

Diseño e implementación de boquilla optimizada para proceso de secado de alambre o cable recubierto de PVC Nylon

IIE Pablo Arturo Martínez Coronado¹, MC Miguel Angel Gallegos Guerrero²

¹Alumno de Posgrado CIATEQ.

²Profesor UASLP.

Pmc111@hotmail.com

RESUMEN.

En el proceso industrial para manufacturar alambres o cables para la industria eléctrica, se aplica un sistema de secado. El sistema actual en uso consume energía en exceso, por la generación de aire comprimido utilizado para este fin, y por la necesidad de adaptar el sistema de secado al proceso, para permitir el paso de las imperfecciones del aislante. El desarrollar un dispositivo que permita el paso de las imperfecciones y disminuir el consumo de energía, es el objetivo de este trabajo, que se desarrolló mediante el enfoque cuantitativo de diseño experimental con pos-prueba y grupo de control a tres sistemas, (1) secador actual, (2) el diseño original y (3) el propuesto. Como resultado se logró validar la mejora en todos los aspectos propuestos en el proyecto, reduciendo el desperdicio de materiales de fabricación, y tiempo de puesta en marcha de la línea. Los sistemas neumáticos implican altos costos en la generación de presión de aire, dadas las condiciones del diseño propuesto, se logró acercarse 90% más a la superficie del cable con respecto a los modelos comerciales, considerando el paso de protuberancias en el aislante. Esta reducción dimensional permite el ahorro energético en el consumo de aire.

Palabras Claves: Proceso de secado, aire comprimido, ahorro energético.

1 INTRODUCCIÓN.

1.1 PROBLEMA A INVESTIGAR

El proceso de fabricación de alambres o cables para conducción de energía eléctrica, es un proceso de varios pasos que son: el primero de ellos es la creación del cable o alambre conductor, por medio de un sistema de estirado de alambre de cobre, el siguiente paso es trenzar o cablear los alambres de cobre para generar cables con una construcción de 7, 19, 37, 61 hilos, entregados en carretes con el bobinado del producto fabricado. Con el producto al diámetro establecido por los estándares AWG (American Wire Gauge). Se pasa a aplicar el recubrimiento aislante, que es un compuesto de Poli

Cloruro de Vinilo (P V C) y Nylon. Por medio de un proceso de extruido, utilizando una cabeza la cual cuenta con una guía de conducción del alambre o cable y por un dado de formado para darle el diámetro establecido para el recubrimiento. El producto a recubrir se mantiene tenso por medio de dos cabrestantes de entrada y salida, por medio del control electrónico de velocidad y tensión, se enfría el recubrimiento por un canal con agua a temperatura ambiente. Se colocan varias vueltas vueltas se les esprea agua y de aquí pasa a retirarle el agua por medio de un secador que aplica aire comprimido. El cual se muestra en pasos en el siguiente arreglo fotográfico siguiente:



Fig. No 1. Proceso de aplicación de recubrimiento de PVC a cable o alambre de cobre

En el enhebrado se hacen amarres, en el centrado del producto al detenerse el cable se generan protuberancias en el recubrimiento, causando que se atoren en los secadores ocasionando una ruptura del cable. La contramedida actual utilizada para contrarrestar esta situación, es abrir los diámetros interiores de los secadores para que libere la protuberancia más grande o los amarres. Lo anterior lleva a que se coloquen más secadores en serie, para lograr contener el agua incrementando el consumo de aire comprimido. Por otro lado, al enhebrar, implica el corte del producto para introducirlo al dispositivo sacador, lo cual representa una desventaja adicional.

El área de oportunidad es lograr un sistema de secado, que permita pasar las imperfecciones durante la puesta a punto de la línea, y siga aplicando el aire para retirar el agua, a una distancia muy cerca al diámetro exterior de aislamiento, a velocidades de hasta 1000 metros por minuto.

1.2. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Como se describió anteriormente, los cambios de color y diámetro del producto, provocan paros en la línea de producción. Los secadores actuales dada su construcción requieren que se corte el material al enhebrar o cambiar completamente según el proceso lo requiera. Situación que genera tiempos muertos en la producción.

En otro orden de ideas, existe la necesidad de retirar al máximo grado posible la humedad presente sobre la superficie del aislamiento del cable, optimizando el consumo de aire. Así como reducir la necesidad de detener la línea al presentarse protuberancias en la cubierta derivadas de los amarres del conductor, cambios de color y de producto. Por estas razones se propone diseñar y construir un nuevo modelo de secador que presente ventajas sustanciales con respecto a las ya existentes.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido a los problemas existentes en el proceso de los cables con la humedad y poder darle continuidad al proceso con cambios rápidos de sistemas de secado, el trabajo consiste en desarrollar un nuevo dispositivo de secado, para el recubrimiento aislante de nylon y PVC en cables y alambres de cobre. Para esto, se evaluarán las técnicas reportadas en la literatura, y con base en especificaciones de diseño, se planteará un modelo que pretende optimizar el proceso de secado del recubrimiento de cables, evaluando una boquilla que dadas sus características logre reducir el consumo de aire, la cantidad de agua residual en la superficie del cable después del sistema de enfriamiento. La propuesta se limita a un producto de la industria de alambres y cables para la construcción, Cable calibre 10, 12 y 14 AWG, basado en el calibre 10 por ser el de mayor diámetro final de los productos en análisis, con recubrimiento de PVC, para una velocidad de operación de este calibre de 500 metros por minuto. Consiguiendo el mejor dispositivo se aplicaría a los demás, solo ajustando la medida del diámetro interior del mismo, de acuerdo al producto en proceso.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo general:

Diseñar y construir un dispositivo secador de cable, con aire comprimido reduciendo su consumo, dejando pasar las imperfecciones, mejorando el secado e intercambiable para cada diferente diámetro de producto.

Objetivos específicos:

- Evaluar el nivel de secado del producto
- Evaluar la optimización del uso del aire comprimido
- Evaluar la reducción de tiempo en la puesta en marcha de la línea adecuando el dispositivo al producto en fila a procesar
- Evaluar el paso de las imperfecciones sin detener la línea a la velocidad de trabajo.

2 FUNDAMENTOS

Secadores en la industria



Fig. No 2 Secadores de aire en la industria alta velocidad Marldon, Tobera MGS, Cuchilla Aire.

Estudio comparativo

Al colocar en tela de juicio los tres dispositivos anteriores, tienen características buenas como el de secar con menor consumo de aire, otro permite pasar los empalmes de producto, abriendo el dispositivo dada su característica de poderse abrir, otro permite pasar protuberancias sin ningún problema. De aquí nos lleva a la siguiente tabla de análisis, en cuanto a beneficios e impedimentos que afectan al proceso y limitan las operaciones, o causan desperdicio en el proceso generando costos.

Tabla comparativa de secadores de aire en la industria					Tabla comparativa de secadores de alta velocidad							
Marca	Característica	Referencia de modelo Numero o descripción	Diametro del cable (Milímetros)	Velocidad maxima (Metros por minuto)	Marca	Característica	Secado	Permite paso empalmes	Permite paso protuberancias	Ajuste al diametro	Consumo Aire Comprimido	Tiempo de cambio al producto
Marldon	Ajustable al producto	115	50 a 115	50	Marldon	Alta velocidad	R	B	R	R	R	B
Marldon	Ajustable al producto	150	50 a 150	50	Tobera	Diametro ajustado	B	X	X	B	B	X
Marldon	Orificio ajustable	688	2 a 12	350	Sonesa	Cortina de Aire	X	B	B	X	X	B
Marldon	Orificio ajustable	674	3 a 32	350		Evaluacion	Bueno	B	Regular	R	Malo	M
Marldon	Orificio ajustable	685	12 a 65	350								
Marldon	Alta velocidad	838	0.1 a 8	1000								
Tobera (MGS: Diametro fijo)			De acuerdo al calibre del cable	1000								
Sonesa	Cortina de aire		Aplicable a cualquier calibre	1000								

Tabla 1. Comparativa de secadores de aire en la industria

1.1 Modelado matemático del secador

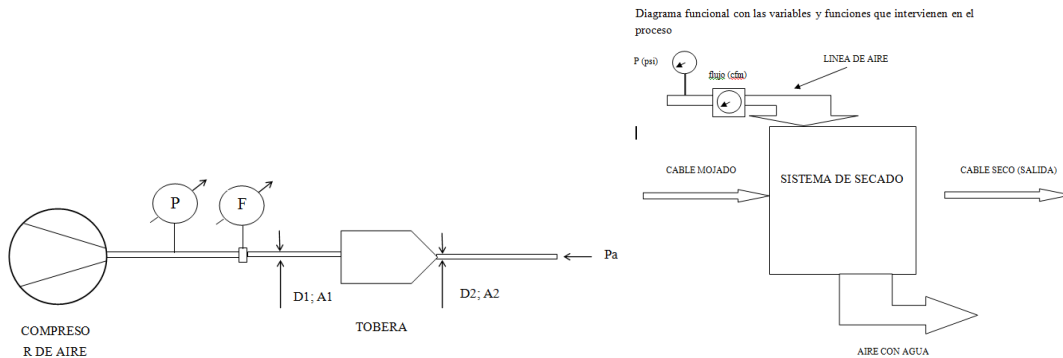


Fig. No. 3 Sistema de secado

Por lo tanto, esta área se considera como una válvula, que permite la salida del aire, con su correspondiente restricción mecánica.

Utilizando el principio de continuidad donde un fluido fluye de la sección 1 a la sección 2 con rapidez constante, la cantidad que pasa por cualquier sección en un cierto tiempo dado es constante, es decir se tiene un flujo constante, si no se guarda se agrega o se retira fluido entre la sección 1 y 2 en cualquier tiempo, la masa del fluido que pasa por la sección 2 debe ser la misma que pasa por la sección 1. Se expresa en términos de la rapidez de flujo de masa. (Mott. R. 1996).

$$M_1 = M_2$$

O de la Tabla No 4 Siguiendo $M = \rho Av$ Obtenemos entonces la ecuación de Continuidad de cualquier fluido, ya sea líquido o gas. Relaciona densidad del fluido, el área de la sección y la velocidad. En sistema donde el flujo es estable. (Mott. R. 1996).

$$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2$$

Analizando la ecuación de continuidad la velocidad del flujo aumenta a medida que disminuye el área de la trayectoria del flujo, por consiguiente los tubos más pequeños producirán velocidades altas y los tubos grandes velocidades más bajas. La ecuación de continuidad se aplica igualmente al flujo en secciones transversales circulares como las que no lo son. Considerando un elemento del fluido que es trasladado de una sección a otra una distancia L , La fuerza que actúa sobre el elemento es la presión p ejercida sobre el área A del elemento, obteniéndose que el trabajo hecho es

$$\text{Trabajo} = pAL = pV$$

Donde V es el volumen del elemento, el peso del elemento es w y γ el peso específico del fluido, entonces (Mott. R. 1996).

$$w = \gamma V \quad V = W/\gamma \quad \text{Trabajo} = p W/\gamma \quad \text{Energía de flujo FE}$$

La energía por su propio peso y por la elevación z que pueda tener respecto a una referencia nos expresa su energía potencial PE.

$$PE = wz$$

La energía cinética KE debido a su velocidad quedaría definida.

$$KE = wv^2/2g$$

La energía total en una sección será la suma de los tres términos, FE+PE+KE, por la ley de conservación de la energía no se pierde ni destruye solo se transforma la energía en la sección 1 será igual en la sección 2. $E_1 = E_2$ y como el peso es igual en todos los componentes se obtiene la ecuación de Bernoulli. (Mott. R. 1996).

$$p_1/\gamma + z_1 + v_1^2/2g = p_2/\gamma + z_2 + v_2^2/2g$$

El peso específico para cualquiera de las condiciones de presión y temperatura pueden calcularse de la ley de los gases ideales de la termodinámica.

$$p/\gamma T = R = \text{constante}$$

Donde p = presión absoluta del gas, γ = peso específico del gas, T = temperatura absoluta del gas, la temperatura arriba del cero absoluto, R = Constante del gas en cuestión, resolviendo para el peso específico se obtiene. (Mott. R. 1996).

$$\gamma = p/RT$$

La temperatura absoluta en el Sistema Británico sería a los grados Fahrenheit sumarle 460 y queda expresada en grados Rankin en el sistema internacional sería sumarle a los grados Centígrados 273 y se expresa en grados Kelvin.

Gas	Constante del gas R		K	Cociente de presión crítica
	$\frac{pie \times lb}{lb \times ^\circ R}$	$\frac{N \times m}{N \times K}$		
Aire	53.3	29.2	1.4	0.528

Tabla. No. 5 Constante de los gases, exponente adiabático y cociente de presión crítica para algunos gases. (Mott R. 1996 pág. 567)

Suponiendo que el sistema de flujo a través de una boquilla es adiabático, considerando que el flujo es rápido y no hay transferencia de calor del gas, la ecuación que describe la relación entre la presión absoluta y el peso específico del gas es.

$$p/\gamma^k = \text{Constante}$$

Como la relación da una constante, si se tiene otro punto de interés se puede relacionar entre sí con sus valores de uno con el otro, para obtener valores que son desconocidos para la solución de situaciones presentes, las formulas quedarían como sigue. (Mott. R. 1996).

$$p_1/\gamma_1^k = p_2/\gamma_2^k$$

Se obtienen las relaciones para las presiones o pesos específicos

$$p_2/p_1 = (\gamma_2/\gamma_1)^k$$

$$\gamma_2/\gamma_1 = (p_2/p_1)^{\frac{1}{k}}$$

La velocidad del flujo de peso del gas saliendo de la boquilla es

$$W = \gamma_2 v_2 A_2$$

Por medio de los principios de la termodinámica la velocidad del flujo en la boquilla es (Mott. R. 1996).

$$v_2 = \left\{ (2gp_1/\gamma_1)(k/(k-1)) \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{(k-1)/k} \right] \right\}^{1/2}$$

Las presiones son absolutas, Combinando las ecuaciones de peso y velocidad se obtiene una ecuación para la velocidad del peso del flujo en términos de condiciones del gas y el cociente de presión p_2/p_1 . (Mott. R. 1996).

$$W = A_2 \left\{ \left[\frac{2gk}{(k-1)} (p_1 \gamma_1) \right] \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{2/4} - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{(k+1)/k} \right] \right\}^{1/2}$$

Al existir un cociente de presión p_2/p_1 que disminuye indica una diferencia de presión ($p_1 - p_2$) en aumento, se espera que la velocidad del flujo W se incrementa a medida que el cociente de presión disminuya, pero la velocidad de flujo alcanza un máximo a un cociente de presión crítico. Definido por

$$\text{Cociente de presión crítico } \left(\frac{p_2}{p_1} \right)_c = \left(\frac{2}{k+1} \right)^{k/(k-1)}$$

Substituyendo el cociente de presión crítico en la ecuación de la velocidad de flujo de peso del gas se obtiene la ecuación.

$$W_{max} = A_2 \sqrt{\left[\frac{2gk}{k+1} \right]} (p_1 \gamma_1) \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{2}{k-1}}$$

(Mott. R. 1996).

Con las ecuaciones descritas en marco teórico abordaremos el cálculo de la masa por segundo (Rapidez del flujo de masa) resultante, que entregará la boquilla propuesta a la salida, incidiendo sobre el cable.

Presión de entrada es de 5 kg/cm^2 que es la presión menor que se ha tenido en el sistema de aire comprimido puede subir hasta 7 kg/cm^2 que es la presión manométrica. Convirtiendo a

sistema Británico $1 \text{ Kg} = 2.2046 \text{ lb}$, $1 \text{ cm}^2 = 0.155 \text{ in}^2$, Presión Atmosférica = $P_{atm} = 2116.2 \text{ lb/ft}^2 = 14.2 \text{ lb/in}^2$

$$p_e = 5 \times 2.2046 \times 1 / 0.155 = 71.1161 \text{ lb/in}^2 \text{ Temperatura ambiente } 25^\circ\text{C} = 77^\circ\text{F}$$

$$T_1 = (77 + 460) ^\circ\text{R} = 537^\circ\text{R}$$

Tomando el área de la sección transversal del orificio como la suma de 5 orificios iguales los cuales son propuestos de $0.250 \text{ in} \times 0.020 \text{ in}$, Obtenemos el área total de $0.250 \text{ in} \times 0.100 \text{ in}$ dando y convirtiendo a ft^2 que son iguales a 144 in^2

$$A = 0.025 \text{ in}^2 \quad A = 0.025 / 144 = 0.0001736 \text{ ft}^2 \text{ Se calcula la presión absoluta para } P_e \text{ siendo ahora } p_1 = P_e + P_{atm}$$

$$p_1 = 71.1161 + 14.2 = 85.361 \text{ lb/in}^2 \quad \text{Convirtiendo a } \text{lb/ft}^2 \text{ siendo } 1 \text{ ft}^2 = 144 \text{ in}^2$$

$$p_1 = 85.361 \times 144 = 12292 \text{ lb/ft}^2$$

Calculando el cociente de presión real

$P_{atm} / p_1 = 14.2 / 85.361 = 0.1663$ El cociente de presión crítico para el aire de la Tabla. No. 5 es igual a 0.528 El cociente de presión real es menor al crítico.

Debido a la constante R del aire de la Tabla. No.5 para $^\circ\text{R}$ es de 53.3 y la conversión ft a in 144 la ecuación que proporciona el valor del peso específico para el aire de forma directa es

$$\gamma = 2.70p/T \text{ Calculando el peso específico } \gamma$$

$$\gamma_1 = (2.70)(85.361) / (537) = 0.4292 \text{ lb/ft}^3 \text{ Gravedad } g = 32.174 \text{ ft/s}^2$$

$$\text{El factor } k \text{ del aire de la Tabla. No 5. Es igual a } 1.4 \quad A = 0.025 \times (1/144) = 1.7361 \times 10^{-4} \text{ ft}^2$$

Substituyendo valores en la ecuación de W

$$\left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{2}{k-1}} = \left(\frac{2}{1.4+1}\right)^{2/(1.4-1)} = 0.401877$$

$$(p_1 \gamma_1) = (12292 \times 0.4292) = 5275.73$$

$$\frac{2gk}{k+1} = (2 \times 32.174 \times 1.4) / (1.4+1) = 37.5363$$

Multiplicando los tres resultados se obtiene Valor del radicando = 79584.26

Extrayendo la raíz cuadrada = 282.11 Multiplicando por el área = 0.049

$$W = 0.049 \text{ lb/s} \text{ Del Cociente de presión crítico } \left(\frac{p_2}{p_1}\right)_c = (2/(k+1))^{k/(k-1)} = 0.528$$

Obtenemos $p_2 = p_1(0.528) = (12292 \times 0.528) = 6490.18 \text{ lb/ft}^2$ De la relación de pesos específicos despejamos peso específico 2 obteniéndose

$$\gamma_2/\gamma_1 = (p_2/p_1)^{\frac{1}{k}} \quad \gamma_2 = \gamma_1 (p_2/p_1)^{\frac{1}{k}} \quad \gamma_2 = (0.4292) (0.528)^{1/1.4} = 0.272 \text{ lb/ft}^3$$

Cuando se alcanza el coeficiente de depresión crítico la velocidad del flujo permanece constante no importa cuanta presión hacia abajo se reduzca

Siendo la velocidad

$$v = \sqrt{kgp_2/\gamma_2} \text{ Velocidad de flujo es substituyendo valores en la formula}$$

$$\text{Radicando} = (1.4 \times 32.174 \times 6490.18)/(0.272) = 1074783.35$$

$$\text{Extrayendo la raíz cuadrada} = 1036.71 \text{ ft/s}$$

$$\text{Velocidad} = 1036.71 \text{ ft/s}$$

Densidad del aire $\rho = 1.204 \text{ kg/m}^3$, $1 \text{ kg} = 2.2046 \text{ lb}$, $1 \text{ m}^3 = 35.315 \text{ ft}^3$ (Sengel Y.2007 pág. 1).

$$\rho = (1.204 \times 2.2046)/(35.315) = 0.07518 \text{ lb/ft}^3$$

De Tabla. No. 4 se obtiene la rapidez de flujo de peso $W = \gamma Q$ y la rapidez de flujo de Masa $= \rho Q$ despejando Q e igualando se obtiene $M/\rho = W/\gamma$, entonces la Rapidez de flujo de Masa es $= W/\rho/\gamma$

Substituyendo valores se obtiene

$$M = (0.049 \times 0.07518)/(0.272) = 0.01354 \text{ slugs/s}$$

$$1 \text{ slug} = 32.174 \text{ lbm} = 14.59 \text{ kg} \text{ (Sengel Y. 2007 pág. 1)}$$

$$M = (0.01354 \times 32.174) = 0.4357 \text{ lbm/s}$$

$$M = (0.01354 \times 14.59) = 0.1975 \text{ kg/s}$$

Velocidad de línea es de 625 y de 500 m/min dividiendo entre 60 para obtener metros por segundo 10.41 y 8,33 m/seg por $1 \text{ m} = 3.2808 \text{ ft}$ para cambiar a ft/seg 34.15 y 27.33 ft/seg para

cambiar a in (pulgadas) $1 \text{ ft} = 12 \text{ in}$ 409.8 y 327.96 in/seg expuesto a la ventana de 0.020in de la salida de la boquilla pasan 20490 veces esa distancia y a la otra velocidad 16398 veces.

Una vez la distancia de 0.020in pasa en la primera velocidad $1/20490 = 0.0000488$ seg.

Pasa una vez cada 0.0000488 seg.

En La segunda velocidad pasa $1/16398 = 0.0000609$ seg.

Pasa una vez cada 0.0000609

Con una distancia de la salida de la boquilla al cable de 0.070 in, saliendo la masa a una velocidad de 1036.71 ft/seg por 12 in = 12440.52 in/seg dividida entre la distancia 0.070in cuantas veces tocaría el cable en el tiempo que pasa por la abertura de 0.020in

$12440.52/0.070 = 177721$ veces/seg

En el tiempo que pasa la sección de cable de 0.020in que para la primera velocidad es un tiempo de 0.0000488 y la segunda de 0.0000609

$(177721 \times 0.0000488) = 8.673$ veces

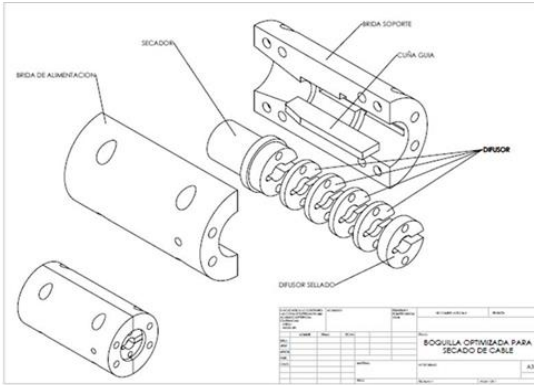
$(177721 \times 0.0000609) = 10.823$ veces

4.1.5. Geometría del secador

La geometría del secador está basada en la forma de los tres mejores secadores acomodados en un solo dispositivo, el cilindro bipartido permite establecer la forma externa de la tobera, y el inserto en el medio permite completar su forma, en el interior. La aplicación del aire de secado en lugar de estar en todo el derredor de la tobera, ahora es ajustado solo por las cuchillas de aire generadas en los difusores, permitiendo lograr que la velocidad de salida por su apertura ajustada, sea más rápida y se puede colocar tantas cuchillas como sea necesario, rompiendo el paradigma de que sea aplicado en derredor como en la tobera normal.

Prueba manual y prueba en línea corriendo a 499 metros por minuto calibre 10 awg

Prueba manual para determinar el grado de secado de los tres diferentes dispositivos aplicando presión de 1kg/cm² y pasando 3 metros cortando una muestra de 1 metro y pesando el producto. Calibre 10 awg cable recubierto solo con pvc es el de mayor diámetro aplicando agua por medio de una fibra impregnada.



Muestra	Secador 1	2	3
1	61.28	61.11	61.35
2	61.36	61.25	61.25
3	61.32	61.19	61.16
4	61.26	61.12	61.23
5	61.22	61.24	61.24
6	61.29	61.23	61.17
7	61.39	61.38	61.21
8	61.36	61.24	61.3
9	61.16	61.29	61.18
10	61.28	61.32	61.29
11	61.19	61.19	61.34
12	61.24	61.23	61.23
13	61.23	61.15	61.23
14	61.18	61.22	61.17
15	61.17	61.18	61.09
16	61.27	61.34	61.26
17	61.25	61.17	61.19
18	61.36	61.28	61.3
19	61.32	61.27	61.29
20	61.38	61.33	61.15
Peso Promedio	61.171	61.2755	61.2365
Diferencia Seco a Humedo	0.1045	0.0655	0.0605



4 CONCLUSION

La geometría del perfil de los secadores actuales, tiene restricciones en cuanto a flexibilidad que permita el paso de imperfecciones. ¿Puede otra forma de perfil secar adecuadamente el producto, permitiendo el paso de imperfecciones? Ésta pregunta de investigación permite desarrollar la inventiva y crear en la mente sistemas que no han sido pensados ni analizados, incluso hay oportunidades en un simple defecto, que suceden a los propios sistemas para aprender de ellos, y lograr ser utilizados para otros fines. En este caso, una ranura en el secador generada por el paso del cable, es considerada como una falla en el secador. Sin embargo, esta ranura dio la pauta para generar una idea, en la cual se rediseña la boquilla del secador para aplicar el aire de secado muy cerca de la superficie del producto, logrando una forma más sencilla que da resultados óptimos. Éste es el principal logro para este trabajo

Una cuestión importante en el desarrollo de éste trabajo es ¿las imperfecciones del producto, pueden ser desviadas para reducir el impacto en la colisión? Regresando al defecto del ranurado por desgaste, e introduciendo conceptos básicos sobre colisiones

inelásticas, se diseñó que el ranurado contara con una profundidad decreciente, además del incremento longitudinal para reducir el efecto de fricción sobre la protuberancia (defecto del aislante). Con esto se logró mayor flexibilidad a la operación.

Como aplicación industrial, es muy importante el tiempo de intercambio del secador por lo tanto ¿la estructura del secador, puede ser adaptable permitiendo intercambiarse sin efectuar corte del producto de cobre? Cambiando el paradigma sobre la estructura geométrica del secador (circular) se logró que se pueda abrir una ranura por la parte inferior, de manera que se puede extraer el dispositivo secador sin cortar el producto de cobre. Una característica importante es la adaptabilidad a cualquier calibre sólo abriendo el compartimiento de sujeción.

Los sistemas neumáticos implican altos costos en la generación de presión de aire, por tanto ¿la forma del secador, permite optimizar la cantidad de aire comprimido utilizada en el proceso? Dadas las condiciones de diseño, se logra acercarse 90% más a la superficie del cable con respecto a los modelos comerciales, considerando el paso de protuberancias en el aislante. Esta reducción dimensional permite el ahorro energético en el consumo de aire.

El desarrollo de nuevos sistemas partiendo de defectos debidos a condiciones naturales de trabajo, no es una nueva metodología. Sin embargo, la habilidad para observar, evaluar y generar nuevos productos requiere del conocimiento científico y la técnica ingenieril. Los beneficios obtenidos en el sistema descrito, permiten optimizar procesos, insumos y en general mejorar la producción eliminando tiempos muertos, desperdicio de material y consumo energético.

La aplicación de conocimientos adquiridos en especialización en la maestría en manufactura avanzada permitió el desarrollo de un dispositivo innovador, generando beneficios que dan pauta al aprovechamiento de los recursos, redundando en el beneficio industrial de la región

BIBLIOGRAFÍA

- Sengel, Y. y Cimbala, J. (2007). *Mecánica de Fluidos fundamentos y aplicaciones*. México: McGraw-Hill.
- Ogata, K. (1978). *Ingeniería de Control Moderna*. España: Prentice / Hall Internacional.
- Bolton, W. (2006). *Ingeniería de control*. México: Alfaomega.
- Johnson. P. (1996). *Wipe by Air Sonic Incl. in Encore enterprise*. Wire Technology Magazine, Nov. Dic.
- Marldon Group (2007). *Secadores del producto*. England: Website www.marldon.com/index-spanish.

- Betancourt, R. *Fenómenos de Transferencia*.
www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4090013/limks/pdf/cap-3.pdf
- Sánchez, R. (2006). *Determinación Coeficiente Convectivo de materia en el secado de sólidos*. Chile Departamento de Ingeniería Mecánica www.scielo.cl/pdf/maderas.
- Zamora, B. Kaiser, A. (2009). *Mecánica de fluidos usando Dinámica de fluidos computacional*. España: Universidad Politécnica de Cartagena, Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos.
- Sadikoglu, H. Ozdemir, M. Seker, M. (2003). *Optimal Control of the Primary Drying Stage of freeze Drying Solutions in Vial Using Variational Calculus*. Turkey: Department of energy system and section of food Engineering, Gebze Institute of technology.
- Chevalier, A. (2005). *Dibujo Industrial*. México: Limusa.
- Hartmann, J. Trolle, B. (1930). *Modus Operandi of Air Jet pulsator*. Alemania: KOBENHAVN Det Kgl. Danske Videnskabernes Selskab. Mathematisk Fysiske Meddelelser.
- Phillips, E. Stankiewicz, R. (1979). *Air Jet Menas For Removing Liquid from a Conductive Surface*. U.S.A. U.S. Patent
- Ruiz, M. Vanegas, S. (2002). *Modelamiento mediante la dinámica de fluidos computacional de un chorro plano libre*. Colombia : VI Congreso Colombiano de Elementos Finitos y Modelamiento Numérico.
- Mott R. (1996). *Mecánica de fluidos libre*. Colombia : Pearson ISBN 968-880-542-4
- Sampieri R. (2010). *Metodología de la investigación* McGraw Hill ISBN 978-607-15-0291-9