



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“Diseño de Automatización de una Secadora de Arroz”

INFORME DE PROYECTO INTEGRADOR

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACIÓN
ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

CARLOS RAFAEL GALEAS RAMOS

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2016

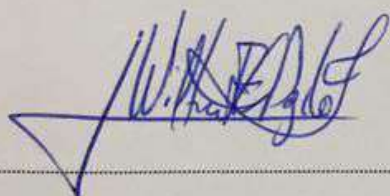
AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres Pedro Galeas y Ana Ramos, a mi hermano Pedro Alexis, a mi amiga y novia Gabriela Galarza y amigos que estuvieron siempre apoyando en este proyecto.

DEDICATORIA

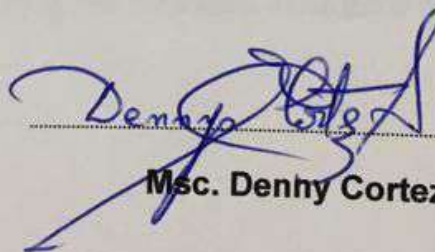
Dedico a este proyecto a mis Padres, Hermano y novia, Pedro Galeas, Ana Ramos, Pedro Alexis Galeas Ramos y Gabriela Galarza por estar conmigo siempre apoyando y dando fuerzas para seguir adelante con mis proyectos y metas.

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN



Dr. Wilton Agila

PROFESOR EVALUADOR

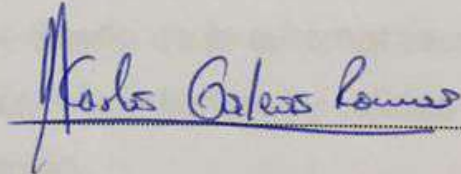


Msc. Denhy Cortez

PROFESOR EVALUADOR

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, me corresponde exclusivamente; y doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



CARLOS RAFAEL GALEAS RAMOS

RESUMEN

Los pequeños agricultores en su mayoría aún no cuentan con un buen secado del arroz después de su cosecha, lo cual implica que su producto tenga un alto porcentaje de humedad e impureza, y eso se ve reflejado en el precio de venta del quintal de arroz en cascara, en los centros de acopio donde el producto es recibido hasta con un 5% de impureza y con un 20% de humedad.

Como puede notarse el proceso de secado del arroz es muy importante en la cadena productiva, y es por ello que este proyecto se enfoca en el secado artesanal del arroz, concretamente en el diseño de la automatización de una secadora de grano de arroz, y así poder optimizar tiempos y calidad de secado y además disminuir los costos de producción.

Este proyecto consta en la realización de un diseño de una secadora de grano de arroz en cascara y automatizar la cámara de secado para controlar la temperatura que recibirá el grano.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	ii
DEDICATORIA	iii
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN	iv
DECLARACIÓN EXPRESA.....	v
RESUMEN.....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
CAPÍTULO 1.....	1
1. DESCRIPCION DE PROYECTO.....	1
CAPÍTULO 2.....	6
2. DESARROLLO DEL PROYECTO	6
CAPÍTULO 3.....	22
3. ANALISIS Y RESULTADOS.....	22
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	33
BIBLIOGRAFÍA.....	35
ANEXOS.....	36

CAPÍTULO 1

1. DESCRIPCION DE PROYECTO

1.1. *Introducción*

El arroz es un cereal muy consumido en el mundo, es uno de los más básicos en la alimentación diaria, en especial en el Ecuador.

Durante años el arroz fue sembrado y dejado a merced del clima sin mayor cuidado, poco a poco con el pasar del tiempo se ah tecnificado el sembrado del grano y por ende el secado para su almacenamiento, debido a su alto consumo.

El procesado de arroz consta de los siguientes pasos:

1. Sembrado
2. Abonado
3. Cosechado
4. Transportado
5. Secado
6. Pilado
7. Distribuido

El proyecto se concentrara en la parte de secado, la cual es una parte muy importante en la cadena, ya que sin ella la calidad del grano disminuiría notoriamente, ya que el porcentaje de humedad es un factor considerable para el almacenaje del mismo, ya que si lo almacenamos con un alto porcentaje de humedad el grano se deteriora y se producen hongos, por el contrario cuando el grano está seco el grano dura más tiempo almacenado sin contaminarse de hongos e inhibir la germinación de la gramínea. Podríamos decir que el secado es un método para acondicionar el grano eliminando agua hasta un nivel que permita preservarlo en condiciones normales, de tal manera que conserve las características del alimento.

El método tradicional de secado usado en épocas atrás era de en un tendal, esparcían el grano por el piso y con el calor del sol disminuían la cantidad de agua o porcentaje de humedad, esto demoraba mucho tiempo y el secado no era bueno porque dependían mucho del clima, poco a poco, se ha venido actualizando y fueron tecnificando el secado, y la manera más común de hacerlo es hacer circular aire caliente por el grano. Muchos agricultores realizan este proceso manualmente, es allí donde inicia este proyecto, para ayudar al pequeño agricultor a optimizar el proceso de secado, y obtener mayor ganancias, ya que unas de las principales pérdidas para ellos es un mal secado.

1.2. Objetivos generales:

- Diseñar un sistema de automatización para una secadora.
- Aplicar conocimientos adquiridos en el curso.
- Optimizar el proceso de secado.

1.3. Objetivos específicos:

- Desarrollar un control de temperatura para secado de grano.
- Realizar un análisis de la secadora de bandeja.
- Identificar la problemática del secado.
- Crear un programa en Labview para control de temperatura en recámara de secadora de grano.

1.4. Planteamiento del problema

El problema que se presenta en los pequeños agricultores es el mal secado del grano que con lleva a vender el producto a un menor precio, y eso representa pérdidas para el agricultor.

La solución que se propone es el “diseño de una secadora de arroz” con la finalidad de ayudar al pequeño agricultor en el proceso de secado de la gramínea y así mejorar la calidad del producto.

1.5. Secado de granos.

Este proceso en ocasiones representa un problema para los pequeños agricultores por diferentes factores, tales como:

El costo del secado es alto por la inversión que representa la secadora de grano.

La acumulación de producto que existe en tiempo de cosecha

Una mala técnica de secado atrofia el grano.

En la época de los 50`s se cosechaban de diferente forma, casi se lo cosechaba seco, y se lo terminaba de secar un tendal, y moviéndolo con los pies o con un instrumento denominado "toro", esto tomaba mucho tiempo, y en ocasiones el secado no era bueno, por ese problema surgieron las secadoras artificiales en los centros de acopio, y con ellos también los primeros problemas en el secado, tales como secado con mucha temperatura, secado heterogéneo, y esto ocasionaba que el grano se partiera o que se formara hongos. Por ello las industrias comenzaron a encontrar una técnica adecuada para secar el grano. Comenzaron a poner énfasis en sistemas de trasmisión de calor, en que hay un intercambio de masa y calor entre el aire que ingresa al grano y el grano, lo cual lleva a una reducción en el porcentaje de humedad en el grano hasta un nivel óptimo para su almacenamiento. En nuestro medio el porcentaje de humedad óptimo para el almacenamiento es del 10 al 15%, para que la respiración sea menor y reducir el ingreso de hongos e insectos al grano.

Cuando el grano está maduro los granos tienen una parte de materia seca y un porcentaje de agua (humedad), por ellos se ha desarrollado técnicas de secado las cuales se perfeccionaron de acuerdo a la zona donde se encuentre.

Existen dos métodos para secar grano:

- Método Natural: pueden ser secados en el campo (en la planta) o en un tendal o asoleadores.
- Método Artificial: pueden ser secados con bajas temperaturas, altas temperaturas o en combinación de las 2 y con aireación.
- El método más usado es un intercambiador de aire y masa entre granos y aire por convección de aire forzado, es por ello que la mayoría de secadores de grano tiene un ventilador que inyecta aire al producto.

1.6. Tipos de combustibles que se usan para secar el grano.

En el momento de la crisis de energía mundial, las personas usaban derivados del petróleo para secar el grano ya que tenían un bajo costo; en aquella época no se necesitaba que sean ahorradores de energía. Entonces en aquella época las principales características de un secador de grano es que tengan: bajo costo inicial, mantención fácil y no causar daños al producto final por ende flujo cruzado se hicieron muy populares en los países desarrollados, especialmente en los Estados Unidos. En los procedimientos de secado a baja temperatura se usaba la energía eléctrica para accionar el ventilador o como fuente suplementaria de calentamiento del aire. Después de los años 70`s se crearon programas de investigación de nuevas fuentes de energía y así se crearon nuevas formas de secado más eficientes.

En los 80`s los derivados del petróleo comenzaron a prohibirse en el secado del granos, y comenzaron a cambiarse a GLP (gas licuado de petróleo), cuya combustión es más eficiente para obtener el intercambio de energía calorífica con quemadores apropiados para este tipo de combustible, y así se hace más fácil de controlar el flujo del gas con dispositivos de control electromecánicos para realizar la automatización de horno secador de grano.

El empleo del servicio eléctrico en el proceso de secado de arroz no es muy viable por su elevado costo. Es por eso que el mejor sistema de secado es usar quemadores de gas natural y así calentar el aire que ingresa a la cámara del horno, controlando el flujo de calor por sistemas electromecánicos, y a este método de secado se lo denomina secado a baja temperatura.

1.7. La eficiencia en el secado de arroz.

Cuando hablamos de eficiencia en el secado no solo se debe medir en unidades de combustible consumidas en el secado, es importante encontrar una relación con la cantidad de humedad eliminada del grano, y así poder comparar entre otras secadoras. Entonces podemos decir que la eficiencia en el secado es la relación entre la cantidad de energía calorífica aplicada al grano y el porcentaje de humedad en el grano mientras dure todo este proceso.

Y así el consumo de energía por porcentaje de humedad varía dependiendo las condiciones del medio como: la variación de humedad del grano de arroz entre antes de iniciar el proceso y durante el proceso, el porcentaje de humedad en el ambiente y el tipo de planta de secado.

La variación de humedad del grano es en función de la temperatura del aire que ingresa al grano y de este flujo depende el tiempo de secado dentro de la planta.

Cabe destacar que el tipo de horno que se use en el proceso influye mucho en el rendimiento del secado y su calidad. Es por eso que debemos tener en cuenta que el dimensionamiento y la optimización del sistema son muy importantes para el éxito del proyecto.

CAPÍTULO 2

2. DESARROLLO DEL PROYECTO

2.1. DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO

El tipo de secadora para secar el grano de arroz que se va a utilizar en este proyecto es de operación simple, tal como se muestra en la *figura 2.1*, cuyo costo inicial sea del alcance de la mayoría de agricultores. Una de las características más importantes de este tipo de horno secador es que se puede usar para secar diferentes tipos de granos como el cacao, el frejol, el maíz, la soya, etc., el horno está compuesto por;

1. Una cámara donde se almacena la el aire caliente.
2. Una base metálica perforada donde reposa el grano y circula el aire de la cámara.
3. La cámara donde se almacena el grano a ser secado.
4. Un ventilador que es el que va a inyectar aire continuamente a la cámara.
5. Un quemador que es el que va calentar el aire.
6. Y el combustible que es GLP.



Figura 2.1: Secado de arroz en bandeja

El horno en la mayor parte está construido de hormigón o ladrillo refractario que resista alta temperatura, y la mano de obra usada para la construcción de esta parte es de un maestro de construcción (Albañil).

2.1.1. La cámara de secado.

La cámara de secado la cual también llamaremos bandeja de secado, *figura 2.2* es la que se encuentra en la parte superior del horno y en donde se deposita el grano a secar. La capa de grano que vayamos a secar varía de acuerdo a la cantidad de grano húmedo que vayamos a secar. De acuerdo a las prácticas realizadas esta capa puede variar entre 0.30m y 1m, esta altura no puede variar más allá de 1m porque no se seca uniformemente el grano, hay que tomar en cuenta que a mayor humedad se debe disminuir el grosor de la capa de grano a secar, para garantizar un secado de calidad



Figura 2.2: La cámara de secado

2.1.2. *Plancha metálica perforada.*

Esta plancha de metal perforado, figura 2.3, está ubicada entre el horno y la bandeja de secado, es justamente la que separa estas dos partes de horno, esta plancha tiene como dimensiones 1,5mm de espesor y tiene agujeros o perforaciones de 2mm de diámetro en toda la plancha. Estos agujeros sirven para la distribución del aire caliente a lo largo y ancho de la bandeja de secado.



Figura 2.3: Plancha metálica perforada

2.1.3. Cámara donde se almacena la el aire caliente.

Esta cámara es donde se almacena el aire caliente que va ser distribuido por los agujeros de la plancha perforada. Esta cámara tiene una altura que depende del flujo de aire que proporciona el ventilador, y así tener una mejor distribución de aire caliente en el grano.

2.1.4. El ventilador.

Existen muchos tipos de ventiladores, pero el que vamos a usar acá es el ventilador de aspas inclinadas, figura 2.4, es el más usado en este tipo de procesos. Las dimensiones de este ventilador son en función del flujo que necesita para atravesar la capa de grano de arroz en la bandeja de secado. El flujo de aire que necesitamos para atravesar esta capa es entre 10 y 30 m³ por cada metro cubico de grano, ver tabla 2.1. Este ventilador va enviar el aire caliente a la cámara de aire caliente donde debe tener una temperatura entre 35 °C y 55°C.

Lo que siempre se pregunta es cuándo comenzar a ingresar el aire caliente. Esto depende del porcentaje de humedad del producto y del clima. Cuando inicia el proceso se recomienda ingresar un flujo de aire constante, pero a temperatura ambiente hasta liberar la mayor cantidad posible de humedad dentro del grano, una vez que hayamos ingresado el aire procedemos a incrementar la temperatura del aire ingresado y así evitaremos la respiración, la generación de hongos y liberación de energía que ayudan a que el grano se dañe rápidamente. Cuando se estamos en zona de mayor humedad relativa como en la noche el ingreso de aire debe ser en 1 °C a 2°C para reducir del 5 al 10

por ciento de humedad en el grano y así ir incrementando poco a poco la temperatura hasta llegar al porcentaje de humedad deseado que oscila entre 11 a 13 por ciento de humedad.



Figura 2.4 El ventilador

Presión estática (en kPa) requerida para secar el arroz												
Altura de la capa de granos (m)	Flujos del aire ($10^{-2} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}$)											
	0,63	0,94	1,25	1,56	1,88	2,5	3,13	3,75	4,38	5,00	5,63	6,25
0,25												
0,50								0,029	0,029	0,039	0,039	0,049
0,75					0,029	0,039	0,049	0,059	0,069	0,078	0,098	0,11
1,00				0,039	0,049	0,069	0,088	0,11	0,13	0,15	0,18	0,1
1,25	0,029	0,039	0,049	0,069	0,078	0,11	0,15	0,18	0,22	0,24	0,28	0,32
1,50	0,039	0,059	0,078	0,098	0,12	0,17	0,22	0,26	0,31	0,37	0,43	0,49

1,75	0,049	0,078	0,11	0,14	0,17	0,23	0,29	0,36	0,44	0,52	0,61	0,69
2,00	0,069	0,098	0,14	0,18	0,22	0,30	0,39	0,49	0,60	0,71	0,81	0,94
2,25	0,088	0,13	0,18	0,23	0,28	0,39	0,51	0,64	0,77	0,92	1,07	1,23
2,50	0,11	0,17	0,23	0,28	0,35	0,49	0,65	0,81	0,99	1,18	1,36	1,57
2,75	0,13	0,20	0,27	0,35	0,43	0,61	0,80	1,01	1,22	1,46	1,70	1,97
3,00	0,16	0,24	0,32	0,42	0,52	0,73	0,97	1,22	1,50	1,78	2,09	2,42
3,25	0,18	0,28	0,39	0,50	0,63	0,88	1,17	1,47	1,80	2,17	2,53	2,92
3,50	0,21	0,33	0,45	0,59	0,73	1,04	1,38	1,74	2,15	2,57	3,01	3,49
3,75	0,24	0,38	0,53	0,69	0,85	1,21	1,62	2,05	2,52	3,02	3,55	
4,00	0,27	0,44	0,61	0,79	0,99	1,41	1,87	2,38	2,93	3,52		
4,25	0,31	0,50	0,70	0,90	1,13	1,62	2,16	2,74	3,38			
4,50	0,35	0,56	0,78	1,03	1,28	1,84	2,46	2,94				
4,75	0,40	0,63	0,88	1,16	1,45	2,09	2,79	3,13				
5,00	0,44	0,71	0,99	1,29	1,63	2,34	3,14	3,57				
5,25	0,49	0,78	1,10	1,44	1,81	2,63	3,53					
5,50	0,54	0,86	1,21	1,60	2,01	2,92						
5,75	0,60	0,95	1,34	1,77	2,22	2,23						
6,00	0,66	1,05	1,49	1,95	2,45	2,58						

Tabla 2.1: Presión estática (en kPa) requerida para secar el arroz

2.1.5. Calentador de aire.

Para calentar el aire usaremos un calentador a gas que es muy común usarlo en este tipo de procesos, ver figura 2.4, el cual consta de una válvula solenoide con la cual vamos a controlar el paso de combustible para elevar o reducir la temperatura según como el controlador lo requiera, quemadores que es por donde saldrá la llama que calentará el aire, y un ventilador que es el que proporcionará la cantidad de aire que necesita para la combustión.

2.2. IDENTIFICACIÓN DE LA PLANTA

El diagrama de bloques es como se muestra en la *figura 3.3* donde se explica el proceso de control del proceso.

Tenemos el setpoint que es la temperatura deseada, la señal de salida del sensor que será restada para poder encontrar el error del proceso y que llegará al controlador para luego controlar la apertura de la válvula de flujo de GLP de ½" de diámetro.

La etapa de control está formada por un controlador PID que actúa sobre una válvula controladora de flujo de GLP de diámetro ½" con actuador lineal.

Para la identificación de la planta usamos el método clásico, la señal que de uso es el escalón obteniendo así un modelo matemático aproximado de la planta, de primer orden. Cuya ecuación característica es la *ecuación 2.1*:

$$G(s) = \frac{K e^{-tds}}{\tau s + 1} \quad (2.1)$$

Donde K es la ganancia del proceso, t_d es el tiempo de retardo del sistema y τ es la constante de tiempo del sistema, la señal de entrada la hicimos con un escalón. Tenemos como resultado $K = 3$, $t_d = 2s$, $\tau = 4s$ y la señal escalon de amplitud 5.

Realizamos las pruebas experimentales de identificación. En la identificación de la planta se usara el toolbox Real-Time Windows Target de MATLAB (usaremos como tarjeta de adquisición de datos arduino uno. aplicando un escalón a la planta y veremos la salida en el bloque Scope (*Figura 2.5*). El bloque Analog Output representa la salida analógica de la tarjeta de adquisición que se conectará al terminal “Entrada (salida controlador)” y el bloque Analog Input representa la entrada analógica de la tarjeta de adquisición que se conectará al terminal de salida (sensor $10\text{ mV}/^\circ\text{C}$).

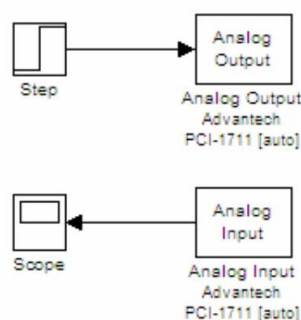


Figura 2.5: Salida / Entrada de tarjeta de adquisicion de datos

Simulamos la planta (*figura 2.6*) y asi poder obtener datos necesarios para la Aproximacion del controlador

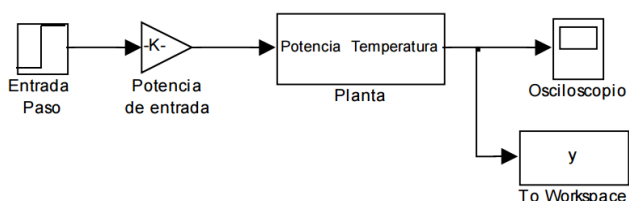


Figura 2.6: Simulación de la Planta

El bloque planta representa nuestra planta (figura 2.7)

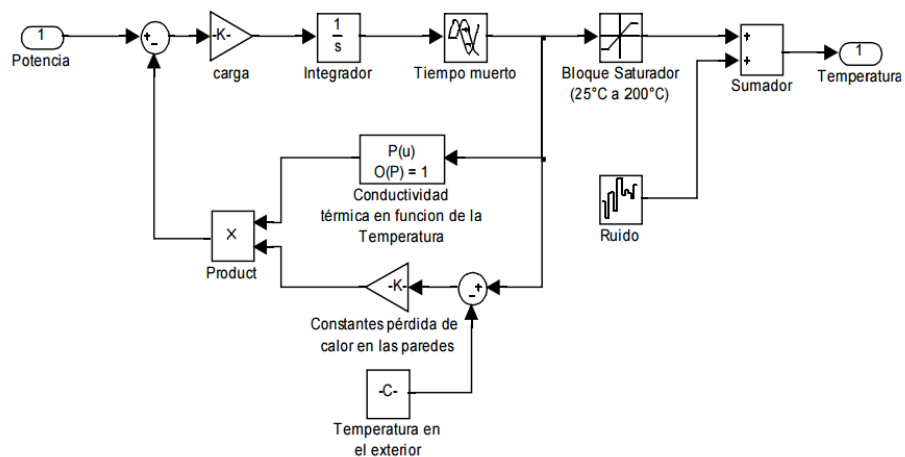


Figura 2.7: Planta

Dando como resultado un incremento de temperatura a controlar tal como se muestra en la figura 2.8

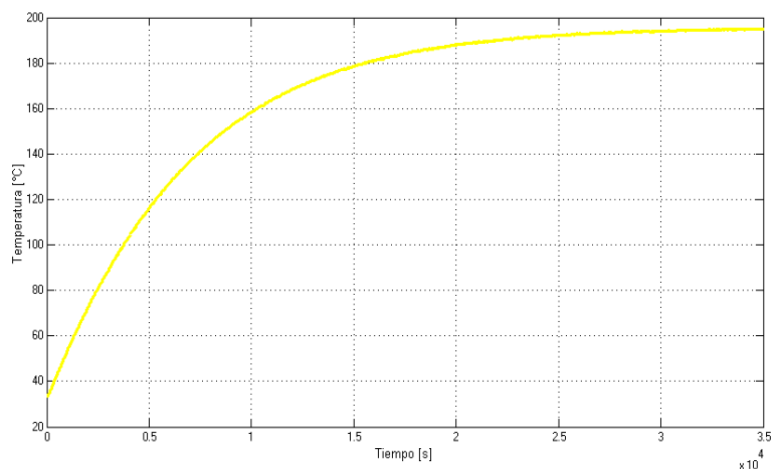


Figura 2.8: Respuesta de la planta

Aplicado un escalón de amplitud 3.7 voltios (equivalente aproximadamente a 37 oC) y tras un tiempo de 10000 segundos la salida de la planta estará en 4.32 voltios (equivalente aproximadamente

a 43.2 °C) y el tiempo de retardo que presenta es de unos 8 segundos (Figura 2.9).

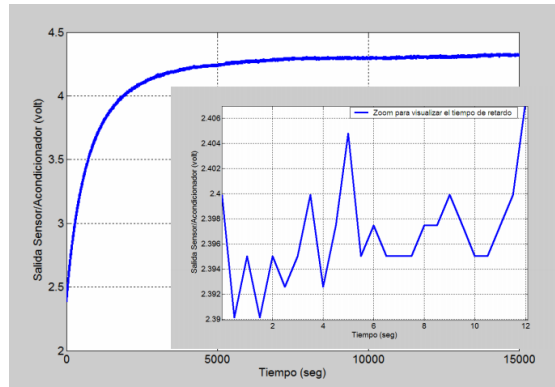


Figura 2.9: Salida de la Planta según Sensor

Según los datos obtenidos el modelo matemático de la planta aproximado es:

$$G_{planta}(s) = \frac{2.77e^{-12s}}{851s + 1} \quad (2.2)$$

Ya que realizamos la identificación de la planta diseñamos el controlador en la cual aplicamos trayectoria de las raíces (Ziegler-Nichols) y lo sintonizamos para mejorar su rendimiento, conociendo que el error estacionario es cero para un escalón tenemos la tabla 2.2:

Tabla 2.2: constantes de controlador PID y PI

	K_p	K_I	K_D
<i>PI</i>	$\frac{0.9\tau}{Kt_d} = 23.31$	$\frac{t_d}{0.3} = 40$	
<i>PID</i>	$\frac{1.2\tau}{Kt_d} = 31.08$	$2t_d = 24$	$0.5t_d = 6$

Para un controlador PI:

$$G_{PI}(s) = \frac{23.31s + 0.58}{s} \quad (2.3)$$

Para un controlador PID:

$$G_{PID}(s) = \frac{186.48s^2 + 31.08s + 1.3}{s} \quad (2.4)$$

Utilizando la Aproximacion de PADE tenemos que:

[Nd, dd]=pade (12,1); % Aproximacion de Pade de primer orden

*Np=2.77*nd; % Numerador de la planta*

Dd=conv (dd, [861 1]); % Denominador de la planta

Locus (nd, dd)

Eliminamos el polo con un cero para que el sistema quede PI.
Obteniendo la ecuación (2.5):

$$G_c(s) = K_c \frac{851s + 1}{s} \quad (2.5)$$

Ahora para con el lugar geométrico de las raíces obtenemos la ganancia K_c en lazo cerrado en el punto de separación con el comando rlocfind:

[Nd, dd]=pade (12,1); % Aproximacion de Pade de primer orden

*Ns=2.77*nd; % Numerador del controlador en cascada con la planta*

Dos=conv (dd, [1 0]); % Denominador del controlador en cascada con la planta

Locus (ns, ds)

[Kc, polos]=rlocfind (ns, ds)

Y nos da un valor de $K_c = 0.01$:

$$G_c(s) = 0.01 * \frac{851s + 1}{s} \quad (2.6)$$

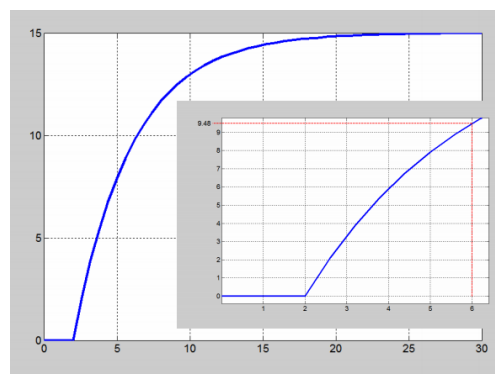


Figura 2.10: Respuesta del controlador PI

La simulación de la planta nos muestra una gráfica de primer orden (*figura 2.10*), que valida el control de temperatura de acuerdo a lo esperado, la recámara de la secadora se calentara paulatinamente hasta llegar al set point óptimo de 38°C, en un tiempo de dos horas treinta minutos aproximadamente se obtuvo la variación deseada con condiciones ambientales de temperatura de 27°C y 62% de humedad. La salida PWM hará funcionar la válvula de acuerdo a la salida del controlador para mantener una temperatura constante.

2.3. CONTROLADOR DE TEMPERATURA.

El mantener una temperatura constante en la cámara de aire caliente es muy importante en el proceso, y para ello diseñamos un controlador

de temperatura de tipo PID para mantener dicha temperatura de acuerdo al SET-POINT. El control estará implementado en un software que ejecuta la función del error del controlador PID y por medio de la comunicación entre computadora y sistemas externos. En labview la programación se hará más fácil de realizar ya que cuenta con una interfaz gráfica que facilita la realización del controlador

2.3.1. Sensor de temperatura.

El sensor de temperatura que se usara será el lm35 (*figura 2.11a*) que estará alojado dentro de la cámara de aire caliente, sus principales características del sensor es que mide en grados centígrados, es lineal y su relación es de $10 \text{ mV}/^\circ\text{C}$, censa desde $-55 \text{ }^\circ\text{C}$ a $150 \text{ }^\circ\text{C}$ y su alimentación es de 4V a 30V . Y es económico también se usara un par de sensores tipo rtd (*figura 2.11b*) para colocarlas en el centro de la cámara. Usaremos un circuito de acoplamiento para la amplificación de la señal del sensor para cuando llegue a la tarjeta de adquisición de datos.

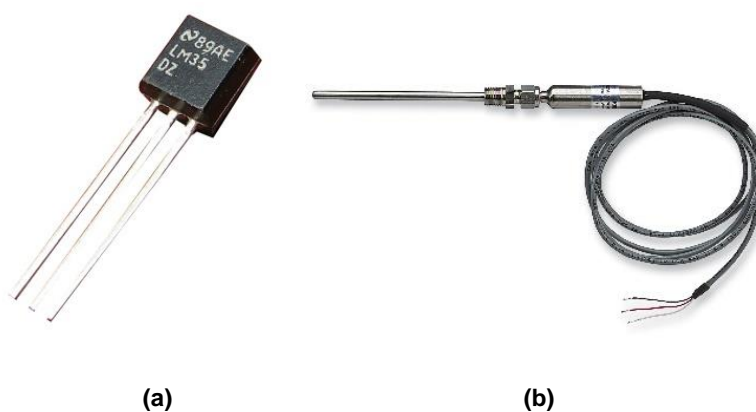


Figura 2.11: Sensores de temperatura

a: lm35; b: RTD

2.3.2. Acoplamiento de la planta.

La principal característica de este tipo de hornos es que tiene una relación directamente proporcional entre la temperatura límite y la potencia media de calentamiento, por ello se realizara el acoplamiento de la señal de control de la válvula que controlara el flujo de combustible al quemador. Para ello realizaremos un circuito basado en un PWM y TRIAC para el encendido y apagado del actuador de la válvula lineal.

2.4. ARQUITECTURA DE CONTROL

La presente arquitectura usada (*figura 2.12*) en el diseño es muy sencilla de entender. La comunicación entre los dispositivos de control y la computadora es vía serial.

La tarjeta arduino es muy sencilla de usar y conectar a la computadora al igual de programarla, en ella va a ir conectado los diferentes sensores en las respectivas entradas y salidos tanto análogas y digitales.

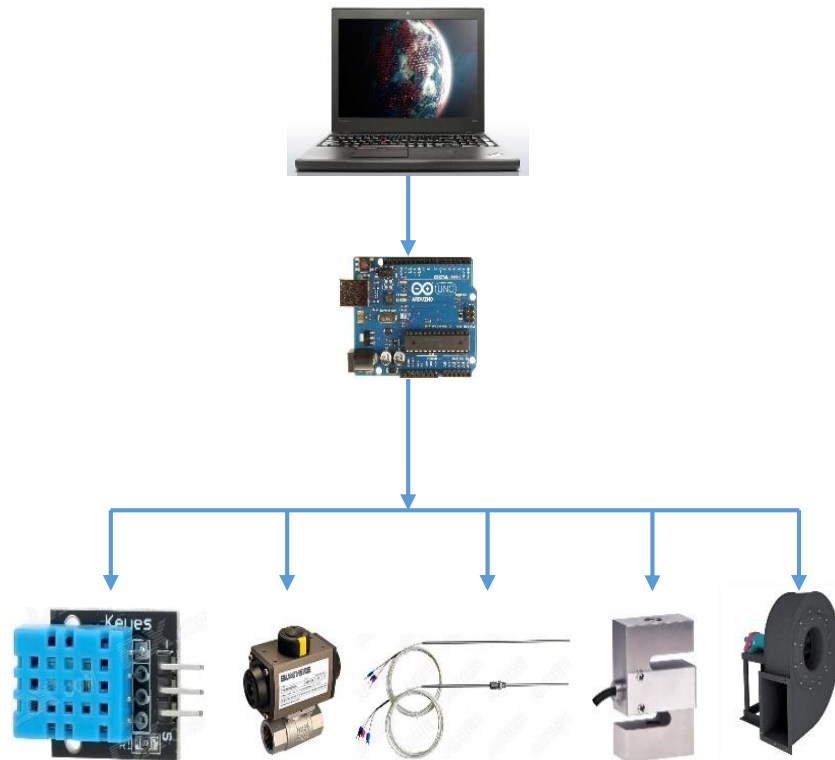


Figura 2.12: arquitectura de control

2.4.1. Software de Simulación

El software que se va a usar es labview para Windows, este nos permitirá interactuar con el horno tales como:

- Obtener datos para la identificación de la planta en función de las variables de control.
- Simular el comportamiento del sistema utilizando el modelo del horno.
- Colocar el porcentaje de humedad y la temperatura de referencia de la cámara de aire caliente.
- Ejercer control de las variables del sistema.
- Visualizar el comportamiento del sistema y del controlador.
- Llevar una estadística del proceso.

2.4.2. Tarjeta de adquisición de datos

Utilizamos arduino UNO (*figura 2.13*) como tarjeta de adquisición de datos ya que cuenta con 14 pines digitales que pueden ser tomadas como entradas o salidas de acuerdo a la programación que se le realice en el software, y de esos 14 pines 6 son salidas que pueden ser usadas como salidas PWM. Además de 6 entradas analógicas, un cristal de cuarzo de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un header ICSP y un botón de reinicio. Y lo más importante es que es económico y sus aplicaciones son muy diversas.

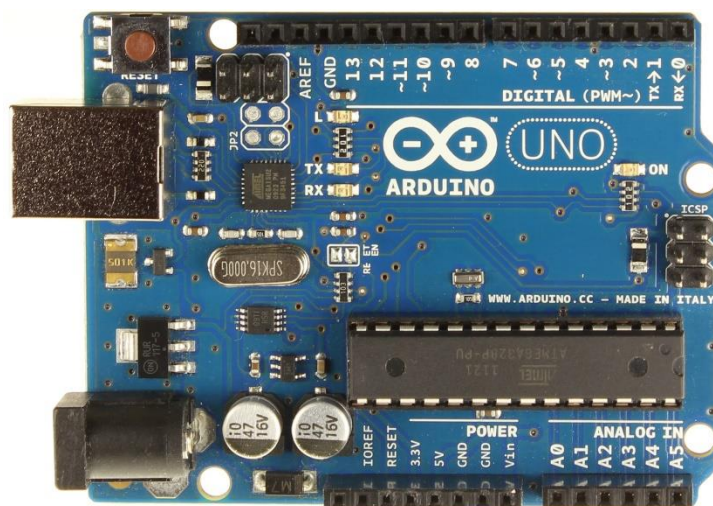


Figura 2.13: Tarjeta de adquisición de datos Arduino 1

CAPÍTULO 3

3. ANALISIS Y RESULTADOS

3.1. Interfaz de usuario en labview.

Programar en labview es más dinámico y funcional ya que utiliza una interfaz gráfica con iconos, cables y terminales en lugar de texto para programar tal cual el programador piensa.

En vista de las ventajas que da el software para realizar el diseño realizamos la programación obteniendo buenos resultados en la simulación.

3.1.1. Temperatura ambiente

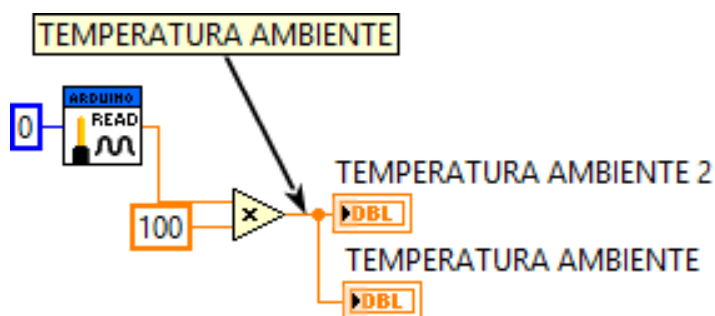


Figura 3.1: Adquisición de dato de temperatura de Arduino a Labview

Este parte del programa capta la temperatura ambiente (*figura 3.1*), este dato es importante para poder calcular el porcentaje de humedad relativa del aire, como lo explicamos en el anterior capítulo, de este dato depende mucho el tiempo que demore el proceso de secado.

Para este proceso usamos el pin analógico número A0 de la tarjeta de adquisición de datos el cual estará los valores de voltaje del sensor LM35 ubicado en el exterior de la secadora.

La programación usada para la captura del dato y monitorearla desde labview es la siguiente:

```
// Script para leer temperatura utilizando un LM35

// Declaración de variables
Float tempC0;
Int tempPin = 0; // Definimos la entrada en pin A0
Void setup ()
{
    // Abre puerto serial y lo configura a 9600 bps
    Serial.begin (9600);
}
Void loop ()
{
    // Lee el valor desde el sensor
    tempC0 = analogRead (tempPin);

    // Convierte el valor a temperatura
    tempC0 = (5.0 * tempC0 * 100.0)/1024.0;

    // Envía el dato al puerto serial
    Serial.print (tempC0);
    Serial.print (" grados Celsius\n");

    // Espera cinco segundo para repetir el loop
    Delay (5000);
}
```

3.1.2. Humedad relativa del ambiente

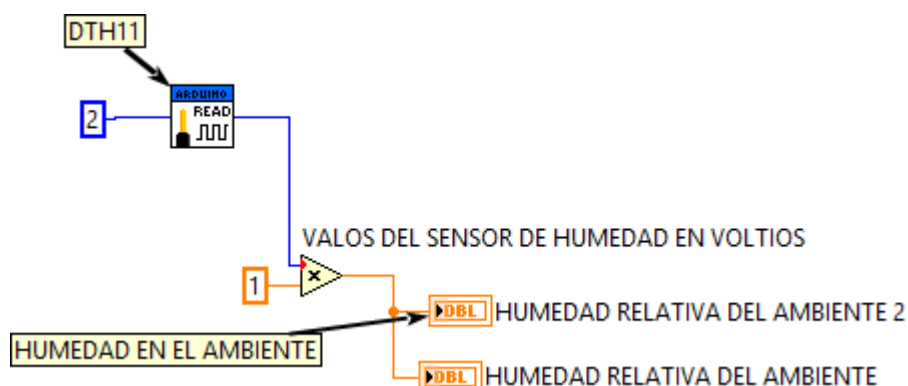


Figura 3.2: adquisición de dato de humedad de Arduino a Labview

La adquisición de datos (*figura 3.2*) la hacemos con el sensor de humedad DTH11 que tiene una salida digital tanto de temperatura y humedad y dato nos ayudara a comparar con la humedad dentro del grano para así arrancar con el incremento de la temperatura gradualmente hasta llegar al set point de la temperatura deseada.

El programa para leer los datos del sensor de humedad en la tarjeta de adquisición de datos es:

```
#include "DHT.h"
#define DHTPIN 2
#define DHTTYPE DHT11
DHT dht (DHTPIN, DHTTYPE);
//librerías del DHT 11
Void setup () {
  Serial.begin (9600); //Se inicia la comunicación serial
  dht.begin (); //Se inicia el sensor
}
```

```

Void loop () {
    Float h = dht.readHumidity (); //se lee la humedad
    Float t= dht.readTemperature (); // se lee la temperatura
    Serial.println ("Humedad: ");
    Serial.println (h);
    Serial.println ("Temperatura :");
    Serial.println (t);
    // Se imprime las variables de temperatura y humedad
    Delay (500);
    //con un retraso de 500 milisegundos
}

```

3.1.3. Control de temperatura dentro de la cámara

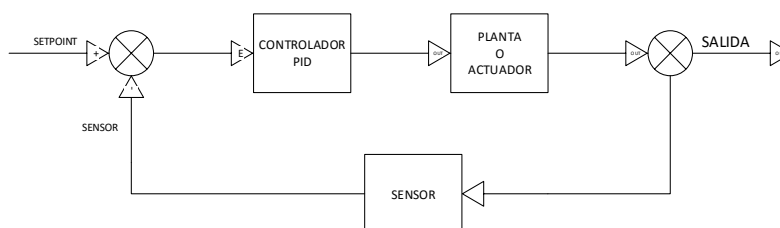


Figura 3.3: Diagrama de bloques del proceso

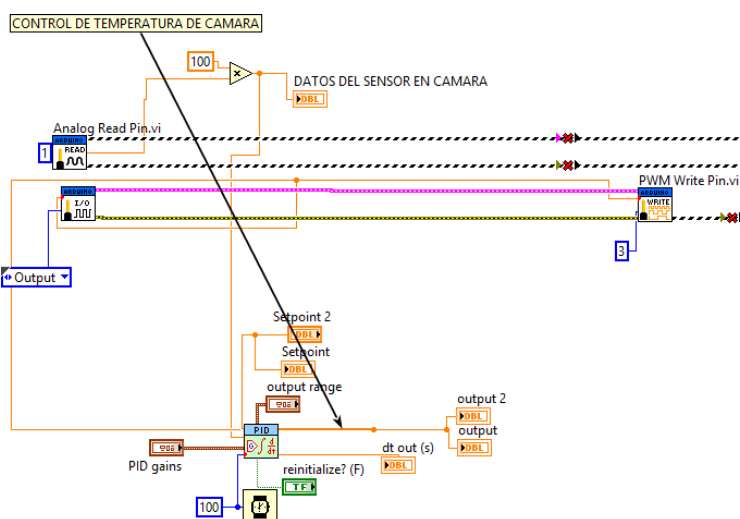


Figura 3.4: Controlador de temperatura PID en Labview

Este control de temperatura (figura 3.4) se muestra en el diagrama de bloque de la figura 3.3, entra a funcionar cuando se haya comparado con la humedad del ambiente, una vez que el porcentaje de humedad sea igual o menor que el de la temperatura ambiente se procede a incrementar la temperatura dentro de la recamara hasta llegar al set point, y este control PID (figura 3.5) hará el lazo de control junto con el actuador.

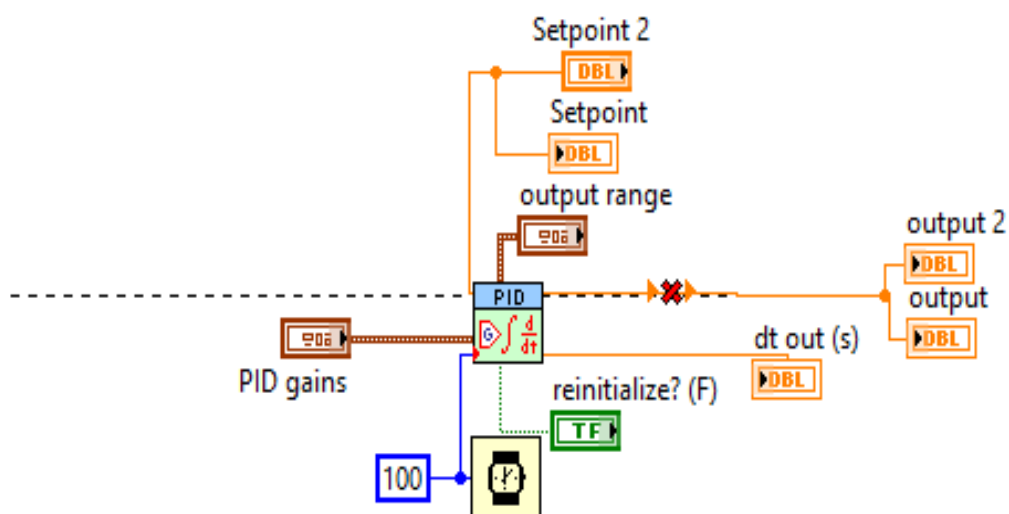


Figura 3.5: Bloque de controlador PID

El controlador arroja un valor que va a la salida PWM (figura 3.6) que está en la tarjeta arduino uno y que procese a controlar la planta.

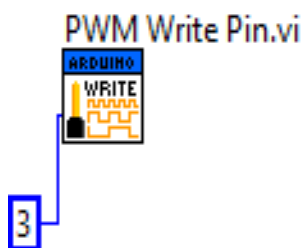


Figura 3.6: Señal de salida PWM

3.1.4. Relación de humedad en cámara

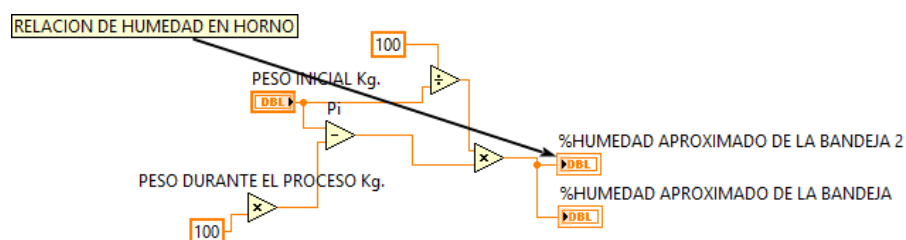


Figura 3.7: Relación de humedad en horno

La manera como obtenemos la relación de humedad en el grano es con la relación del peso antes de ser secado y durante el proceso de secado, y la comparamos con el dato del porcentaje de humedad obtenido en el laboratorio y cuando el porcentaje de humedad se aproxime al deseado se disminuye la temperatura (Figura 3.7) hasta llegar a la temperatura ambiente durante un tiempo para poder almacenarlo.

3.1.5. Archivo de datos

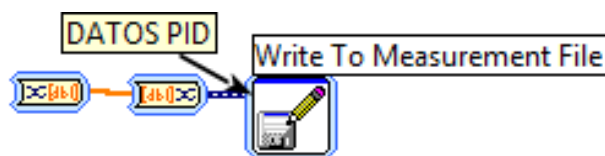


Figura 3.8: Archivo de datos de PID

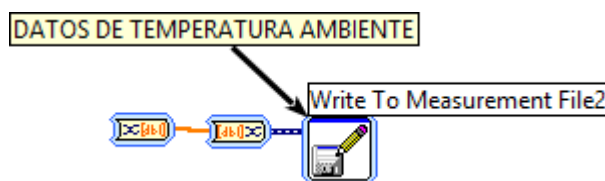


Figura 3.9: Archivo de datos de temperatura ambiente

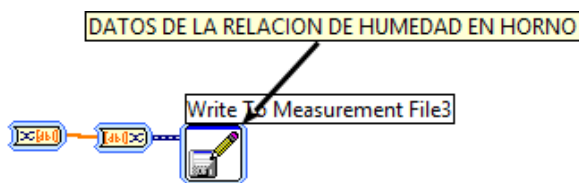


Figura 3.10: Archivo de datos de relación de humedad en horno

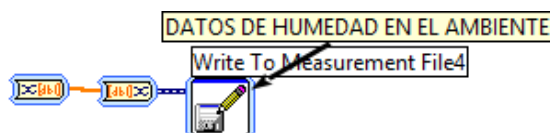


Figura 3.11: Archivo de datos de humedad en ambiente

Realizamos un archivo de datos de cada etapa del proceso para obtener un histórico del proceso (figura 3.8-3.11) ya que todo grano que ingresa a la bandeja no tiene el mismo porcentaje de humedad y no se seca en el mismo tiempo, y es por esa razón la importancia de esta herramienta en el proceso.

3.2. PRESUPUESTO

Para realizar este presupuesto hemos dividido a esta secadora en tres partes, la parte de albañilería, la parte mecánica y la parte eléctrica y electrónica. Y compararemos nuestro controlador con otro ya que la parte de albañilería y la parte mecánica no sufrirán modificaciones, solo lo hará el controlador.

A continuación presentaremos la lista de materiales que necesitamos para la construcción de la secadora.

Parte de albañilería:

Esta parte es la parte de la obra civil del proyecto (*tabla 3.1*) y se conforma de:

- Ladrillos refractarios
- Concreto

- Mano de obra

PRESUPUESTO ALBANILERIA				
CANTIDAD	DESCRIPCION	UNIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
2500	LADRILLOS REFRACTARIOS (229X114X63)	UNIDAD	0.35	875
20	CONCRETO	UNIDAD	9.5	190
6	MANO DE OBRA DIA	DIAS	80	480
			SUB-TOTAL	1545
			IVA 12%	185.4
			TOTAL	1730.4

Tabla 3.1: Presupuesto de albañilería

Parte mecánica:

Esta parte es muy importante porque incluye el calefactor, la instalación de la plancha metálica perforada, el ventilador de inyección de aire a la recamara de aire. Se puede apreciar en la *tabla 3.2* un presupuesto de los materiales y de la mano de obra del sistema. La parte mecánica se conforma de los siguientes materiales:

- Plancha perforada
- Rieles de soporte de plancha perforada
- Ventilador tipo caracol
- Combustible
- Calentador
- Mano de obra mecánica

PRESUPUESTO MECANICO				
CANTIDAD	DESCRIPCION	UNIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
8	PLANCHA PERFORADA 1/16" (120X240)	UNIDAD	22.5	180
10	RIELES DE SOPORTE DE PLANCHA PERFORADA (VIGA DE ACERO SOLIDO) 3X5X5	UNIDAD	100	1000
1	VENTILADOR TIPO CARACOL	UNIDAD	1850	1850
250	COMBUSTIBLE	KILOS	2.5	625
1	CALENTADOR	UNIDAD	550	550
6	MANO DE OBRA MECANICA DIA	DIAS	180	1080
			SUB-TOTAL	5285
			IVA 12%	634.2
			TOTAL	5919.2

Tabla 2.2: Presupuesto mecanico

Parte eléctrica:

Se puede apreciar los materiales a usarse en la parte eléctrica del proyecto.

- Instalación eléctrica de toma de 110V y 220V TRIFASICA
- Instalación de luminarias
- Mano de obra eléctrica
- Cableado

A continuación se muestra un presupuesto de los materiales y de la mano de obra del sistema eléctrico (*tabla 3.3*).

PRESUPUESTO ELECTRICO				
CANTIDAD	DESCRIOCION	UNIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
5	INSTALACION ELÉCTRICA DE TOMA DE 110V	UNIDAD	15	75
1	INSTALACION ELÉCTRICA DE TOMA 220V TRIFASICA	UNIDAD	100	100
5	INSTALACION DE LUMINARIAS	UNIDAD	15	75
150	CABLEADO	METROS	2	300
3	MANO DE OBRA ELECTRICA DIA	DIAS	50	150
			SUB-TOTAL	700
			IVA 12%	84
			TOTAL	784

Tabla 3.3: Presupuesto eléctrico

Parte electrónica:

Esta parte es la más importante del proyecto ya que es la parte de control la que va a optimizar el sistema de secado, para ello e necesita de los siguientes materiales:

- Diseño del controlador
- Tarjeta de adquisición de datos
- Licencia de software
- Sensores
- Cableado
- Computadora para control y monitoreo del proceso

En la siguiente tabla (tabla 3.4) mostramos un pequeño presupuesto de los materiales usados en la parte electrónica del sistema de secado.

PRESUPUESTO ELECTRONICO				
CANTIDAD	DESCRIPCION	UNIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	Diseño del controlador	UNIDAD	500	500
1	Tarjeta de adquisición de datos	UNIDAD	50	50
1	Licencia de software	UNIDAD	1100	1100
1	Sensor LM35	UNIDAD	2	2
1	Sensor PT100	UNIDAD	20	20
1	Sensores DTH11	UNIDAD	10	10
20	Cableado	METROS	1.25	25
1	Válvula con actuador lineal ½"	UNIDAD	75	75
1	Computadora para control y monitoreo del proceso		450	450
			SUB-TOTAL	2232
			IVA 12%	267.84
			TOTAL	2499.84

Tabla 3.4: Presupuesto electrónico

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. Este proyecto fue desarrollado para los pequeños agricultores que desean mejorar la calidad de su producto.
2. Con este controlador se mejora el secado de grano y optimizan recursos.
3. Se logró el objetivo principal, diseñando un controlador de la secadora de arroz.
4. Para realizarlo se hizo una modelación de un sistema de secado de grano de bandeja inclinada, donde creamos simulamos una planta para poder obtener las constantes, $K_P = 31.08$ $K_I = 24$ y $K_D = 6$ del control PID.
5. Creamos un bloque PID en LabView, para procesar los datos del proceso, los cuales se obtendrá con una tarjeta arduino que es usada como tarjeta de adquisición de datos.
6. Se necesitó 3 entradas analógicas para la señal de peso (pin 2), de temperatura ambiente (pin 0) y temperatura de la recamara (pin 1), 2 entradas digitales para la señal de temperatura (pin 1) y humedad (pin 2) que nos proporciona el sensor DTH11, por ultimo una salida digita que es usada como salida PWM (pin 3) para controlar el accionamiento del actuador.
7. El sistema logro una reducción en el tiempo de secado 4 días (depende del clima) a 12 horas aproximadamente.
8. El horno mejoro control de humedad del grano en comparación del secado al aire libre.
9. Una reducción significativa de grano partido (arrocillo) durante el pilado.
10. Con un mejor secado se consiguió mayor tiempo de almacenamiento en silos o graneros.
11. Mayor ganancia a la hora de vender el producto.

RECOMENDACIONES

1. Para la simulación de la planta es necesario tener en cuenta que la mejor señal de prueba en MatLab es una Escalón.

2. La calibración de los sensores es una observación muy válida, ya que si uno de los sensores no está en el rango requerido no se obtendrán los datos reales.
3. Arduino es una tarjeta usada comúnmente y es muy común cometer errores en la programación, por lo general de validación de variables.
4. Labview es un software muy amigable, y es aconsejable ajustar las escalas de los indicadores de acuerdo al rango usado.

BIBLIOGRAFÍA

[1] FAO, (2012, Febrero). Secado de granos: natural, solar y a bajas temperaturas. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/x5058s/x5058S02.htm>

[2] FAO, (2012, Marzo). Manual de manejo poscosecha de granos a nivel rural. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/x5027s/x5027S05.HTM>

[3] FAO, (2012, Marzo). Secado de granos y secadoras. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/x5028s/X5028S01.htm#Prologo>

[4] FAO, (2012, Marzo). Secado de granos y secadoras. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/x5028s/X5028S01.htm#Prologo>

[5] M. Espinoza L. Diseño de una Secadora de Tandas Para Arroz Usando Como Combustible Cascarilla de Arroz. (1977, Enero).

[6] FAO. (2012, Septiembre). Manual de manejo poscosecha de granos a nivel rural. (1977, Enero).

ANEXOS

Páginas Web:

[1] R. Galeas. (2016, Enero 10). [Online]. Disponible en:
<https://drive.google.com/open?id=0B7LE93bX0FVjeU1SUDVsbkZYWUU>