N°	$\Theta$ (h)	P ( kg)	Humedad total (kg)	X (kg/kg)	X media	W (kg/h.m <sup>2</sup> )	% de humeda Perdida	% de Humedad
1	0	0,300	0,312	0,186	0,169	0,12		31,2
2	0,083	0,292	0,284	0,153	0,136	0,13	2,8	28,4
3	0,16	0,283	0,255	0,119	0,099	0,13	2,9	25,5
4	0,25	0,273	0,219	0,079	0,061	0,13	3,5	21,9
5	0,33	0,264	0,186	0,043	0,028	0,12	3,3	18,6
6	0,41	0,256	0,156	0,012	0,007	0,03	3,0	15,6
7	0,5	0,253	0,146	0,002	0,001	0,01	1,0	14,6

- La Grafica Obtenida de los datos del secador de Túnel para el Maíz de la Sierra a 60 C partiendo de una humedad de 31,2% se puede observar claramente que tiene una tendencia lineal y pierde el mayor contenido de humedad a las 0,5 horas logrado una humedad final de 14,6 %.

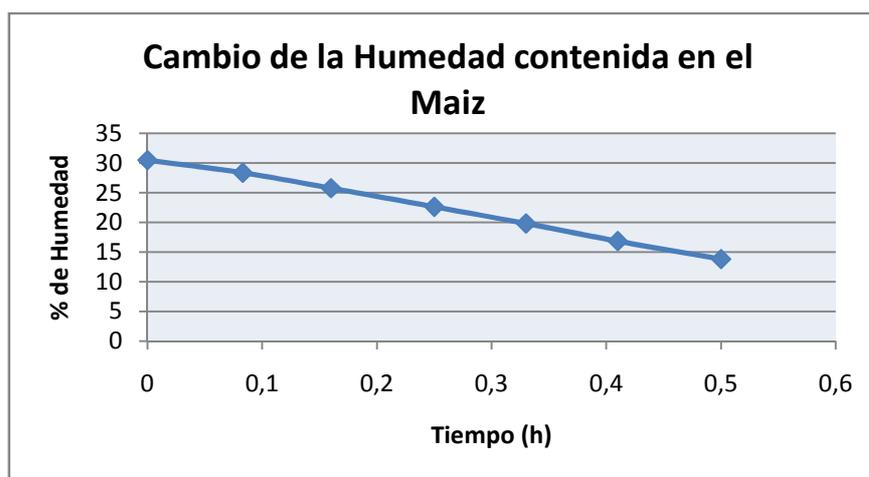


**Graf 3.2.3.2-1.** Contenido de  $x = f(t)$

**TABLA 3.2.3.2-1****Resultados Obtenidos en el Secador de Túnel (Maíz de la Costa) 60 C**

<b>N°</b>	<b>Θ (h)</b>	<b>P ( kg)</b>	<b>Humedad total (kg)</b>	<b>X (kg/kg)</b>	<b>X media</b>	<b>W (kg/h.m<sup>2</sup>)</b>	<b>% de humeda Perdida</b>	<b>% de Humedad</b>
1	0	0,300	0,305	0,186	0,173	0,09		30,5
2	0,083	0,294	0,284	0,160	0,145	0,12	2,1	28,4
3	0,16	0,286	0,258	0,130	0,113	0,12	2,6	25,8
4	0,25	0,277	0,226	0,095	0,079	0,12	3,1	22,6
5	0,33	0,269	0,198	0,064	0,048	0,12	2,8	19,8
6	0,41	0,261	0,168	0,032	0,017	0,10	3,0	16,8
7	0,5	0,253	0,138	0,001	0,001	0,00	3,0	13,8

- Mediante los cálculos realizados con los datos obtenidos de la Tabla 3.2.3.2-1 para el maíz de la costa se puede graficar la cantidad de humedad que se va perdiendo a medida que transcurre el tiempo logrando llegar a una humedad de 13,8% que es un valor muy aceptable en la cual se conserva su valor nutritivo, ya que su humedad inicial fue de 30,5%.



**Graf 3.2.3.2-2.** Contenido de  $x=f(t)$

### 3.3 ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

La humedad es un factor muy importante en la calidad de los alimentos de esta depende su preservación, en el caso del maíz son comercialmente aceptables cuando tienen un contenido entre 14 a 13% de humedad de acuerdo al punto de vista de las relaciones de equilibrio y de velocidad los valores obtenidos a través de los ensayos con una humedad inicial entre 30% - 31% en un secador estacionario de bandejas dan un tiempo real de secado de 1,33 h con una humedad final del 13%.

La cantidad de flujo de aire a suministrar es de 3,17 kg/h conseguido a través de un balance simultaneo de materia y energía en diferentes condiciones de temperatura, presión, humedad que a través del secadero ya no permanecen constantes por lo tanto existe la variación de la temperatura del aire como del solido. La transmisión de calor permitirá el cálculo de la longitud del secadero continuo dando un valor de 3,00 m el mismo que se tomo de acuerdo al cálculo de los elementos de transmisión basado en la convección del calor y la longitud de la unidad de transmisión.

El numero de elementos de trasmisión del secador de túnel esta representado en tres zonas de secado, zona I (0,11), zona II (0,285) y zona III (0,095), donde el signo positivo indica un flujo a contracorriente, por lo que se puede observar que la temperatura del aire desciende de modo continuo desde la entrada hasta la salida del secador (90C – 50C), mientras la del solido asciende lentamente y se estabiliza en un valor constante (20C – 48C), y finalmente asciende. Prácticamente toda la humedad del solido se separa en la Zona II en la cual se supone que el secado se limita a la sección central, mientras que en los extremos tiene lugar solamente transmisión de calor sin transporte de materia.

### 3.4 COSTOS

#### 3.4.1 RECURSOS HUMANOS

**TABLA 3.4.1-1  
RECURSOS HUMANOS**

<b>DENOMINACIÓN</b>	<b>COSTO (dólares)</b>
Mano de Obra para la Construcción del equipo	400.00
Mano de Obra para la Conexión del Sist. Eléctrico	50.00
<b>TOTAL</b>	<b>450.00</b>

Fuente: Tesistas

#### 3.4.2 RECURSOS MATERIALES

**TABLA 3.4.2-1  
RECURSOS MATERIALES**

<b>DENOMINACIÓN</b>	<b>COSTO (dólares)</b>
Materiales y Suministros de Oficina	60.00
Análisis Proximal del Maíz	120.00
Materiales para construcción del Equipo	2400.00
Varios	400
<b>TOTAL</b>	<b>2980.00</b>

Fuente: Tesistas

#### 3.4.3 RECURSOS TOTALES

**TABLA 3.4.3-1  
RECURSOS TOTALES**

<b>DENOMINACIÓN</b>	<b>COSTO (dólares)</b>
Recursos Humanos	450.00
Recursos Materiales	2980.00
<b>Subtotal</b>	<b>3430.00</b>
Imprevistos 10%	343.00
<b>TOTAL</b>	<b>3773.00</b>

Fuente: Tesistas

### 3.4.4 DIMENSIONAMIENTO DEL SECADOR DE TUNEL

**TABLA 3.4.4-1**  
**DIMENSIONAMIENTO DEL SECADOR DE TUNEL**

<b>CAMARA DE SECADO</b>		
Largo	3,00	m
Ancho	0,45	m
Alto	0,50	m
<b>CAMARA DE AIREACION</b>		
Largo	2,40	m
Ancho	0,36	m
Alto	0,42	m
<b>BANDA TRANSPORTADORA</b>		
Largo	6	m
Ancho	0,28	m
<b>REDUCTOR DE VELOCIDAD</b>		
Potencia	1	Hp
<b>2 VENTILADORES</b>		
Caudal	12,6	m <sup>3</sup> /s
<b>4 SERPENTINES</b>		
Largo	0,90	m
Alto	0,35	m
Diámetro del Tubo	0,254	m
Anillos	1,10	m
<b>TOLVA DE ALIMENTACION</b>		
Largo	0,50	m
Ancho	0,25	m
<b>TOLVA DE DESCARGA</b>		
Largo	0,48	m
Ancho	0,25	m

Fuente: Tesistas

### 3.4.5. MATERIALES UTILIZADOS PARA LA CONSTRUCCION DEL EQUIPO

TABLA 3.4.5-1

#### MATERIALES UTILIZADOS PARA LA CONSTRUCCION DEL SECADOR DE TUNEL

MATERIAL	TIPO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Acero Inoxidable	AISI 430	4 planchas	65.00	260.00
Acero Inoxidable	AISI 304	2 planchas	130.00	260.00
Banda Transportadora	Poliestireno	6 m	40.00	240.00
Tubos de Hierro Negro	1 x 2 mm	4	18.00	72.00
Ventiladores		2	75.00	150.00
Reductor de velocidad	½ HP trifásico	1	300.00	300.00
Madera		6,50 m <sup>2</sup>	100.00	100.00
Válvula Solenoide	½ de vapor	1	180.00	180.00
Trampa de vapor	½ de vapor	1	200.00	190.00
Serpentines	½	2	130.00	260.00
Termómetro	Mercúrico	1	78.00	78.00
Sensor Digital	PID 0-200 C	1	90.00	90.00
Caja eléctrica		1	220.00	220.00
<b>TOTAL</b>				2400.00

Fuente: Tesistas

# **CAPITULO IV**

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 CONCLUSIONES

- ✓ El secador de túnel diseñado y construido es de tipo rectangular - horizontal, el cual tiene una producción de  $25 \frac{kg}{h}$ , que permite disminuir la humedad del maíz desde el 31% hasta el 13,7 % de acuerdo a la Norma INEN 2050:95.
- ✓ Se caracterizó el maíz mediante un análisis sensorial en cuanto a su color tamaño y textura entre las cuales evidencia una diferencia entre el maíz de la sierra y de la costa, tamaños que fluctúan entre 11mm, blanco y 20mm amarillento respectivamente.
- ✓ Luego del proceso de secado el maíz no presenta una variación significativa en su valor nutritivo, respecto al contenido de grasa, fibra y proteína.
- ✓ En el diseño y construcción de un equipo de secado, el producto debe ser ensayado en el laboratorio según la serie de parámetros para escoger las condiciones óptimas del producto y del secador.
- ✓ De los cálculos de Ingeniería realizados se determinaron las siguientes dimensiones del equipo: 3 m de largo, 0,50 m de ancho, 0,45 m de alto, para su construcción se usaron tubos de hierro negro para los serpentines y acero inoxidable AISI 430 y AISI 304 para la carcasa de acuerdo a los requerimientos y especificaciones establecidas en las Normas INEN.

- ✓ Las variables de operación Determinadas son temperatura de operación de 60 C y un flujo de aire 3,17 Kg / h. La fuente de calor utilizado es vapor seco y para contrarrestar las pérdidas de calor se utilizó madera como aislante térmico.
- ✓ Ayudando de una manera más natural a la conservación del grano, se realizó un estudio de los costos de construcción del secador de túnel a vapor por medio de serpentines, dando un costo total de 2400 dólares.
- ✓ La eficacia del equipo según la materia de entrada y salida del secador nos da un valor de 84,33%. Por consiguiente el secador de túnel es garantizado en material obtenido, valor nutritivo y pérdida de humedad.

## 4.2 RECOMENDACIONES

- ✓ Debe hacerse una revisión a la materia prima antes de ser procesada para ver si presenta impurezas o agentes extraños al maíz, debe ser almacenada en un lugar fresco y limpio.
- ✓ Antes de la utilización del secador de túnel se debe realizar el respectivo chequeo de sus componentes y partes que forman este, como energía eléctrica, producción de vapor lo que garantizara un buen funcionamiento y arranque del equipo.
- ✓ Antes de cargar la materia prima al equipo, se debe esperar que se estabilice su temperatura por medio del controlador automático.
- ✓ Se debe realizar mantenimiento continuo a la trampa de vapor dado que con el uso de vapor y las partículas que son arrastradas a esta por medio de las tuberías desgastan la trampa disminuyendo gradualmente su eficiencia.
- ✓ La recomendación más importante es: Requiere un plan de mantenimiento preventivo del control automático que con el tiempo se desgastan y requieren un chequeo paulatino.
- ✓ El proceso debe hacerse con estrictas condiciones de higiene y seguridad, el lugar donde se ubique el secador de túnel debe ser un área amplia para el buen desenvolvimiento de la persona a cargo del proceso.
- ✓ El secador de túnel puede ser compatible con otros alimentos de similares características principalmente productos granulares tales como arveja, fréjol, etc.

## BIBLIOGRAFÍA

### GENERAL

- \* BELITZ, H. y GROSCH, W. Química de los Alimentos. Zaragoza: Acribia, 1995.
- \* BRITO, H. Texto Básico de Operaciones Unitarias. Riobamba-Ecuador, 2001.
- \* FOUST A. Principio de Operaciones Unitarias. 7a.ed. México: CECSA, 1998.
- \* HIMMELBLAU, D. Balances de Materia y Energía. México: Prentice-Hall Hispanoamericana, D.F., 1994.
- \* HOLMAN, J. Transferencia de Calor. 2a. ed. México: Mc Graw Hill, 1978.
- \* JARA, R. y OROZCO, F. Diseño y Construcción de un Deshidratador (Equipo piloto) para sangre de Bovinos. Tesis. Ing. Químico. Riobamba. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias, 2004
- \* LEON, D. y GOMEZ, J. Diseño y Construcción de un Secador de Bandejas para Germen de Trigo. Tesis. Ing. Químico. Riobamba. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias. 2005.
- \* MC CABE W. / SMITH J. Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. 6a. ed. México: Mc Graw Hill , 1980.
- \* MORING V. Termodinámica. 2a. ed. México: Mc Gran Hill, 1973.
- \* NONHEBEL, G. y Moss, A.D.M. Secado de Sólidos en la Industria Química. Ed. Barcelona: Reverté, 1979.
- \* PARADA, M. Diseño de un Secador de Bandejas para la Deshidratación del Hongo *Trichoderma harzianum*. Tesis. Ing. Químico. Riobamba. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias, 2007
- \* PERRY, J. Manual del Ingeniero Químico. 3a. ed. México: Mc Gran Hill, 1974.
- \* SMITH, C. Control Automático de Procesos. 2a. ed. México: Limusa, 1995.
- \* ULRICH, G. Procesos de Ingeniería Química. México: Mc Graw Hill. 1995.
- \* VIAN A. / OCON J. Elementos de Ingeniería Química. 2a. ed. Madrid: Aguilar, 2001.

## **ESPECÍFICA**

- BARBOZA, G. y Vega, H. Deshidratación de Alimentos. Zaragoza: Acribia S.A., 2000. Pp. 35-40
- BROWN, George G. Operaciones Básicas de la Ingeniería Química. España: Marín S.A., 1965. Pp. 58-62, 73
- CHRISTIE, J, GEANKOPLIS. Proceso de Transporte y Operaciones Unitarias. 1a. ed. México: Continental, 1982. Pp. 450-483.
- HIMMELBLAU, D. Balances de Materia y Energía. 4a. ed. México: Prentice-Hall Hispanoamericana, 1988. Págs. 475-477.
- KENNET, J. Termodinámica. 6a. ed. Barcelona: Mc. Graw Hill, 2001. Pp. 468-486.
- McCABE, Smith. Operaciones básicas de Ingeniería Química. Barcelona: Reverté, Pp. 206-212.
- OCON/ TOJO, G. Problemas de Ingeniería Química. . 2a. ed. Santiago: Chile, Pp. 240-306. V. 2
- PERRY, R. Manual del Ingeniero Químico. 7a. ed. Madrid: Mc Graw Hill, 2001. Pp. 12-45 a 12-47.

## **CITAS BIBLIOGRÁFICAS**

### **(1) Maíz**

<http://www.monografias, el maíz, Hm>

(2008-11-18)

### **(2) Historia del Maíz**

<http://www.produccion agricola del maíz, historia y origen>

(2008-11-22)

### **(3) Tipos de Maíz**

<http://www.Consultas\MAIZ\Choclo.Tipos de maiz.com.htm>

(2008-12-03)

(4) CIRILO, A. y ANDRADE, F. 1998. Maíz. En: Calidad de Productos Agrícolas: Bases eco fisiológicas, genéticas y de manejo agronómico. 2a. ed. México D.F., 1998. pp. 76-136.

(5) **Productos que se obtienen del Maíz**

<http://www.consultas\MAIZ\Comportamiento de Algunas Propiedades Físico-Químicas, condiciones de cultivo, composición, tipos de Maíz-Matarratón.htm>

(2008-12-13)

(6) **Propiedades del Maíz**

<http://www.Sika,Maiz.Composicionnutricional,Calidad,propiedadesnutricionales.com.ec>

(2008-12-16)

(7) **Secado**

<http://www.armfield.com>

(2008-12-20)

(8) **Definición de Secado**

<http://www.virtual.unal.edu.com>

(2008-12-20)

(9) **Objetivos del Secado**

<http://www.scielo.cl>

(2008-12-23)

(10) **Factores que Intervienen en el Proceso de Secado**

<http://www.Aspectos teóricos de la operación de secado factores y su aplicación en productos sólidos.htm>

(2009-01-11)

(11) CHRISTIE, Geankoplis. Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias: Curvas de Secado. México: Continental S.A, 1982. Pp. 452, 453.

- (12) CHRISTIE, Geankoplis. Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias: Secadores. México: Continental S.A de C.U, 1982. Pp. 454-455.
- (13) CRUZ VIERA Luis. Introducción a la Ingeniería Química. Cuba: Pueblo y Educación, 1990. Pp. 60-67
- (14) **Secador Continuo de Túnel**  
<http://www.secadores de túnel, operaciones de secado tesis.htm>  
(2009-01-11)
- (15) GEANKOPLIS J., Proceso de Transporte y Operaciones Unitarias. 1a. ed. México: Continental, 1982. Pp. 471- 483
- (16) **Secadores de Túnel de Flujo Paralelo**  
<http://www.monografias,secadores continuos y aplicación de un banda transportadora.htm/ec>  
(2009-01-11)
- (17) **Componentes Principales del Equipo**  
<http://www.Industriaalimenticia.Secado y componentes de secadores continuos.com.htm>  
(2009-01—12)
- (18) LEON, D. y GOMEZ, J. Diseño y Construcción de un Secador de Bandejas para Germen de trigo. Tesis. Ing. Químico. Riobamba Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias. 2005. Pp. 76-79

## **WEB**

### **Conservación de los alimentos**

[http://orbita.starmedia.com/tecnologiaalimentos/analisis\\_grasas.htm](http://orbita.starmedia.com/tecnologiaalimentos/analisis_grasas.htm)

(2008-12-01)

### **Factores de Secado**

<http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/283/cap1.html>

(2009-01-26)

["http://es.wikipedia.org/wiki/Secado\\_de\\_s%C3%B3lidos](http://es.wikipedia.org/wiki/Secado_de_s%C3%B3lidos)

(2008-12-05)

### **Maíz**

<http://www.sica.com.ec>

(2008-11-18)

[http://www.maizprod.mx/Archives\\_Davinci?article.html](http://www.maizprod.mx/Archives_Davinci?article.html)

(2008-11-20)

<http://www.origenmaizhistoria/alimentos.ec>

(2008-11-20)

### **Secado**

<http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/283/cap1.html>

(2008-12-01)

### **Secado de granos**

<http://www.doschivos.com/trabajos/tecnologia/803.htm>

(2008-12-11)

<http://www.technalysis.com/freeze-drying.htm>

(2008-11-24)

### **Secado de Sólidos**

[http://www.industriaalimenticia.com/Archives\\_Davinci?article=1031](http://www.industriaalimenticia.com/Archives_Davinci?article=1031)

(2008-11- 15)

<http://geocities.com/iq300uia/opunit17.jpg>

(2008-11- 15)

[http://www.tecnology\\_operaciones\\_basicas.ec](http://www.tecnology_operaciones_basicas.ec)

(2008-12-16 )

<http://www.monografias.com/trabajos15/operacion-secado/operacion-secado.shtml>

(2008-12- 21)

[http://www.Fundamentos\\_y\\_tecnolog\355a del secado Chenlo\205\)](http://www.Fundamentos_y_tecnolog\355a_del_secado_Chenlo\205)

(2008-01-05)

<http://www.doschivos.com/trabajos/tecnologia/803.htm>

(2009-01- 20)

### **Secadores**

[http://www.uni.edu.ni/Nexo/Modelación y simulación de un secador de lecho vibrofluidizado para sólidos que contienen mezclas solventes](http://www.uni.edu.ni/Nexo/Modelación_y_simulación_de_un_secador_de_lecho_vibrofluidizado_para_sólidos_que_contienen_mezclas_solventes)

(2009-01- 14)

[http://www.une.edu/Fundamentos%20y%20tecnologia%20del%20secado%20Chen lo Moreira-Pereira](http://www.une.edu/Fundamentos%20y%20tecnologia%20del%20secado%20Chenlo_Moreira-Pereira)

(2009-01-19)

[http://www.uni.edu.ni/Nexo/Modelación y simulación de un secador de lecho vibrofluidizado para sólidos que contienen mezclas solventes](http://www.uni.edu.ni/Nexo/Modelación_y_simulación_de_un_secador_de_lecho_vibrofluidizado_para_sólidos_que_contienen_mezclas_solventes)

(2009-01-22)

[http://www.une.edu/Fundamentos%20y%20tecnologia%20del%20secado%20Chen  
lo Moreira-Pereira](http://www.une.edu/Fundamentos%20y%20tecnologia%20del%20secado%20Chen%20Moreira-Pereira)

(2009-01- 23)

[www.denco.co.uk/DencoCH1.pdf](http://www.denco.co.uk/DencoCH1.pdf)

(2008-12-06)

[http://www.engineeringtoolbox.com/8\\_27.html](http://www.engineeringtoolbox.com/8_27.html)

(2008-11-16)

### **Tipo de Secadores**

[http://docencia.udea.edu.co/qf/farmacotecnia/06/06\\_referencias.html](http://docencia.udea.edu.co/qf/farmacotecnia/06/06_referencias.html)

(2008-11-19)

[http://www.operaciones\\_unitarias/secador de túnel.com/Archives](http://www.operaciones_unitarias/secador_de_tunel.com/Archives)

(2009-01-24)

[http://www.engineeringtoolbox.com/8\\_27.html](http://www.engineeringtoolbox.com/8_27.html)

(2008-12- 17)

### **Tipos de Secado**

[http://www.processheating.com/CDA/ArticleInformation/Drying\\_Files\\_Item/0,327  
4,82862,00.html](http://www.processheating.com/CDA/ArticleInformation/Drying_Files_Item/0,3274,82862,00.html)

(2008-11-26)

<http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/283/cap1.html>

(2008-12- 23)

**ANEXOS**

## ANEXO 1. RESULTADO DEL ANALISIS BROMATOLOGICO DEL MAIZ HUMEDO (SIERRA)



*ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE CIENCIAS Pecuarias*

**LABORATORIO DE NUTRICIÓN ANIMAL**

Dirección: Ka. 1 Pua Bcírúva Sw Tetefai: (t3) 2947548 E aail: psiricoguevara.aandinanet.net

### REPORTE DE ANÁLISIS

RESPONSABLE:	Sr. Carlos Aucancela
FECHA DE LLEGADA:	05/01/09
FECHA DE ENTREGA:	12/01/09
CLASE DE MUESTRA:	Maíz
ORIGEN DE LA MUESTRA:	Licto
EMPRESA:	
Descripción	Código
Maíz Humedo	05955

### REPORTE DE RESULTADOS BROMATOLOGICOS

COMPONENTE	Rp - 5955
	<b>PS</b>
<b>HUMEDAD</b>	<b>31,10%</b>
<b>MATERIA SECA</b>	<b>68,90%</b>
PROTEINA CRUDA	8,50%
<b>EXTRACTO ETÉREO</b>	<b>5,71%</b>
FIBRA CRUDA	8,13%
<b>CENIZAS</b>	<b>1,53%</b>
MATERIA ORGÁNICA	98,47%

Ing. Patricio Guevara

JEFE LABORATORIO DE NUTRICIÓN ANIMAL Y  
BROMATOLOGÍA - FCP - ESPOCH



Notas	Categoría de diagrama	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	TEMA		
	Certificado    Por eliminar Por aprobar    Para informar Aprobado        Por calificar	<b>FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING QUIMICA</b> Carlos Efraín Aucancela Guacho Enma Natali Chávez Córdova	<b>SECADOR DE TUNEL</b>		
			Lamina	Escala	Fecha
			N.0,7 g		2009/06/15

**ANEXO 2. RESULTADO DEL ANALISIS BROMATOLOGICO DEL MAIZ SECO  
(SIERRA) REALIZADO EN EL SECADOR DE BANDEJAS (Ensayo de prototipo)**



*ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO*  
*FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS*  
**LABORATORIO DE NUTRICIÓN ANIMAL**  
Dirección: Ka. 1 PuaBcrirua Sw Tctefai: (t3) 2947548 E aail: psiricio.guevara@andina.net

**REPORTE DE ANÁLISIS**

RESPONSABLE:	<b>Sr. Carlos Aucancela</b>
FECHA DE LLEGADA:	12/01/09
FECHA DE ENTREGA:	19/01/09
CLASE DE MUESTRA:	Maiz
ORIGEN DE LA MUESTRA:	Licto
EMPRESA:	
Descripción	Código
Maiz Seco	05962

**REPORTE DE RESULTADOS BROMATOLOGICOS**

COMPONENTE	Rp - 05962
	<b>PS</b>
<b>HUMEDAD</b>	<b>14,3%</b>
<b>MATERIA SECA</b>	<b>85,7%</b>
<b>PROTEINA CRUDA</b>	<b>8,1%</b>
<b>EXTRACTO ETÉREO</b>	<b>4,71%</b>
<b>FIBRA CRUDA</b>	<b>14,13%</b>
<b>CENIZAS</b>	<b>1,40%</b>
<b>MATERIA ORGÁNICA</b>	<b>98,6%</b>

  
Ing. Patricio Guevara  
JEFE LABORATORIO DE NUTRICIÓN ANIMAL Y  
BROMATOLOGÍA - FCP - ESPOCH



Notas	Categoría de diagrama	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	TEMA		
			SECADOR DE TUNEL		
	Certificado Por eliminar Por aprobar Para informar Aprobado Por calificar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING QUIMICA Carlos Efraín Aucancela Guacho Enma Natali Chávez Córdova	Lamina	Escala	Fecha
			N.0,7 g		2009/06/15

## ANEXO 3. RESULTADO DEL ANALISIS BROMATOLOGICO DEL MAIZ HUMEDO (COSTA)



LABORATORIO DE ANÁLISIS  
AMBIENTAL E INSPECCIÓN  
LAB-CESTTA

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA  
DE CHIMBORAZO

CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS  
Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA  
AMBIENTAL

FACULTAD DE CIENCIAS  
Panamericana Sur Km. 1<sup>ra</sup>  
Telefax: (03) 2605-920 • Ext. 169  
RIOBAMBA - ECUADOR



Optimum in Analysis Ecuador  
ENSAYOS Nº  
OAE LE 2 C 06-008

INFORME DE ENSAYO Nº: 0176  
ST: 09 - 0012 ANÁLISIS DE ALIMENTOS

Nombre Peticionario: Sr. Carlos Aucancela  
Atm.  
Dirección: La Primavera Casa 16 Mz Z, Chimborazo, Riobamba

FECHA: 26 de Enero del 2009  
NUMERO DE MUESTRAS: 1  
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2009/01/19-10:35  
FECHA DE MUESTREO: 2009/01/17-08:30  
FECHA DE ANÁLISIS: 2009/01/19-2009/01/01  
TIPO DE MUESTRA: Maíz  
CÓDIGO LAB-CESTTA: LAB-Alm 37-09  
CÓDIGO DE LA EMPRESA: NA  
PUNTO DE MUESTREO: La Mana, Recinto, La Aurora  
ANÁLISIS SOLICITADO: Análisis Proximal  
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Sr. (ta) Carlos Aucancela, Natali Chávez  
CONDICIONES AMBIENTALES: T<sub>máx.</sub>: 25.0°C. T<sub>mín.</sub>: 21.0°C

### RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETRO	MÉTODO / NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LIMITE PERMISIBLE	INCERTIDUMBRE (k=2)
*Proteína	PEE/LAB-CESTTA/104 AOAC7 Volumétrico	%	7,9	~	~
*Grasa	PEE/LAB-CESTTA/102 AOAC/Gravimétrico	%	2,9	-	-
*Humedad	PEE/LAB-CESTTA/80 AOAC/Gravimétrico	%	30,21	-	-
*Cenizas	PEE/LAB-CESTTA/101 AOAC/Gravimétrico	%	1,6	-	~
*Fibra	PEE/LAB-CESTTA/103 AOAC/Gravimétrico	%	1,3	-	-
*Extracto Libre no Nitrogenado	PEE/LAB-CESTTA/141	%	56,09	-	-

### OBSERVACIONES:

- Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de acreditación del OAE
- Parámetros expresados en base fresca
- Muestra receptada en laboratorio

Dr. Fabián Arias  
RESPONSABLE TÉCNICO

LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL  
INSMCCONLAB  
- CESTTA

Dra. Nancy Veloz M.  
JEFE DE LABORATORIO

### RESPONSABLES DEL INFORME:

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.  
Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos de ensayo  
MC2201-05

Página 1 de

Notas	Categoría de diagrama	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	TEMA		
	Certificado Por eliminar Por aprobar Para informar Aprobado Por calificar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING QUIMICA Carlos Efraín Aucancela Guacho Enma Natali Chávez Córdova	SECADOR DE TUNEL		
			Lamina	Escala	Fecha
			N.0,7 g		2009/06/15

## ANEXO 4. RESULTADO DEL ANALISIS BROMATOLOGICO DEL MAIZ SECO (COSTA) REALIZADO EN EL SECADOR DE BANDEJAS (Ensayo de prototipo)



LABORATORIO DE ANÁLISIS  
AMBIENTAL E INSPECCIÓN  
LAB-CESTTA

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA  
DE CHIMBORAZO

CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS  
Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA  
AMBIENTAL

FACULTAD DE CIENCIAS  
Panamericana Sur Km. 1<sup>ma</sup>  
Telefax: (03) 2605-920 • Ext. 169  
RIOBAMBA - ECUADOR



ENSAYOS Nº  
OAE LE 2 C 06-008

INFORME DE ENSAYO No: 0184  
ST: 09 - 0018 ANÁLISIS DE ALIMENTOS

Nombre Peticionario: Sr. Carlos Aucancela  
Atm.  
Dirección: La Primavera Casa 16 Mz Z, Chimborazo, Riobamba

FECHA: 02 de Febrero de 2009  
NUMERO DE MUESTRAS: 1  
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2009/01/26-09:20  
FECHA DE MUESTREO: 2009/01/24-07:30  
FECHA DE ANÁLISIS: 2009/01/26-2009/02/02  
TIPO DE MUESTRA: Maíz  
CÓDIGO LAB-CESTTA: LAB-Alm 37-09  
CÓDIGO DE LA EMPRESA: NA  
PUNTO DE MUESTREO: La Mana, Recinto, La Aurora  
ANÁLISIS SOLICITADO: Análisis Proximal  
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Sr. (ta) Carlos Aucancela, Natali Chávez  
CONDICIONES AMBIENTALES: T<sub>máx.</sub>: 25.0°C. T<sub>mín.</sub>: 21.0°C

### RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETRO	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE	INCERTIDUMBRE (k=2)
*Proteína	PEE/LAB-CESTTA/104 AOAC7 Volumétrico	%	8,4	~	~
*Grasa	PEE7LAB-CESTTA/102 AOAC/Gravimétrico	%	2,7	-	-
*Humedad	PEE/LAB-CESTTA/80 AOAC/Gravimétrico	%	13,00	-	-
*Cenizas	PEE/LAB-CESTTA/101 AOAC/Gravimétrico	%	1,4	-	~
*Fibra	PLE/LAB-CESTTA/103 AOAC/Gravimétrico	%	1,5	-	-
*Extracto Libre no Nitrogenado	PEE/LAB-CESTTA/141	%	73,3	-	-

### OBSERVACIONES:

- Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de acreditación del OAE
- Parámetros expresados en base fresca
- Muestra receptada en laboratorio

Dr. Fabián Arias  
RESPONSABLE TÉCNICO

LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL  
-MSMCCONLAB-  
-CESTTA

Dra. Nancy Veloz M.  
JEFE DE LABORATORIO

### RESPONSABLES DEL INFORME:

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.  
Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos de ensayo  
MC2201-05

Página 1 de

Notas	Categoría de diagrama	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING QUIMICA Carlos Efraín Aucancela Guacho Enma Natali Chávez Córdova	TEMA		
	Certificado Por eliminar Por aprobar Para informar Aprobado Por calificar		<b>SECADOR DE TUNEL</b>		
			Lamina	Escala	Fecha
			N.0,7 g		2009/06/15

**ANEXO 5. RESULTADOS DEL ANALISIS BROMATOLOGICO DEL MAIZ HUMEDO DE LA COSTA PARA EL SECADOR DE TUNEL**

 <p><b>ESPOCH</b> LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN LAB - CESTTA</p>	<p><b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b></p> <p><b>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</b></p> <p><b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> Panamericana Sur Km. 1 ½ Teléfono: (03)2 998232 RIOBAMBA - ECUADOR</p>	 <p><b>ENSAYO</b> No. OAE LE 2 C 06-008</p>
--	---	--

INFORME DE ENSAYO No: 0556  
ST: 09 - 0064 ANÁLISIS DE ALIMENTOS

Nombre peticionario: Sr. Carlos Aucancela  
 Atn: -  
 Dirección: La Primavera Casa 16 Mz Z, Chimborazo, Riobamba

FECHA: 03 de Junio de 2009  
 NUMERO DE MUESTRAS: 1  
 FECHA Y HORA DE RECEPCION EN LAB: 2009/05/25 - 15:30  
 FECHA DE MUESTREO: 2009/05/25 - 11:00  
 FECHA DE ANALISIS: 2009/05/25 - 2009/06/03  
 TIPO DE MUESTRA: Maíz  
 CODIGO LAB-CESTTA: LAB-Alm 230-09  
 CODIGO DE LA EMPRESA: C - H  
 PUNTO DE MUESTREO: Laboratorio Química Industrial  
 ANALISIS SOLICITADO: Análisis Proximal  
 PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Sr. Carlos Aucancela  
 CONDICIONES AMBIENTALES: T máx.: 25.0°C. T mín.: 21.0°C

**RESULTADOS ANALITICOS:**

PARAMETRO	METODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LIMITE PERMISIBLE	INCERTIDUMBRE (k= 2)
*Proteína	PEE/LAB-CESTTA/104 AOAC/ Volumétrico	%	9,23	--	--
*Grasa	PEE/LAB-CESTTA/102 AOAC/ Gravimétrico	%	2,35	--	--
*Humedad	PEE/LAB-CESTTA/30 AOAC/ Gravimétrico	%	30,5	--	--
*Cenizas	PEE/LAB-CESTTA/101 AOAC/ Gravimétrico	%	1,64	--	--
*Fibra	PEE/LAB-CESTTA/103 AOAC/ Gravimétrico	%	1,84	--	--
*Extracto Litro no Nitrogenado	PEE/LAB-CESTTA/141	%	54,44	--	--

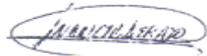
**OBSERVACIONES:**

- Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de acreditación del OAE
- Parámetros expresados en base fresca
- Muestra receptada en laboratorio

**RESPONSABLES DEL INFORME:**

  
 Dr. Fabián Anas  
**RESPONSABLE TÉCNICO**

LABORATORIO DE ANALISIS AMBIENTAL  
 INSPECCION  
 LAB - CESTTA  
 ESPOCH

  
 Dra. Nancy Veloz M.  
**JEFE DE LABORATORIO**

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.  
 Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos de ensayo  
**MC2201-05**

Página

Notas	Categoría de diagrama	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING QUIMICA Carlos Efraín Aucancela Guacho Enma Natali Chávez Córdova	TEMA		
	Certificado Por eliminar Por aprobar Para informar Aprobado Por calificar		<b>SECADOR DE TUNEL</b>		
			Lamina	Escala	Fecha
			N.0,7 g		2009/06/15

**ANEXO 6. RESULTADOS DEL ANALISIS BROMATOLOGICO DEL MAIZ HUMEDO DE LA SIERRA PARA EL SECADOR DE TUNEL**

 <b>LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN LAB - CESTTA</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</b>  <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> Panamericana Sur Km. 1 ½ Teléfono: (03)2 998232 RIOBAMBA - ECUADOR	 Organismo de acreditación Ecuatoriano <b>ENSAYO</b> No. OAE LE 2 C 06-008
---	---	--

INFORME DE ENSAYO No: 0556  
ST: 09-0064 ANÁLISIS DE ALIMENTOS

Nombre peticionario: Sr. Carlos Aucancela  
Atn: -  
Dirección: La Primavera Casa 16 Mz Z, Chimborazo, Riobamba

FECHA: 03 de Junio de 2009  
 NUMERO DE MUESTRAS: 1  
 FECHA Y HORA DE RECEPCION EN LAB: 2009/05/25 - 11:45  
 FECHA DE MUESTREO: 2009/05/25 - 09:00  
 FECHA DE ANALISIS: 2009/05/25 - 2009/06/03  
 TIPO DE MUESTRA: Maíz  
 CODIGO LAB-CESTTA: LAB-Alm 231-09  
 CODIGO DE LA EMPRESA: S - H  
 PUNTO DE MUESTREO: Laboratorio Química Industrial  
 ANALISIS SOLICITADO: Análisis Proximal  
 PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Sr. Carlos Aucancela  
 CONDICIONES AMBIENTALES: T máx.: 25.0°C. T mín.: 21.0°C

**RESULTADOS ANALITICOS:**

PARAMETRO	METODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LIMITE PERMISIBLE	INCERTIDUMBRE (k=2)
*Proteína	PEE/LAB-CESTTA/104 AOAC/ Volumétrico	%	9,57	--	--
*Grasa	PEE/LAB-CESTTA/102 AOAC/ Gravimétrico	%	2,43	--	--
*Humedad	PEE/LAB-CESTTA/80 AOAC/ Gravimétrico	%	31,2	--	--
*Cenizas	PEE/LAB-CESTTA/101 AOAC/ Gravimétrico	%	2,02	--	--
*Fibra	PEE/LAB-CESTTA/103 AOAC/ Gravimétrico	%	1,92	--	--
*Extracto Libre no	PEE/LAB-CESTTA/141	%	52,86	--	--

**OBSERVACIONES:**

- Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de acreditación del OAE
- Parámetros expresados en base fresca
- Muestra receptada en laboratorio

**RESPONSABLES DEL INFORME:**

  
 Dr. Fabián Anias  
**RESPONSABLE TÉCNICO**

LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL  
INSPECCIÓN  
LAB - CESTTA  
ESPOCH

  
 Dra. Nancy Veloz M  
**JEFE DE LABORATORIO**

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.  
 Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos de ensayo  
**MC2201-05**

Página

<b>Notas</b>	<b>Categoría de diagrama</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING QUIMICA</b>	<b>TEMA</b>		
	Certificado Por eliminar Por aprobar Para informar Aprobado Por calificar	Carlos Efraín Aucancela Guacho Enma Natali Chávez Córdova	<b>SECADOR DE TUNEL</b>		
			Lamina	Escala	Fecha
			N.0,7 g		2009/06/15

**ANEXO 7. RESULTADOS DEL ANALISIS BROMATOLOGICO DEL MAIZ SECO DE LA COSTA EN EL SECADOR DE TUNEL**



**LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN LAB - CESTTA**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL**

**FACULTAD DE CIENCIAS  
Panamericana Sur Km. 1 ½  
Teléfono: (03)2 998232  
RIOBAMBA - ECUADOR**



**ENSAYO  
No. OAE LE 2C 06-008**

**INFORME DE ENSAYO No:**  
**ST:**

0569  
09 - 0064 ANÁLISIS DE ALIMENTOS

**Nombre peticionario:**

Sr. Carlos Aucancela

**Atn:**

-

**Dirección:**

La Primavera Casa 16 Mz Z, Chimborazo, Riobamba

**FECHA:**

22 de Junio de 2009

**NUMERO DE MUESTRAS:**

1

**FECHA Y HORA DE RECEPCION EN LAB:**

2009/06/04 - 15:57

**FECHA DE MUESTREO:**

2009/06/04 - 15:00

**FECHA DE ANALISIS:**

2009/06/04 - 2009/06/22

**TIPO DE MUESTRA:**

Maíz

**CODIGO LAB-CESTTA:**

LAB-Alm 232-09

**CODIGO DE LA EMPRESA:**

C

**PUNTO DE MUESTREO:**

Laboratorio Química Industrial

**ANALISIS SOLICITADO:**

Análisis Proximal

**PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:**

Sr. Carlos Aucancela

**CONDICIONES AMBIENTALES:**

T máx.: 25.0°C. T mín.: 21.0°C.

**RESULTADOS ANALITICOS:**

PARAMETRO	METODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LIMITE PERMISIBLE	INCERTIDUMBRE (k=2)
*Proteína	PEE/LAB-CESTTA/104 AOAC/ Volumétrico	%	7,63	--	--
*Grasa	PEE/LAB-CESTTA/102 AOAC/ Gravimétrico	%	2,22	--	--
*Humedad	PEE/LAB-CESTTA/80 AOAC/ Gravimétrico	%	13,7	--	--
*Cenizas	PEE/LAB-CESTTA/101 AOAC/ Gravimétrico	%	1,46	--	--
*Fibra	PEE/LAB-CESTTA/103 AOAC/ Gravimétrico	%	1,10	--	--
*Extracto Libre no Nitrogenado	PEE/LAB-CESTTA/141	%	73,89	--	--

**OBSERVACIONES:**

- Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de acreditación del OAE
- Parámetros expresados en base fresca
- Muestra receptada en laboratorio

**RESPONSABLES DEL INFORME:**

Dr. Fabián Anas  
**RESPONSABLE TÉCNICO**

LABORATORIO DE ANALISIS AMBIENTAL  
INSPECCION  
LAB - CESTTA  
ESPOCH

Dra. Nancy Veloz M.  
**JEFE DE LABORATORIO**

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.  
Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos de ensayo  
**MC2201-05**

Página

Notas	Categoría de diagrama	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING QUIMICA	TEMA		
	Certificado Por eliminar Por aprobar Para informar Aprobado Por calificar	Carlos Efraín Aucancela Guacho Enma Natali Chávez Córdova	<b>SECADOR DE TUNEL</b>		
			Lamina	Escala	Fecha
			N.0,7 g		2009/06/15

**ANEXO 8. RESULTADOS DEL ANALISIS BROMATOLOGICO DEL MAIZ SECO DE LA SIERRA EN EL SECADOR DE TUNEL**

 <b>LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN LAB - CESTTA</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</b>  <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> Panamericana Sur Km. 1 ½ Teléfono: (03)2 998232 RIOBAMBA - ECUADOR	 <b>ENSAYO</b> No. OAE LE 2C 06-008
---	---	--

INFORME DE ENSAYO No:	0569
SI:	09 - 0064 ANÁLISIS DE ALIMENTOS
<b>Nombre peticionario:</b>	Sr. Carlos Aucancela
Atm:	-
Dirección:	La Primavera Casa 16 Mz Z, Chimborazo, Riobamba
<b>FECHA:</b>	22 de Junio de 2009
<b>NUMERO DE MUESTRAS:</b>	1
<b>FECHA Y HORA DE RECEPCION EN LAB:</b>	2009/06/04 - 15:57
<b>FECHA DE MUESTREO:</b>	2009/06/04 - 15:30
<b>FECHA DE ANALISIS:</b>	2009/06/04 - 2009/06/22
<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	Maíz
<b>CODIGO LAB-CESTTA:</b>	LAB-Alm 231-09
<b>CODIGO DE LA EMPRESA:</b>	S
<b>PUNTO DE MUESTREO:</b>	Laboratorio Química Industrial
<b>ANALISIS SOLICITADO:</b>	Análisis Proximal
<b>PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:</b>	Sr. Carlos Aucancela
<b>CONDICIONES AMBIENTALES:</b>	T máx.: 25.0°C. T mín.: 21.0°C

**RESULTADOS ANALITICOS:**

PARAMETRO	METODO /NORMA	UNIDAD	RE SULTADO	VALOR LIMITE PERMISIBLE	INCERTIDUMBRE (k= 2)
*Proteína	PEE/LAB-CESTTA/104 AOAC/ Volumétrico	%	7,39	--	--
*Grasa	PEE/LAB-CESTTA/102 AOAC/ Gravimétrico	%	2,33	--	--
*Humedad	PEE/LAB-CESTTA/80 AOAC/ Gravimétrico	%	14,4	--	--
*Cenizas	PEE/LAB-CESTTA/101 AOAC/ Gravimétrico	%	1,11	--	--
*Fibra	PEE/LAB-CESTTA/103 AOAC/ Gravimétrico	%	1,02	--	--
*Extracto Libre no Nitrogenado	PEE/LAB-CESTTA/141	%	73,75	--	--

**OBSERVACIONES:**

- Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de acreditación del OAE
- Parámetros expresados en base fresca
- Muestra receptada en laboratorio

**RESPONSABLES DEL INFORME :**

  
 Dr. Fabián Añas  
**RESPONSABLE TÉCNICO**

LABORATORIO DE ANALISIS AMBIENTAL  
 INSPECCION  
 LAB - CESTTA  
 ESPOCH

  
 Dra. Nancy Veloz M  
**JEFE DE LABORATORIO**

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.  
 Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos de ensayo  
**MC2201-05**

Página

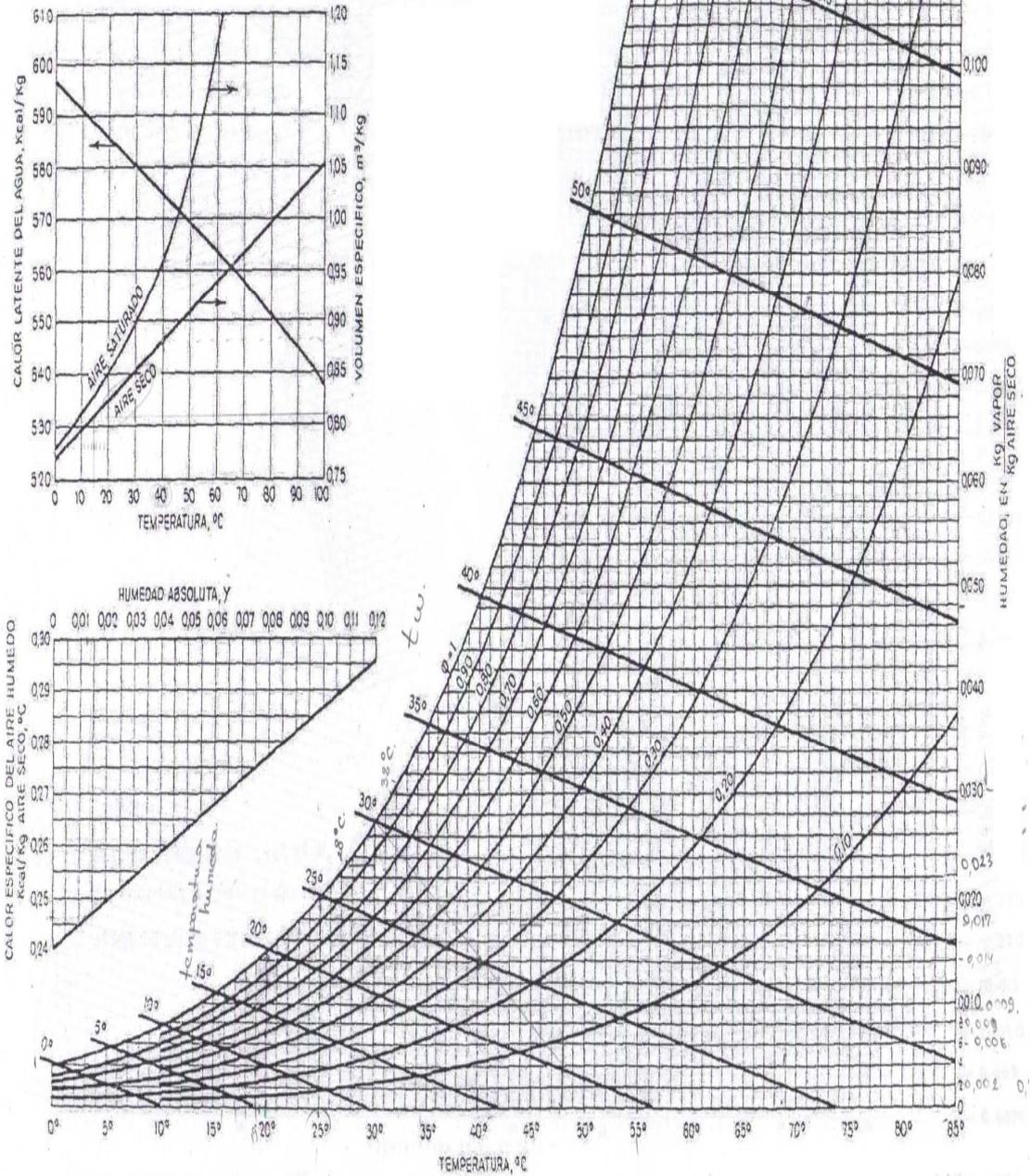
Notas	Categoría de diagrama	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING QUÍMICA	TEMA		
	Certificado Por eliminar Por aprobar Para informar Aprobado Por calificar	Carlos Efraín Aucancela Guacho Enma Natali Chávez Córdova	<b>SECADOR DE TUNEL</b>		
			Lamina	Escala	Fecha
			N.0,7 g		2009/06/15

## ANEXO 9. DIAGRAMA PSICOMETRICO

FIGURA 4.1

DIAGRAMA PSICOMETRICO

$p = 760 \text{ mmHg}$

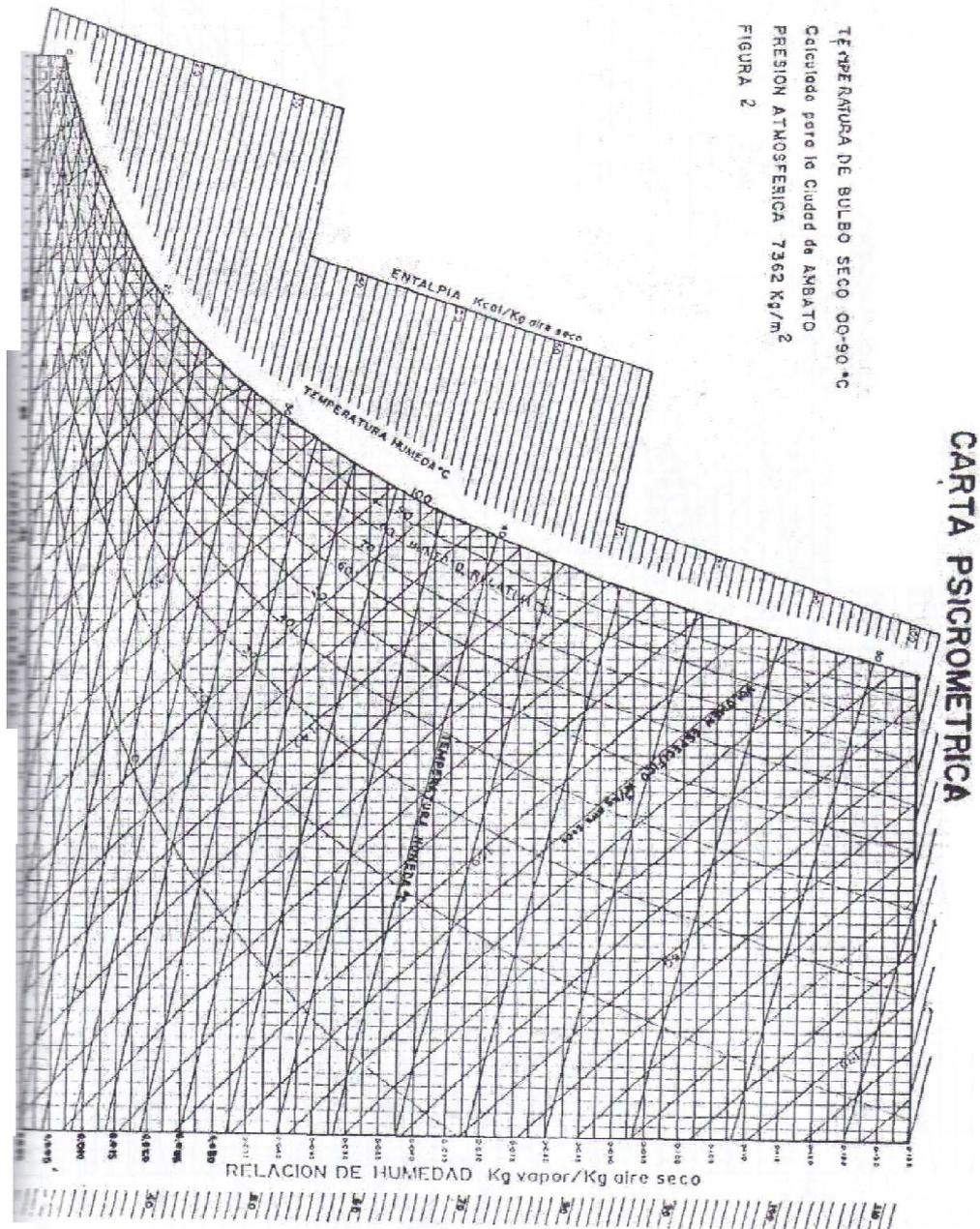


ESPOCH - INGENIERIA QUIMICA

141

Notas	Categoría de diagrama	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	TEMA		
	Certificado    Por eliminar Por aprobar    Para informar Aprobado        Por calificar	<b>FACULTAD DE CIENCIAS                      ESCUELA DE ING QUIMICA                      Carlos Efraín Aucancela Guacho                      Enma Natali Chávez Córdova</b>	<b>SECADOR DE TUNEL</b>		
			Lamina	Escala	Fecha
			N.0,7 g		2009/06/15

## ANEXO 10. CARTA PSICOMETRICA PARA LA CIUDAD DE AMBATO



Notas	Categoría de diagrama	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	TEMA		
	Certificado Por eliminar Por aprobar Para informar Aprobado Por calificar	<b>FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING QUIMICA</b> Carlos Efraín Aucancela Guacho Enma Natali Chávez Córdova	<b>SECADOR DE TUNEL</b>		
			Lamina	Escala	Fecha
			N.0,7 g		2009/06/15

# ANEXO 11. PROPIEDADES FISICAS DEL AGUA Y DEL VAPOR DE AGUA A 1 atm

*Propiedades físicas del aire, a 1 atm.*

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho$ Kg/m <sup>3</sup>	$\mu$ 10 <sup>-4</sup> Kg/ m·seg.	$C_p$ Kcal/ Kg·°C	$k$ Kcal/ mh·°C	$\beta$ 10 <sup>-3</sup> °C <sup>-1</sup>	$\nu$ 10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> /seg	$\alpha$ 10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> /seg	$Pr = \frac{\nu}{\alpha}$	$\frac{g}{av}$ 10 <sup>3</sup> m <sup>-1</sup>
0	1,293	1,709	0,238	0,0208	3,66	1,32	1,88	0,702	39,5
50	1,093	1,951	—	0,0240	3,10	1,78	2,57	0,695	21,4
100	0,946	2,175	0,237	0,0272	2,68	2,30	3,37	0,681	12,65
150	0,834	2,385	—	0,0304	2,36	2,86	4,28	0,668	8,02
200	0,746	2,582	0,236	0,0336	2,11	3,46	5,30	0,652	5,35
250	0,675	2,770	—	0,0366	1,97	4,10	6,40	0,640	3,74
300	0,616	2,946	0,235	0,0394	1,74	4,78	7,57	0,632	2,71

TABLA A. 2-5  
*Propiedades físicas del agua, a 1 atm.*

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho$ Kg/m <sup>3</sup>	$\mu$ 10 <sup>-4</sup> Kg/ m·seg.	$C_p$ Kcal/ Kg·°C	$k$ Kcal/ mh·°C	$\beta$ 10 <sup>-3</sup> °C <sup>-1</sup>	$\lambda$ Kcal/Kg	$\nu$ 10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> / seg	$\alpha$ 10 <sup>-3</sup> m <sup>2</sup> / seg	$Pr = \frac{\nu}{\alpha}$	$\frac{g}{av}$ 10 <sup>3</sup> m <sup>-1</sup>
0	999,8	1,794	1,008	0,491	—	596,4	1,794	1,35	12,2	40,4
10	999,7	1,310	1,002	0,504	0,88	590,9	1,310	1,40	9,4	53,5
20	998,2	1,009	0,9995	0,517	2,07	585,5	1,011	1,44	7,02	67,4
30	995,7	0,800	0,9988	0,530	3,04	580,0	0,803	1,48	5,43	82,4
40	992,2	0,654	0,9987	0,543	3,85	574,5	0,659	1,52	4,33	97,7
50	988,1	0,549	0,9982	0,555	4,60	568,9	0,556	1,56	3,56	113,0
60	983,2	0,470	1,000	0,567	5,21	563,2	0,478	1,60	2,98	228,1
70	977,8	0,407	1,001	0,580	5,86	557,3	0,416	1,65	2,53	143,2
80	971,8	0,357	1,003	0,592	6,41	551,3	0,367	1,69	2,18	158,2
90	965,3	0,317	1,005	0,604	7,00	545,3	0,328	1,73	1,90	172,6
100	958,4	0,284	1,008	0,616	7,48	539,0	0,296	1,77	1,67	186,9
110	951,0	0,256	1,011	0,628	7,9	532,6	0,269	1,81	1,48	201
120	943,4	0,232	1,014	0,640	8,4	525,9	0,246	1,86	1,32	215
130	935,2	0,212	1,017	0,652	9,0	519,0	0,227	1,90	1,19	227
140	926,4	0,196	1,020	0,664	9,7	511,9	0,212	1,95	1,08	236
150	917,3	0,184	1,024	0,676	10,4	504,5	0,201	2,00	1,00	245
160	907,5	0,174	1,027	0,688	11,0	496,9	0,192	2,05	0,935	250

TABLA A. 2-6  
*Propiedades físicas del vapor de agua a 1 atm. \**

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho$ Kg/m <sup>3</sup>	$\mu$ 10 <sup>-4</sup> Kg/ m·seg.	$C_p$ Kcal/Kg·°C	$k$ Kcal/m·h·°C	$\nu$ 10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> /seg	$\alpha$ 10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> /seg	$Pr = \frac{\nu}{\alpha}$
100	0,580	1,28	0,51	0,0208	2,21	1,96	1,12
200	0,453	1,67	0,46	0,0281	3,68	3,76	0,978
300	0,373	2,02	0,48	0,0366	5,41	5,70	0,948
400	0,317	2,30	0,49	0,0473	7,24	8,49	0,876
500	0,275	2,68	0,52	0,0616	9,73	12,54	0,777

A presiones diferentes de 1 atm., las propiedades del vapor de agua pueden estimarse así:  
*Densidad:* A partir del volumen específico, por interpolación en las tablas del vapor de agua recalcitrado (véase tabla A.2-7).  
*Calor específico:* Por la igualdad aproximada  $c_p = (\Delta h/\Delta t)_p$ , sobre las mismas tablas.  
*Viscosidad absoluta:* Aumenta ligeramente con la presión; pero el aumento puede despreciarse en primera aproximación.  
*Conductividad:* Vale lo dicho para la viscosidad.  
 Las restantes propiedades son función de las anteriores. En todo caso se recurriría a obras más especializadas (véase, p. ej., el apéndice de la obra *Introduction to the transfer of mass and heat*, ECKERT, McGraw-Hill Book, Nueva York-Toronto-Londres, 1950).

Notas	Categoría de diagrama	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	TEMA		
	Certificado Por eliminar Por aprobar Para informar Aprobado Por calificar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING QUIMICA Carlos Efraín Aucancela Guacho Enma Natali Chávez Córdova	SECADOR DE TUNEL		
			Lamina	Escala	Fecha
			N.0,7 g		2009/06/15

## ANEXO 12

CDU: 633  
ICS: 67.060



CIU: 1110  
AG 05.04-404

<b>Norma Técnica Ecuatoriana Obligatoria</b>	<b>GRANOS Y CEREALES MAÍZ EN GRANO REQUISITOS</b>	<b>NTE INEN 187:95 (Segunda revisión) 1995-10</b>
<p style="font-family: cursive;">LCP - AGR - REC7 LCS - AGRONOMIA LCS - PRODUCC. AGRICULTOS</p> <p style="text-align: center;"><b>1. OBJETO</b></p> <p>1.1 Esta norma establece los requisitos que debe cumplir el maíz en grano al momento de la recepción, y para ser destinado para consumo humano, alimento zootécnico y uso industrial.</p> <p style="text-align: center;"><b>2. DEFINICIONES</b></p> <p><b>2.1 Maíz en grano.</b> Es el conjunto de granos procedentes de cualquier variedad o híbrido de la gramínea <i>Zea mays</i>.</p> <p><b>2.2 Grano dañado por insectos.</b> Grano que ha sufrido deterioro en su estructura (perforaciones, picados deyecciones, etc.) debido a la acción de insectos.</p> <p><b>2.3 Grano dañado por hongos.</b> Grano que ha sufrido deterioro en su estructura debido a la acción de hongos.</p> <p><b>2.4 Maíz infestado.</b> Maíz en grano que contiene insectos vivos en cualquiera de sus estados biológicos.</p> <p><b>2.5 Grano dañado por el calor.</b> Grano que ha sufrido deterioro en su estructura y presenta un color diferente al característico de la variedad o híbrido (ejemplo: exceso de calor, respiración excesiva, etc.).</p> <p><b>2.6 Grano cristalizado.</b> Grano que presenta fisuras en el endospermo, debido por ejemplo a: cambios bruscos de temperatura y al excesivo manipuleo mecánico</p> <p><b>2.7 Grano quebrado (partido).</b> Grano de maíz, con menos de 3/4 del tamaño característico de la variedad o híbrido.</p> <p><b>2.8 Grano germinado</b> Grano en que resulta evidente el comienzo del proceso de germinación, por ejemplo, la rotura del tegumento a través del cual ha brotado o esta por brotar el germen.</p> <p><b>2.9 Impurezas.</b> Todo material diferente al grano de maíz (tusas, restos de hojas, tallos, otros granos o semillas que no sean de maíz, polvo, tierra, etc.)</p> <p><b>2.10 Maíz en grano limpio para consumo.</b> Aquel que contiene como máximo el 1% de impurezas.</p> <p><b>2.11 Madurez comercial.</b> Grano de maíz que ha cumplido su madurez fisiológica, que posee características adecuadas para el consumo y requeridas por el mercado.</p> <p><b>2.12 Aflatoxina.</b> Grupo de metabolitos altamente tóxicos producidos por algunas cepas de los hongos <i>Aspergillus spp.</i>, así como también por otros hongos relacionados con el deterioro de los alimentos.</p> <p style="text-align: right;">(Continúa)</p> <p style="font-size: small;">DESCRIPTORES: Productos agrícolas. Cereales. Granos. Maíz.</p>		

Instituto Ecuatoriano de Normalización. INEN - Casilla 17-01-3999 - Baquerizo 454 y Ave. 6 de Diciembre - Quito-Ecuador - Prohibida la reproducción

Notas	Categoría de diagrama	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING QUIMICA	TEMA		
	Certificado    Por eliminar Por aprobar    Para informar Aprobado        Por calificar	Carlos Efraín Aucancela Guacho Enma Natali Chávez Córdova	<b>SECADOR DE TUNEL</b>		
			Lamina	Escala	Fecha
			N.0,7 g		2009/06/15

TABLA 2. Requisitos del maíz en grano para consumo y uso industrial.

Grado	Granos quebrados % Máximo m/m	Granos cristalizados % Máximo m/m
1	hasta 2	menor que 5
2	> 2 a 5	5
3	> 5 a 7	6
4	> 7 a 10	7

GRANOS DAÑADOS POR:				
Grado	Calor % Máximo	Hongos % Máximo	Insectos % Máximo	TOTAL
1	0,5	0,5	0,5	1,5
2	1	1	1,0	3,0
3	2	2	1,5	5,5
4	3	3	2,0	8,0

Para determinar el cumplimiento de requisitos (tabla 2), el método de ensayo será el descrito en la NTE INEN 1 236.

m/m = masa sobre masa.

**3.2.2** El porcentaje máximo de humedad será de 13%, el que será determinado o ensayado de acuerdo a lo establecido en la NTE INEN 1 513.

**3.2.3** El porcentaje máximo de impurezas para cualquiera de los grados será de 1%.

**3.2.4** El maíz en grano, debe sujetarse a las normas establecidas por la FAO/OMS, en cuanto tiene que ver con los límites de recomendación de plaguicidas y productos afines, metales pesados hasta tanto se elaboren las regulaciones ecuatorianas correspondientes.

**3.2.5** Los granos dañados por otras causas que no se citan en los numerales anteriores serán máximo de 0,5% para los cuatro grados.

**3.2.6** No se aceptará granos infestados, en ninguno de los grados que se indican en esta norma.

**3.2.7** No se aceptará más del 5% de granos de otros colores, cuando se trate de maíz amarillo y de otros colores, en tanto que para el caso de maíz blanco no se aceptará más del 2% de maíz de otros colores.

**3.2.8** El maíz en grano tendrá un contenido máximo de 20 microgramos por kilogramo (20 ppb) de aflatoxinas. Método de ensayo NTE INEN 1 563.

(Continúa)

Notas	Categoría de diagrama	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING QUIMICA	TEMA		
	Certificado Por eliminar Por aprobar Para informar Aprobado Por calificar	Carlos Efraín Aucancela Guacho Enma Natali Chávez Córdova	SECADOR DE TUNEL		
			Lamina	Escala	Fecha
			N.0,7 g		2009/06/15

## ANEXO 13

Norma Ecuatoriana Obligatoria	< GRANOS Y CEREALES > MAIZ, DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD	INEN 1 513 1987-01
LQR - 2014 - PECT.      < P. 5727 > < CONTINUA DE LA ... > CAS - 2014 - PECT. CAS - 2014 - PECT.		
<b>1. OBJETO</b>		
1.1 Esta norma establece los métodos de rutina y referencia para la determinación del contenido de humedad en granos de maíz enteros y quebrados.		
<b>2. ALCANCE</b>		
2.1 En esta norma se describen:		
a) Método de rutina para evaluar el contenido de humedad en granos de maíz enteros, cuando se trabaje en serie. No debe usarse este método para informe del especialista, ni como medio para calibrar aparatos, ni como verificación de medida de humedad.		
b) Método de referencia básico para evaluar el contenido de humedad en granos enteros y quebrados de maíz; con alto contenido de humedad. Debe usarse para informes de especialistas; también para calibrar aparatos, como medida de humedad.		
c) Método absoluto		
<b>3. TERMINOLOGIA</b>		
3.1 Humedad en el maíz. Es la cantidad de agua contenida en una masa de granos y se expresa en porcentaje.		
<b>4. METODO DE RUTINA PARA GRANOS ENTEROS</b>		
4.1 Resumen: Secar el grano de maíz entero por 38 horas* a la temperatura entre 130-133°C.		
4.2 Aparatos		
4.2.1 <i>Estufa eléctrica.</i> Con regulador de temperatura, ajustada entre 130-133°C, y que alcance a 131°C en aproximadamente 30 min, cuando tenga en su interior el número máximo de muestras de ensayo y pueda secarse simultáneamente.		
* Prácticamente dos noches y un día.		
(Continúa)		

Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN, Casilla 3999 - Saquisilí y Ave. 6 de Diciembre - Quito-Ecuador - Prohibida la reproducción

Notas	Categoría de diagrama	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING QUIMICA	TEMA		
	Certificado      Por eliminar Por aprobar      Para informar Aprobado          Por calificar	Carlos Efraín Aucancela Guacho Enma Natali Chávez Córdova	<b>SECADOR DE TUNEL</b>		
			Lamina	Escala	Fecha
			N.0,7 g		2009/06/15

4.4.7 Cuando simultáneamente se han realizado varios ensayos, nunca ponga las cápsulas en el desecador, una sobre otra.

#### 4.5 Cálculos

4.5.1 El contenido de humedad en las muestras de granos de maíz enteros se calcula mediante la ecuación siguiente:

$$H = (m_1 - m_2) \times \frac{100}{m_1 - m_0}$$

Siendo:

H = Contenido de humedad en porcentajes de masa  
 m<sub>0</sub> = masa de la cápsula vacía y tapa, en gramos.  
 m<sub>1</sub> = masa de la cápsula, la tapa con la muestra, sin sacar, en gramos.  
 m<sub>2</sub> = masa de la cápsula, la tapa con la muestra seca, en gramos.

4.5.2 Si los cuerpos extraños o impurezas han sido separados antes del procedimiento, se debe corregir el resultado encontrado de acuerdo a la fórmula siguiente:

$$P_c = \frac{100 - I}{100} \times H$$

Siendo:

P<sub>c</sub> = Porcentaje de humedad y materias volátiles  
 H = Porcentaje de humedad calculado de acuerdo a la fórmula anterior (4.5.1)  
 I = Porcentaje de impurezas separadas, en el producto inicial.

#### 4.6 Errores del método

4.6.1 La diferencia entre los resultados de una operación efectuada por duplicado no debe exceder del 0,2 g de humedad por 100 g de muestra, en caso contrario, debe repetirse la determinación.

4.6.2 Como resultado final, debe reportarse la media aritmética de los resultados de la determinación.

4.6.3 Los resultados obtenidos, comparados con aquellos adquiridos por el método absoluto, generalmente difieren en menos que 0,5 g de humedad por 100 g de muestra.

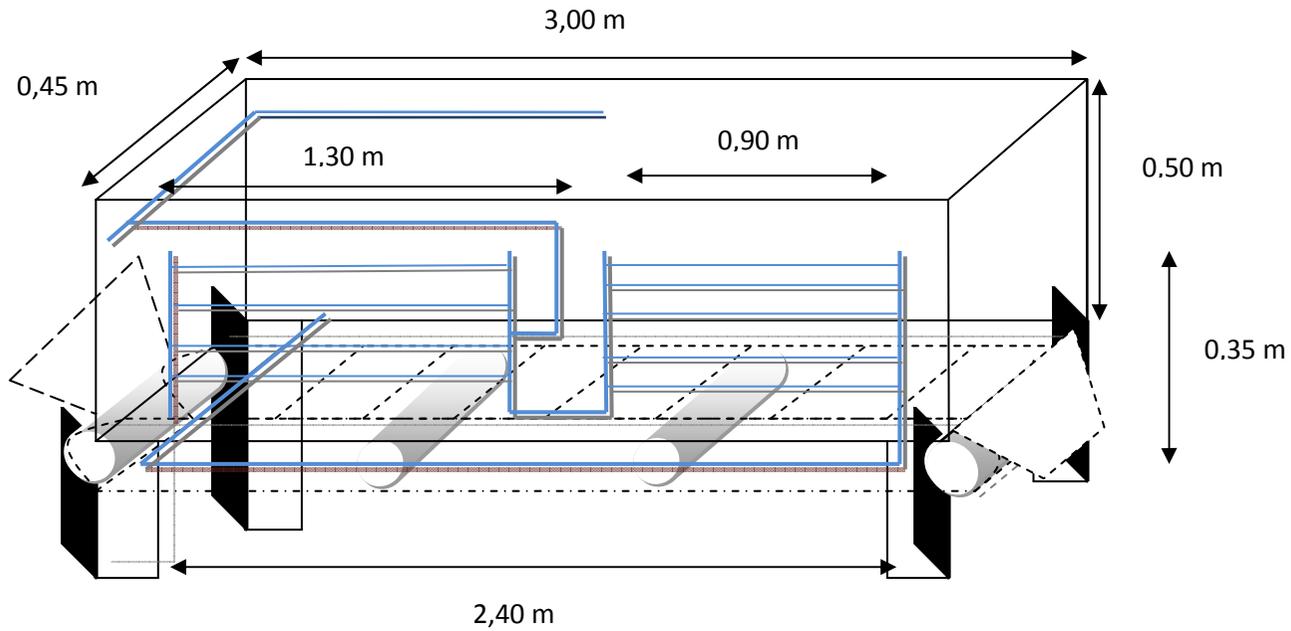
4.6.4 No deben colocarse juntas en la estufa, muestras húmedas, con muestras secas, ya que daría como resultado la rehidratación parcial de las últimas.

(Continúa)

Notas	Categoría de diagrama	<b>ESCUELA SUPERIOR          POLITECNICA DE          CHIMBORAZO          FACULTAD DE CIENCIAS          ESCUELA DE ING          QUIMICA</b> Carlos Efraín Aucancela Guacho Enma Natali Chávez Córdova	TEMA			
	Certificado Por eliminar Por aprobar Para informar Aprobado Por calificar		<b>SECADOR DE TUNEL</b>	Lamina	Escala	Fecha
				N.0,7 g		2009/06/15

**ANEXO 14**

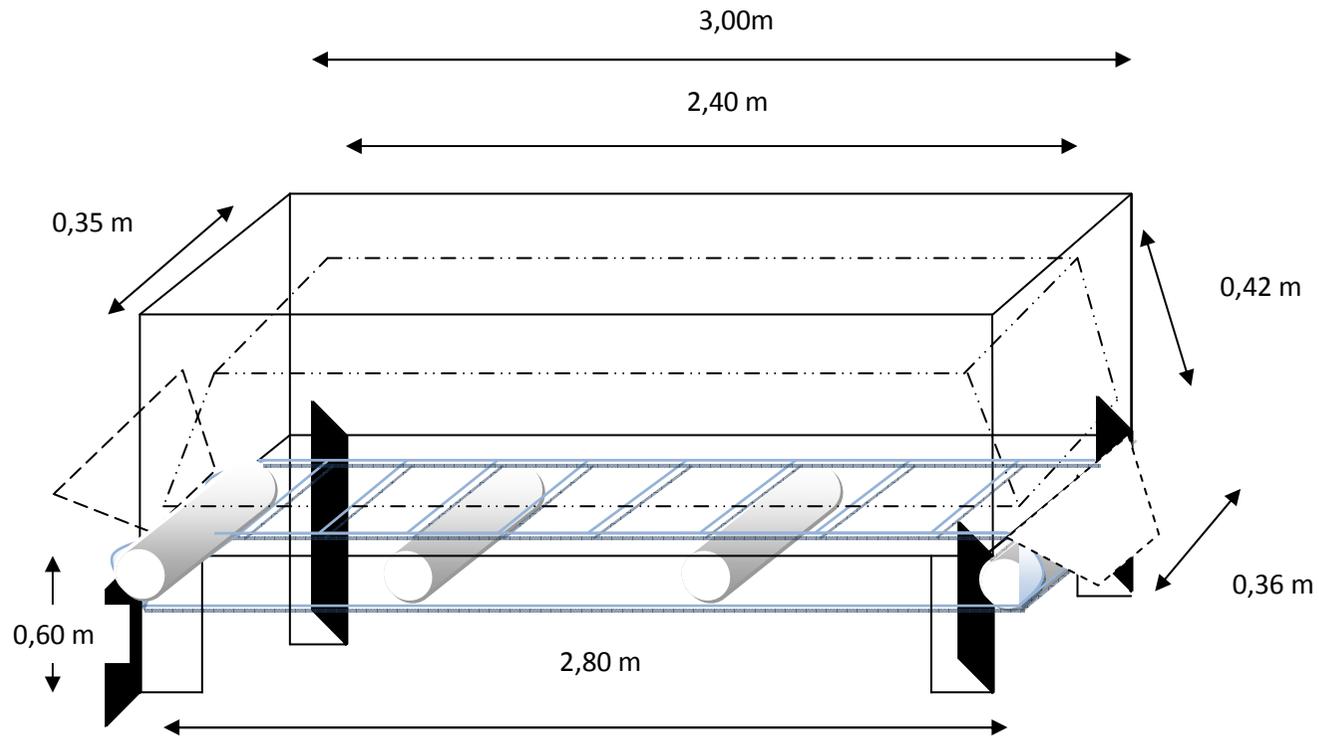
**LINEA DE DISTRIBUCION TRANSVERSAL DE LOS SERPENTINES EN LA CAMARA DE SECADO**



Notas	Categoría de diagrama	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	TEMA		
	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por eliminar <input checked="" type="checkbox"/> Para informar <input type="checkbox"/> Por calificar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA Carlos Efraín Aucancela Guacho Enma Natali Chávez Córdova	<b>SECADOR DE TUNEL</b>		
			Lamina:	Escala:	Fecha:
			N. 05 e		2009/03/05

**ANEXO 15**

**DIAGRAMA INTERNO DE LA CAMARA DE DISTRIBUCION DE AIRE CALIENTE**



Notas	Categoría de diagrama	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	TEMA		
	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><input type="checkbox"/> Certificado</p> <p><input type="checkbox"/> Por aprobar</p> <p><input type="checkbox"/> Aprobado</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><input type="checkbox"/> Por eliminar</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Para informar</p> <p><input type="checkbox"/> Por calificar</p> </div> </div>	<p><b>FACULTAD DE CIENCIAS</b></p> <p><b>ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA</b></p> <p>Carlos Efraín Aucancela Guacho</p> <p>Enma Natali Chávez Córdoba</p>	<b>SECADOR DE TUNEL</b>		
			Lamina: N. 06 f	Escala:	Fecha: 2009/03/05

**FOTOGRAFIA 1. SECADOR DE TUNEL CONECTADO A LA CALDERA**



Notas	Categoría de diagrama	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	TEMA		
	Certificado    Por eliminar Por aprobar    Para informar Aprobado        Por calificar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING QUIMICA Carlos Efraín Aucancela Guacho Enma Natali Chávez Córdova	<b>SECADOR DE TUNEL</b>		
			Lamina	Escala	Fecha
			N.0,7 g		2009/06/15

## FOTOGRAFIA 2. SECADOR DE TUNEL A VAPOR



Notas	Categoría de diagrama	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</b>	<b>TEMA</b>		
	Certificado    Por eliminar Por aprobar    Para informar Aprobado        Por calificar	<b>FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING QUIMICA</b> Carlos Efraín Aucancela Guacho Enma Natali Chávez Córdova	<b>SECADOR DE TUNEL</b>		
			Lamina N.08 h	Escala	Fecha 2009/06/15

## MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SECADOR DE TUNEL

### ARRANQUE PARA LA OPERACIÓN DIARIA

Para el adecuado arranque se requiere de la preparación adecuada por parte del operador. Del buen estado de:

- ❖ Caldera
- ❖ Válvulas
- ❖ Control Automático
- ❖ Sistemas auxiliares

Estos deben operar apropiadamente para lograr un buen funcionamiento del equipo.

### INSPECCION PREVIA AL ENCENDIDO DEL SECADOR DE TUNEL

Verifíquese la integración física del secador de túnel y los componentes antes del encendido.

Compruebe que a la entrada del vapor estén disponibles correctamente las llaves de paso a la línea principal.

En servicio el sistema eléctrico trifásico 220 voltios.

### ENCENDIDO

Conocer el tipo de arranque requerido:

### ARRANQUE EN FRIO

Es cuando el secador de túnel y sus componentes están a la temperatura ambiente y no ha sido operado un largo tiempo.

Notas	Categoría de diagrama	ESPOCH	TEMA		
	Certificado Por aprobar Aprobado	Por eliminar Para informar Por calificar	SECADOR DE TUNEL		
		FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING QUIMICA Carlos Efraín Aucancela Guacho Enma Natali Chávez Córdova	Lamina N.0,7 g	Escala	Fecha 2009/06/15

## PASOS A SEGUIR

- ❖ Encender la caldera 1 hora antes de encender el secador de túnel para disponer energía al sistema (vapor).
- ❖ Coloque el interruptor de energía.
- ❖ Abrir y encender la válvula de vapor ON indicando la temperatura a lo que se requiere trabajar.
- ❖ Si el secador está marcada como una operación en frío la válvula de vapor debe permanecer abierta para permitir el ingreso de vapor dependiendo de la temperatura al que se trabaje.
- ❖ Encender los ventiladores ON cada 20 min para evitar la generación de humedad dentro del secador.
- ❖ Una vez llegado la temperatura de trabajo pesar la cantidad de grano a secar y colocar en la tolva de alimentación con los ventiladores y la banda transportadora apagada.
- ❖ Encender la banda transportadora ON durante 25 a 30 segundos y apagarla OFF.
- ❖ Prender los ventiladores durante 4min y 30 seg ON y apagarla OFF.
- ❖ Poner en marcha la banda transportadora para evacuar el grano ON. El tiempo total de secado se efectúa aproximadamente 5 minutos.
- ❖ Evacuar y pesar el grano.

## APAGADO DEL SECADOR

Una vez acabado la operación del secado abrir la válvula de seguridad para liberar el condensado y el vapor retenido de la línea principal.

Notas	Categoría de diagrama	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	TEMA		
	Certificado      Por eliminar Por aprobar      Para informar Aprobado          Por calificar	<b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> <b>ESCUELA DE ING QUIMICA</b> Carlos Efraín Aucancela Guacho Enma Natali Chávez Córdova	<b>SECADOR DE TUNEL</b>		
			Lamina	Escala	Fecha
			N.0,7 g		2009/06/15

- ❖ Poner en OFF los ventiladores y la banda transportadora.
- ❖ El interruptor de la válvula de vapor se apagará una vez que la temperatura haya bajado hasta los 30C – 35C.
- ❖ Una vez apagado el secador el secador bajar el interruptor de energía.
- ❖ Verificar si todos los líquidos y vapor son eliminados por medio de la válvula de seguridad.

### **CRONOGRAMA DE MANTENIMIENTO**

Cada vez que se ponga en marcha el secador enviar un poco cantidad de vapor para sí evacuar por medio de la válvula de seguridad el condensado atrapado en la línea principal de los anteriores ensayos hasta que se presente continuo la carga de vapor.

<b>Notas</b>	<b>Categoría de diagrama</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</b>	<b>TEMA</b>		
	Certificado Por aprobar Aprobado	Por eliminar Para informar Por calificar  <b>FACULTAD DE CIENCIAS            ESCUELA DE ING QUIMICA</b> Carlos Efraín Aucancela Guacho Enma Natali Chávez Córdova	<b>SECADOR DE TUNEL</b>		
			Lamina	Escala	Fecha
			N.0,7 g		2009/06/15