

EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE HUMIDIFICACIÓN POR NEBULIZACIÓN EN LA “FOSA DE TABACO”

EVALUATION OF A HUMIDIFICATION SYSTEM BY NEBULIZATION IN THE "FOSA OF TOBACCO"

Néstor Enrique Cerquera Peña¹, Fernanda Carvajal Solorzano²

Resumen

Se diseñó, implementó y evaluó un sistema de humidificación de la hoja de tabaco por nebulización que cuenta con un sistema para el control y registro de las condiciones ambientales, el cual permite generar un ambiente con humedad relativa más homogénea en todo el recinto, logrando un mejor uso del agua, un mayor control en la humedad relativa y por tanto un mejor control en el manejo del contenido de humedad de la hoja de tabaco curada, con la consiguiente mejora en la calidad del producto a comercializar. Se obtuvieron rangos de trabajo de humedad relativa entre 60 y 70% y tiempos de 4 a 6 horas para alcanzar la rehumidificación de la hoja hasta la humedad del 16%, en base húmeda. Con base en los resultados obtenidos y las observaciones hechas en campo, en cuanto al manejo operativo de este recinto, se proponen dos nuevos diseños para esta etapa de acondicionamiento que permitirían un mejor manejo de la hoja evitando el riesgo de pérdidas por manipulación y por sobrehumedecimiento. Este trabajo fortalece el proceso de investigación en el área de la poscosecha de tabaco, al complementar otros proyectos de investigación en esta área, que se han realizado en Colombia.

Palabras clave: Fosa de tabaco, acondicionamiento, humidificación, poscosecha de tabaco, tabaco Virginia.

Abstract

It was designed, implemented and evaluated a system for humidifying tobacco leaf by nebulization, which has a system for monitoring and recording the environmental conditions, which allows to generate an environment with more homogeneous relative humidity in all the place, improving the use of water towards a better control of the relative humidity and therefore better control in managing the moisture content of cured tobacco leaf, with the consequent improvement in the quality of the final product to market. We obtained working ranges of relative humidity between 60 and 70% and times from 4 to 6 hours to reach the rehumidification of the leaf until achieving the leaf humidity of 16% in wet basis. With regard to operational management of this conditioning chamber and based on the results and on the field observations, two new designs are proposed for the conditioning stage, that would allow better management of the leaf, avoiding the risk of losses due to manipulation and overhumidification. This study strengthens the research process in the field of tobacco postharvest technology, to complement other research projects have been carried out in Colombia.

Key words: Fosa of tobacco, Conditioning, humidification, post-harvest tobacco, Virginia tobacco

¹ Ingeniero Agrícola, Magister en Ingeniería Agrícola UN, Especialista en Ciencia y Tecnología de Alimentos UN, Profesor Asociado, Facultad de Ingeniería Universidad Surcolombiana, Neiva, cerquera@usco.edu.co

² Ingeniera Agrícola, Universidad Surcolombiana Neiva, fercha1566@hotmail.com.

Introducción

En la producción de tabaco es de gran importancia la etapa de la poscosecha ya que en ella se da valor agregado a la hoja de tabaco, sin embargo, se han detectado problemas durante las etapas de recolección, curado, almacenamiento, acondicionamiento, y clasificación, que demeritan la calidad del producto final y generan pérdidas económicas.

En la fase de acondicionamiento de la hoja de tabaco, la que comúnmente se denomina zona de desencuje o “fosa de tabaco”, se presentan deficiencias en el manejo de los tiempos de permanencia y en los niveles de rehumidificación de la hoja, los cuales no deben superar contenidos de humedad del 16% en base húmeda; cuando estos valores son mayores suelen presentarse desarrollo de hongos, cambios de coloración (manchas) y pérdidas causadas por descomposición. Si por el contrario, la hoja sale de la fosa con muy baja humedad se hace quebradiza, poco manejable por el clasificador y se incrementan las pérdidas por daño físico.

La “fosa de tabaco” es un lugar que cumple una función importante en la fase final del beneficio de la hoja de tabaco, en esta el aire debe ser acondicionado con humidificadores para aumentar su humedad relativa y hacerlo circular a través de la masa de tabaco, esto con el fin de rehumedecer y acondicionar la hoja de tabaco para su posterior clasificación. No obstante según el estudio "Evaluación del secado en los hornos tradicionales de curado de tabaco" (Cerquera, N. et all, 2006) se presentan deficiencias en la humidificación de la hoja, ya que usualmente la fosa sólo cuenta con un humidificador que tiene un área de cubrimiento limitada ocasionando desuniformidad en la humedad relativa del ambiente, provocando una humidificación alta al producto ubicado en su cercanía, y prácticamente ningún efecto sobre el producto alejado del equipo, llegando en ocasiones a demeritar la calidad final de la hoja a comercializar.

Estas deficiencias en la humidificación del ambiente afectan la calidad del producto a comercializar y el valor de la transacción final del mismo, generando reducciones en la rentabilidad del negocio, lo que conlleva al detrimento de la calidad de vida de los productores tabacaleros.

METODOLOGÍA

Para el diseño, implementación y evaluación del sistema de humidificación por nebulización en la fosa de tabaco se realizaron los siguientes pasos.

Ubicación del proyecto: El proyecto se realizó en convenio con el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, el Fondo Nacional del Tabaco, el IICA, la Gobernación del Huila, la Asociación de cultivadores de tabaco de Garzón y la Universidad Surcolombiana, y para su ejecución se seleccionó la “fosa de tabaco” de la finca “Villa Diamante”, vereda “La escalereta”, ubicada en el kilómetro cinco (5) en la vía que conduce del municipio de Garzón al municipio del Agrado, en el departamento del Huila.

Cálculo del sistema de humidificación: Se calculó y diseñó el sistema de humidificación por nebulización para la fosa de tabaco de acuerdo a los requerimientos de la hoja, siguiendo la metodología de Cifuentes (Cifuentes, M., 2001).

Instalación del sistema de humidificación: Una vez realizado el diseño del sistema de nebulización, se realizaron las siguientes etapas del proceso de instalación:

- **Instalación de tuberías.** Esta comprendió la instalación de la línea principal en tubería PVC de 1 pulgada RDE 26 y de los laterales del sistema en manguera de 16 mm PR 35, de acuerdo a lo obtenido en el diseño, a las dimensiones de la fosa de tabaco y siguiendo las recomendaciones y normas técnicas dadas por los fabricantes
- **Instalación de unidades de nebulización.** Se instalaron 48 nebulizadores Foggers para el control de la humedad relativa de la fosa de tabaco, ubicados a una distancia de 1.5 m. entre unidades (figura 1). Estos nebulizadores Foggers base azul trabajan a 40 PSI con un caudal de descarga de 32 litros por hora (LPH) cada uno y están provistos de válvula antigoteo (figura 2).

Figura 1. Instalación de los nebulizadores Foggers



Figura 2. Nebulizador Fogger azul de 32 LPH



- **Instalación del sistema de bombeo.** Se instaló una electrobomba centrífuga de una pulgada y cuarto (1 1/4") de succión por una pulgada (1") de descarga con motor monofásico de 1 HP. La electrobomba fue nivelada y anclada sobre una placa de concreto. Su conexión es de tipo flexible a través de universales y uniones que permiten retirarla fácilmente en caso de mantenimiento o reparación.

Se utilizaron los siguientes accesorios de conexión: tubería de succión en PVC de una pulgada y cuarto (1 1/4") RDE 21, tubería principal de una pulgada (1") RDE 26, una válvula de cheque de una pulgada (1"), un manómetro, un filtro de discos de una pulgada (1"), una válvula de alivio de presión y tubería de retorno en PVC de 1/2 pulgada RDE 21.

Se realizaron las conexiones eléctricas del sistema y se instaló un arrancador directo que permite operar y desconectar la unidad. Se instaló un tanque de abastecimiento de 1000 litros con sus accesorios, en la parte exterior de la fosa, y una válvula de pie de una pulgada (1") que permite mantener el cebado permanente de la bomba y que sirve como filtro de protección para evitar posibles obstrucciones en el sistema.

- **Automatización.** Se instaló un sistema de control que enciende o apaga automáticamente la electrobomba en función de la humedad relativa del ambiente. Este sistema fue diseñado por GOMEZ y PEREZ (2006), como trabajo de grado del programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad Surcolombiana. El sistema de control es el encargado de mantener estable la humedad relativa dentro de la fosa de tabaco. Los

rangos son establecidos por el usuario mediante la programación del sistema que se hace a través de una interfase o panel de control, que consta de un teclado y una pantalla, desde donde se puede cambiar la configuración del controlador y observar la información de las condiciones ambientales de la fosa.

Desde el controlador se puede manejar el encendido y el apagado de la electrobomba, que se acciona al alcanzar los límites de humedad relativa que han sido establecidos previamente por el usuario. Para medir estas variables el controlador utiliza un sensor digital SHT11, de bajo consumo de energía que responde muy bien a los cambios de la humedad relativa en el ambiente.

- **Puesta en marcha del sistema y calibración de la electrobomba.** Se inició con el cebamiento de la bomba. Realizada esta operación se procedió a poner en funcionamiento el sistema. Se calibró la electrobomba determinando el nivel de aceleración más apropiado de acuerdo a la presión de trabajo de los nebulizadores.

Evaluación hidráulica del sistema de humidificación: Se evaluó el sistema adaptado a la “fosa de tabaco” determinando las siguientes variables: el coeficiente de uniformidad, la eficiencia de aplicación y el caudal de descarga. El coeficiente de uniformidad (CU) se obtuvo siguiendo la metodología propuesta por Christiansen (PEREA, J y otros, 1998), la eficiencia de aplicación (EA) (PEREA, J y otros, 1998), se determinó en función de la relación de las precipitaciones promedias captadas y el caudal de descarga se hizo midiendo el caudal a diferentes presiones, lo anterior con el propósito de estimar las diferencias entre los datos obtenidos en campo y los presentados por el fabricante.

Evaluación de las condiciones ambientales de la fosa de tabaco: Se realizó el seguimiento de las condiciones de humedad relativa y temperatura en la fosa de tabaco durante las 24 horas del día, con ayuda de dos termohigrómetros digitales marca Extech USA, modelo 42270, los cuales se programaron para registrar lecturas cada cinco minutos. Estos termohigrómetros inicialmente fueron ubicados, uno en la parte central o corredor de la fosa a una altura de 2 m sobre el nivel del piso (Medidor A1), y el otro en un costado de la fosa, a una altura de 2.7 m sobre el nivel del piso (Medidor B1), localizados por debajo de la línea de nebulizadores.

Debido a su ubicación por debajo de la línea de nebulizadores estos equipos registraron lecturas de saturación, por lo que fueron reubicados, el primero en la parte alta de la fosa, a una altura de 3.5 m sobre el nivel del piso, quedando localizado por encima de la línea de nebulizadores (Medidor A2) y el segundo (Medidor B2), en la parte central a una altura de 2 m sobre el nivel del piso, ubicado por debajo de la línea de nebulizadores y protegido contra la incidencia directa del agua al ser accionado el sistema. (Figura 3)

Evaluación de las condiciones de humedad de la hoja de tabaco: Se determinó la humedad de la hoja de tabaco en la fosa, utilizando el método gravimétrico oficial No. 966.02 de la ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS AOAC INTERNATIONAL, 1998.

Como a la fosa ingresó tabaco de varios hornos, el seguimiento se realizó de manera independiente a los seis hornos que hay en la finca, los cuales fueron designados como: horno 0, horno 1, hasta el horno 5. A su vez, cada lote (horneada) que se curó en cada uno de los hornos se denominó con la palabra “ensayo n”, realizándose un total 24 ensayos.

En la sala de clasificación se tomaron muestras para la determinación del contenido de humedad de la hoja de tabaco y sus características en cuanto a la facilidad de manipulación.

Figura 3. Vista de la fosa de tabaco y ubicación de los puntos de medición de las condiciones de temperatura y humedad relativa.



RESULTADOS

Cálculos y diseño hidráulico: A continuación se presentan los cálculos hidráulicos realizados para el diseño del sistema de humidificación por nebulización en la fosa de tabaco.

Cálculo del lateral. El resultado del cálculo del lateral para el sistema de humidificación por nebulización se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Cálculo del lateral del sistema de nebulización para la “fosa de tabaco”.

1. INFORMACIÓN GENERAL			
Nebulizador	Fogger base azul	Distancia entre emisores (E_L)	1.5 m
Presión trabajo (PSI)	40	Distancia entre líneas	1.5 m
Caudal (LPH) = Q_{UR}	32	Caudal total	8 GPM
2. CÁLCULO PÉRDIDAS POR FRICCIÓN EN LA TUBERÍA (J)			
VARIABLES			VALORES
N_{UR} = Número de unidades de riego por lateral \approx No. De salidas			8
θ = Diámetro y RDE tubería:			16 mm. PR 35
F = Factor corrección múltiples salidas (Ver Anexo B)			0.415
Q = Caudal total a conducir = (No. Unidades riego)($Q_{UNITARIO}$)			4.27 LPM
N_S = Número de espacios entre unidades de riego			7
E_L = Espaciamiento entre unidades de riego en el lateral (m)			1.5
T_I = Tramo inicial desde la conexión del lateral hasta la primera unidad de riego (m)			0.95
T_F = Tramo final desde última unidad riego hasta obturador (m)			0.95
L_R = Longitud real (m) = (N_S)(E_L) + (T_I) + (T_F)			12.4
L_e = Longitud equivalente por accesorios (m)			0.6 m.
L = Longitud total (m) = (L_R) + (L_e)			13.0
j = Pérdidas por fricción en la tubería (m/m); (Ver Anexo C) según fabricante			0.03201
$J = (F)(L)(j)$			0.17 m
CHEQUEO: $J \leq J_{Permisible}$ (55% del 20% de presión de trabajo nebulizador)		$(0.17) \leq (3.09)$	SI

Continuación tabla 1. Cálculo del lateral del sistema de nebulización para la “fosa de tabaco”.

2.1 CÁLCULO DE LA LONGITUD EQUIVALENTE (L_e) (Anexo D)				
ACCESORIOS	CANTIDAD	θ	Q (GPM)	L_e (m)
Reducción	1	1" x ½ "	1.3	0.2
Reducción	1	½" x 16mm	1.3	0.2
Conexión unidad de riego	8	4 mm	1.3	0.2
Sumatoria L_e (m)				0.6
3. PRESIONES REQUERIDAS PARA EL LATERAL (m)				
PRESIÓN A LA ENTRADA (P_{EL})		PRESIÓN A LA SALIDA (P_{SL})		
VARIABLES	VALORES	VARIABLES	VALORES	
P_{UR} = Presión unidad riego (m)	28.13	P_{EL} = Presión entrada lateral (m)	32.0	
J = Pérdidas totales (m)	0.17	J = Pérdidas totales (m)	0.17	
ΔH = Dif. topográfica terreno(m)	3.7	ΔH = Dif. topográfica terreno (m)	3.7	
$P_{EL} = P_{UR} + J \pm \Delta H$ (m)	32.0 m	$P_{SL} = P_{EL} - J \pm \Delta H$ (m)	35.5 m	
	45.5 PSI		50.5 PSI	

Fuente: CIFUENTES P., Miguel Germán. Metodología para el diseño de sistemas de riego a presión. Neiva, 2001, 165 p.

Cálculo de tubería principal. En la tabla 2 se presentan los cálculos de la tubería principal para el sistema de humidificación por nebulización.

Tabla 2. Cálculo de la tubería principal en el sistema de nebulización para la fosa de tabaco.

1. PÉRDIDAS POR FRICCIÓN EN LA TUBERÍA (J)				
$J = (F)(L)(j)$				
F = Depende del Número de salidas (sector riego a beneficiar y/o salidas tubería alimentación) (Ver Anexo B)	0.435			
θ = Diámetro tubería y RDE (asumirlo)	1" – RDE 26			
Q = Caudal a conducir = \sum caudales sectores de riego a beneficiar (G.P.M.)	8			
j = Pérdidas unitarias por fricción tubería m/m (Ver Anexo E) según fabricante	0.0192			
L_R = Longitud real; desde descarga unidad bombeo hasta último sector de riego a beneficiar (m)	11			
L_e = Longitud equivalente por accesorios (m)	32.1			
L = Longitud total (m) = (L_R) + (L_e)	43.1			
J = (F)(L)(j)	0.36			
1.1 CÁLCULO DE LA LONGITUD EQUIVALENTE (L_e) (Anexo F)				
ACCESORIOS	CANTIDAD	θ	Q (GPM)	L_e (m)
Codo 90° HG	1	1"	11*	0.8
Tee Pasiva	1	1"	11	0.5
Tee Activa	1	1"	11	1.7
Tee Activa	5	1"	8	8.5
Codo 90°	3	1"	8	2.1
Cheque	1	1"	8	2.1
Llave de globo	2	1"	8	16.4
Sumatoria L_e (m)				32.1
1.2 CÁLCULO DE LA VELOCIDAD (V) EN TUBERÍAS				
VARIABLES	VALORES			
Clase y diámetro de tubería	PVC – 1"			
RDE tubo	RDE 26			
Espesor pared tubo (m) (Ver Anexo G) según fabricante	0.0015			
θ_E = Diámetro externo (m)	0.0334			
θ_I = Diámetro interno (m)	0.0304			

Continuación tabla 2. Cálculo de la tubería principal en el sistema de nebulización para la fosa de tabaco.

R = Radio interno (m)	0.0152
A = Área tubo = $(\pi)(R^2)(m^2)$	0.00073
Q = Caudal (m^3/seg)	0.000504
V = Q / A	0.69
V PERMISIBLE (m/seg) (según fabricante tubería)	2.5
CHEQUEO: $V \leq V_p ; (0.69) \leq (2.5)$	SI ✓
	NO
OBSERVACION: Si el resultado es (NO), replantear el diámetro de la tubería	
2. PRESIÓN REQUERIDA A LA ENTRADA TUBERÍA PRINCIPAL (P_{REP})	
P _{REP} = J tubería principal + P _{REA} (Presión requerida entrada del lateral crítica) (P _{REA}) ± ΔH terreno	
P _{REP} = (0.36) + (32.0) ± (3.7) = <u>36.1</u> m <u>51.3</u> PSI m	

Fuente: CIFUENTES P., Miguel Germán. Metodología para el diseño de sistemas de riego a presión. Neiva, 2001, 165 p.

* Caudal obtenido de la tabla de rendimiento de la bomba seleccionada

Cálculo hidráulico para la unidad de bombeo. En la tabla 3 se presentan los cálculos de la unidad de bombeo seleccionada para el sistema de nebulización de la “fosa de tabaco”.

Tabla 3. Cálculo hidráulico para la unidad de bombeo en el sistema de nebulización para la fosa de tabaco

1. DATOS BÁSICOS					
Q diseño	8 GPM	Temp. interior caseta	30 °C	Dpto	Huila
Localización geográfica	718 A.S.N.M	Presión atmosférica (Anexo I)	9.26 m	Municipio	Garzón
Presión trabajo unidad riego	40 PSI	Presión de vapor (Anexo J)	0.43 m	Vereda	Escaleretas
Fuente abastecimiento	Tanque	Clase sedimentos (θ)		Predio	Villa Diamante
2. CÁLCULO DE LA CABEZA (ALTURA) DINÁMICA TOTAL (C.D.T)					
VARIABLES					
C.D.T = H _S + H _d + H _{fs} + H _{fp} + H _{fl} + H _{ff} + H _{UR}					VALORES (m)
H _S	=	Altura de succión			0.2
H _d	=	Altura de descarga (Δ _H terreno) + Altura elevador unidad riego			3.7
H _{fs}	=	Pérdidas por fricción tubería succión			0.17
H _{fp}	=	Pérdidas por fricción tubería principal			0.36
H _{fl}	=	Pérdidas por fricción en la tubería lateral			0.17
H _{ff}	=	Pérdidas por fricción unidad filtrado (Filtro de discos de 1"= 0.3-0.5 m)			0.5
H _{UR}	=	Presión de trabajo unidad de riego			28.13
SUMATORIA C.D.T.					33.23
2.1 PÉRDIDAS POR FRICCIÓN EN LA TUBERÍA DE SUCCIÓN (H _{fs})					
H _{fs} = (L)(j)					
L _R	=	Longitud real; de la válvula de pie hasta el orificio de succión de la bomba (m)			2.0
L _e	=	Longitud equivalente por accesorios (m)			11.9
L	=	Longitud total = L _{real} + L _{equivalente}			13.9
θ	=	Diámetro tubería y RDE (asumirlo)			11/4"– RDE 21
Q	=	Caudal a conducir (GPM) = Σ caudales sectores de riego a beneficiar			11
j	=	Pérdidas unitarias por fricción tubería m/m (Ver Anexo k) según fabricante			0.012
H _{fs} = (L)(j)					0.17
2.2 CÁLCULO DE LA LONGITUD EQUIVALENTE TUBERÍA SUCCIÓN (L _e) (Anexo D, F)					
ACCESORIOS	CANTIDAD	θ	Q (GPM)	L _e (m)	
Válvula pie	1	1"	11	7.3	
Ampliación	1	1" x 11/4"	11	4.6	
Sumatoria L_e (m)					11.9

Continuación tabla 3. Cálculo hidráulico para la unidad de bombeo en el sistema de nebulización para la fosa de tabaco

2.3 CÁLCULO DE LA VELOCIDAD (V) EN TUBERÍA SUCCIÓN			
VARIABLES		VALORES	
Clase y diámetro de tubería		PVC – 11/4"	
RDE tubo		RDE 21	
Espesor pared tubo (m) (Ver Anexo G) según fabricante		0.00201	
θ_E = Diámetro externo (m)		0.04216	
θ_i = Diámetro interno (m)		0.03814	
R = Radio interno (m)		0.01907	
A = Área tubo = $(\pi)(R^2)(m^2)$		0.001142	
Q = Caudal (m^3/seg)		0.000504	
$V = \frac{Q}{A} = (0.000504) \div (0.001142)$		0.44	
$V_{PERMISIBLE}$ (m/seg) (según fabricante tubería)		2.5	
CHEQUEO: $V \leq V_P$; (0.44) \leq (2.00)		SI \checkmark	
		NO	
3. SELECCIÓN UNIDAD DE BOMBEO			
3.1 MÉTODO "POR CURVA SEGÚN FABRICANTE" (Anexo N)			
DATOS DE DISEÑO	Q: 8 GPM	UNIDAD DE BOMBEO	Referencia:
	CDT: 33.23 m		Modelo: JS1 – 1.0
	Energía: Eléctrica		Versión: Sello mecánico
MOTOR	HP: 1.0	BOMBA	θ_{Rotor} : 128 mm
	RPM: 3.450		θ_{max} partículas: 2 mm
	Conexión: Monoblock		Conexión: succ: 11/4" desc: 1"
	Operación: Eléctrica		Eficiencia: 70 %
3.2 MÉTODO: "POR FÓRMULA"			
POTENCIA REQUERIDA $HP = \frac{Q \times CDT}{3960 \times \eta}$			
Q = Caudal de diseño		8.0 GPM	
CDT = Cabeza dinámica total		109.0 Pies	
3960 = Factor de conversión		3960	
η = Eficiencia deseada para la bomba		0.70 Decimales	
HP = $[(8) (109.0)] / [(3960) (0.70)]$		0.32 HP	
4. CÁLCULO DE LA CABEZA NETA POSITIVA DE SUCCIÓN (NPSH)			
4.1 NPSH DISPONIBLE		4.2 NPSH REQUERIDO	
$NPSH_D = P_a - P_v - H_s - H_{fs} = m$		Entregada por el fabricante de la bomba en función del $Q_{diseño}$ y el θ_{rotor} $NPSH_R = (1.2) m$	
P_a = Presión atmosférica según localización	9.48		
P_v = Presión de vapor según temperatura	0.43		
H_s = Altura de succión bomba	0.2		
H_{fs} = Pérdidas fricción tubería de succión	0.17		
$NPSH_D = (9.26) - (0.43) - (0.00) - (0.1775)$		8.68 m	
4.3 CHEQUEO			
$(NPSH)_R \leq (NPSH)_D$ $1.2 \leq 8.68$			
Resultado: (SI) (NO)			
5. AJUSTES DE POTENCIA (HP) EN MOTORES			
5.1 MOTORES ELÉCTRICOS			%
Por pérdidas por fricción y temperatura			15
$HP_{final} = (HP_{inicial}) + (\Sigma\%)(HP_{inicial})$ $HP_{final} = (0.32) + (0.15) (0.32)$			0.37

Detalle del diseño y distribución en planta del sistema de humidificación por nebulización en la “fosa de tabaco”

A continuación se presentan los detalles del diseño y las instalaciones efectuadas en la “fosa de tabaco” empleada para el montaje y evaluación del sistema de humidificación por nebulización (figuras 4 a 7).

Figura 4. Distribución en planta del sistema de humidificación por nebulización en la fosa de tabaco.

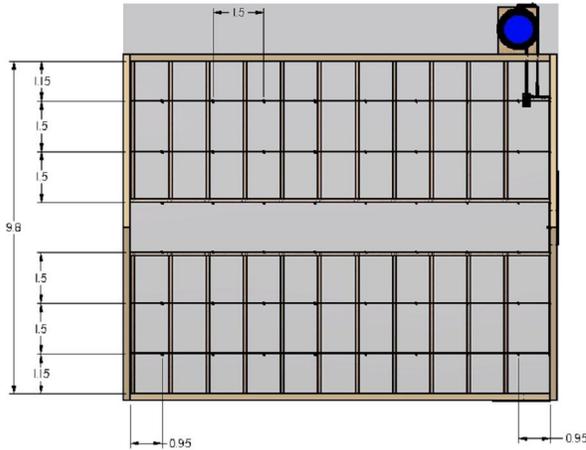


Figura 6. Corte longitudinal de la fosa de tabaco y detalles del sistema de humidificación por nebulización.

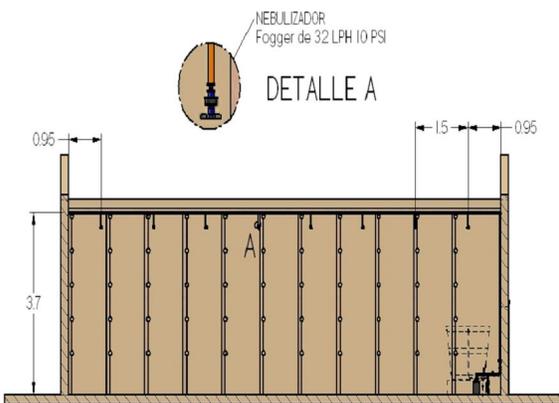


Figura 5. Corte transversal de la fosa de tabaco y detalles del sistema de humidificación por nebulización.

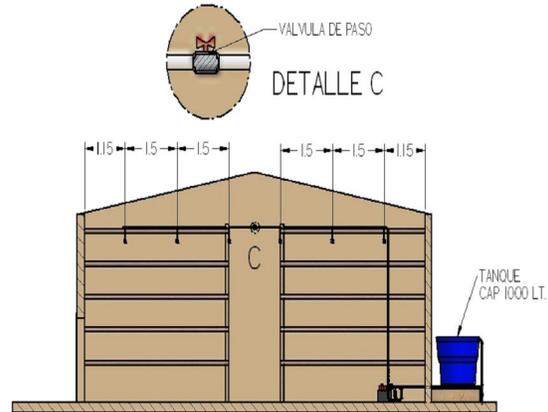
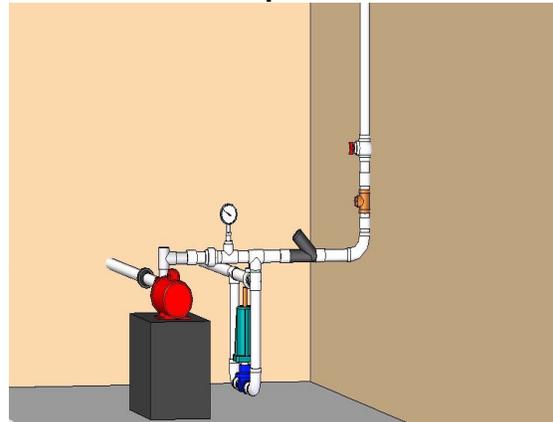


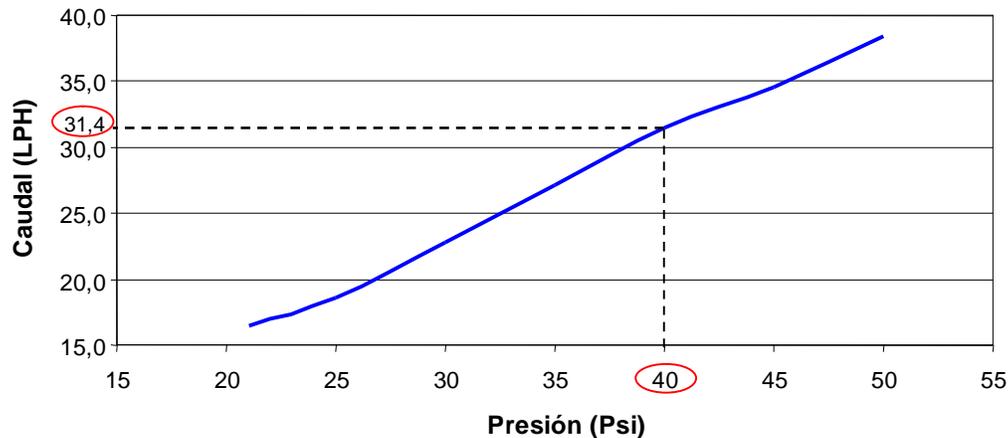
Figura 7. Detalle de instalación de la electrobomba y accesorios del sistema de humidificación por nebulización.



Evaluación hidráulica: Los resultados obtenidos en la evaluación hidráulica son los siguientes:

- **Caudal y Presión.** En la figura 8 se muestra la curva característica de caudal obtenida en la evaluación del nebulizador Foggers a diferentes presiones. De acuerdo a la información suministrada por el distribuidor, el nebulizador foggers base azul trabaja a 40 PSI con un caudal de descarga de 32 LPH (Litros por hora). Como se observa en la figura el caudal obtenido en la evaluación a una presión de 40 PSI presenta una diferencia del 2% respecto al caudal teórico. Esta diferencia no es significativa, lo que permite alto grado de confianza en el diseño realizado según las especificaciones técnicas.

Figura 8. Curva característica de Caudal en función de la Presión, obtenida en la evaluación del nebulizador foggers base azul de 32 LPH.



- **Coefficiente de uniformidad.** El coeficiente de uniformidad para el sistema de nebulización en la fosa de tabaco se determinó aplicando la fórmula de Christiansen (PEREA, J y otros, 1998):

$$Cu = 100 \times \left(1 - \frac{\sum Y}{m \times n} \right)$$

Donde:

Cu: Coeficiente de uniformidad (%)

$\sum Y$: Suma de las diferencias entre la cantidad de agua caída en cada sitio de observación y el promedio de agua caída durante el tiempo de observación, (mm)

m: Promedio de la cantidad de agua caída en los sitios o puntos de observación (mm)

n: Número de puntos de observación.

Se realizó un total de 32 observaciones, obteniéndose una lámina de agua promedio de 0.0028 mm, aplicada durante un tiempo de 30 minutos.

El coeficiente de uniformidad calculado para el sistema de nebulización es:

$$Cu = 100 \times \left(1 - \frac{0.021}{0.0028 \times 32} \right) = 76.6 \%$$

Este coeficiente de uniformidad se considera aceptable e indica que el sistema de nebulización está operando dentro del rango permitido y que el espaciamiento entre nebulizadores y laterales es el adecuado, lo que garantiza una distribución homogénea de la nube de agua sobre las hojas de tabaco. Para el buen funcionamiento del sistema es recomendable realizar periódicamente un mantenimiento al sistema con el fin de evitar obstrucciones en los nebulizadores.

- **Eficiencia de aplicación.** La eficiencia de aplicación para el sistema de nebulización en la fosa de tabaco se determinó aplicando la fórmula matemática (PEREA, J y otros, 1998).

$$Ea = \left(\frac{\bar{P}}{m} \right) \times 100$$

Donde:

Ea: Eficiencia de aplicación (%)

\bar{P} : Lámina promedio del agua recogida en el 25% de los recipientes con menor cantidad de agua (mm)

m: Pluviométrica media observada en el coeficiente de uniformidad (100% de los datos mm)

Reemplazando los valores indicados en la fórmula la eficiencia de aplicación obtenida es:

$$Ea = \left(\frac{0.0019}{0.0028} \right) \times 100 = 70\%$$

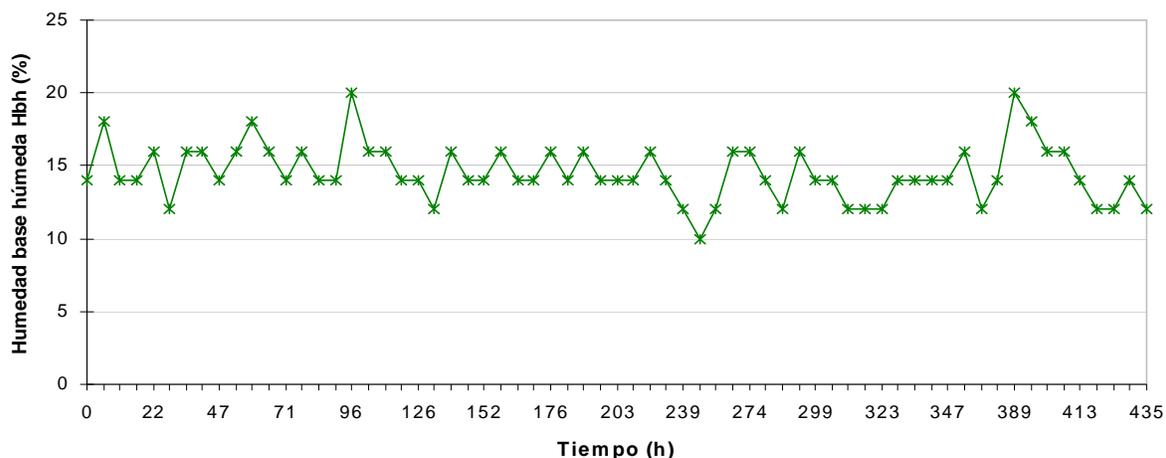
Esta eficiencia del sistema de nebulización de la fosa de tabaco se considera aceptable, lo que confirma su buen estado y funcionamiento.

Comportamiento del contenido de humedad de la hoja de tabaco: A continuación se presentan un ejemplo de los resultados obtenidos en el seguimiento del contenido de humedad de la hoja de tabaco de acuerdo a las condiciones de temperatura y humedad relativa en el interior de la fosa. La información completa de todos los ensayos se puede consultar en el documento “Diseño, implementación y evaluación de un sistema de humidificación por nebulización en la fosa de tabaco” (Cerquera, N. et al, 2007).

En la figura 9 se presenta el comportamiento del contenido de humedad en base húmeda de la hoja de tabaco, de acuerdo a las condiciones de temperatura y humedad relativa del ambiente interno de la fosa durante el tiempo de permanencia de la hoja curada, para el ensayo 4 del horno 1. Este fue el de mayor duración de todos los ensayos de humidificación realizados. En esta figura se puede apreciar la variación en el comportamiento del contenido de humedad de la hoja de tabaco durante el tiempo de permanencia de 435 horas (18.1 días) en la “fosa de tabaco”, que va desde el 12% al 20% de humedad en base húmeda (bh). Esta variación se debe a la fluctuación que se presenta en las condiciones de temperatura y humedad relativa dentro de la fosa.

La humedad inicial con la que llegó la hoja de tabaco a la fosa después de un prehumedecimiento en el horno de curado fue del 14% en base húmeda (bh) y al cabo de cuatro horas de permanencia en la fosa la hoja ya había alcanzado una humedad de 18% bh, humedad que permitiría su fácil manejo en la sala de clasificación, sin embargo la hoja permaneció en almacenamiento dieciocho días, lo que es completamente inadecuado para el producto y para el proceso, el cual debería ser continuo. Se observa también el efecto que tiene el funcionamiento del sistema de nebulización teniéndose humedades altas cuando actúa el sistema y reducciones considerables cuando el sistema no se encuentra en funcionamiento

Figura 9. Comportamiento de la humedad en base húmeda de la hoja de tabaco para el ensayo 4 del horno 1.



Se presentaron problemas por el excesivo represamiento de tabaco en la fosa y un manejo desordenado de la labor de desencuje, lo que impidió que el sistema se programara de acuerdo a las condiciones establecidas para obtener una atmósfera estable y lograr contenidos de humedad de las hojas más homogéneos. Debido a estos inconvenientes, se tomó la decisión de accionar el encendido y apagado del sistema de humidificación por un tiempo de aproximadamente dos horas o de acuerdo a las necesidades que se presentaron en la fosa.

En las figuras 10, 11 y 12 se presentan las curvas que reflejan el comportamiento de las condiciones de temperatura y humedad relativa.

En la figura 10 se observa el comportamiento de la temperatura y la humedad relativa dentro de la fosa de tabaco, en ella se presentan picos de humedad relativa elevados y temperaturas bajas en horas de la mañana, alrededor de las 5 y 6 a.m., y de temperaturas altas y humedades relativas bajas en horas de la tarde, entre las 3 y 5 p.m. Como se observa las lecturas extremas se presentaron en el medidor A2, debido a su ubicación en la parte superior de la fosa, por encima de la línea de nebulización.

En la figura 11 se presentan las condiciones de temperatura y humedad relativa para el medidor A2, ubicado por encima de la línea de nebulizadores. En ella se puede apreciar la variación permanente y extrema que tienen estas condiciones durante el tiempo del ensayo, encontrándose humedades desde el 26% hasta el 92%, y temperaturas desde 19.5 °C hasta 49.9 °C. Por su ubicación en la fosa, se tomó este medidor como referencia para observar el comportamiento de la atmósfera interior de la fosa, donde no hay efecto directo de los nebulizadores.

En la figura 12 se presenta el comportamiento de las condiciones ambientales para el medidor B2, ubicado por debajo de la línea de nebulizadores, el cual se tomó como referencia para observar el comportamiento de estas variables cuando se accionaba el encendido y apagado del sistema de humidificación. Como se observa en la figura los valores de humedad oscilan entre 53% y 100% y los de temperatura entre 19 °C y 30 °C. Se presentan picos menos pronunciados en la curva de humedad relativa que representan el efecto del funcionamiento del sistema, de acuerdo a la programación realizada al sistema de control de humedad relativa.

Figura 10. Comportamiento de las condiciones de humedad relativa y temperatura, en intervalos de una hora, durante el tiempo de permanencia del tabaco en fosa para el ensayo 4 del horno 1.

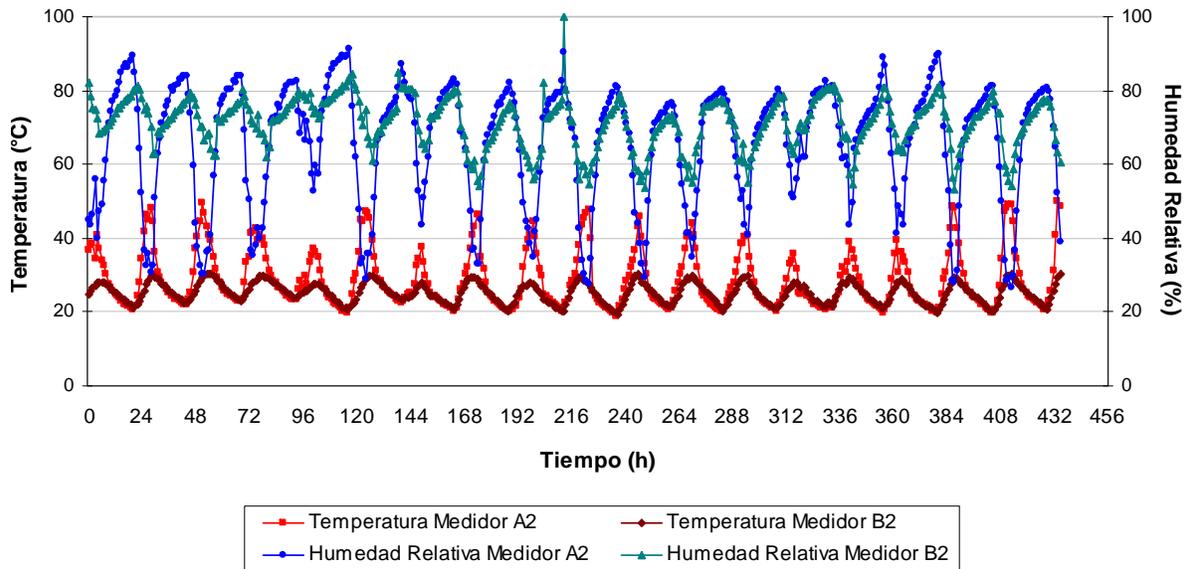


Figura 11. Comportamiento de las condiciones de humedad relativa y temperatura, en intervalos de una hora, durante el tiempo de permanencia del tabaco en fosa para el medidor A2 del ensayo 4 del horno 1.

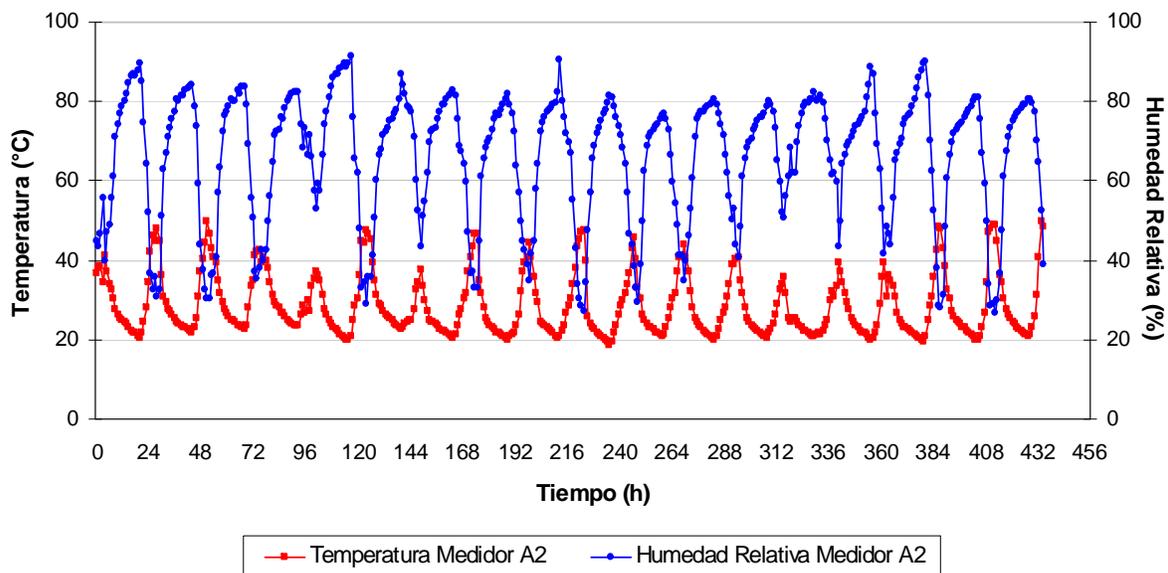
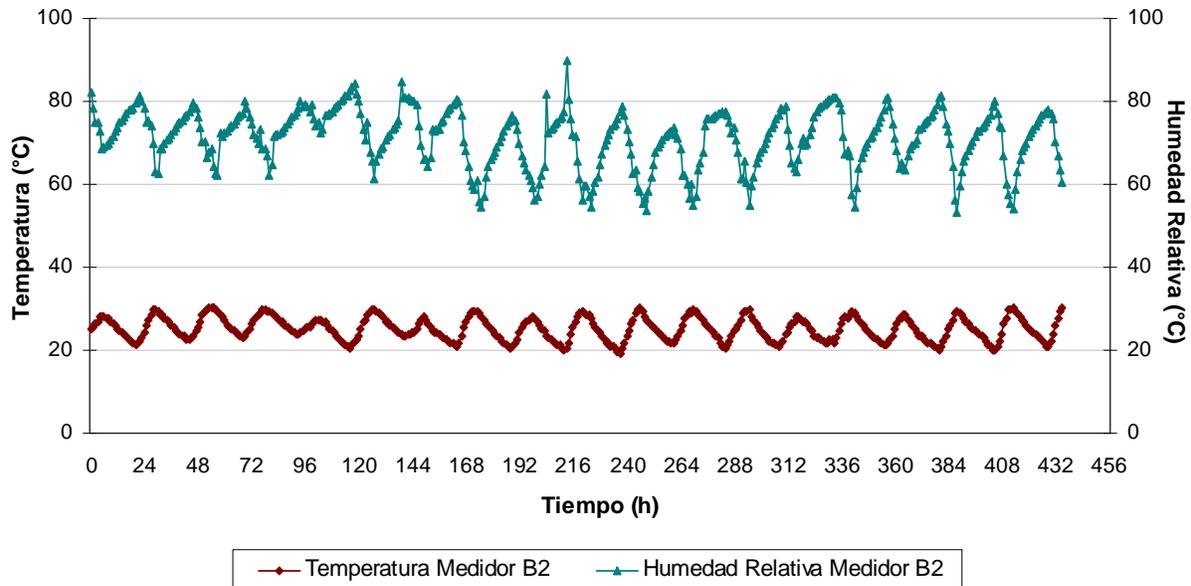


Figura 12. Comportamiento de las condiciones de humedad relativa y temperatura, en intervalos de una hora, durante el tiempo de permanencia del tabaco en fosa para el medidor B2 del ensayo 4 del horno 1.



Durante este ensayo el sistema de control de humedad relativa se programó con diferentes rangos. Inicialmente se programó con un rango de 70% a 75% de humedad relativa referenciado al medidor B2, de acuerdo a la información obtenida de la curva de humedad de equilibrio para tabaco tipo virginia (NORTH CAROLINA STATE UNIVERSITY, 2007), lo que originó que el sistema se accionara muy seguido presentándose pulsaciones cada 4 minutos aproximadamente, con emisiones que variaban de 5 a 15 segundos. Esta programación ocasionó que el tabaco que se encontraba por debajo de la línea de nebulizadores se sobre humedeciera.

Debido a esta situación con el tabaco y al accionamiento con intervalos tan cortos del sistema, se reprogramó el sistema con un rango de humedad relativa más baja optándose por un rango de 54% a 58% de humedad relativa referenciada al medidor B2, para que el sistema se activara cuando las condiciones ambientales eran las más extremas: alta temperatura y baja humedad relativa.

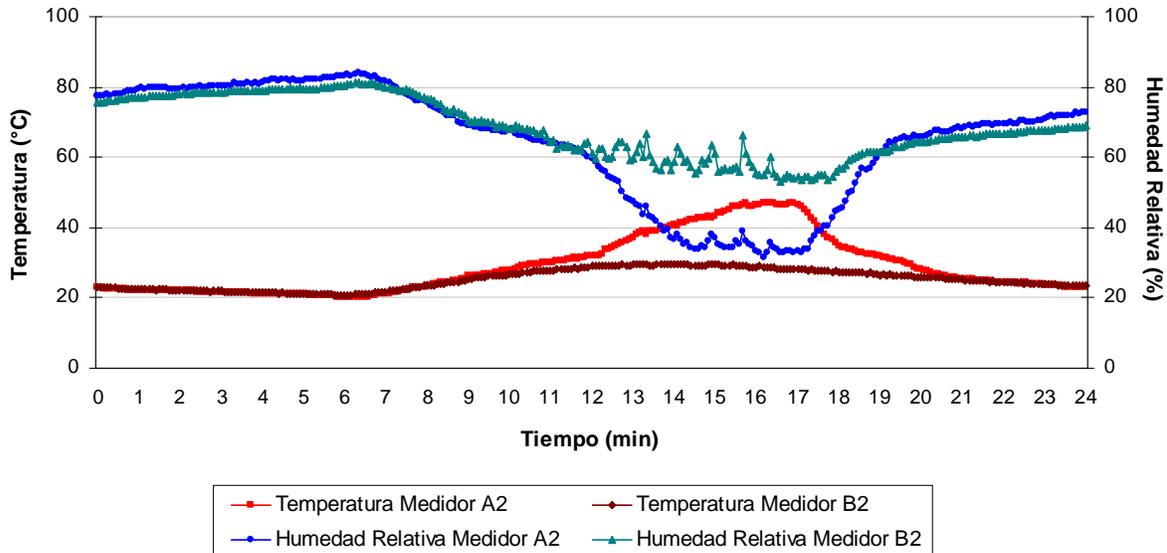
Cuando se necesitaba desencujar en horas de la mañana y de la noche, se programaba el controlador de acuerdo a las condiciones en las que se encontraba el ambiente para hacer accionar el sistema, es decir, el sistema aunque se encontraba automatizado para que se accionara y apagara solo, en algunas ocasiones se operó manualmente para satisfacer las necesidades de desencuje.

En la figura 13 se presenta el comportamiento de las condiciones ambientales de la fosa de tabaco, en intervalos de 5 minutos, durante las 24 horas del día, para un día de este ensayo.

Como se observa en esta figura, las condiciones ambientales de la fosa presentan un comportamiento estable durante la mañana (desde las 0 a.m. hasta las 12:00 m.) y

durante la noche (desde las 7 p.m. hasta las 12:00 p.m.) y una gran variación en el periodo del mediodía hasta las 7 de la noche.

Figura 13. Comportamiento de las condiciones de humedad relativa y temperatura en intervalos de 5 minutos para un día del ensayo 4 del horno 1.



Inicialmente se presenta un ascenso gradual de 9 puntos de humedad relativa en el medidor A2 y de 6 puntos en el medidor B2, hasta las 6:30 de la mañana, luego desciende hasta las 12 del mediodía en 24 puntos en el medidor A2 y 20 puntos en el medidor B2.

A partir de esta hora y como se dijo anteriormente se presenta una gran variación entre medidores debido a su ubicación, presentándose valores de temperatura máxima de 47°C y humedad mínima de 31.6% en el medidor A2 (Ubicado por encima de la línea de nebulización), mientras en el medidor B2 (Ubicado por debajo de la línea de nebulización), presenta una temperatura máxima de 29.7°C y humedad mínima de 52.9%.

En la curva de humedad relativa del medidor B2 se observan picos de humedad que indican el momento en que el sistema fue apagado o encendido de manera automática. En este caso el sistema de control estaba programado con un rango de humedad relativa del 54% a 58%, rango que de acuerdo a las condiciones que se estaban presentando no permitió que el sistema de humidificación se accionara en la mañana, por lo que se reprogramó a la 1:00 p.m. con un rango de 60-64% en el medidor B2, que hizo accionar el sistema con pulsaciones cada 30 minutos y con una duración de 10 segundos cada una aproximadamente. Se observa claramente que en la zona de humidificación (medidor B2) la humedad relativa es más estable y se encuentra en un rango que permite la absorción de humedad por parte de la hoja de tabaco, mientras que en la zona alta de la fosa en la que no hay humidificación (medidor A2), las condiciones de humedad relativa son muy bajas.

El comportamiento encontrado en los ensayos restantes fue similar al presentado para el ensayo 4 del horno 1 y se puede consultar en el documento de CERQUERA, N y otro, 2007.

En la tabla 4 se presentan los valores mínimos, máximos y promedio del contenido de humedad en base húmeda de la hoja de tabaco para los ensayos realizados. Como se observa en esta tabla, el contenido de humedad máximo presentado en la hoja de tabaco fue de 26% en base húmeda, valor que según NORTH CAROLINA STATE UNIVERSITY, 2007, permite el rápido deterioro de la hoja, presentándose problemas de hongos y cambios de coloración (manchas), sin embargo, para en este ensayo no se encontraron hojas con desarrollo visual de hongos, debido principalmente a que la hoja pierde rápidamente la humedad por las condiciones imperantes de baja humedad relativa del ambiente. Se presentaron problemas de hongos en el ensayo 4 del horno 1, con contenidos menores de humedad, debido al tiempo prolongado de permanencia de la hoja de tabaco en la fosa y a la sobrecarga de las barrederas con los cujes de tabaco, los cuales quedaron demasiado cercanos unos de otros, impidiendo la circulación de humedad a través de la masa de tabaco.

Tabla 4. Valores mínimos, máximos y promedios del contenido de humedad de la hoja de tabaco en la fosa para los diferentes ensayos.

Horno	Ensayo	Humedad Base Húmeda mínima, máxima y promedio (%)		
		Hbh máx.	Hbh mín.	Hbh prom.
0	1	20.0	12.0	15.7
	2	20.0	12.0	14.9
	3	20.0	12.0	15.4
	4	20.0	12.0	13.5
1	1	26.0	12.0	18.7
	2	18.0	14.0	16.0
	3	16.0	14.0	15.5
	4	20.0	10.0	14.5
2	1	22.0	10.0	19.0
	2	18.0	10.0	15.1
	3	18.0	10.0	15.0
	4	18.0	10.0	14.2
3	1	18.0	12.0	15.0
	2	20.0	10.0	14.4
	3	18.0	12.0	14.5
	4	18.0	10.0	15.9
4	1	18.0	14.0	16.4
	2	16.0	14.0	15.3
	3	18.0	10.0	14.0
	4	18.0	8.0	14.1
5	1	20.0	12.0	16.3
	2	16.0	12.0	14.4
	3	22.0	12.0	15.6
	4	18.0	10.0	14.0
Promedio		19.0	11.4	15.3

Se presentaron valores mínimos de contenido de humedad de la hoja hasta de un 8% en base húmeda, humedad bastante baja que permite que la hoja se vuelva quebradiza, poco manejable por el clasificador y aumenta las pérdidas por daño físico, por lo cual el tabaco debía ser rehumedecido nuevamente, tanto en fosa como en la sala de clasificación.

En general, se presentó un valor promedio de contenido de humedad del 15.3% en bh, valor que se encuentra por debajo del contenido de humedad del 16% bh requerido por los compradores de la hoja, lo que permite su fácil manejo en la sala de clasificación. Este

valor se logro a pesar de los inconvenientes que se presentaron con la operación del sistema.

Durante los ensayos se obtuvieron temperaturas mínimas de 19.3°C y temperaturas máximas de 50.2°C. La humedad relativa mínima a la que llegó el ambiente fue de 23.3 % y la máxima de 93.9%. En promedio la humedad relativa para todos los ensayos fue de 69.5%

Tiempo de permanencia de la hoja de tabaco en la fosa: La tabla 5 permite observar la variación en el tiempo empleado para cada uno de los ensayos realizados. Se aprecia que el de mayor duración fue el ensayo 4 del horno 1, que como se comentó anteriormente generó diferentes problemas en la hoja de tabaco. El ensayo de menor duración fue el ensayo 1 del horno 1, que duró dos días en fosa.

Tabla 5. Tiempo de permanencia de la hoja de tabaco en la fosa para cada uno de los ensayos realizados.

Horno	Ensayo	Tiempo de permanencia	
		Horas	Días
0	1	130	5.4
	2	92	3.8
	3	312	13
	4	240	10
1	1	57	2.4
	2	213	8.9
	3	109	4.5
	4	435	18.1
2	1	95	4
	2	217	9
	3	161	6.7
	4	337	14
3	1	142	5.9
	2	387	16.1
	3	223	9.3
	4	147	6.1
4	1	188	7.8
	2	171	7.1
	3	336	14
	4	196	8.2
5	1	190	7.9
	2	140	5.8
	3	337	14
	4	364	15.2

Según recomendaciones técnicas el tabaco debe permanecer en la fosa por un tiempo máximo de 24 a 48 horas, lo que no se tiene en cuenta en el manejo de la misma ya que esta se utiliza, no solo para acondicionar la humedad de la hoja de tabaco, sino también como un lugar de almacenamiento prolongado.

De acuerdo a las determinaciones de contenido de humedad realizadas a la hoja de tabaco y al funcionamiento del sistema, se puede concluir que la hoja de tabaco requiere de una permanencia aproximada de 4 a 6 horas en la “cámara de humidificación y acondicionamiento”, tiempo que le permite alcanzar el contenido de humedad requerido para su clasificación y posterior venta.

Análisis económico del efecto del contenido de humedad en la “fosa de tabaco”

El efecto real en la fosa sobre la hoja de tabaco es la variación de su contenido de humedad, lo que permite llevarlo a su humedad de comercialización. La calidad de la hoja se obtiene, en mayor medida, en el proceso de curado previo al acondicionamiento en fosa.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la “fosa de tabaco”, la humedad de la hoja se puede acondicionar a valores aproximados al 16% de humedad en base húmeda, en un período de 4 a 6 horas. El sobrehumedecimiento de la hoja a niveles por encima del 20% en base húmeda, puede generar el crecimiento de hongos y por tanto la pérdida de la hoja.

Es importante alcanzar la humedad comercial en la fosa y mantenerla durante la clasificación para obtener el precio justo a la hora de la venta. Si la hoja se lleva a venta por debajo del 16% en base húmeda recibe el mismo precio sin importar el contenido de humedad, si por el contrario se lleva con un contenido de humedad superior, la hoja es rechazada y devuelta al productor para que retire la humedad en exceso.

A continuación se presenta un análisis económico del valor que se deja de percibir al momento de la venta si la hoja se comercializa con humedades por debajo de lo establecido por el comprador.

En la tabla 6 se presenta la información de los precios de venta de la hoja de tabaco para diferentes calidades, lo mismo que el porcentaje estimado de tabaco obtenido de las mismas en la zona. Con base en ésta información se calculó el precio promedio de venta por kilogramo de hoja de tabaco curado.

Tabla 6. Precio estimado de venta por kilogramo de hoja de tabaco curado.

Calidad	Producción estimada (%)*	Precio de Venta (\$)
B10	5	6.050
B20	15	5.500
B30	75	4.800
BR	5	3.100
Promedio		4.883

* Información obtenida de los productores de la zona de Garzón – Huila, año 2007, TRM \$2100

Tabla 7. Pérdidas económicas en la venta por efecto de la humidificación deficiente.

Contenido de humedad base húmeda (%)	Peso equivalente al 16% (Ton)	Precio total al 16% (\$)	Valor recibido por tonelada con la humedad de venta (\$)	Pérdida de utilidad por tonelada(\$)
16	1000	4.882.500	4.882.500	0
15	1012	4.940.625	4.882.500	58.125
14	1024	4.998.750	4.882.500	116.250
13	1036	5.056.875	4.882.500	174.375
12	1048	5.115.000	4.882.500	232.500

En la tabla 7 se presenta la utilidad que un productor deja de recibir por vender la hoja curada con contenidos de humedad por debajo de la aceptada comercialmente. Como se observa el precio de la hoja de tabaco por tonelada, con un contenido de humedad del 16% en base húmeda, es de \$4.882.500, pero a medida que la humedad va bajando se dejan de recibir \$58.125 por cada punto que se pierda de humedad, debido a la pérdida de peso del producto.

Rediseños propuestos para el mejoramiento del sistema de humidificación por nebulización en la “fosa de tabaco”: En la actualidad la “fosa de tabaco” o sala de humidificación es utilizada como un recinto que cumple con dos propósitos: el de almacenar y el de acondicionar el contenido de humedad de la hoja de tabaco curado, siendo más imperante su función de almacén, puesto que en ella la hoja permanece por periodos que van de una a cuatro semanas. Esta doble finalidad impidió el buen funcionamiento del sistema de nebulización instalado, debido a que el diseño del sistema se hizo teniendo como presupuesto que la “fosa de tabaco” cumplía con la función de humidificar la hoja como una operación de tránsito hacia la sala de clasificación.

Debido a lo anterior se generaron algunos inconvenientes con el manejo del tabaco almacenado en la fosa, principalmente por su prolongada permanencia en el recinto. Con base en la experiencia obtenida durante la evaluación del sistema de humidificación implementado, a continuación se presentan dos nuevos diseños de la fosa, que en adelante se denominará “CÁMARA DE HUMIDIFICACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE LA HOJA DE TABACO USCO – MADR”, en los que se propone un nuevo manejo a este tipo de instalaciones para lograr el objetivo planteado para esta etapa del beneficio del tabaco:

Propuesta 1: Cámara de humidificación y acondicionamiento para hoja de tabaco USCO – MADR, C1. Esta primera propuesta consiste en dividir la cámara en sectores, cada uno corresponde a dos cajones o compartimentos, los cuales se pueden aislar del resto de la cámara con el uso de cortinas plásticas, creando recintos independientes dentro de la cámara, de manera selectiva. La operación selectiva permite que al humidificar un sector esto no afecte el resto de tabaco que se este “almacenando” en la cámara.

En cada sector, y con ayuda de válvulas y controles, se puede operar el sistema de manera independiente y automatizada para humidificar la hoja de tabaco. Para el caso del presente diseño el sistema se calculó para que funcionen simultáneamente hasta cinco sectores.

Detalles del diseño de la “Cámara de humidificación y acondicionamiento para hoja de tabaco USCO – MADR, C1”. A continuación se presentan los detalles del diseño de la “Cámara de humidificación y acondicionamiento para hoja de tabaco USCO – MADR, C1” (figuras 14 y 15).

Figura 14. Distribución en planta de la “Cámara USCO – MADR, C1”

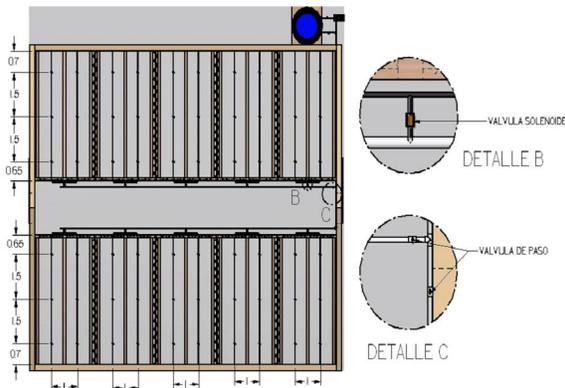
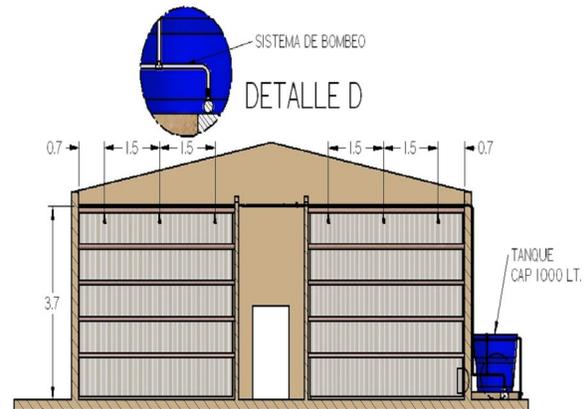


Figura 15. Corte transversal de la “Cámara USCO – MADR, C1”.



Propuesta 2: “Cámara de humidificación y acondicionamiento para hoja de tabaco USCO – MADR, C2”. Esta propuesta se plantea sobre la base de que las zonas de almacenamiento y acondicionamiento de la hoja de tabaco están claramente definidas y físicamente separadas; una de ellas exclusivamente para el almacenamiento de la hoja curada y la otra denominada “Cámara de humidificación y acondicionamiento para hoja de tabaco” donde se realiza la operación de humidificación de la hoja de tabaco.

En esta cámara es donde se instala el sistema de humidificación por nebulización, el cual opera automáticamente y de forma continua, si es requerido. A esta zona se traslada únicamente la hoja que va a ser humidificada, para ser llevada posteriormente a la sala de clasificación.

Detalles del diseño de la “Cámara de humidificación y acondicionamiento para hoja de tabaco USCO – MADR, C2”. A continuación se presentan los detalles del diseño de la “Cámara de humidificación y acondicionamiento para hoja de tabaco USCO – MADR, C2” (figuras 16 y 17).

Figura 16. Distribución en planta de la “Cámara de humidificación y acondicionamiento para hoja de tabaco USCO – MADR, C2”.

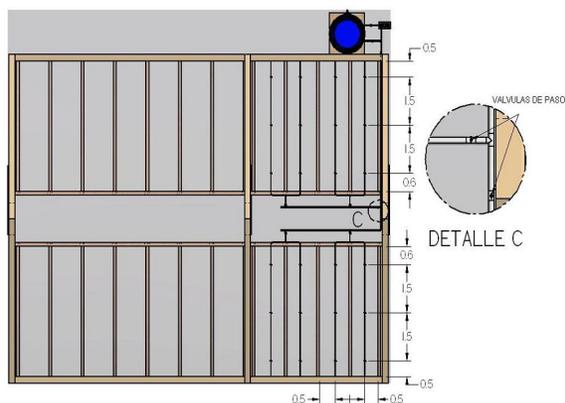
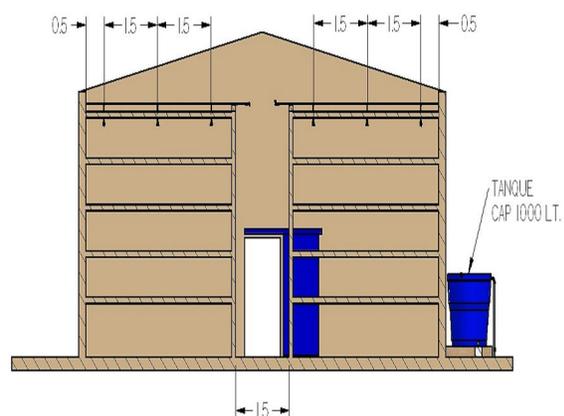


Figura 17. Corte transversal de la “Cámara de humidificación y acondicionamiento para hoja de tabaco USCO – MADR, C2”.



CONCLUSIONES

El recinto utilizado para la humidificación de la hoja de tabaco, tradicionalmente conocido como "fosa de tabaco", presenta múltiples inconvenientes por su concepción como instalación que cumple con dos propósitos simultáneos: almacenamiento y acondicionamiento de la humedad de la hoja.

El almacenar la hoja de tabaco en la "fosa" por tiempos prolongados, además de favorecer las pérdidas de calidad, se convierte en un cuello de botella para el proceso de beneficio de la hoja.

El acondicionamiento de la humedad de la hoja de tabaco para su posterior clasificación, debe considerarse como una etapa de tránsito de la hoja hacia la sala de clasificación, esta operación se puede realizar directamente en el horno o en una instalación exclusivamente diseñada para este fin.

Con el sistema de humidificación por nebulización instalado dentro de la "fosa" se logró obtener humedades relativas aproximadamente constantes en niveles que permitieron alcanzar contenidos de humedad en la hoja de tabaco adecuados para su manipulación en sala de clasificación.

El tiempo empleado para alcanzar el contenido de humedad de la hoja de tabaco del 16% fue de 4 a 6 horas, con humedades relativas del ambiente entre el 60% y el 70%.

La selección de nebulizadores tipo Fogger, para el sistema de humidificación en la fosa de tabaco, permite disminuir la formación de gotas de agua sobre la superficie de las hojas de tabaco, debido a la aspersion del agua en forma de nube y su funcionamiento por pulsos.

De acuerdo al coeficiente de uniformidad y a la eficiencia de aplicación obtenidos, el sistema de humidificación trabajó de forma eficiente, garantizando una distribución homogénea de la nube de agua sobre las hojas de tabaco.

El sistema de humidificación no pudo operarse de manera continua, debido a los paradigmas prevalecientes en cuanto al manejo de la "fosa" en los múltiples dueños de la hoja almacenada, el encargado de la misma y los técnicos de las empresas tabacaleras.

El comportamiento de la temperatura y la humedad relativa dentro de la fosa de tabaco es muy variable, encontrándose humedades relativas elevadas y temperaturas bajas en horas de la mañana, y registrándose temperaturas altas y humedades relativas bajas en horas de la tarde. Esta variabilidad tan acentuada afecta permanentemente el contenido de humedad de la hoja de tabaco, provocando su deshidratación o rehumedecimiento en función de las condiciones ambientales imperantes.

Debido a las condiciones de operación encontradas en la "fosa de tabaco" y a su concepción en el manejo tradicional de la hoja de tabaco, se elaboraron dos propuestas de rediseño del recinto empleado en la etapa de humidificación, en los que se contempla la separación física del tabaco almacenado de aquel que se somete a humidificación, denominadas "Cámara de humidificación y acondicionamiento para la hoja de tabaco USCO – MADR" C1 y C2.

BIBLIOGRAFÍA

ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS (OAC INTERNATIONAL). Official Methods of Analysis of AOAC International. 16 ed. Maryland: OAC INTERNATIONAL, 1998. v. 1, p. 28.

CERQUERA P. Néstor E., CARVAJAL S. Fernanda, RUIZ O, Yaneth L Evaluación del secado en los hornos tradicionales de curado de tabaco. Neiva, Marzo de 2006. 87 p.

CIFUENTES P., Miguel Germán. Metodología para el diseño de sistemas de riego a presión. Neiva, 2001, 165 p. Trabajo de grado (Especialista en Ingeniería de Irrigación). Universidad Surcolombiana. Facultad de Ingeniería. Especialización en Ingeniería de Irrigación.

GOMEZ VARGAS, Carlos Andrés y PEREZ TAFUR, Cesar Augusto. Diseño e implementación de un sistema telemétrico de medición y control para los riegos en un vivero. Neiva, 2006. 80 p. Trabajo de Grado (Ingeniero Electrónico). Universidad Surcolombiana. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Electrónica.

IGNACIO GÓMEZ IHM. Motobombas centrífugas Súper Jet. Bogotá: Ignacio Gómez IHM, s.f. 2 p.

LOZANO OSORIO, Álvaro. Equipos de bombeo. Neiva: Universidad Surcolombiana, 1992. 125 p.

MONROY VEGA, Jaime; TEETER, Norman C. y CITELLY, Francisco. Humedad de equilibrio de los granos. s.l. s.n., febrero-Marzo 1974. 8 p.

NORTH CAROLINA STATE UNIVERSITY, Flue-Cured Postharvest and System Efficiency Guidelines [Online]. North Carolina: Philip Morris USA Leaf Department, 2007 [-Consultado el 20 de febrero de 2007]. 40 p. Disponible en: www.bae.ncsu.edu/programs/extension/postharv/grant/P&SE%206-23%20fix.pdf

PEREA R., Jairo de Jesús, SALINAS T., Fabio y TORRENTE T., Armando. Guía práctica de parámetros de riego por aspersión. Neiva: Universidad Surcolombiana, 1998. 52 p.

PROTABACO S.A. y MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL Manual de operador: Horno modular para curación de tabaco virginia. s.l. s.n., 2005. p. 17.

SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE SENA REGIONAL SANTANDER. Proceso productivo del tabaco rubio y/o negro para la fabricación de cigarrillos [CD ROM]. Versión 7.0.14.0. Santander: SENA, 2005. Modulo 5: Manejo final del tabaco curado.