

DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA SECADO Y ALMACENAMIENTO DE MAÍZ

Javier Eduardo Martínez Baquero, Magister en Tecnología Educativa¹, Luis Alfredo Rodríguez Umaña, Especialista en Automática e Informática Industrial²

¹ Escuela de Ingeniería, Universidad de los Llanos - Colombia
jmartinez@unillanos.edu.co

² Escuela de Ingeniería, Universidad de los Llanos - Colombia
lrodriguez@unillanos.edu.co

Resumen- Este artículo presenta los resultados de un trabajo desarrollado por docentes y estudiantes de la Universidad de los Llanos que consiste en el diseño de un sistema automatizado para el almacenamiento y secado del grano de maíz propuesto con Controlador Lógico Programable (PLC), el cual pretende mejorar la calidad del grano, evitando el crecimiento rápido del mildew y la pudrición de la semilla húmeda, además de los insectos del almacenamiento como los gorgojos, que son más activos y se multiplican más rápidamente en el grano caliente y húmedo, facilitando el crecimiento de hongos. El proyecto se dividió en tres etapas metodológicas, primero se establecieron las características del sistema, segundo se diseñó el controlador y tercero se validaron los resultados mediante pruebas simuladas.

Palabras clave— Humedad relativa, proceso de secado, sistema automatizado, almacenamiento.

Abstract -This article presents the results of work done by teachers and students of the University of the Llanos which is the design of an automated system for storage and drying of grain corn proposed with Programmable Logic Controller (PLC), which aims to improve the quality of the grain, avoiding the rapid growth of mildew and rot wet seed , plus storage insects like weevils, which are more active and multiply faster in warm, moist grain, facilitating the growth of fungi . The project was divided into three methodological steps, the characteristics of the systems established first, second controller was designed and third results were validated by simulated tests.

Keywords— Relative Humidity, drying process, automated system, storage.

I. INTRODUCCIÓN

La calidad del grano de maíz está asociada tanto con su constitución física, que determina la textura y dureza, como con su composición química, que define el valor nutricional y las propiedades tecnológicas. La importancia relativa de estas características resultará del destino de la producción.

Digital Object Identifier (DOI): <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2017.1.1.430>
ISBN: 978-0-9993443-0-9
ISSN: 2414-6390

De esta manera, el secamiento y almacenamiento del grano son dos temas tan amplios que un tratamiento completo es imposible, el secado es un proceso de gran importancia en la cadena de producción de alimentos, ya que el contenido de humedad es, sin duda, la característica más importante para determinar si el grano corre el riesgo de deteriorarse durante el almacenamiento. El secado se realiza para inhibir la germinación de las semillas, reducir el contenido de humedad de los granos hasta un nivel que impida el crecimiento de los hongos, y evitar las reacciones de deterioro, entendiéndose el secado como el método universal que permite acondicionar los granos por medio de la eliminación del agua hasta un nivel que permita su equilibrio con el medio ambiente, de tal forma que preserve su aspecto, además de sus características de alimentos, entre ellos su calidad nutritiva y la viabilidad de la semilla.

Por tal razón, en el presente diseño se plantea un diseño de sistema automatizado que permite obtener un grano de calidad para su conservación por periodos mucho más prolongados, para su limpieza y secado eliminando las impurezas que tiene este grano al momento de recolección esto para que su conservación sea de periodos de más de 30 días.

II. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad, el proceso de secado y almacenamiento de los granos de maíz se realiza de forma rudimentaria, donde el grano es puesto en el suelo para luego esperar un tiempo aproximado de secado de 3 a 4 días dependiendo de la cantidad de maíz dispuesto para este proceso, encontrándose expuesto a factores perjudiciales, como es la recolección de hongos, bacterias e insectos las cuales proliferan en condiciones ambientales como las presentes en la región (Departamento del Meta - Colombia), en el que la humedad relativa es aproximadamente del 65% a 70%, la cual lo afecta ya que para ser almacenado debe tener una humedad menor al 14% en grano, la HR del ambiente donde se va a almacenar no sea mayor a 50%, la temperatura no mayor a 18°C y se

hallen dispuestos en sacos que sean de un peso determinado sobre parihuelas de madera, por tal razón en el presente documento se presenta el diseño del sistema automatizado para el secado y almacenamiento de maíz, que cumpla con los estándares de calidad y salubridad.

Esto teniendo como base referencial los distintos tipos de maíz que se pueden encontrar

Para las zonas comprendidas entre 0 y 800 msnm, están disponibles las variedades: Los Diamantes 8043 y Tico V-7, los híbridos: B-833, X-5065, A3092, H-5, HS5G1, HS3G1, todos de grano blanco.

De grano amarillo están disponibles los híbridos Pioneer, X-5800, X-304 A, X-3214 y la variedad EJM-2(Guararé 8128).

Las variedades Los Diamantes EJM-2 y Tico V-7, son distribuidos por las agencias de compra del Consejo Nacional de Producción, así como los híbridos B-833, HS5G1 y HS3G12.

Debido a la gran importancia que generan los granos en la economía de los Llanos Orientales, en el Departamento del Meta (Colombia) es importante diseñar un sistema con cierto grado de automatización con el fin de almacenar y cercar los granos de maíz, disminuyendo costos y aumentando la velocidad de producción, para incrementar así la rentabilidad de una determinada empresa.

III. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del sistema automatizado se optó por usar una metodología de tipo evolutivo, dividida en tres fases, las cuales son: Análisis, diseño y pruebas. La metodología también permite regresarse a una fase anterior si se detecta alguna inconsistencia o error, o si se desea mejorar algún aspecto del sistema.

Inicialmente se realizó la recolección de información, en los cuales se abarcaba toda la temática relacionada con la fundamentación teórica necesaria para el desarrollo de proyecto, de esta manera se tiene un punto de partida para pasar a la siguiente etapa.

Una vez conocidos los aspectos necesarios para determinar el almacenamiento de la instalación, se calculará la capacidad de producción requerida de acuerdo a la demanda del grano por parte de los comerciantes para determinar el tamaño y tipo de planta a diseñar.

Almacenamiento del Maíz

En el almacenamiento de los sacos de maíz se deben ubicar en paletas o estibas de madera, para obtener mejor manipulación y evitar el contacto de los bultos con el suelo.

Para el cálculo de la capacidad de almacenamiento se tienen en cuenta las dimensiones de los sacos donde se almacena el maíz, que son de 80 cm de alto, 40 cm de ancho y 30 cm de largo, y las dimensiones del cuarto son de 5 m x 5.5 m, donde se distribuye el espacio como se puede ver en la siguiente figura 1.

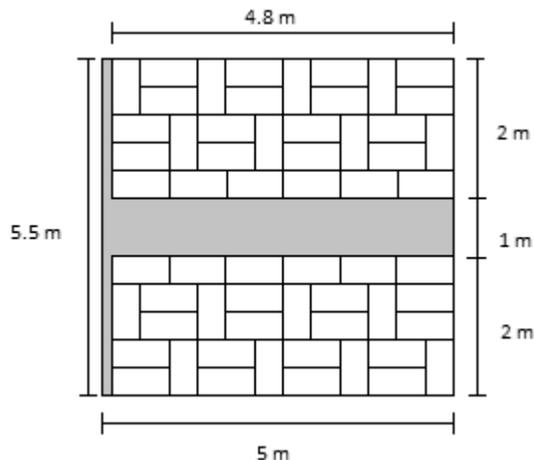


Fig 1. Cuarto de almacenamiento

Cada cuarto de almacenaje se divide en dos secciones, se deja un corredor de un metro de ancho como se ve en la figura 1, espacio dispuesto para la circulación del personal que allí labora. Y las dimensiones de las secciones de almacenaje son:

S= área de una sección
a= largo de la sección (4.8 m)
b= ancho de la sección (2 m)

Las Ecuación (1) muestra el área de la sección

$$S = a \times b \quad \text{ec (1)}$$

$$S = 9.6 \text{ m}^2$$

La Ecuación (2) muestra el área del saco

s= área de un saco
c= largo del saco (0.8 m)
d= ancho del saco (0.4 m)

$$s = c \times d \quad \text{ec (2)}$$

$$s = 0.32 \text{ m}^2$$

Cantidad de sacos en una sección, ecuación (3)

n = número de sacos (en una sección del cuarto)

$$n = S/s \quad \text{ec (3)}$$

$$n = 30$$

En total son 30 sacos en una sección del cuarto, adicionalmente otra sección que tiene las mismas dimensiones, en total son 60 sacos en el cuarto. Si se van almacenar los sacos en el cuarto a una altura de 3 m y cada saco tiene de grueso 30 cm, caben 10 sacos uno encima del otro. Entonces:

B = número de sacos totales en el cuarto

X = 10 sacos uno encima del otro

Y = 60 (número sacos en las dos secciones del cuarto)

Cantidad de sacos en total, ecuación (4).

$$B = X \times Y \quad \text{ec (4)}$$

$$B = 600$$

En el cuarto se pueden almacenar 600 sacos de maíz, estos sacos contienen 50 kg cada uno, para un total de 30 toneladas que se almacenan en este cuarto.

En la tabla 1 se presenta el resumen de las aberturas y tragaluces requeridas para el almacenamiento convencional.

TABLA 1.
NUMERO DE ABERTURAS Y TRAGALUCES DE VENTILACIÓN
NECESARIOS EN EL ALMACENAMIENTO CONVENCIONAL.

Capacidad del almacén (sacos de 60 kg)	Número de aberturas en los lados mayores del almacén	Número de tragaluces en el techo
100	1	1
200	1	1
600	2	2
1 200	4	4

A continuación, en la figura 2, se presenta el diagrama de distribución de la bodega (plano).

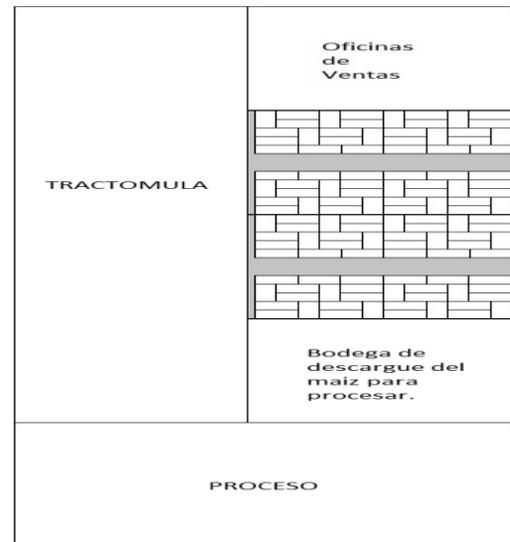


Fig 2. Plano de la bodega.

Secado de Maíz

La figura 3 presenta la curva típica de velocidad de secado para condiciones de secado constante, Humedad libre en función del tiempo y la figura 4 muestra la curva de velocidad de secado en función del contenido de humedad libre.

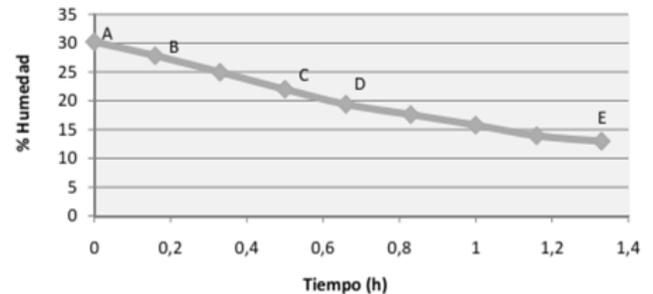


Fig 3. Cambios de humedad en función del tiempo.

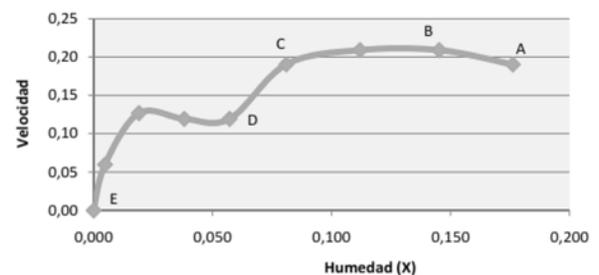


Fig 4. Curva de Velocidad de secado

De acuerdo a la curva de velocidad de secado habrá dos periodos de velocidad de secado constante.

Para calcular la velocidad constante se usa la ecuación (5)

Ecuación velocidad constante de secado

$$W_c = \frac{S}{A} \left[-\frac{\Delta x}{\Delta \theta} \right] \quad \text{ec (5)}$$

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

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

W_c = Velocidad de secado constante

A = Superficie expuesta al secado

S = Solido seco

Δx = Variación de humedad en base seca

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

Datos:

$X_{inicial} = 0,112$

$X_{critica} = 0,081$

$t_1 = 0,50$ h

$t_2 = 0,66$ h

$S = 0,210$ Kg

$A = 0,197$ m²

Para el periodo de velocidad decreciente desde $x_c = 0,081$ hasta $x_f = 0,005$, se puede emplear el método de integración gráfica. A partir de la curva de velocidad de secado se prepara la tabla 2, en la cual se encuentran los valores de velocidad (W) para los diferentes valores de x .

TABLA 2.
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 grafican las variables de $1/W$ en función de x , y se determina el área bajo la curva, como se describe en la figura 5.

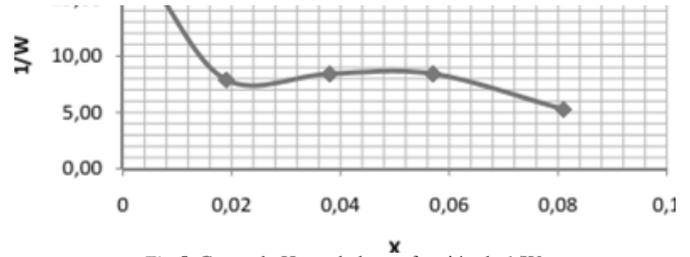


Fig 5. Curva de Humedad x en función de $1/W$.

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

ec (6)

$$\text{Area} = 0,66$$

Sustituyendo el valor del área en la siguiente ecuación (7) tenemos:

$$\theta_p = \frac{S}{A} \int_{X_2}^{X_1} \frac{dx}{W} \quad \text{ec (7)}$$

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

Entonces el tiempo total de secado se calcula con la ecuación (8):

$$\theta_T = \theta_a + \theta_p \quad \text{ec (8)}$$

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

IV. DISEÑO DE CONTROLADOR Y RESULTADOS

Se describe a continuación el modelamiento de la planta para el secador con sintonización mediante reglas de ZIEGLER-NICHOLS, mediante el cual la planta puede describirse a partir de la siguiente función de transferencia, como se muestra en la ecuación (9).

$$G(s) = \frac{K_0 e^{-s\tau_0}}{1 + \gamma_0 s} \quad \text{ec (9)}$$

Donde los coeficientes K_0 , τ_0 y γ_0 se obtienen de la respuesta del sistema en lazo abierto a una entrada escalón (figura 6), partiendo del sistema estabilizado en $y(t) = y_0$ para $u(t) = u_0$ se aplica una entrada escalón de u_0 a u_1 (el salto debe estar entre un 10% y un 20% del valor nominal) y se registra la respuesta de la salida hasta que se estabilice en el nuevo punto de operación.

$$y_0=15.17$$

Los parámetros se pueden obtener de la respuesta mostrada en la Figura 6, usando la ecuación (10), (11) y (12).

$$\tau_0 = t_1 - t_0 \quad \text{ec (10)}$$

$$\gamma_0 = t_2 - t_1 \quad \text{ec (11)}$$

$$K_0 = \frac{y_1 - y_0}{u_1 - u_2} \quad \text{ec (12)}$$

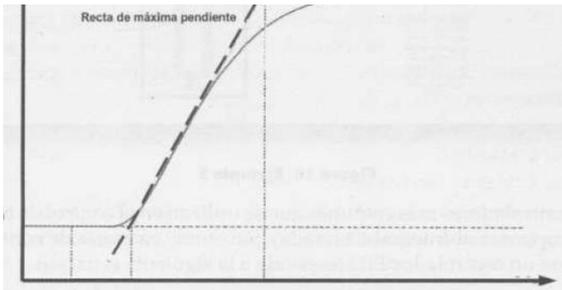


Fig 6. Respuesta de salida ante una entrada escalón

Basados en las tablas de Ziegler-Nichols, la relación de estos coeficientes con los parámetros del Controlador es:

$$K_p = 1.2 \frac{\gamma_0}{K_0 \tau_0} \quad \text{ec (13)}$$

$$T_i = 2 \tau_0 \quad \text{ec (14)}$$

$$T_d = 0.5 \tau_0 \quad \text{ec (15)}$$

Una vez realizado el procedimiento a la planta, se obtiene la respuesta mostrada en la figura 7, encontrándose allí los valores de las constantes con los que se diseñará el sistema.

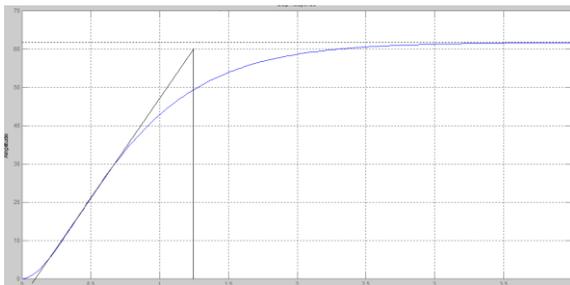


Fig 7. Comportamiento del sistema.

$$K_0 = 83$$

$$t_0 = 1.22$$

A partir de estos valores se realizan los cálculos para modelar el controlador y simular mediante MATLAB para observar su comportamiento.

Los valores obtenidos se muestran a continuación:

$$K_p = 0.179$$

$$T_d = 2.44$$

$$T_i = 0.61$$

Posteriormente se ajustó la ganancia $K_p = 0.8$, para generar un comportamiento óptimo, como se muestra en la figura 8. Ya teniendo definido estas ganancias y el comportamiento del sistema se implementa el controlador PID con un PLC.



Fig 8. Simulación respuesta del sistema

La figura 8 presenta la respuesta del controlador PID diseñado, en la cual se observa que el tiempo de respuesta bastante bueno y con una estabilidad garantizada.

Simulación 3D SOLIDWORKS.

Para poder apreciar el proceso de secado y almacenamiento de maíz se realizó una simulación en Solidworks, como se observa en la figura 9.

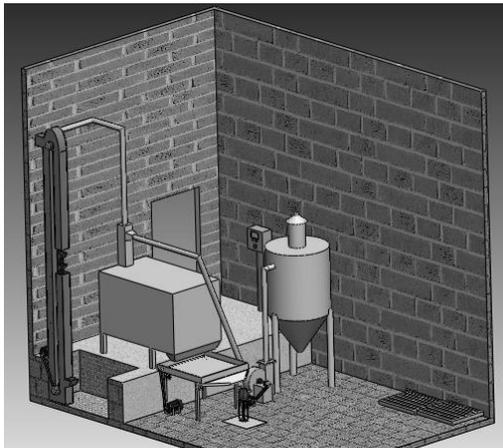


Fig 9. Cuarto de secado del maíz.

En esta parte se puede apreciar cómo será el cuarto de secado del maíz, donde estará ubicado cada uno de los elementos que componen el proceso de secado del grano. Debido a la manipulación de alimentos, los equipos deben estar contruidos de acero inoxidable o de un material que sea apto para el manejo de los mismos, para cada una de las máquinas que componen el proceso de secado y almacenamiento, como se aprecia en la Figura 10

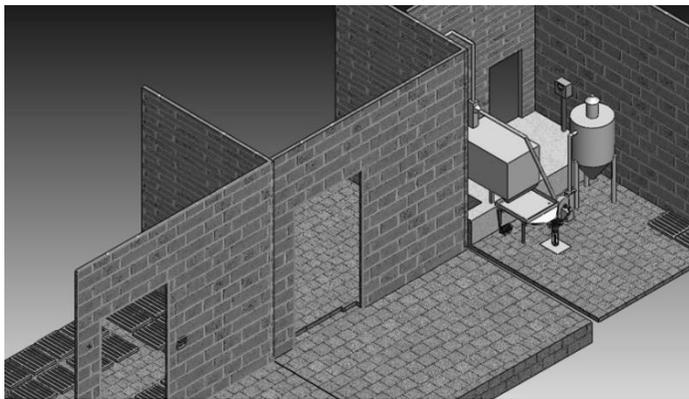


Fig 10. Instalaciones de secado y almacenamiento

Programación PLC y HMI

En el proceso de implementación del sistema automatizado, se plantea el diagrama de flujo necesario para programar el PLC (figura 11), de acuerdo a las constantes encontradas en el proceso de diseño, además de la visualización en HMI (figura 12), permitiendo una interacción con el usuario.

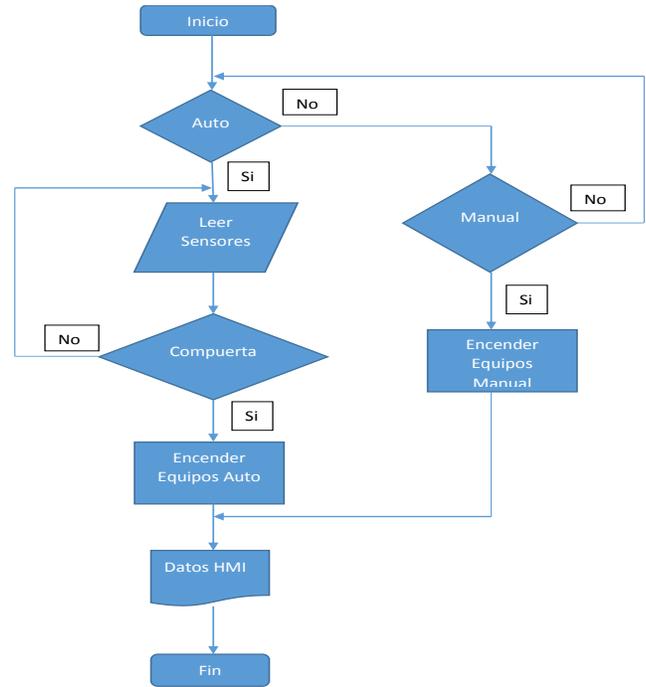


Fig 11. Diagrama de Flujo Programa Principal.

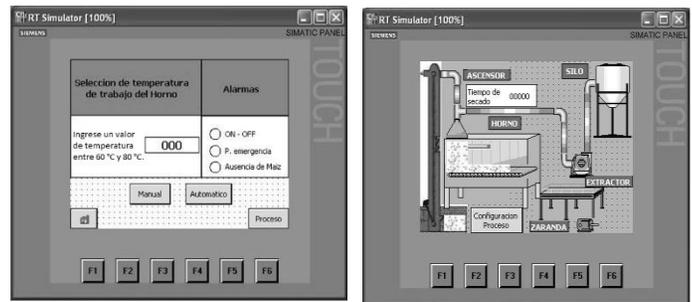


Fig 12. Pantallas HMI del programa.

Se propone un sistema de pantallas dinámicas las cuales puedan ser accequibles y de fácil entendimiento para el operador, teniendo la posibilidad de ser utilizadas para visualizar el proceso completo desde un punto remoto.

V. CONCLUSIONES

El secador de cinta transportadora propuesto es de tipo rectangular horizontal, el cual se espera que pueda disminuir la humedad del maíz en un alto porcentaje.

De acuerdo a la información recolectada, se puede concluir que el proceso de secado automatizado del maíz no arrojará una variación significativa en el valor nutritivo del grano.

Los cálculos previos realizados determinan y sugieren las siguientes dimensiones del equipo: 2,5 m de largo, 2 m de alto, 1,5 m de ancho. Su construcción se propone en acero

inoxidable ANSI 430 y ANSI 304 de acuerdo a los requerimientos establecidos por el INVIMA.

El sistema automatizado propuesto permite optimizar de manera importante el tiempo empleado para el proceso de secado, pasando de días a horas, adicionalmente la disminución de la presencia de hongos será significativa.

La implementación de un sistema de visualización por medio de HMI permite al usuario del sistema tener en tiempo real las características de desempeño del sistema, ahorrado tiempo y dinero.

VI. AGRADECIMIENTOS

Los autores del presente trabajo agradecen a la Universidad de los Llanos, quien a través de los últimos años ha influenciado significativamente en nuestras vidas permitiéndonos crecer como personas y profesionales; además permite integrarnos en los procesos de investigación que se están realizando en la Escuela de Ingeniería con el grupo de Investigación GITECX.

REFERENCIAS

[1] J. Acedo Sánchez. Instrumentación y Control Básico de Procesos. España. Ediciones Diaz de Santos. pp 227-243. 2006

[2] A. Creus Solé. Instrumentación Industrial. Barcelona. Editorial Marcombo. Octava Edición, 2011. 594 p. 2011.

[3] B. Kuo. Sistemas de Control Automático. México. Séptima Edición. PEARSON Prentice Hall Hispanoamericana. 1996, 897 p.

[4] Donald. B Brooker, Fred. Bakker-Arkema, y C. Wall. Drying cereal grains. Westport, Connecticut, The Avi Publishing Company. 265 p. 1992

[5] Christensen, C.M., Kaufmann, H.H.. Storage of cereal grains and their producís. 2a. ed. St. Paul, Minnesota, U.S.A., Ameritan Association of Cereal Chemist. 549 p.

[6] Hall, C.W. (1971) Manipulación y almacenamiento de granos alimenticios en las zonas tropicales y subtropicales. Roma, FAO. 400 p. Cuadernos de Fomento Agropecuario N° 90.

[7] O. Katsuhiko. Ingeniería de Control Moderna. Madrid. Cuarta Edición. Prentice Hall Hispanoamericana. 984 p. 2003

[8] Ministerio de Agricultura y Ganadería. San José, Costa Rica. (1991). Aspectos Técnicos sobre Cuarenta y Cinco

Cultivos Agrícolas de Costa Rica. Dirección General de Investigación y Extensión Agrícola.

[9] R. Dorf. Sistemas de Control Moderno. España. Pearson Educación. p 35-76. 2005

[10] E. Mandado Pérez. Autómatas Programables y Sistema de Automatización. México. Alfaomega. 2010

[11] R. Piedrafita Moreno. Ingeniería de la Automatización Industrial. México. Alfaomega. 2da Edición ampliada y actualizada. pp 59-80. 2010

[12] Puzzi, D. Abastecimento e armazenagem de grãos. Campinas, SP, Brasil, Instituto Campineiro de Ensino Agrícola. 604 p. 1986.

[13] R, Pallas Areny. Sensores y Acondicionadores de Señal. Editorial Marcombo, Cuarta Edición. 483 p. 2003.

[14] T. Maloney.. Electrónica Industrial Moderna. Editorial PEARSON Educación. Hispanoamérica S.A.; Quinta Edición. 938 p. 2006.