



**Diseño e implementación de una tostadora automática de granos mediante la
caracterización y evaluación del comportamiento entre el controlador moderno Fuzzy y
el controlador clásico PID**

Taco Bonilla, Henry Salvador

Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología

Centro de Estudios de Posgrado

Maestría en Electrónica y Automatización mención Redes Industriales

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Magíster en Electrónica y

Automatización mención Redes Industriales

Ing. Pérez Gutiérrez, Milton Fabricio MSc.

Junio del 2023

Reporte de Verificación de Contenido

Document Information

Analyzed document	Tesis-Maestria-Henry Taco Bonilla.pdf (D171717036)
Submitted	2023-07-03 18:43:00
Submitted by	Juan Carlos Altamirano
Submitter email	jc.altamiranoc@uta.edu.ec
Similarity	3%
Analysis address	jc.altamiranoc.uta@analysis.orkund.com

Sources included in the report

W	URL: https://vulcanotec.com/maquinaria/tostadora-de-granos/ Fetched: 2023-07-03 18:45:00		1
W	URL: https://www.ecured.cu/Molienda#:~:text=A%20menor%20di%C3%A1metro%20de%20bolas,el%20di%C3%A1met... Fetched: 2023-07-03 18:43:00		1
W	URL: https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2020/12/sistemas-de-control-automatico-introduccion.html Fetched: 2023-07-03 18:44:00		1
SA	Tesis_Jorge_Gonzalez - copia.docx Document Tesis_Jorge_Gonzalez - copia.docx (D47934725)		1
W	URL: https://makinandovelez.wordpress.com/2018/02/15/sistemas-de-control-de-lazo-cerrado/ Fetched: 2023-07-03 18:45:00		1
W	URL: https://www.redalyc.org/pdf/2150/215037911010.pdf?fbclid=IwAR2DJ44vHdMR-0vj5cwV0__YWwRQDmE5uHd... Fetched: 2023-07-03 18:45:00		1
W	URL: https://simulaciondeprocesosudenar.wordpress.com/control-proporcional-integral-derivativo-pid-... Fetched: 2023-07-03 18:43:00		2
SA	UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO / MONOGRAFIA CHICAIZA ELVIS.pdf Document MONOGRAFIA CHICAIZA ELVIS.pdf (D156944137) Submitted by: jc.altamiranoc@uta.edu.ec Receiver: jc.altamiranoc.uta@analysis.orkund.com		1
SA	TEORICO FINAL TESIS DARIO.docx Document TEORICO FINAL TESIS DARIO.docx (D54456593)		1

//secure.orkund.com/view/184115573-285542-937653#f

1/23



Ing. Pérez Gutiérrez, Milton Fabricio MSc
Director
C.C.: 1802565711



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología
Centro de Posgrados**

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: **“Diseño e implementación de una tostadora automática de granos mediante la caracterización y evaluación del comportamiento entre el controlador moderno Fuzzy y el controlador clásico PID ”** fue realizado por el señor **Taco Bonilla, Henry Salvador**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 30 de junio de 2023

Firma:

Una firma manuscrita en tinta azul que parece ser la del Sr. Pérez Gutiérrez.

.....
Ing. Pérez Gutiérrez, Milton Fabricio MSc

Director

C.C.: 1802565711



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología
Centro de Posgrados

Responsabilidad de Autoría

Yo, **Taco Bonilla, Henry Salvador**; con cédula de ciudadanía n.º 020193749-7, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Diseño e implementación de una tostadora automática de granos mediante la caracterización y evaluación del comportamiento entre el controlador moderno Fuzzy y el controlador clásico PID”**, es de mí autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 30 de junio de 2023

Firma:


Taco Bonilla, Henry Salvador

C.C.: 0201937497

Dedicatoria

Este proyecto dedico primeramente a Dios por la fortaleza brindada, por no dejarme vencer en los momentos difíciles y por haberme permitido llegar hasta este instante en mi formación profesional para culminar con éxito esta etapa de mi vida.

En memoria de mis Abuelitas, aunque hoy no están aquí, viven por siempre en mi memoria y habitan en mis recuerdos. Agradecer a mi Madre y mi Padre por ser la guía que me orientaron a mirar siempre hacia adelante y no decaer.

Henry Salvador Taco Bonilla

Agradecimiento

*Gracias Dios, por darme la fuerza y constancia para el desarrollo de este proyecto,
culminando así una etapa más de mi vida*

*Expreso un sincero agradecimiento al Ingeniero Fabricio Pérez por su guía y apoyo para
culminar este proyecto, de igual manera agradezco a la microempresa Bonilla – Camino en
especial al Sr. Milton Bonilla propietario de la misma por la apertura brindada para realizar este
proyecto en sus instalaciones*

Henry Salvador Taco Bonilla

ÍNDICE DE CONTENIDO

Caratula	1
Reporte de Verificación de Contenido	2
Certificación	3
Responsabilidad de Autoría	4
Dedicatoria	5
Agradecimiento	6
Índice de Contenido	7
Índice de Tablas	12
Índice de Figuras	13
Resumen	18
Abstract	19
Capítulo I	20
Fundamento Teórico	20
Antecedentes	20
Líneas De Investigación	21
Área De Influencia	21
Planteamiento Del Problema	21
Objetivo General	22
<i>Objetivos Específicos</i>	22
Hipótesis de Investigación	23
Categorización de las Variables de Investigación	23

Capítulo II.....	24
Marco Conceptual.....	24
Procesamiento de Harinas.....	24
<i>Secado de Grano</i>	25
<i>Limpieza del Grano</i>	26
<i>Tostado</i>	27
<i>Enfriamiento de Todos los Granos</i>	27
<i>Molienda</i>	27
Máquina Tostadora de Granos.....	28
<i>Tostadora de Tambor</i>	28
Sistema de Control Automático.....	29
<i>Sistema de Control de Lazo Abierto</i>	29
<i>Sistema de Control de Lazo Cerrado</i>	30
Control Moderno Fuzzy.....	30
<i>Fuzzificación</i>	31
<i>Base del Conocimiento</i>	32
<i>Inferencia</i>	32
<i>Defuzzificación</i>	33
Control Clásico PID.....	33
Capítulo III.....	34
Diseño de Detalle.....	34

Diseño Sistema Mecánico.....	34
<i>Estructura Base.....</i>	<i>35</i>
<i>Tolva.....</i>	<i>43</i>
Sistema de Tueste.....	43
<i>Cilindro de Tueste.....</i>	<i>44</i>
<i>Cubierta de Tueste.....</i>	<i>46</i>
<i>Aislamiento Térmico.....</i>	<i>46</i>
<i>Quemador.....</i>	<i>49</i>
Sistema de Transmisión de Potencia.....	49
<i>Reducción de Velocidades.....</i>	<i>50</i>
<i>Longitud de Correas en V.....</i>	<i>53</i>
Diseño del Sistema de Control.....	55
<i>Transmisor de Temperatura.....</i>	<i>57</i>
<i>Válvula de Control de Flujo.....</i>	<i>60</i>
<i>Sistema de Bypass.....</i>	<i>60</i>
<i>Controlador de Temperatura.....</i>	<i>61</i>
Diseño Eléctrico y Electrónico.....	63
<i>Diseño Eléctrico de Potencia.....</i>	<i>64</i>
<i>Diseño Electrónico.....</i>	<i>68</i>
Capítulo IV.....	73
Construcción e Implementación.....	73

Construcción	73
<i>Estructura Base.....</i>	<i>74</i>
<i>Tolva.....</i>	<i>74</i>
<i>Cámara De Tueste.....</i>	<i>75</i>
Implementación.....	76
<i>Sistema de Transmisión de Potencia</i>	<i>76</i>
<i>Sistema de Bypass.....</i>	<i>78</i>
<i>Tablero de Control.....</i>	<i>79</i>
<i>Caja de Control Eléctrico y Electrónico.....</i>	<i>80</i>
<i>Implementación del transmisor de temperatura</i>	<i>80</i>
Sistema de Control	81
<i>Modelado matemático de la tostadora de granos</i>	<i>81</i>
<i>Control PID.....</i>	<i>85</i>
<i>Controlador Fuzzy.....</i>	<i>90</i>
Capítulo V	96
Pruebas y Análisis de Resultados.....	96
Pruebas Modo Manual	96
<i>Prueba de Ingreso de Grano</i>	<i>96</i>
<i>Prueba de Creación de la Flama.....</i>	<i>97</i>
<i>Prueba de Arranque</i>	<i>98</i>
<i>Prueba de RPM del Cilindro de Tueste.....</i>	<i>99</i>

<i>Prueba Salida de Grano</i>	100
Pruebas Modo Automático	101
<i>Modo Automático PID</i>	101
<i>Modo Automático Fuzzy</i>	106
Análisis entre Controladores	109
Validación de la Hipótesis	112
<i>Producción de quintales tostado</i>	113
<i>Pérdida en la producción de tostado</i>	114
<i>Costo de Producción Por Quintal</i>	115
Capítulo VI	117
Conclusiones	117
Recomendaciones	118
Proyectos Futuros	119
Bibliografía	120
Anexos	125

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Operacionalización de las Variables</i>	23
Tabla 2 <i>Criterio para esfuerzos de diseño</i>	40
Tabla 3 <i>Propiedades del acero ASTM A-36</i>	40
Tabla 4 <i>Longitud de bandas estándar 3V,5V y 8V en pulgadas</i>	55
Tabla 5 <i>Sensores de temperatura y sus características</i>	57
Tabla 6 <i>Termocuplas y sus características</i>	57
Tabla 7 <i>Termocuplas tipo k y sus características</i>	58
Tabla 8 <i>Elementos para la etapa de construcción</i>	73
Tabla 9 <i>Análisis comparativo entre el controlador PID y Control Fuzzy</i>	112
Tabla 10 <i>Producción de quintales tostados</i>	113
Tabla 11 <i>Pérdida de producción</i>	114
Tabla 12 <i>Costo producción por quintal</i>	115

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Proceso en harinas desde la recepción hasta la molienda</i>	24
Figura 2 <i>Recepción y almacenaje de los granos</i>	25
Figura 3 <i>Secado de trigo ancestral</i>	26
Figura 4 <i>Limpieza de maíz</i>	26
Figura 5 <i>Etapa de tostado de café</i>	27
Figura 6 <i>Molino eléctrico de granos</i>	28
Figura 7 <i>Tostadora de tambor</i>	29
Figura 8 <i>Diagrama de bloques de un sistema de control en lazo abierto</i>	29
Figura 9 <i>Control de lazo Cerrado de un caldero</i>	30
Figura 10 <i>Diagrama de Control Fuzzy</i>	31
Figura 11 <i>Funciones de membresías</i>	32
Figura 12 <i>Reglas difusas</i>	32
Figura 13 <i>Diagrama Control PID de tipo paralelo</i>	33
Figura 14 <i>Dimensiones cilindro tostador</i>	34
Figura 15 <i>Diagrama de Cuerpo Libre del Eje</i>	35
Figura 16 <i>Diagrama de Fuerzas y Momentos Flectores</i>	38
Figura 17 <i>Diagrama de Cuerpo Libre de la Base</i>	39
Figura 18 <i>Diagrama de Fuerzas y Momentos Flectores</i>	39
Figura 19 <i>Sección Transversal de la Base de la chumacera</i>	41
Figura 20 <i>Factor de seguridad</i>	42
Figura 21 <i>Estructura Base Modelo CAD</i>	42
Figura 22 <i>Tolva</i>	43
Figura 23 <i>Partes del Sistema de Tueste</i>	44
Figura 24 <i>Cilindro de tueste de acero Inoxidable AISI 304</i>	44
Figura 25 <i>Modelado CAD Cubierta de tueste</i>	46

Figura 26 <i>Rollo de lana de vidrio ECOROLL</i>	48
Figura 27 <i>Quemador</i>	49
Figura 28 <i>Motor Monofásico 220v</i>	50
Figura 29 <i>Sistema de Transmisión de Velocidades</i>	50
Figura 30 <i>Curva para Selección de Bandas</i>	53
Figura 31 <i>Distancia entre centros de la tostadora</i>	54
Figura 32 <i>Diagrama P&ID Proceso de tostado</i>	56
Figura 33 <i>Termocupla Tipo K (AC- C102a) Marca Camsco</i>	59
Figura 34 <i>Convertidor De Señal De Termocupla Tipo K A 4-20ma</i>	59
Figura 35 <i>Prototipo válvula controladora de flujo Modelamiento CAD</i>	60
Figura 36 <i>Diseños sistema Bypass CAD</i>	61
Figura 37 <i>PLC S7-1200</i>	61
Figura 38 <i>Diagrama de Flujo de Funcionamiento</i>	62
Figura 39 <i>Diagrama de Flujo de Tiempo de Tueste</i>	63
Figura 40 <i>Circuito de Potencia</i>	64
Figura 41 <i>Características eléctricas del motor monofásico de 3HP</i>	65
Figura 42 <i>Esquema de conexión motor monofásico</i>	65
Figura 43 <i>Relé térmico de Intensidad Regulable térmico de Intensidad Regulable</i>	67
Figura 44 <i>Calibre Cable corriente</i>	68
Figura 45 <i>Circuito de acondicionamiento transmisor</i>	69
Figura 46 <i>Simulación circuito de acondicionamiento transmisor-PLC</i>	70
Figura 47 <i>Placa arduino-acondicionada</i>	70
Figura 48 <i>Esquema de Entradas al PLC S7-1200</i>	71
Figura 49 <i>Esquema de Salidas del PLC S7-1200</i>	72
Figura 50 <i>Estructura de la base</i>	74
Figura 51 <i>Tolva</i>	74

Figura 52 <i>Cámara de tueste</i>	75
Figura 53 <i>Quemador</i>	76
Figura 54 <i>Componentes del Sistema de Transmisión de Potencia</i>	76
Figura 55 <i>Sistema de Transmisión de Potencia</i>	77
Figura 56 <i>Ensamble - Válvula reguladora de flujo</i>	78
Figura 57 <i>Ensamble- Sistema de Bypass</i>	79
Figura 58 <i>Tablero de Control</i>	79
Figura 59 <i>Caja de Control</i>	80
Figura 60 <i>Acondicionamiento de temperatura</i>	81
Figura 61 <i>Circuito de adquisición de datos</i>	82
Figura 62 <i>Base de datos de E/S</i>	83
Figura 63 <i>Importación de datos en el SystemIdentification</i>	84
Figura 64 <i>Estimación Función de Transferencia</i>	84
Figura 65 <i>Función de Transferencia</i>	85
Figura 66 <i>Circuito de bloques del controlador PID</i>	85
Figura 67 <i>Constantes del PID</i>	86
Figura 68 <i>Circuito PID con puertos de entradas</i>	86
Figura 69 <i>Creación Sub Sistema PID</i>	87
Figura 70 <i>Sub Sistema PID</i>	87
Figura 71 <i>Interfaz pestaña APPS</i>	88
Figura 72 <i>Selección PLC a trabajar</i>	88
Figura 73 <i>Secuencia de generación del código del PID de Matlab al PLC</i>	89
Figura 74 <i>Código PID de PLC Code en Tia-Portal</i>	89
Figura 75 <i>Programación TIA-Portal</i>	90
Figura 76 <i>Entorno Fuzzy Logic</i>	91
Figura 77 <i>Funciones de membresía</i>	91

Figura 78 Entorno editor de reglas.....	92
Figura 79 Sub Sistema FUZZY.....	92
Figura 80 Interfaz pestaña APPS.....	93
Figura 81 Selección PLC a trabajar.....	93
Figura 82 Generate PLC Code.....	94
Figura 83 Código Fuzzy de PLC Code en Tia-Portal.....	94
Figura 84 Programación TIA-Portal.....	95
Figura 85 Prueba-Ingreso del grano.....	97
Figura 86 Prueba-Ingreso del grano.....	97
Figura 87 Prueba arranque.....	98
Figura 88 Corriente nominal y de arranque.....	99
Figura 89 RPM Cilindro de Tueste Real.....	100
Figura 90 Salida del grano.....	101
Figura 91 Constantes del PID.....	102
Figura 92 Señales simuladas de la variable de proceso	103
Figura 93 Señales de la variable de proceso con perturbación.....	103
Figura 94 Señal real inicio de producción	104
Figura 95 Señal real a plena producción.....	105
Figura 96 Entorno de reglas	106
Figura 97 Señales simuladas de la variable de proceso	107
Figura 98 Señales de la variable de proceso con perturbación.....	107
Figura 99 Señal real inicio de producción	108
Figura 100 Señal real Fuzzy a plena producción.....	109
Figura 101 Señales Simuladas PID y Fuzzy.....	110
Figura 102 Señal real PID y Fuzzy.....	111
Figura 103 Cantidad de quintales tostados.....	113

Figura 104 <i>Pérdidas de quintales</i>	114
Figura 105 <i>Costos de producción</i>	115

Resumen

Debido a la gran demanda de harinas que presenta la microempresa Bonilla – Camino ubicada en la ciudad de Guaranda; y a las pérdidas producidas en el proceso de tostado al realizar el proceso mediante el alquiler de tostadoras manuales las cuales no llevan un control de temperatura ni tiempo de tueste.; nace la necesidad de contar con una tostadora automática de granos (maíz, habas y trigo). Para lo cual se realiza el diseño, construcción e implementación de la misma bajo la experticia y requerimientos de la microempresa. La principal característica de la tostadora es que cuenta con dos controladores de temperatura: Fuzzy y PID, ambos controladores se analizan y se comparan experimentalmente con la finalidad de seleccionar el controlador más óptimo para el proceso. El tiempo de tueste programado depende netamente del tipo de grano a tostar, adicionalmente se encuentra incorporado una sirena, la misma que se activa minutos antes de terminar el proceso de tostado. Finalmente, la implementación de la tostadora automática ha permitido mejorar la productividad de la microempresa en la elaboración de harinas en lo que va del año 2023, al aumentar la cantidad de quintales de granos tostados y reduciendo los costos de producción.

Palabras clave: Control Fuzzy, Control PID, Tostadora de Granos, Temperatura, Sistema de Control.

Abstract

Due to the great demand of flours that shows the microenterprise Bonilla - Camino located in Guaranda city; and to the losses produced in the toasting process when the process is made by renting manual toasters which don't have a temperature control nor roasting time; the necessity of count with an automatic grain toaster (corn, beans and wheat) is born. For that reason; the design, construction and implementation of then automatic grain toaster is made under the expertise and requirements of the microenterprise. The main characteristic of the toaster is that; it has two temperature controllers: Fuzzy and PID, both controllers are analyzed and compared experimentally with the purpose to select the most optimal controller for the process. The programmed roasting time depends clearly on the type of grain which is gonna be roasted; additionally, a siren is incorporated, which is activated minutes before the ending of the roasting process. Finally, the implementation of the automatic roaster has improved the productivity of the microenterprise in the production of flour during this year 2023, by increasing the amount of quintals of roasted grains and reducing production costs.

Key words: Fuzzy Control, PID Control, Grain Roaster, Temperature, Control System.

Capítulo I

Fundamento Teórico

Antecedentes

Según estudios realizados por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, y el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca en la provincia de Bolívar, al menos 36.500 hectáreas de la región están cubiertas por cultivos, considerado el principal ingreso económico de la zona con un promedio de 13.000 familias aproximadamente que se dedican a la siembra, cosecha y comercialización de granos como: habas, trigo, cebada, maíz, fréjol. (El Comercio, 2018)

Entre los trabajos desarrollados dentro de los últimos diez años con respecto al tema propuesto, se reseñan; “Diseño y construcción de una tostadora de maíz”, desarrollado por Cujilema y Sotomayor, (2010), los que manifiestan en su estudio realizado, que la producción nacional de maíz tiene una buena aceptación en el Ecuador, siendo los pequeños y medianos productores los que *constituyen* el 60% y 30% respectivamente de la producción nacional, por tal razón es evidente que sin tecnificación disminuyen sus ganancias, esto se debe a la falta de acceso de información capacitación y herramientas para este sector productivo.

En el proyecto, “Diseño de un tostador solar de granos para el sector rural”, elaborado por Pérez, Hadzich, Veynandt y Delcol, (2013), hacen referencia la producción del café tostado por medio de energía solar. Se hace una revisión de las pocas experiencias de esta forma de tostado. Se estudian los aspectos específicos de la torrefacción solar para las zonas rurales.

“Tostadora automática para granos de quinua mediante aire caliente”, desarrollado por Lupaca, (2019) este proyecto consiste en el diseño de una tostadora para 10 kg de granos de quinua por ciclo, mediante aire caliente. La ventaja propuesta radica en que los granos no están en contacto continuo con la superficie interna de la máquina; en este caso solamente se requiere aire ambiental como fluido para alcanzar la temperatura de tostado.

El proyecto desarrollado por Arciniega, (2014) cuyo tema “Máquina tostadora rotatoria de maní para la industria artesanal con sistemas semiautomático”, tiene como objetivo principal optimizar el proceso de tostado de maní en la industria artesanal; esto es desarrollado a través del uso de una máquina tostadora que a su vez permita el mejoramiento de la calidad del producto final y por ende brinde seguridad óptima para los usuarios.

Los autores antes mencionados muestran la importancia que una tostadora automatizada representa como beneficio en una industria, en este caso haciendo énfasis entre los pequeños y medianos productores; quienes son los que mayormente requieren de tecnificaciones en los procesos de su actividad productiva que son los granos.

Líneas De Investigación

- Automática y control
- Sistemas Electrónicos y Computacionales

Área De Influencia

- Producción alimenticia en la provincia de Bolívar.

Planteamiento Del Problema

El cantón Guaranda actualmente se encuentra con una demanda de harinas totalmente elevada tanto en su localidad como en la zona sierra centro del país, puesto que las harinas derivadas de los principales granos de producción maíz, trigo, y habas son la materia prima más requerida en varias actividades comerciales tales como panaderías, cafeterías, pastelerías, negocios de ventas de tortillas, chigüiles, buñuelos entre otros.

Para la elaboración del producto final que son las diferentes harinas; es necesario pasar por el proceso del tostado de granos. En la actualidad existen máquinas dedicadas a tostar granos industrialmente, sin embargo, en la provincia de Bolívar no existen grandes industrias molineras, motivo por el cual la mayoría de productores realizan este proceso artesanalmente.

Hoy en día se tuesta en hornos caseros o en tiestos de leña; estos métodos artesanales además de tostar poca cantidad de grano, generan un alto riesgo de sufrir quemaduras.

Actualmente, la microempresa de harinas Bonilla-Camino cuenta con una tostadora de granos artesanal debido a la gran demanda del producto. El proceso de tostado se lo realiza en la Fundación San Simón, dicho lugar dispone de una tostadora manual rotatoria que como fuente de energía calorífica utiliza GLP.

La Fundación se encuentra ubicada a media hora de la microempresa; además de generar gastos de transporte y logística se suman gastos por alquiler (consumo eléctrico) y cilindros de GLP. Adicionalmente la Fundación no cuenta con una persona que opere la máquina tostadora por lo que esta actividad la realiza un integrante de la microempresa.

Al problema de los gastos detallados anteriormente, se suma la máquina tostadora; la misma que no posee un sistema control de temperatura, generando que en ocasiones el grano tostado adquiera un color distinto y cambie su sabor; de tal manera que afecta a la calidad del producto final. El control de calidad se lo realiza con la ayuda de la experticia del trabajador.

Objetivo General

Diseñar e implementar una tostadora automática de granos para mejorar la productividad de harinas de la microempresa Bonilla -Camino mediante el análisis del comportamiento entre el controlador moderno Fuzzy y el controlador clásico PID.

Objetivos Específicos

- Investigar sobre las tostadoras automáticas de granos y su impacto en el mejoramiento de la producción de harinas.
- Analizar el proceso de tueste que realiza la microempresa con los diferentes granos.
- Diseñar y construir el sistema mecánico de la tostadora automática de granos en base al cilindro de tueste otorgado por la microempresa.
- Implementar el sistema eléctrico y de control al sistema mecánico.

- Analizar y evaluar el comportamiento de los controladores Fuzzy y PID durante el proceso de tueste.

Hipótesis de Investigación

La implementación de la tostadora automática de granos mejorará la producción de harinas en la microempresa Bonilla-Camino.

Categorización de las Variables de Investigación

En la hipótesis planteada se identifican dos variables:

Variable Independiente: Implementación de una tostadora automática de granos

Variable Dependiente: Mejorará la producción de harinas

La operacionalización de las variables se muestra en la siguiente tabla 1:

Tabla 1

Operacionalización de las Variables

VARIABLES	TIPO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Implementación de una tostadora automática de granos	Independiente	La puesta en operación de una máquina diseñada para realizar la cocción y pre cocción de diversos cereales, a través del tostado uniforme de cereales, cebada, trigo, avena habas, arvejas, quinua, maíz, etc.	La puesta en operación de la tostadora automática de granos para solventar la demanda de harinas y mejorar la productividad de la microempresa de harinas Bonilla-Camino.	-Tiempo de implementación (90 días) _Costos de implementación (\$2100) - Cantidad de grano a tostar (100 libras)	- Plazo de entrega de la tostadora automática de granos. - Reducción de costos de implementación - Cantidad de grano tostado mayor o igual a 100 libras
Mejorará la producción de harinas	Dependiente	La producción de harinas inicia con la selección del grano, limpieza, tueste, molienda, embace y distribución. La molienda consta, a su vez de 4 pasos: Trituración, Separación, Purificación, y compresión.	La producción de harinas en la microempresa inicia con la obtención de los granos (Maíz, Trigo, Haba, Cebada), posteriormente se procede a la limpieza, tueste, molienda, embace y distribución. Dependiendo del grano y la humedad, el tiempo de producción varía. Al generar un tiempo extendido los costos de producción aumentan. La limpieza es fundamental para la obtención de una harina libre de impurezas y de buena calidad.	- Cantidad de quintales de harina - Costo de producción	- Porcentaje de incremento de la cantidad de harina - Porcentaje de reducción de costos de producción.

Capítulo II

Marco Conceptual

Procesamiento de Harinas

La harina es considerada como un producto obtenido por la molienda gradual y sistémica de granos, tal es el caso de la soya, cebada, habas, maíz, trigo entre otros; dando como resultado extracciones de granos puros entre el 70 y 80%. El proceso de producción de harina también conocido como proceso de molienda cumple con las etapas de recepción de materia prima, clasificación y almacenamiento, secado y lavado del grano, cocción del grano (tostado), enfriamiento, molienda y finalmente almacenamiento (Molino Chabás S.A., 2014). La Figura 1, muestra el proceso que conlleva la elaboración de la harina.

Figura 1

Ciclo de producción de harina



. Recepción, Clasificación y Almacenaje de Materia Prima.

Una vez pesada la materia prima se recibe en la planta para ser colocados en sacos de quintales y puedan ser procesados; para almacenar la materia prima es importante determinar el porcentaje de humedad del grano, ya que este parámetro es esencial para el pago por la

materia prima. La Figura 2 muestra el proceso de la recepción del grano, lo pesan e inspeccionan minuciosamente el grano que llega lavado, seco y semi lavado. El grano no se puede almacenar a menos que esté con un porcentaje de humedad menor al 12%. (MORENO, 2017).

Figura 2

Recepción y almacenaje de los granos



Secado de Grano

Cuando los granos mantienen un nivel de humedad superior al 14 % se requiere de un procesamiento adicional; en el cual se deshidratan parcialmente mediante aireación artificial y/o sistemas de secado con aire caliente, gracias a esto los precios tienden a reducirse. Durante el proceso de secado del grano, la temperatura del aire no debe sobrepasar los 40-45 °C ya que un exceso aumentaría el número de grietas en el grano afectando la calidad del mismo. En el caso del maíz de textura dura es particularmente importante ya que se descascarilla o muele antes del procesamiento, dando paso a que se desperdicie el alimento. (ZAMORANO, 2016).

El proceso de secado se lo puede realizar artesanalmente aprovechando el sol como fuente de energía térmica, tal como se muestra en la Figura 3. También existen métodos industriales que utilizan secadores de grano que funcionan con gas licuado de petróleo como fuente de energía térmica.

Figura 3*Secado de trigo ancestral*

Nota. Secado de granos de maíz en una lona bajo en una granja, por (Golden, 2015)

Limpieza del Grano

Esta etapa tiene como objetivo reducir o eliminar impurezas del grano como piedras, plumas, paja, o metal. (MORENO, 2017) en la mayoría de las pequeñas empresas; esto se lo realiza directamente en el área de producción en sitio, y de manera manual bajo la experticia del personal a cargo como se muestra en la Figura 4.

Figura 4*Limpieza de maíz*

Nota. Limpieza de maíz, tradición ancestral en comunidades, por Sandoval, (2019).

Tostado

Se considera al tostado como la principal etapa a realizarse en el procesamiento de la harina; el mismo que se basa en un tratamiento térmico aplicado a los granos con el fin de obtener un producto quebradizo que se muele fácilmente a temperaturas superiores a los 250 grados centígrados. Como se muestra en la Figura 5, ocurren muchos cambios durante el proceso de tueste.

Figura 5

Etapa del tostado de café



Nota. El proceso de tostado del café. Tomado de Bocca Della Verita, (2019).

Durante la etapa de tostado ocurren varias modificaciones a nivel celular; dentro de las cuales tenemos la pérdida de peso, aumento de volumen, aroma, color del grano, superficie del grano, densidad aparente y porosidad del grano (Zapata & Tamayo , 2015).

Enfriamiento de Todos los Granos

Los granos tratados térmicamente son colocados en un carro de acero inoxidable para eliminar el calor, los mismos que son trasladados al área de enfriamiento en el cual se tiende el grano durante un periodo de tres a ocho horas a temperatura ambiente para su posterior utilización (MORENO, 2017).

Molienda

La molienda es una operación que busca reducir el volumen promedio de partículas de una muestra sólida utilizando una especie de molinillo especial. La Figura 6 muestra el ejemplo

de un molinillo. Los métodos de estampación más comunes en las máquinas rectificadoras son los siguientes: compresión, impacto, fricción de cizallamiento y cizallamiento. (EcuRed, 2012).

Figura 6

Molino eléctrico de granos



Nota. Molinos eléctricos para harinas. Tomado de Villen, (2013).

Para (Lozada, 2013) la molienda se lleva a cabo al destruir el grano, siempre y cuando se respete la cáscara o envoltura y pulverizando la harina.

Máquina Tostadora de Granos

Es una máquina diseñada específicamente para realizar el pre cocción y cocción de diversos cereales tales como, maíz, cebada, trigo, habas, avena, arvejas, ajonjolí, café etc. que se lo realiza por medio de un tostado uniforme. Las máquinas tostadoras se clasifican en: tostadores de tambor, tostadores de convección y lecho fluido. (Vulcanotec, 2023)

Tostadora de Tambor

Se basa en un tambor giratorio en donde los granos pueden ser fácilmente tostados gracias al quemador que se localiza en la parte inferior mientras el tambor permanece en rotación con la ayuda de un motor. Esta máquina ha sido diseñada con el fin de obtener un correcto tostado granos, de tal manera que se obtiene un producto sumamente uniforme (Arciniega J. , 2016), la Figura 7 muestra un ejemplo de tostadora rotatoria.

Figura 7

Tostadora de tambor



Nota. Máquina tostadora de nueces UD-650. Tomado de *Aliexpress, por* (Yudo, 2015)

Sistema de Control Automático

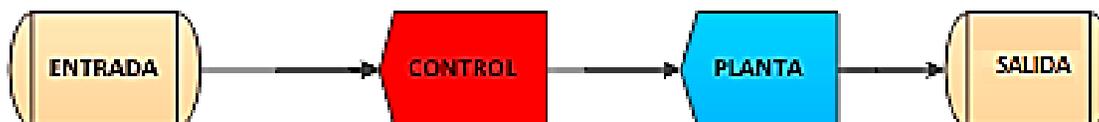
Son conjuntos de herramientas y técnicas capaces de conservar una variable física o cantidad medible en un valor determinado. Para ello, se vale de una medición instantánea de la variable a controlar y de una comparación con un valor patrón o de referencia, para que, de esta manera, se pueda reducir o aumentar el valor de la variable medida mediante una acción correctiva por medio de un actuador (EMAC Industrial Solutions and Services S.A , 2021). Los sistemas de control se clasifican en: Sistema de control de lazo cerrado y Sistema de control de lazo abierto.

Sistema de Control de Lazo Abierto

También conocido como sistema de control no realimentado, no poseen entradas de realimentación. Lo que conlleva a que la salida no sea afectada por la señal de entrada. (IQR, 2020). La Figura 8 muestra el diagrama de bloques de un sistema de control en lazo abierto.

Figura 8

Diagrama de bloques de un sistema de control en lazo abierto



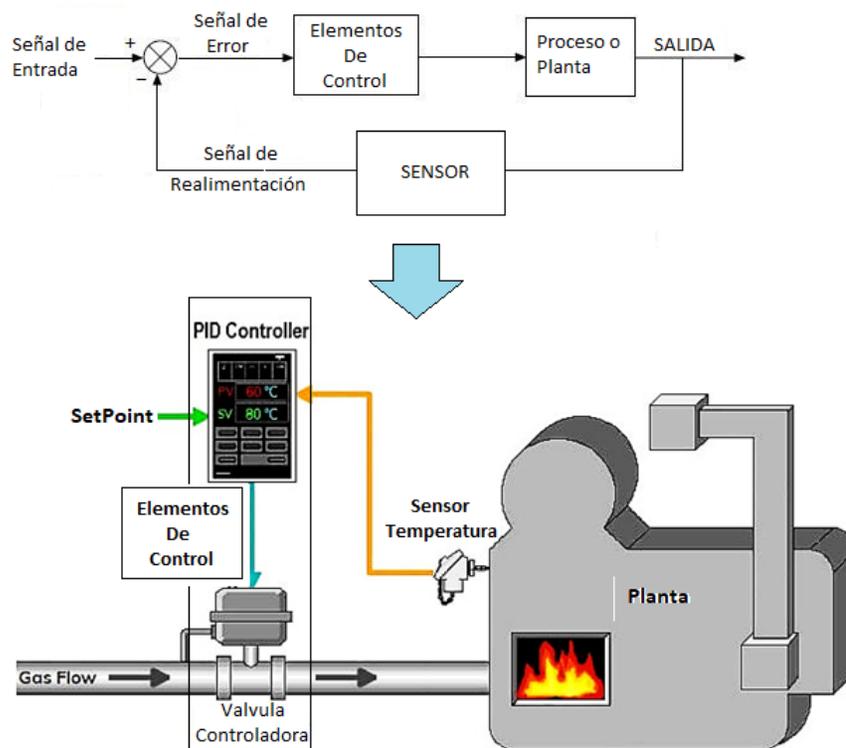
Nota. Sistema de control en lazo abierto. Tomado de (Toledano, 2019)

Sistema de Control de Lazo Cerrado

Conocido también como sistema de control realimentado; para la cual la realimentación la produce la señal de salida y tiene efecto sobre la acción de control constantemente. La Figura 9, muestra el control de un proceso de temperatura de lazo cerrado. La señal de salida, además de ser la propia salida, es utilizada como una de las entradas del sistema. (Véles, 2018)

Figura 9

Control de lazo Cerrado de un caldero



Nota. Control de lazo Cerrado de un caldero. Adaptado de (Industrial-, 2020)

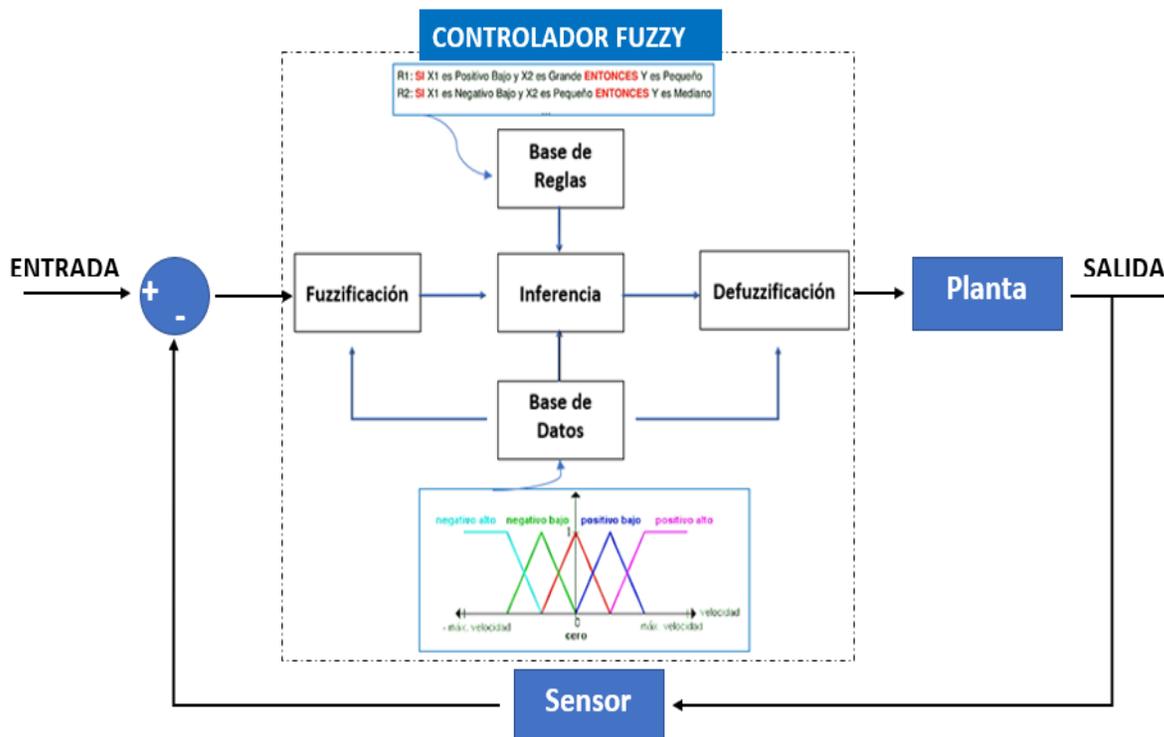
Control Moderno Fuzzy

De acuerdo con Rivero López (2015), el control difuso o Fuzzy es una de las estrategias de control inteligente más implementadas. Permite definir funciones de control mediante conjuntos de reglas, lo que posibilita de forma relativamente simple el conocimiento de los

expertos en supervisión y control de procesos, algo particularmente útil en aplicaciones en plantas difíciles de modelar matemáticamente. La Figura 10, muestra el diagrama general de un controlador Fuzzy.

Figura 10

Diagrama de Control Fuzzy:



Nota. Adaptado de Estructura Básica del control Fuzzy, por (ULE, 2021)

También Tibaduiza et al. (2011), mencionan que: "El control difuso es una técnica que se encuentra agrupada bajo el esquema de los sistemas expertos, y su popularidad se basa en la dificultad (o imposibilidad) de modelar algunos sistemas a través de ecuaciones matemáticas".

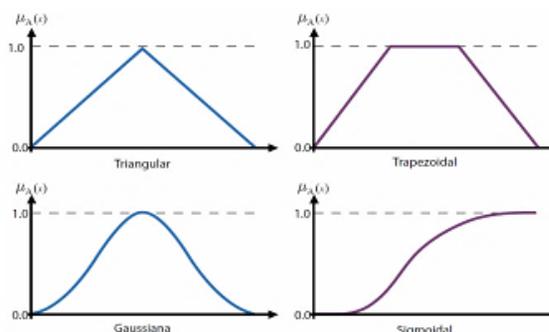
Fuzzificación

Es un proceso que conlleva a la conversión de datos medidos del mundo real a un valor lingüístico en el mundo de la lógica difusa utilizando las funciones de membrecía de las variables lingüísticas para calcular el grado de pertenencia (grado de verdad), la Figura 11

muestra las funciones de membresía más utilizadas. (Bojórquez Delgado & Bojórquez Delgado, 2014).

Figura 11

Funciones de membresías.



Nota. Funciones de membresía comúnmente utilizadas, tomado de (Valenzuela Hernández & Montoya Giraldo, 2013)

Base del Conocimiento

Conocida también como base de reglas y es considerado como el corazón del sistema difuso, debido a que en ella se tienen los valores posibles de las variables de entrada para concluir con la acción a efectuar a la salida, en términos lingüísticos de funcionamiento, como podemos ver en la Figura 12. (Tremante & Brea, 2014)

Figura 12

Reglas difusas

1. If (sensor is muy-bajo) then (PWM is V-max-max) (1)
2. If (sensor is bajo) then (PWM is V-max) (1)
3. If (sensor is medio) then (PWM is V-max) (1)
4. If (sensor is alto) then (PWM is V-medio) (1)
5. If (sensor is muy-alto) then (PWM is V-medio) (1)

Inferencia

La función básica de la inferencia es calcular el valor total de la variable de salida de control a partir de la contribución individual de cada regla en la base de reglas. La inferencia

puede verse matemáticamente como un esquema de interpolación no lineal, ya que permite la fusión de la información de múltiples reglas en una conclusión única. (Tellez, 2020)

Defuzzificación

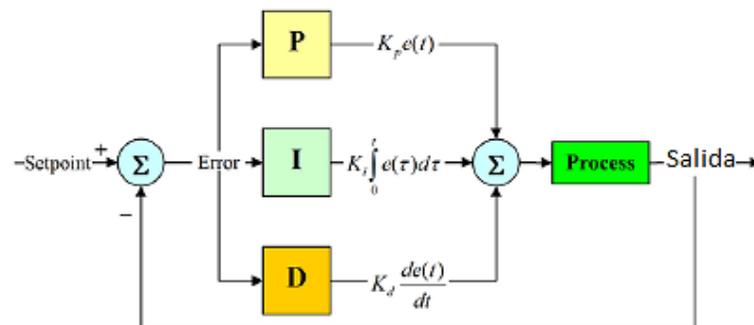
Es el proceso que convierte los valores difusos de las variables de salida en valores concretos (numéricos). En el sistema difuso de tipo Mamdani, el método de Defuzzificación más popular es el centroide, el cual retorna al centro de un área bajo la curva. (Esponda, 2018)

Control Clásico PID

Controlador que utiliza un circuito de retroalimentación y se encarga del cálculo de la diferencia existente entre la variable real versus la variable deseada (SetPoint). El algoritmo de control presenta tres parámetros fundamentales: Ganancia proporcional (P), Integral (I) y Derivativo, siendo el control PID en paralelo el más utilizado tal como se aprecia en la Figura 13. (Franklin Electric, 2022)

Figura 13

Diagrama Control PID de tipo paralelo



El valor proporcional determina la respuesta del error actual. La integración produce una corrección proporcional a la integración del error, por lo que el error de desajuste se reduce a cero cuando se aplica un control suficiente. La derivada determina el tiempo de reacción en el que se produce un error. (Araujo, 2011)

Capítulo III

Diseño de Detalle

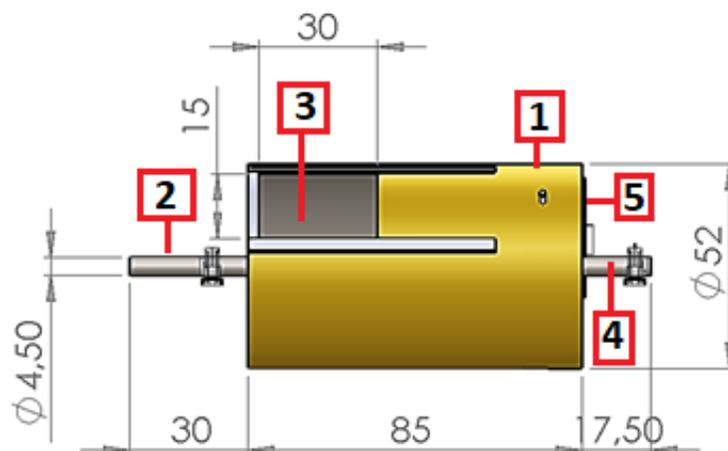
La Microempresa Bonilla Camino mediante su experticia de trabajo sugiere que el diseño de la tostadora automática de granos debe contar con los siguientes sistemas: sistema mecánico, sistema de tueste, sistema de transmisión de potencia y un sistema de control; es por ello que la microempresa ha otorgado los siguientes elementos: cilindro de tueste, motor monofásico y un PLC, mismos elementos que se ha tomado como referencia para el diseño de los sistemas mencionados. Cabe señalar que la microempresa hace énfasis en la implementación de un modo manual y modo automático en el sistema de control.

Diseño Sistema Mecánico

El sistema mecánico está conformado por la estructura base y la tolva, dichos elementos son diseñados a partir de las dimensiones del cilindro de tueste: longitud y diámetro del cilindro, diámetro de los ejes, longitud de los ejes, medida de las compuertas de ingreso del grano y salida del grano, como se aprecia en la Figura 14.

Figura 14

Dimensiones cilindro tostador



Nota. 1. Cilindro, 2. Eje de trasmisión. 3. Compuerta de ingreso de grano, 4. Eje de apoyo, 5. Compuerta de salida de grano.

La estructura base y la tolva se diseñan partiendo del tercer criterio de diseño establecido por Robert Mott, el cual determina la forma y dimensiones de los componentes basándose en la carga y el material seleccionado, por la poca variedad del tipo material mecánico estructural en el mercado ecuatoriano; se ha selecciona el material Acero ASTM A36, ya que es el material con mayor comercialización en el mercado nacional.

Estructura Base.

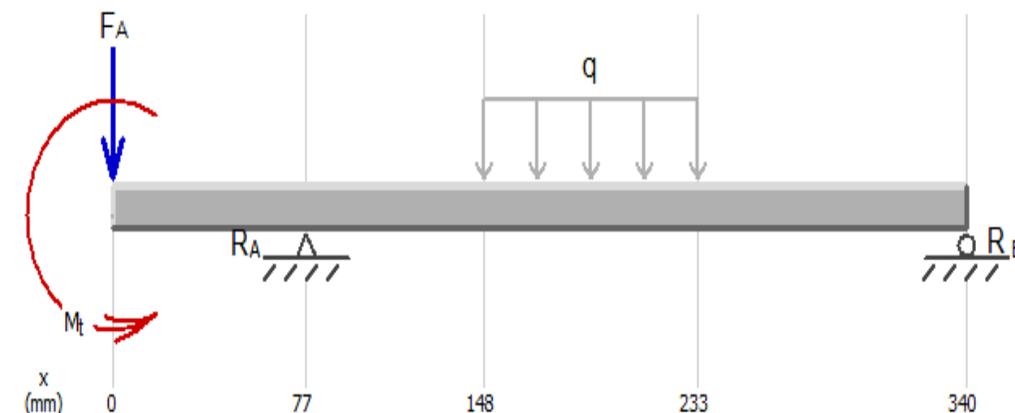
Es la encargada de soportar el peso de todos los elementos que constituye la máquina tostadora, incluido el grano a tostar.

El cilindro de tueste al ser de tipo giratorio cuyo eje de transmisión tiene que estar sujeto a dos chumaceras para cumplir con el movimiento de giro, tienen que estar apoyadas fijamente sobre dos vigas, siendo estas vigas los principales elementos de diseño de la estructura base, ya que soporta la mayor cantidad de esfuerzos de la máquina. Para determinar las dimensiones de la viga de la estructura se realiza: el cálculo de las reacciones en el eje del cilindro.

Reacciones en el Eje de Transmisión de Cilindro. En el eje de transmisión se encuentra presente la fuerza distribuida del cilindro con los diferentes granos a tostar, como también reacciones de las chumaceras y fuerza tangencial de los engranes. En la Figura 15, se muestra las cargas a lo largo del eje.

Figura 15

Diagrama de Cuerpo Libre del Eje



Dónde:

F_A = Fuerza motriz (N)

R_A = Reacción en el Rodamiento A (N)

R_B = Reacción en el Rodamiento B (N)

q = Carga Distribuida (N/m)

M_t = Momento Torsor (N * m)

Peso Total del Cilindro de Tueste. Para calcular la carga distribuida que ejerce el cilindro de tueste, se utiliza la ecuación 1.

$$q = \delta_{\text{granos}} * A_{\text{cil}} + \frac{m}{L} \quad \text{Ecuación 1}$$

Dónde:

q = Carga distribuida (N/m)

δ_{granos} = Densidad del maíz (kg/m^3)

A_{cil} = Área del cilindro (m^2)

m = masa del maíz (kg)

L = longitud del tambor (m)

$$q = \delta_{\text{granos}} * \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) + \frac{m}{L}$$

$$q = 780 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{\pi}{4} ((0.52\text{m})^2 - (0.48\text{m})^2) + \frac{100\text{kg}}{0.85\text{m}}$$

$$q = 780 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.0314\text{m}^2 + 117.64 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$q = 142.15 \frac{\text{kg}}{\text{m}} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$q = 1395 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Momento Torsor. Para calcular el momento torsor se utiliza la velocidad angular y la potencia del motor, expresada en la ecuación 2.

$$M_t = \frac{P_M}{\omega} \quad \text{Ecuación 2}$$

Dónde:

M_t = Momento torsor (N/m)

P_M = Potencia del motor (W)

ω = velocidad angular (rad/s)

Datos:

$P_M = 3\text{hp} = 2237 \text{ (W)}$

$\omega = 29 \text{ rpm} = 3 \text{ rad/s}$

$$M_t = \frac{2237 \text{ W}}{3 \text{ rad/s}}$$

$$M_t = 746 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Fuerza Motriz. La fuerza motriz es perpendicular al eje del cilindro de tueste y su valor se calcula mediante la ecuación 3.

$$F_A = \frac{4M_t}{d_e} \quad \text{Ecuación 3}$$

Dónde:

F_A = Fuerza transmitida por los engranes (N)

M_t = Momento torsor (N/m)

d_e = diámetro del engrane (m)

Datos:

$M_t = 746 \text{ N/m}$

$d_e = 54 \text{ in} = 1.37 \text{ m}$

$$F_A = \frac{4(746 \text{ N/m})}{1.37 \text{ m}}$$

$$F_A = 2178 \text{ N}$$

En la Figura 16, se indica el diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores obtenidos en el Software MD Solid, cuyos valores son:

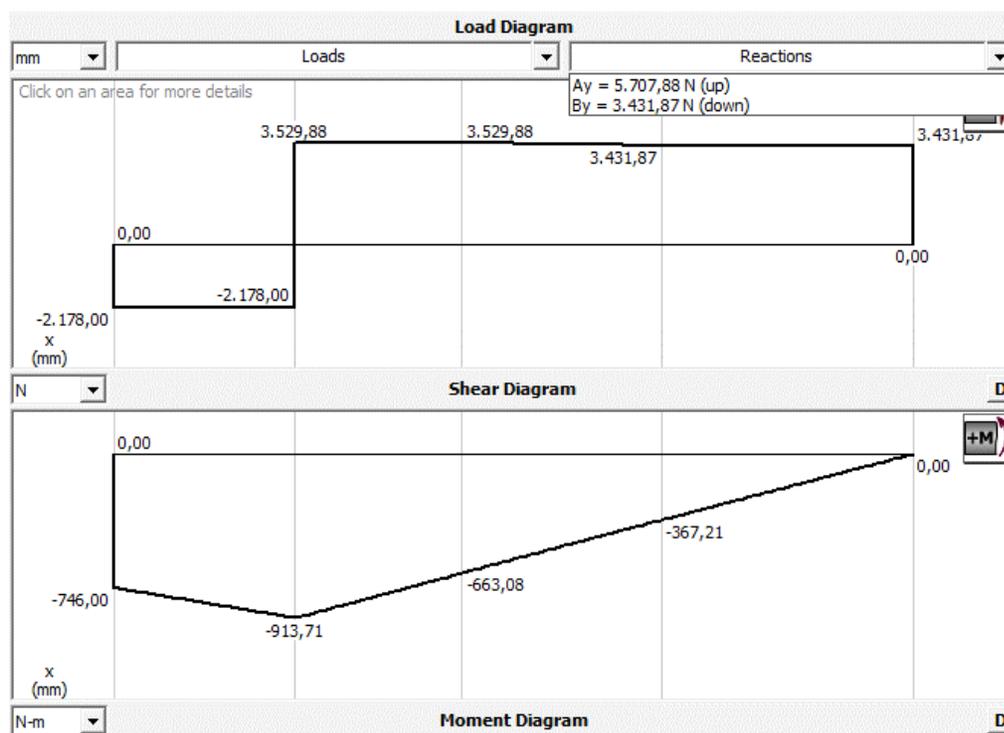
$$R_A = 5708 \text{ N}$$

$$R_B = 3432 \text{ N}$$

$$M_{\text{máx}} = 913 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Figura 16

Diagrama de Fuerzas y Momentos Flectores

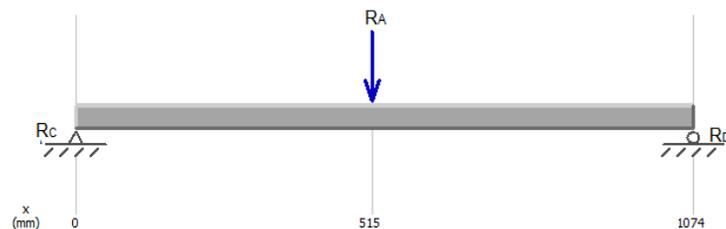


Nota. La imagen representa el diagrama de fuerzas y momentos flectores.

Partiendo del valor de la Fuerza del rodamiento $R_A = 5708 \text{ N}$, se realiza el diseño de la base. En la Figura 17, se indica el diagrama de cuerpo libre del eje de la viga que soporta la chumacera, en donde se observa la fuerza aplicada y las reacciones que estas ejercen.

Figura 17

Diagrama de Cuerpo Libre de la Base



Nota. El gráfico representa el diagrama de cuerpo libre de la estructura que soporta el cilindro.

En la Figura 18, se indica el diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores obtenidos en el Software MD Solid, cuyos valores son:

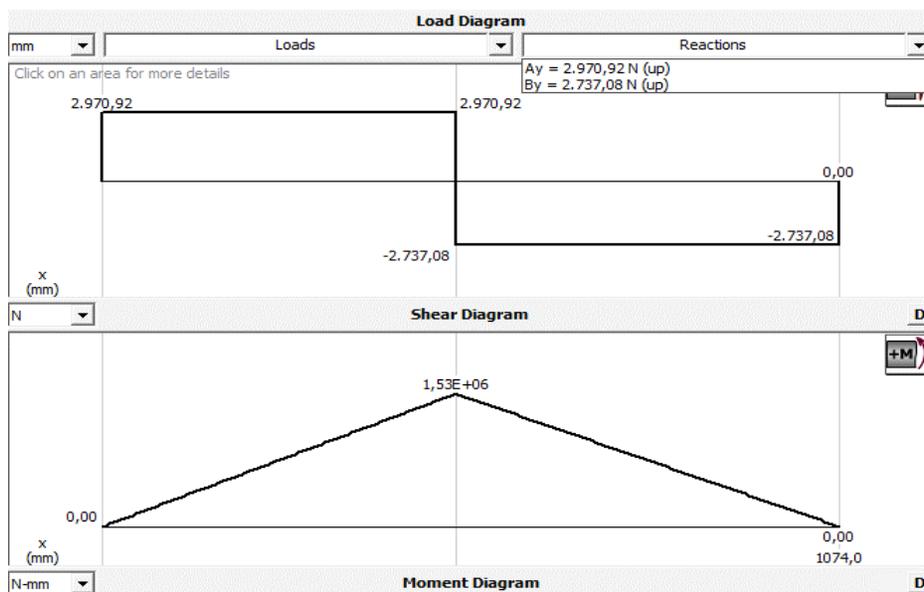
$$R_C = 2970 \text{ N}$$

$$R_D = 2737 \text{ N}$$

$$M_{\text{máx}} = 1.53 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Figura 18

Diagrama de Fuerzas y Momentos Flectores



Nota. La figura muestra el Diagrama de fuerzas y momentos flectores

La Tabla 2 indica el factor de diseño dependiendo la forma de carga y el tipo de material, para lo cual se considera que la fuerza ejercida en el rodamiento A es una carga estática y cuyo material es dúctil.

Tabla 2

Criterio para esfuerzos de diseño

Forma de la carga	Material dúctil	Material frágil
Estática	$\sigma_d = \frac{S_y}{N} = \frac{S_y}{2}$	$\sigma_d = \frac{S_u}{6}$

Nota. La tabla es una adaptación del Criterio de esfuerzos, por Mott, (2006).

Otro dato importante es conocer las propiedades que tiene el acero, es por ello que se emplea la resistencia a la cedencia de la Tabla 3.

Tabla 3

Propiedades del acero ASTM A-36

Material	Resistencia última (S_u)	Resistencia cedencia (s_y)	% de alargamiento
A-36. Perfiles, placas y barras	400 MPa	248 MPa	21

Nota. La tabla es una adaptación de las propiedades del Acero, por Mott, (2006).

La ecuación 4 representa el factor de diseño, se considera que $S_y = 248$ [MPa].

$$\sigma_d = \frac{S_y}{2} \quad \text{Ecuación 4}$$

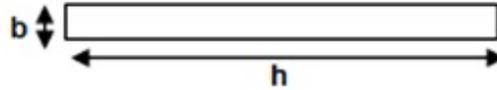
$$\sigma_d = \frac{248 \text{ [MPa]}}{2}$$

$$\sigma_d = 124 \text{ [MPa]}$$

En la Figura 19 se identifica el momento flector máximo $M_{m\acute{a}x} = 1.53 \times 10^6$ [N * mm], además las dimensiones de la viga son $h = 864$ mm, $b = 65$ mm, se reemplaza en la ecuación 11 del módulo de sección.

Figura 19

Sección Transversal de la Base de la chumacera



Nota. La figura muestra la sección transversal de la base de la chumacera.

$$S = \frac{h * b^2}{6} \quad \text{Ecuación 5}$$

Dónde:

S = Sección transversal

h = altura

b = base

$$S = \frac{(864)(65 \text{ mm})^2}{6}$$

$$S = 608400 [\text{mm}^3]$$

Una vez obtenido el valor de la sección transversal, se reemplaza el resultado en la ecuación 6, para obtener el esfuerzo máximo.

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{S} \quad \text{Ecuación 6}$$

$$\sigma = \frac{1.53 \times 10^6 [\text{N} * \text{mm}]}{608400 [\text{mm}^3]}$$

$$\sigma = 2.53 \times 10^{-3} [\text{MPa}]$$

El diseño es seguro cuando cumple con la condición, donde se muestra que el esfuerzo calculado es menor al esfuerzo de diseño.

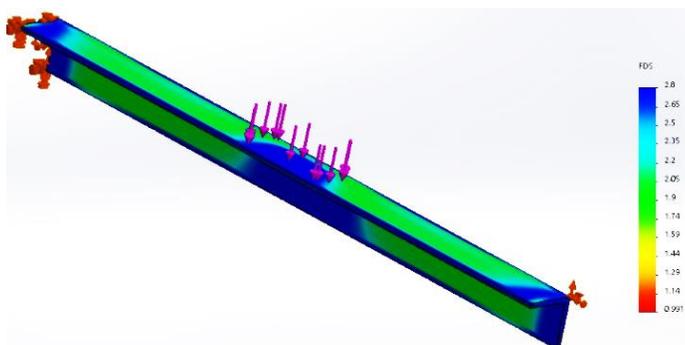
$$\sigma < \sigma_d$$

$$2.53 \times 10^{-3} [\text{MPa}] < 124 [\text{MPa}]$$

En la Figura 20, se visualiza el comportamiento del diseño al estar sometido a una fuerza de 2970 N, con la utilización de un Software CAD (SolidWorks para estudiantes) se observa que el factor de seguridad igual a 2,65 obteniendo refleja que es un diseño seguro.

Figura 20

Factor de seguridad

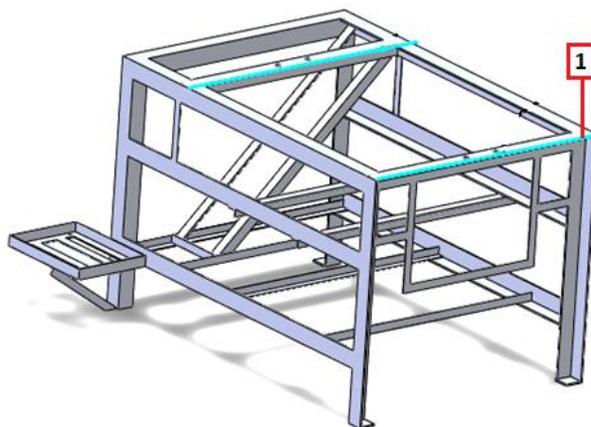


Nota. Simulación de esfuerzos – verificación factor de seguridad.

En base a la viga generada por el diseño estructural y las medidas del cilindro de tueste se establece el diseño final de la estructura base como se aprecia en la Figura 21. Las medidas de la base estructural se aprecian en el plano propuesto en el Anexo A.

Figura 21

Estructura Base Modelo CAD



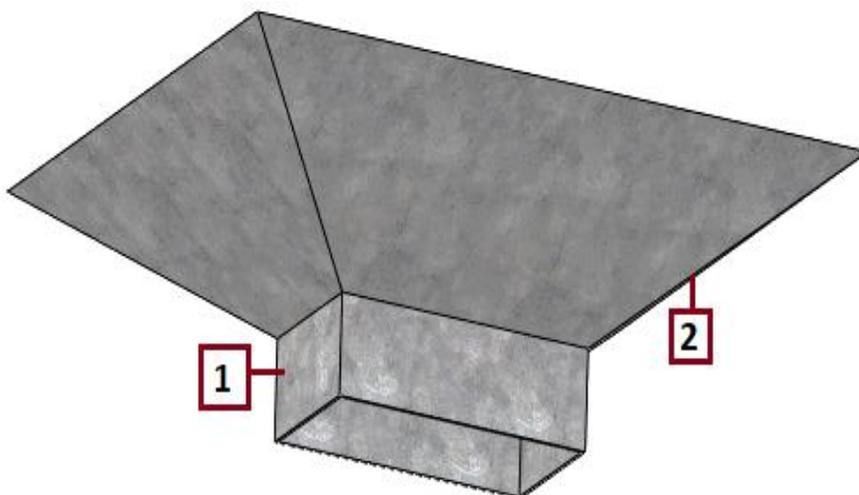
Nota. 1. Vigas diseñadas, sirven como soporte de las chumaceras del cilindro de tueste

Tolva

Partiendo de las dimensiones del orificio de ingreso de grano del cilindro de tueste, expuesta en la Figura 14: se diseña el cuello de ingreso y la boca exterior de la tolva, mediante las operaciones de diseño “recubrimiento y vaciado”, el material seleccionado para la elaboración de la tolva es acero galvanizado. La Figura 22 muestra el modelo CAD de la tolva, la altura de la tolva se determinó con referencia del operario de la microempresa adicionalmente por cuestiones de limpieza y mantenimiento es un diseño removible.

Figura 22

Tolva Modelo CAD



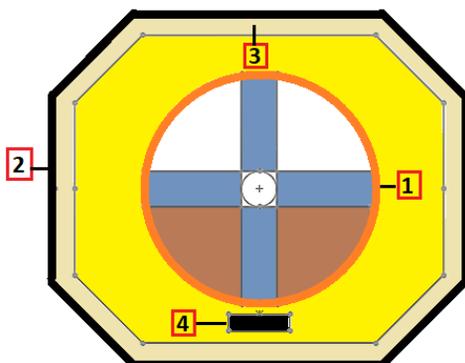
Nota. 1. Cuello de ingreso, 2. Boca exterior. El plano de la tolva se aprecia en el Anexo B.

Sistema de Tueste

Es el encargado de generar y aislar la temperatura para el proceso de tostado. El sistema está constituido por el cilindro de tueste, aislante térmico, cubierta de tueste, y el quemador. El aislante térmico se selecciona principalmente por el rango de temperatura a tostar, por otra parte, la cubierta es diseñada a partir de las dimensiones del cilindro de tueste y finalmente el diseño del quemador se basa en la longitud del cilindro. La Figura 23 muestra los principales partes del sistema de tueste.

Figura 23

Partes del Sistema de Tueste



Nota. 1. Cilindro de tueste, 2. Cubierta de tueste, 3. Aislante térmico, 4. Quemador

Cilindro de Tueste

El cilindro de tueste otorgado por la microempresa es de segunda mano, por el uso constante y el paso del tiempo presenta oxidación en algunas partes, las mismas que fueron debidamente tratadas, para su correcta utilización. El material que se encuentra fabricado es acero inoxidable AISI 304, la principal característica es que posee una buena resistencia al calor y a la corrosión, es por ello que es ideal para trabajar en temperaturas altas. La Figura 24 muestra el cilindro de tueste otorgado por la microempresa.

Figura 24

Cilindro de tueste de acero Inoxidable AISI 304



Volumen de Tueste. Partiendo del volumen del cilindro de tueste se procede a calcular la cantidad de grano recomendable a tostar, con la finalidad de obtener un tostado uniforme.

$$V_{\text{cilindro}} = \pi r^2 h \quad \text{Ecuación 7}$$

Dónde:

V_{cilindro} = Volumen del cilindro tueste

r = radio del cilindro

h = Altura del cilindro

Datos:

r = 26 cm = 0.26 m

h = 85cm = 0.85 m

$$V_{\text{cilindro}} = \pi r^2 h$$

$$V_{\text{cilindro}} = \pi * (0.26m)^2 * 0.85m$$

$$V_{\text{cilindro}} = 0.18m^3$$

Los granos deben ocupar como máximo la mitad del volumen del cilindro de tueste, para obtener un tostado uniforme.

$$V_{\text{cilindro_recomendado}} = (0.18m^3)/2$$

$$V_{\text{cilindro_recomendado}} = 0.09m^3$$

$$V_{\text{cilindro}} = \pi r^2 h \quad \text{Ecuación 8}$$

$$\rho_{\text{maiz}} = \frac{\text{Masa}}{V_{\text{cilindro_recomendado}}}$$

$$\text{Masa} = \rho_{\text{maiz}} * V_{\text{cilindro_recomendado}}$$

$$\text{Masa} = 700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.09m^3$$

$$\text{Masa} = 63 \text{ kg} \rightarrow \text{Masa} = 138,6 \text{ Lb}$$

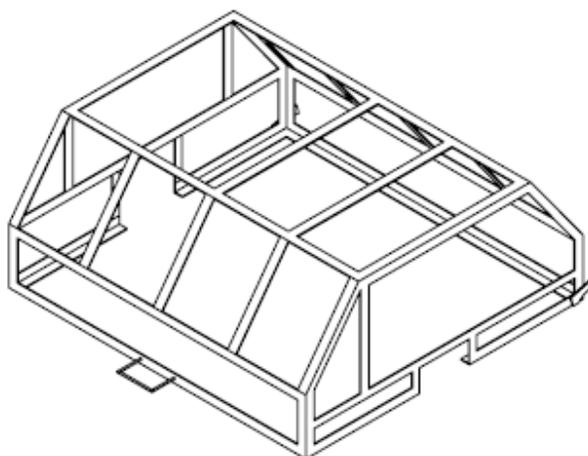
La cantidad recomendable para tostar maíz es de **100 Lb** que equivale a 1 quintal.

Cubierta de Tueste.

Es la encargada de crear la cámara de combustión y su principal objetivo es de transferir uniformemente el calor del quemador al cilindro de tueste lo realiza por el encapsulamiento de calor por parte de las paredes de la cubierta, para lo cual se optó por un diseño de tipo hexagonal las dimensiones de la cubierta de tueste se pueden apreciar en el Anexo C. La Figura 25 muestra el diseño de la cubierta de tueste en su forma estructural.

Figura 25

Modelado CAD cubierta de tueste



Aislamiento Térmico.

Tiene la finalidad de reducir las pérdidas presentes por la transferencia de calor y a su vez mantener el calor proveniente de los quemadores dentro de la cámara de combustión.

Para realizar el recubrimiento de la cámara de combustión se selecciona como aislante térmico lana de vidrio cuyas principales características son: excelente protección contra el fuego, representa una solución económica, efectiva protección contra la corrosión de acero, es fácil de manipular e instalar y su aplicación es ideal para hornos con una temperatura máxima de 300°C.

Espesor del Aislante Térmico. Se analiza las paredes que conforma la cubierta de tueste, expuesta en la Figura 24.

En la ecuación 9 se determina la resistencia de cada una de las paredes.

$$R_x = \frac{e_x}{k_x} \quad \text{Ecuación 9}$$

R_x = resistencia térmica

e_x = espesor de las capas

k_x = conductividad térmica del material

Se conoce que el espesor de la pared del cilindro es 4mm y 3mm de la estructura que cubre el cilindro, la conductividad térmica para el acero inoxidable AISI 304 es $21 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$ y la conductividad de la lana de vidrio es $0.046 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$ según (Isover, 2020).

Dónde:

R_a = Resistencia por conducción pared exterior

R_b = Resistencia por conducción aislante térmico

R_c = Resistencia por conducción pared interior

$$R_a = \frac{3 \times 10^{-3} \text{ m}}{21 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]}$$

$$R_a = 1.42 \times 10^{-4} \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}$$

$$R_b = \frac{x}{0.046 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]}$$

$$R_b = 21.74x \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}$$

$$R_c = 1.90 \times 10^{-4} \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}$$

Se calcula el espesor del material aislante a partir de la resistencia total existente en la pared de la tostadora, con la ecuación 10.

$$q_{\text{perdi}} = \frac{T_1 - T_\infty}{R_t} \quad \text{Ecuación 10}$$

Dónde:

q_{perdi} = calor perdido de los alrededores

T_1 = temperatura dentro de la cámara de calentamiento

T_{∞} = temperatura exterior de la cámara de calentamiento

R_t = Resistencia total= $R_a + R_b + R_c$

$$R_t = 1.42 \times 10^{-4} + 21.74X + 1.90 \times 10^{-4}$$

$$40W = \frac{310^{\circ}\text{C} - 50^{\circ}\text{C}}{1.42 \times 10^{-4} + 21.74X + 1.90 \times 10^{-4}}$$

$$40W = \frac{260^{\circ}\text{C}}{3.32 \times 10^{-4} + 21.74X}$$

$$0.01328 + 869.6x = 260$$

$$x = \mathbf{0.2989m}$$

Una vez determinado el espesor mínimo del aislante térmico se selecciona la “Lana de vidrio de la marca Craft Guardian”, la misma que posee las siguientes dimensiones: Ancho 38.1 cm, Largo 10 m y Espesor 8.9 cm, la Figura 26 muestra el rollo comercial de lana de vidrio. El Anexo D muestra la ficha técnica de la lana de vidrio.

Figura 26

Rollo de lana de vidrio ECOROLL

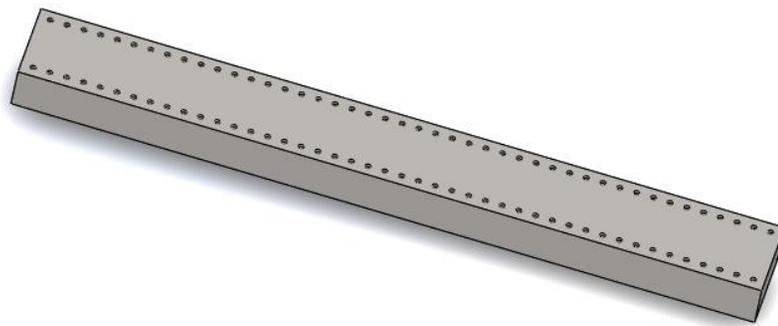


Quemador

El quemador seleccionado para los procesos de tueste es de tipo atmosférico es decir mezcla el gas licuado de petróleo con aire. Basado en el largo del cilindro de tueste de 85 cm, las dimensiones del quemador son: largo 70 cm, ancho 3.81 cm. Para la buena distribución de la flama debe contar con 40 orificios de 3 mm. La Figura 27 muestra el diseño propuesto en CAD del quemador.

Figura 27

Quemador



Sistema de Transmisión de Potencia

Para transferir la potencia y velocidad necesaria desde el motor hacia el eje del cilindro de tueste se utiliza: poleas, ejes de transmisión, piñones, catalinas y cadenas.

Para realizar un tostado uniforme a lo largo de un tiempo determinado, es necesario que el cilindro de tueste rote a una velocidad constante entre 20 a 50 rpm, lo que evita que el producto se queme, para ello se debe realizar una reducción en la transmisión de velocidad.

Es así, que por parte de la microempresa se utiliza un motor monofásico de segunda mano con las siguientes características: monofásico 220V, de baja revolución 1750 rpm y con una Potencia de 3HP muestra en la Figura 28.

Figura 28

Motor Monofásico 220v

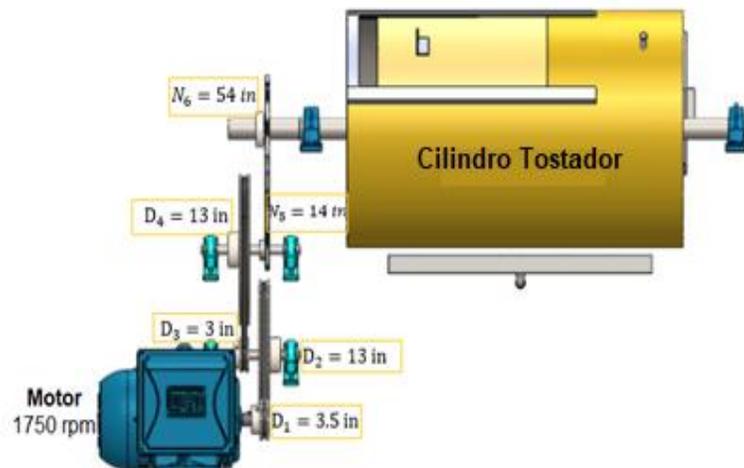


Nota. Motor de 3Hp, proporcionado por la Microempresa Bonilla- Camino

En la Figura 29, se indica el sistema de transmisión de velocidades, en el cual se detalla los diámetros utilizados en las poleas y el número de dientes de los engranes, con la finalidad de reducir la velocidad del motor de 1750 rpm a 20-50 rpm.

Figura 29

Sistema de Transmisión de Velocidades



Reducción de Velocidades

Se toma como referencia las revoluciones del motor, a partir de este dato se realiza los cálculos para determinar las velocidades de cada eje, mediante la ecuación 11.

$$\omega_2 = \frac{\omega_1 * D_1}{D_2}$$

Dónde:

D_1 = diámetro de polea motriz

D_2 = diámetro de polea conducida

ω_1 = velocidad de la polea de entrada

ω_2 = velocidad de la polea de salida

Datos:

$\omega_1 = 1750$ rpm (motor)

$D_1 = 3.5$ in , $D_2 = 13$ in

$$\omega_2 = \frac{\omega_1 * D_1}{D_2}$$

$$\omega_2 = \frac{1750 \text{ rpm} * 3.5 \text{ in}}{13 \text{ in}}$$

$$\omega_2 = 471,1 \text{ rpm}$$

Datos:

$\omega_2 = 471,1$ rpm

$D_2 = 13$ in , $D_3 = 13$ in

$$\omega_3 = \frac{\omega_2 * D_2}{D_3}$$

$$\omega_3 = \omega_2$$

$$\omega_3 = 471,1 \text{ rpm}$$

Datos:

$\omega_3 = 471,1$ rpm

$D_3 = 3$ in, $D_4 = 13$ in

$$\omega_4 = \frac{\omega_3 * D_3}{D_4}$$

$$\omega_4 = \frac{471,1 \text{ rpm} * 3 \text{ in}}{13 \text{ in}}$$

$$\omega_4 = 108,71 \text{ rpm}$$

Datos:

$$\omega_4 = 108,71 \text{ rpm}$$

$$N_5 = 14$$

$$\omega_5 = \omega_4$$

$$\omega_5 = 108,71 \text{ rpm}$$

Datos:

$$N_5 = 14 \text{ in}$$

$$N_6 = 56 \text{ in}$$

$$\omega_6 = \frac{\omega_5 * N_5}{N_6}$$

$$\omega_6 = \frac{108,71 \text{ rpm} * 14 \text{ in}}{54 \text{ in}}$$

$$\omega_6 = 29 \text{ rpm}$$

Selección de Banda

La banda en V es colocada en dos poleas acanaladas con el fin de realizar la transmisión que permita reducir el número de revoluciones. Se realiza el cálculo de la potencia corregida mediante la aplicación de la ecuación 12.

$$P_{\text{corregida}} = F * P_{\text{motor}}$$

Ecuación 12

Dónde:

$P_{\text{corregida}}$ = Potencia corregida

F = factor de corrección

P_{motor} = potencia del motor

El factor de corrección depende del tipo de motor y la carga impulsada, en este caso se escoge de 1.1 por tratarse de una máquina de uso continuo.

$$P_{\text{corregida}} = F * P_{\text{motor}}$$

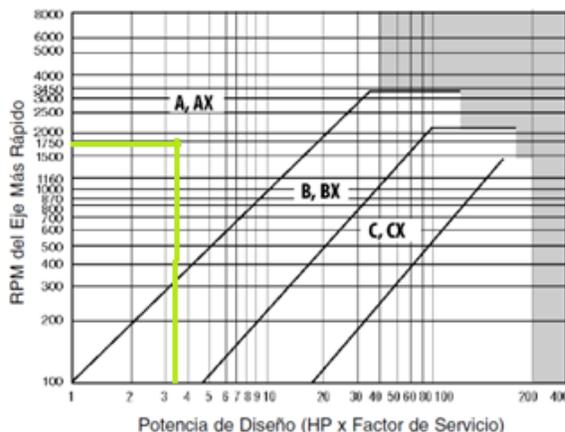
$$P_{\text{corregida}} = 1.1 * 3\text{hp}$$

$$P_{\text{corregida}} = 3.3 \text{ hp}$$

En la Figura 30, se elige la sección transversal de la banda mediante la potencia corregida y la velocidad del motor de 1750 rpm.

Figura 30

Curva para Selección de Bandas



Nota. Tomado de *Selección de elementos mecánicos*, por (Bandas, 2017).

Para transmitir una potencia de 3hp del motor y una velocidad de 1750 rpm se utiliza una banda trapecial tipo A.

Longitud de Correas en V

La longitud de las correas en V depende de los diámetros de las poleas y de la distancia entre sus ejes, para su cálculo se emplea la ecuación 6 (Nieto, López, & Galvis, 2016).

$$L = 1.57(D_p + d_p) + 2C + \frac{(D_p - d_p)^2}{4C} \quad \text{Ecuación 13}$$

Dónde:

L = Longitud de las correa

C = distancia entre centros

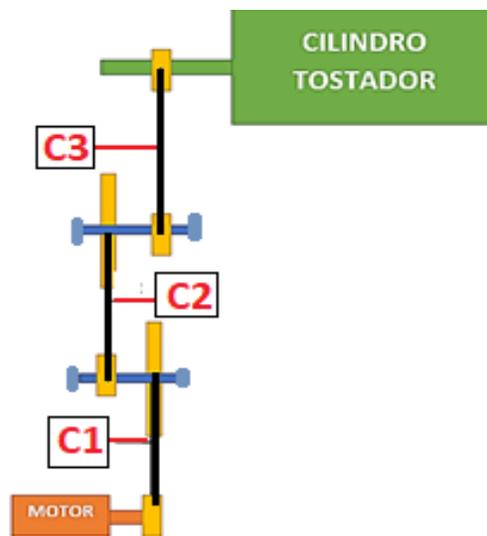
D_p = diámetro primitivo de la polea mayor

d_p = diámetro primitivo de la polea menor

En la Figura 31, se indica las dimensiones de las distancias entre centros de la máquina tostadora de granos.

Figura 31

Distancia entre centros de la tostadora



Datos

$$C_1 = 611 \text{ mm} = 24 \text{ in}$$

$$D_p = 13 \text{ in} , d_p = 3.5 \text{ in}$$

$$L_1 = 1.57(13\text{in} + 3.5\text{in}) + 2(24\text{in}) + \frac{(13\text{in} - 3.5\text{in})^2}{4(24\text{in})}$$

$$L_1 = 74.84 \text{ in} \approx 75 \text{ in}$$

Datos

$$C_2 = 347 \text{ mm} = 14 \text{ in}$$

$$D_p = 13 \text{ in} , d_p = 3 \text{ in}$$

$$L_2 = 1.57(13\text{in} + 3\text{in}) + 2(14\text{in}) + \frac{(13\text{in} - 3\text{in})^2}{4(14\text{in})}$$

$$L_2 = 54.90 \text{ in} \approx 56 \text{ in}$$

Datos

$$C_3 = 334 \text{ mm} = 13 \text{ in}$$

$$Z_p = 54 \text{ in} , z_p = 14 \text{ in}$$

$$L_3 = 1.57(54 \text{ in} + 14 \text{ in}) + 2(13 \text{ in}) + \frac{(54 \text{ in} - 14 \text{ in})^2}{4(13 \text{ in})}$$

$$L_3 = 163.52 \text{ in} \approx 165 \text{ in}$$

Se realiza la selección de bandas según los valores calculados, mediante la Tabla 4 de selección de bandas estándar 3V,5V y 8V.

Tabla 4

Longitud de bandas estándar 3V,5V y 8V en pulgadas

Sólo 3V	3V y 5V	3V, 5V y 8V	5V Y 8V	Sólo 8V
25	50	100	150	375
26,5	53	106	160	400
28	56	112	170	425
30	60	118	180	450
31,5	63	125	190	475
33,5	67	132	200	500
37,5	71	140	212	
40	75		224	
42,5	80		236	
45	85		250	
47,5	90		265	
	95		280	
165			300	

Nota. Las bandas seleccionas son: Longitud 165 para bandas 3V, longitud 56 para bandas 3V y Longitud 75 para bandas 5V. Adaptado de (Cardenas, 2022)

Diseño del Sistema de Control

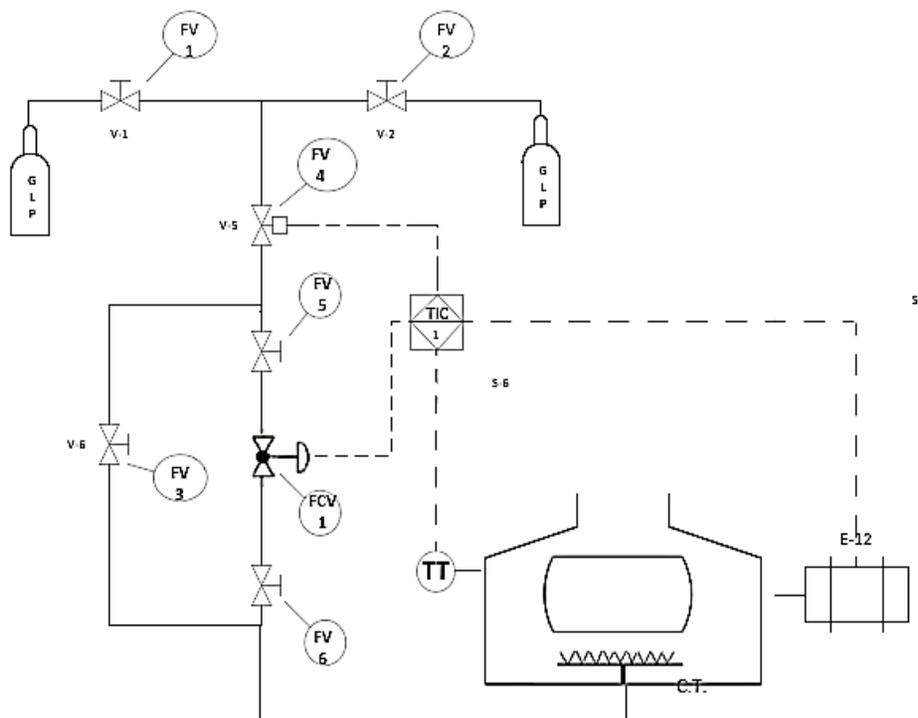
En base a los requerimientos de la microempresa Bonilla- Camino, se establece que la tostadora automática de granos debe contener dos controladores: control manual y automático,

con la finalidad de precautelar la producción. En el control manual, una vez ingresado el grano a la cámara de tueste se enciende el quemador a máxima temperatura sin tener control de la misma; luego el operario presiona el botón de arranque lo que permite que el cilindro de tueste empiece a girar. Cabe resaltar que el tiempo de tueste lo determina la experticia del operario. Por otra parte, en el control automático, se define la temperatura de tueste (Set Point), se selecciona el tipo de grano a tostar, el tiempo de tueste es determinado por el tipo de grano.

En base al control: manual y automático se diseña el diagrama P&ID expuesto en la Figura 32, el mismo que se compone de los siguientes elementos: transmisor de temperatura (TT), válvula controladora de flujo (FCV), sistema bypass, electro válvula (FV- Electro válvula), motor eléctrico (M), controlador indicador de temperatura (TIC- PLC) y válvulas de flujo (FV).

Figura 32

Diagrama P&ID Proceso de tostado



Transmisor de Temperatura

Los transmisores de temperatura convierten la señal de una amplia gama de sensores, como termorresistencias, termopares o potenciómetros en una señal de salida estandarizada y habitual en la industria (0 a 10 V o 4 a 20 mA).

Selección del Sensor de Temperatura. La característica principal del sensor de temperatura es el rango de temperatura a trabajar en el proceso tueste que va desde 400 a 700°C, es por ello que se analiza los diferentes tipos de sensores de temperatura tal como se indica en la Tabla 5.

Tabla 5

Sensores de temperatura y sus características

Tipo	Termocupla	RTD	Termistor
Característica			
Rango de temperatura	-270 a 2980 °C	-180 a 630 °C	-55 a 180 °C
Linealidad	**	***	*
Precisión	*	***	*
Costo	*	**	*

Nota. La tabla es una adaptación de (DirectIndustry, 2023)

Basados en las características de costo y rango de temperatura se selecciona como sensor la termocupla porque tiene un amplio rango de temperatura, y su valor económico es menor comparados con el RTD.

Selección del Tipo de Termocupla. Se analiza los diferentes tipos de termocuplas, clasificadas de acuerdo a la combinación de metales, sensibilidad y el rango de temperatura como se indica en la Tabla 6.

Tabla 6

Termocuplas y sus características

TERMOCUPLAS METÁLICAS			
Tipo	Combinación de metales	Sensibilidad	Rangos de temperatura
J	Hierro / Constantán	5.6 mV / 100°C	-40 a +750 °C
K	Cromo / Aluminio	3.6 mV / 100°C	-40 a +1200 °C
T	Cobre / Constantán	4.5 mV / 100°C	-50 a +400 °C
E	Cromo / Constantán	7.9 mV / 100°C	-40 a +900 °C

Nota. Adaptación de la tabla de termopares, por JMIndustrial, (2020).

Para el desarrollo de este proyecto se selecciona a la termocupla Tipo K, porque se encuentran en el rango de temperatura solicitado para el proceso de tueste. Pero la principal característica que lo diferencia al tipo J es el valor económico, ya que la termocupla K es relativamente menor en costo a la termocupla J.

Selección del Tipo de Termocupla K. La tostadora automática de granos al trabajar en ambientes con exposición a impurezas, es necesario contar con una buena clase de protección además de poseer una buena tolerancia, adicionalmente que cumpla con el rango de temperatura de tueste.

La Tabla 7, muestra el cuadro comparativo con las principales características de las principales termocuplas tipo K comerciales en el mercado ecuatoriano. Características como: Clase de protección, tipo de conexión, tolerancia IEC, rango de temperatura y precio.

Tabla 7

Termocuplas tipo k y sus características

Características	 Termocupla Tipo K En Ojo, Diámetro 8mm	 Sensor termocupla tipo k punta 50mm*5mm cable 5m 2 hilos	 Termocupla tipo tornillo C106	 Termocupla tipo cuello extendido C102A
Clase de protección	-	Depende del material	-	IP53
Tipo de conexión		Bayoneta	Rosca	Termo pozo
Tolerancia IEC	1	1	1 - 2	1
Rango Temperatura	0 -400 °C	0 - 600°C	0 -400 °C	0- 1200°C
Precio	\$ 10,00	\$20,00	\$ 5,00	\$ 45,00

Nota. La termocupla tipo K de cuello extendido C102A, cumple con los requerimientos establecidos por diseño.

La Termocupla Tipo K (AC- C102a) Marca Camsco que se aprecia en la Figura 33, está compuesta por dos alambres conductores de cromo y una aleación de níquel unidos en un extremo, el cual se expone al sistema sobre el que se desea medir la temperatura. Luego se genera un pequeño voltaje entre los alambres que es cuantificado para determinar la temperatura del sistema

Figura 33

Termocupla Tipo K (AC- C102a) Marca Camsco



Una vez seleccionado la termocupla se precede a seleccionar el transmisor de temperatura el mismo que tiene como objetivo convertir la señal de salida estandarizada y habitual en la industria (0 a 10 V o 4 a 20 mA).

El transmisor de temperatura que se recomienda a implementar en base a la termocupla seleccionada es el Transmisor de temperatura tipo K, 0 a 1100°C, 24V de CC, de marca Eoysncet, que se aprecia en la Figura 34, además posee una certificación CE.

Figura 34

Convertidor De Señal De Termocupla Tipo K A 4-20ma



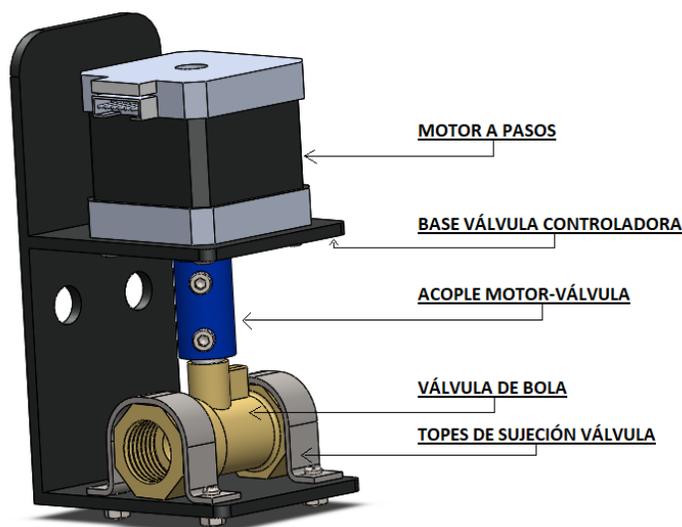
Válvula de Control de Flujo

Por la escasez de válvulas controladoras en el mercado para tuberías con diámetro inferiores a las 5 pulgadas, se ha diseñado un prototipo de válvula controladora de flujo, la misma que está basado en el diámetro de la tubería, establecida en 3/8 de pulgada, para lo cual se obtiene una válvula de bola con mencionada especificación.

Para accionar la apertura y el cierre de la válvula se lo realiza gracias a un motor, que mediante un acople de tipo flexible transmite el movimiento del motor hacia la válvula. El motor idóneo para controlar posicionamiento, es el motor a pasos, que posee alta precisión. Tanto la válvula como el motor tienen que mantenerse fijos, para lo cual se diseña una base válvula controladora, el plano de base se puede apreciar en el Anexo E. La Figura 35 muestra todos los elementos que conforman el prototipo de válvula controladora.

Figura 35

Prototipo válvula controladora de flujo Modelamiento CAD



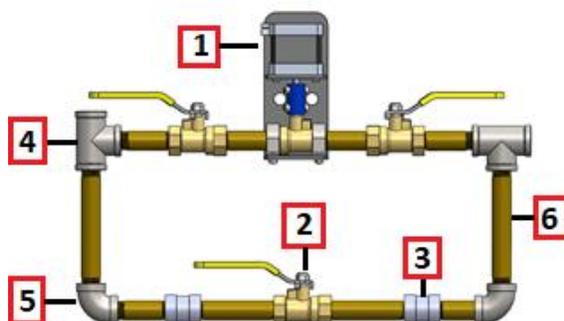
Sistema de Bypass

La microempresa Bonilla -Camino en virtud de precautelar la producción por cualquier eventualidad en la válvula controladora de flujo, hace énfasis en el diseño de un sistema de bypass, la misma que cumple con la función de un control manual. El sistema está constituido

por: una válvula controladora de Flujo, tres válvulas de bola, dos uniones galvanizadas, dos T galvanizado, dos codos galvanizados y un metro de nipes galvanizado. Cabe señalar que todos los elementos mencionados son para tubería de 3/8 de pulgada. La Figura 36 muestra el ensamble del sistema bypass.

Figura 36

Diseños sistema Bypass CAD



Nota. 1. Válvula Controladora de Flujo, 2. Válvula de bola, 3. Unión galvanizada, 4. T galvanizado, 5. Codo galvanizado, 6. Nipe galvanizado

Controlador de Temperatura

El controlador otorgado por la microempresa para el control de temperatura es el PLC S7-1200, con CPU 1214C, AC/DC/ Relay, por la adquisición del mismo la microempresa proporciona el software de programación es el Tía Portal V14

Figura 37

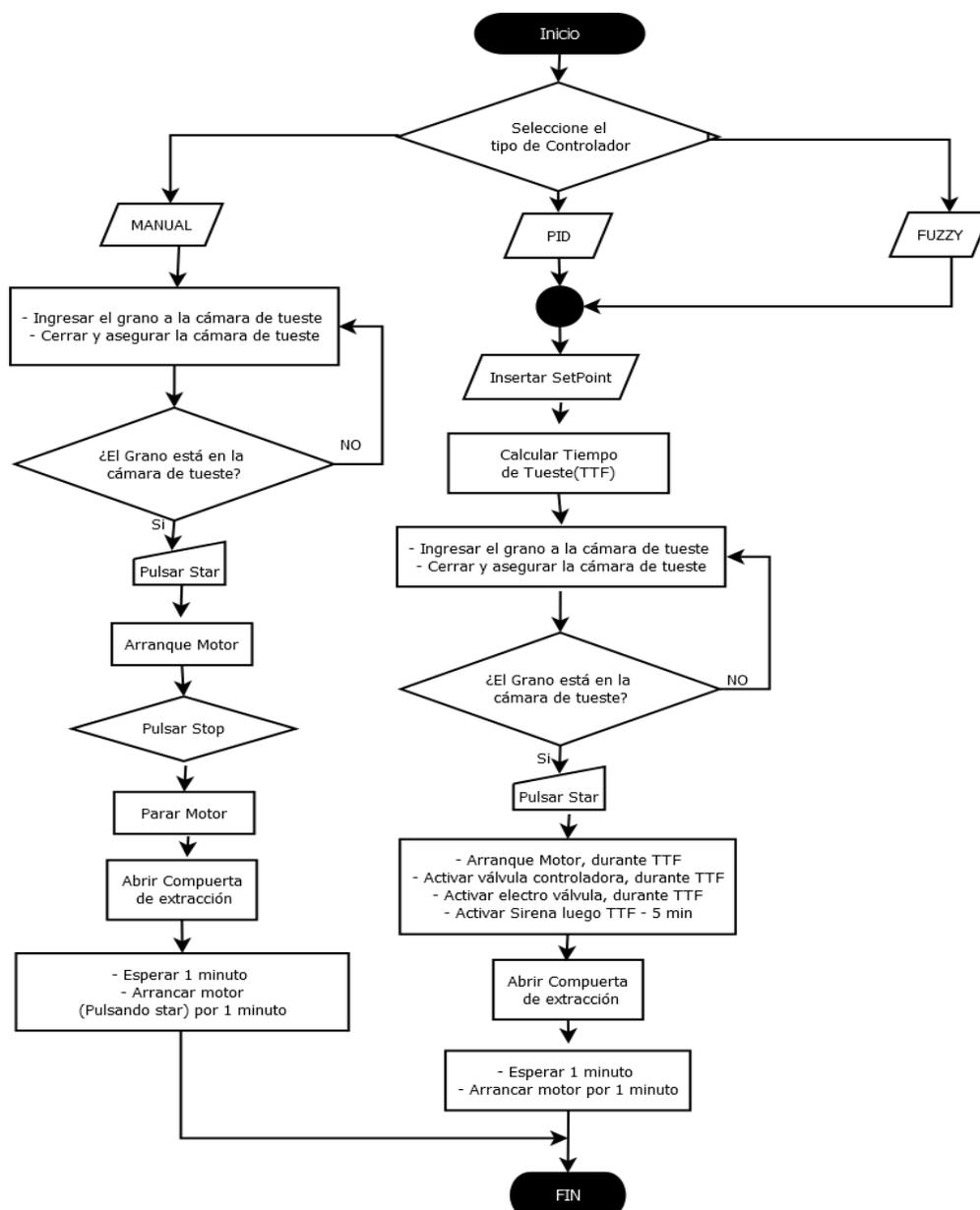
PLC S7-1200



Programación PLC. Una de las herramientas más empleadas por los programadores antes de comenzar a generar el código, es la creación de un esquema gráfico del algoritmo que se desea realizar para el funcionamiento general de la máquina o proceso. La Figura 38, muestra el diagrama de flujo general de la máquina tostadora de granos, el mismo que inicia con selección del tipo de control: controlador manual, controlador PID y controlador FUZZY.

Figura 38

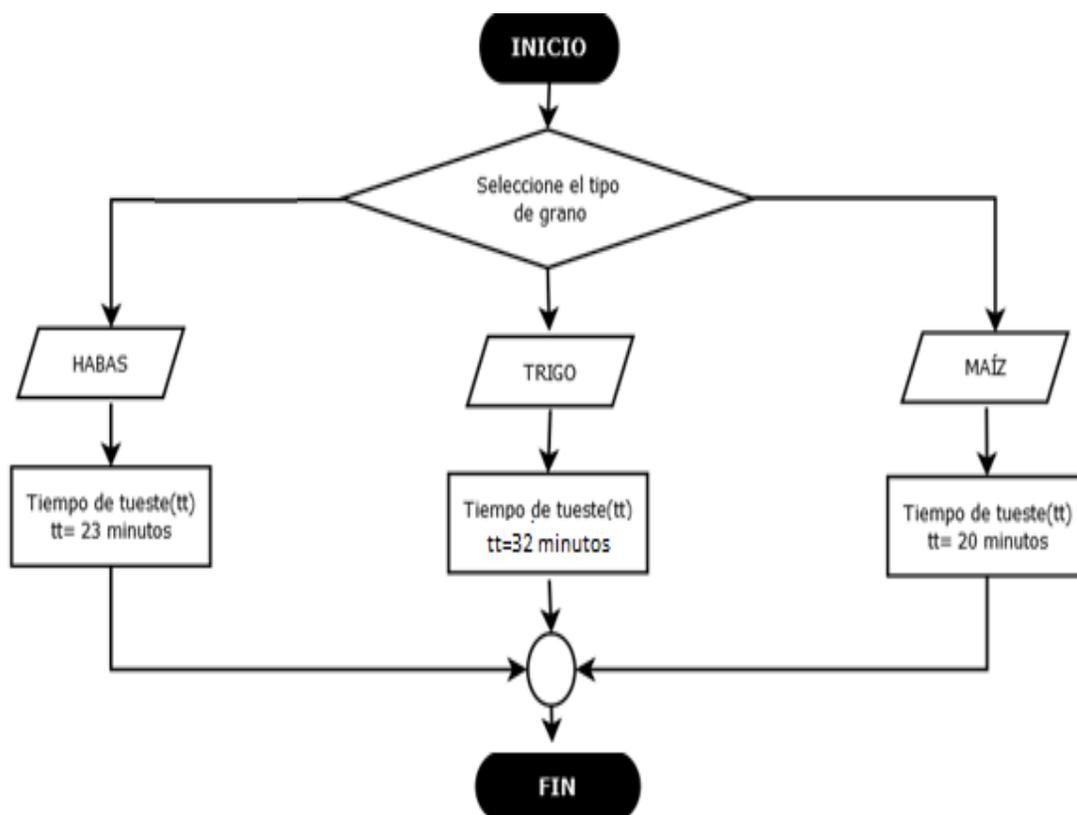
Diagrama de Flujo de Funcionamiento



La Figura 39 , trata del diagram de flujo del tiempo de tueste, el mismo que depende del tipo de grano. Por su estructura molecular hay algunos granos que requieren estar mas tiempo en la cámara de tueste que otros, por ejemplo, el trigo en relación al maiz requiere mayor tiempo de tueste.

Figura 39

Diagrama de Flujo de Tiempo de Tueste



Diseño Eléctrico y Electrónico

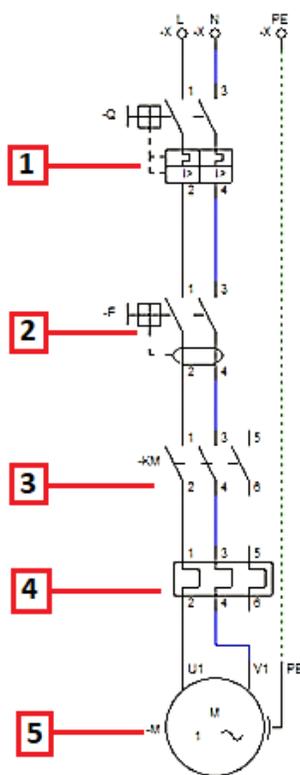
Para el diseño eléctrico de potencia se necesita las características del motor eléctrico previamente propuesto que se va utilizar para el movimiento del cilindro de tueste. La selección de los componentes eléctricos tanto de protección como los componentes para el arranque se basa en el tipo de alimentación y la corriente del motor.

Diseño Eléctrico de Potencia

Basados en el motor otorgado por la microempresa de segunda mano es decir que pasó por varios procesos de rebobinado, los elementos electricos a utilizar para su protección son: interruptor termomagnético, interruptor diferencial y relé térmico. Mientras que para el control o mando se utiliza un contactor. La figura 40 muestra el circuito de potencia a implementar.

Figura 40

Circuito de Potencia



Nota. 1. Interruptor Termomagnético, 2. Interruptor diferencial, 3. Contactor, 4. Relé térmico, 5. Motor Monofásico.

Motor Monofásico con Condensadores Permanente

El motor a utilizar y proporcionado por la microempresa utilizado para la rotación controlada del cilindro de tueste es el: motor monofásico de inducción -Rotor de Jaula marca WEG, de baja velocidad, con una potencia de 3Hp y una IP de protección mecánica respecto al

agua y al polvo de IP 55. La Figura 41, muestra el detalle de las principales características mecánicas y eléctricas del motor monofásico, mientras que en el Anexo F se encuentra la ficha general técnica del motor.

Figura 41

Características eléctricas del motor monofásico de 3HP

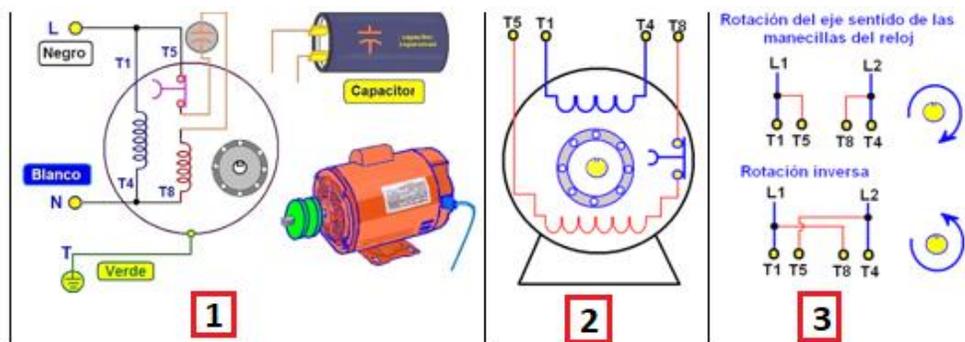
Línea del producto	: 00022 Monofásico	Código del producto	: 14229634
		Catalog #:	: 00318ES1DFD184T-W22
Carcasa	: 182/4T	Tiempo de rotor bloqueado	: 14s (frío) 8s (caliente)
Potencia	: 3 HP (2.2 kW)	Elevación de temperatura	: 80 K
Polos	: 4	Régimen de servicio	: Cont.(S1)
Frecuencia	: 60 Hz	Temperatura ambiente	: -20°C hasta +40°C
Tensión nominal	: 230 V	Altitud	: 1000 m
Corriente nominal	: 13.8 A	Grado de protección	: IP55
Corriente de arranque	: 106 A	Método de refrigeración	: IC411 - TEFC
Ip/In	: 7.7x(Cód. K)	Forma constructiva	: F-1
Corriente en vacío	: 6.70 A	Sentido de giro ¹	: Ambos
Rotación nominal	: 1745 rpm	Nivel de ruido ²	: 60.0 dB(A)
Resbalamiento	: 3.06 %	Método de Arranque	: Partida directa
Torque nominal	: 12.2 Nm	Masa aproximada ³	: 47.7 kg
Torque de arranque	: 290 %		
Torque máximo	: 270 %		
Clase de aislamiento	: F		
Factor de servicio	: 1.15		
Momento de inercia (J)	: 0.0157 kgm ²		
Potencia	50% 75% 100%	Fuerzas en la fundación	
Rendimiento (%)	65.0 74.0 77.0	Tracción máxima	: 460 N
Cos Φ	0.79 0.87 0.90	Compresión máxima	: 927 N

Nota. La figura indica las características eléctricas del motor monofásico de 3HP. Tomado de (weg.net, 2022).

La Figura 42 muestra los esquemas de conexión del motor monofásico por arranque de condensador a 220 Voltios, y adicionalmente muestra las conexiones del sentido de giro.

Figura 42

Esquema de conexión motor monofásico



Nota: 1. Arranque por condensador, 2. Identificación del Bobinado, 3. Conexión sentido de giro

Cálculo y Selección de los Dispositivos de Protección para Motor Monofásico

Partiendo de la potencia (3HP), el voltaje (220v) y del coseno de φ (0.79), se obtiene la Corriente Nominal.

Ecuación 14

$$I_{\text{Nominal}} = \frac{P}{V \times \cos \varphi}$$

$$I_{\text{Nominal}} = \frac{3\text{HP} \times 746}{220 \times \cos 0.79}$$

$$I_{\text{Nominal}} = 13.8 \text{ Amp}$$

Cálculo del interruptor termomagnético

Ecuación 15

$$I_{\text{Termomagnético}} = I_{\text{Nominal}} \times 1.2$$

$$I_{\text{Termomagnético}} = 13.8 \times 1.2$$

$$I_{\text{Termomagnético}} = 16.56 \text{ Amp} \cong 20\text{Amp}$$

Cálculo del contactor

Ecuación 16

$$I_{\text{contactor}} > I_{\text{Nominal}}$$

$$I_{\text{contactor}} > 13.8\text{Amp}$$

Se requiere un contactor de 25 Amp, que cumpliría con la condicional.

Cálculo del relé térmico

La selección del relé térmico se determina por la corriente nominal del motor; el cual debe encontrarse en el rango de corriente dispuesta en la Figura 43, al tener una corriente nominal de 13.8 Amp, el relé idóneo seleccionado es el relé de (12 a 18) Amp y se regula en 13Amp. El anexo G muestra el catálogo de interruptores.

Figura 43

Relé térmico de Intensidad Regulable

Serie compatible	Intensidad (A)	Fusible indicado		Referencia
		aM (A)	gG (A)	
RV40N - 12...22	0,1...0,16	0,25	2	RV41A22P16
	0,16...0,25	0,25	2	RV41A22P25
	0,25...0,4	1	2	RV41A22P40
	0,4...0,63	1	2	RV41A22P63
	0,63...1	2	4	RV41A221P
	1...1,6	2	4	RV41A221P6
	1,6...2,5	4	6	RV41A222P5
	2,5...4	6	10	RV41A224P
	4...6	8	16	RV41A226P
	5...8	12	20	RV41A228P
	6...9	12	20	RV41A229P
	7...10	12	20	RV41A2210P
	9...13	16	25	RV41A2213P
12...18	20	35	RV41A2218P	
16...22	25	50	RV41A2222P	
RV40N - 32...40	18...26	32	50	RV41A4026P
	24...36	40	63	RV41A4036P
	28...40	40	80	RV41A4040P
RV40N - 65...85	24...36	40	63	RV41A8536P
	28...40	40	100	RV41A8540P
	34...50	63	100	RV41A8550P
	45...65	63	100	RV41A8565P
	54-75	80	125	RV41A8575P
63-85	100	160	RV41A8585P	

Nota. La figura muestra el Cálculo del relé térmico de intensidad regulable. Tomado de (Electric.com, 2022)

Cálculo del interruptor Diferencial

$$I_{\text{Termomagnético}} = I_{\text{Nominal}} \times 1.25$$

$$I_{\text{Termomagnético}} = 13.8 \times 1.25$$

$$I_{\text{Termomagnético}} = 17.25 \text{ Amp} \cong 20\text{Amp}$$

Selección del Cable Para la Sección de Potencia

La Figura 44, indica el calibre del cable partiendo de los datos eléctricos del sistema. El cable de calibre 12 es el recomendado para el sistema de potencia, debido a que la corriente máxima que va a producir es de 18 Amp.

Figura 44

Calibre cable por corriente

ITEM	Calibre (AWG)	Nº total alambres	Max. DC Resist. Cond. 20°C [Ohm/km]	Amperaje aire 30°C [A]	Amperaje ducto 30°C [A]
01	16	1	14,3	15	12
02	14	1	8,97	25	20
03	14	7	8,97	25	20
04	12	1	5,65	30	25
05	12	7	5,65	30	25
06	10	1	3,547	40	30
07	10	7	3,547	40	30
08	8	1	2,231	60	40
09	8	7	2,231	60	40

Nota. La figura mientras el Calibre cable por corriente. Tomado de (Grupo Koller.com, 2022)

Diseño Electrónico

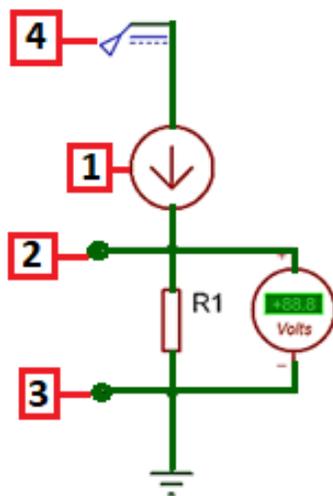
Acorde a los requerimientos de la máquina tostadora de granos; el cual requiere contar con los siguientes elementos electrónicos: selectores, driver del motor a pasos, plc S7-1200, Arduino uno, lcd 2x16, indicadores, pulsadores, fuente de alimentación continua, circuitos de acondicionamiento, paro de emergencia, alarmas y elementos de protección. El diseño electrónico tiene la función de solventar con creatividad y conocimiento los diferentes problemas de Ingeniería que pueden encontrarse en la construcción de la máquina, a través de programas como CADE_SIMU, Proteus y SolidWorks Eléctrica, todos con licencias de pruebas.

Circuito de Acondicionamiento Sensor-Transmisor

El transmisor de temperatura para Termocupla tipo K de dos hilos con alimentación de 24 voltios tiene como salida corriente de 4mA a 20mA. El PLCs S7-1200, al no tener entrada analógica de corriente y solo poseer entrada analógica de voltaje de (0-10) Voltios, se procede a realizar un circuito de acondicionamiento como se muestra en la Figura 45.

Figura 45

Circuito de acondicionamiento transmisor



Nota. 1. Transmisor de temperatura, 2. Salida del circuito → Entrada Análoga del PLC, 3. Tierra común, 4. Entrada de 24 VDC desde el PLC.

Partiendo del valor máximo de la entrada analógica del PLC que es de 10 voltios(V) y de la salida máximas del transmisor que de 20 mA(I) se calcula el valor de la resistencia R1.

$$I = \frac{V}{R}$$

$$R = \frac{V}{I}$$

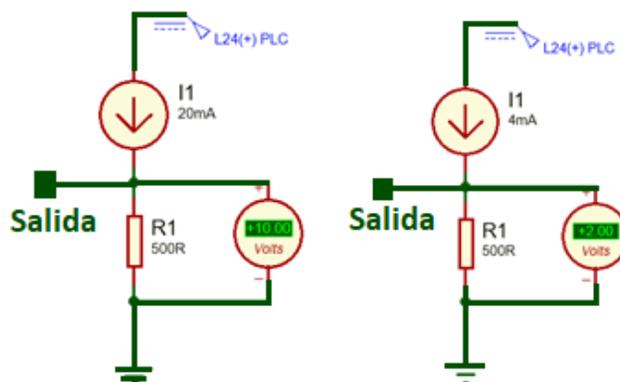
$$R = \frac{10 \text{ voltios}}{20 \text{ mA}}$$

$$R = 500 \Omega$$

La Figura 46 representa la simulación del circuito de acondicionamiento entre el transmisor y la entrada de plc. En el cual se observa que con un valor del transmisor de 20 mA se obtiene un valor de 10 voltios y con un valor de 4mA resulta un valor de salida de 2 voltios, valores que se utilizaran para la linealidad del proceso.

Figura 46

Simulación circuito de acondicionamiento transmisor-PLC



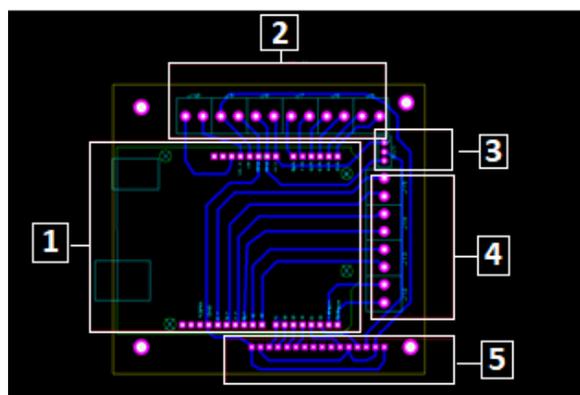
Nota. Para la simulación, se utiliza los valores Min=4mA y Max=20mA del transmisor.

Acondicionamiento, LCD y Arduino

La función principal a desarrollar por el lcd es de indicador visual entre el operario y la máquina, en cual se refleja: el tipo de grano, la temperatura del proceso en tiempo real, el Setpoint, y el tipo control a utilizar. Los planos de diseño electrónico que involucran las conexiones del arduino con el lcd se pueden apreciar en la Figura 47, en el mismo que se muestra la PCB diseñada.

Figura 47

Placa arduino-acondicionada.



Nota. 1. Zócalos para el Arduino Uno, 2. Borneras de alimentación y E/S digitales, 3. Bornera Potenciómetro Contraste LCD, 4. Borneras E/S análogas, 5. Zócalos para LCD 16x2.

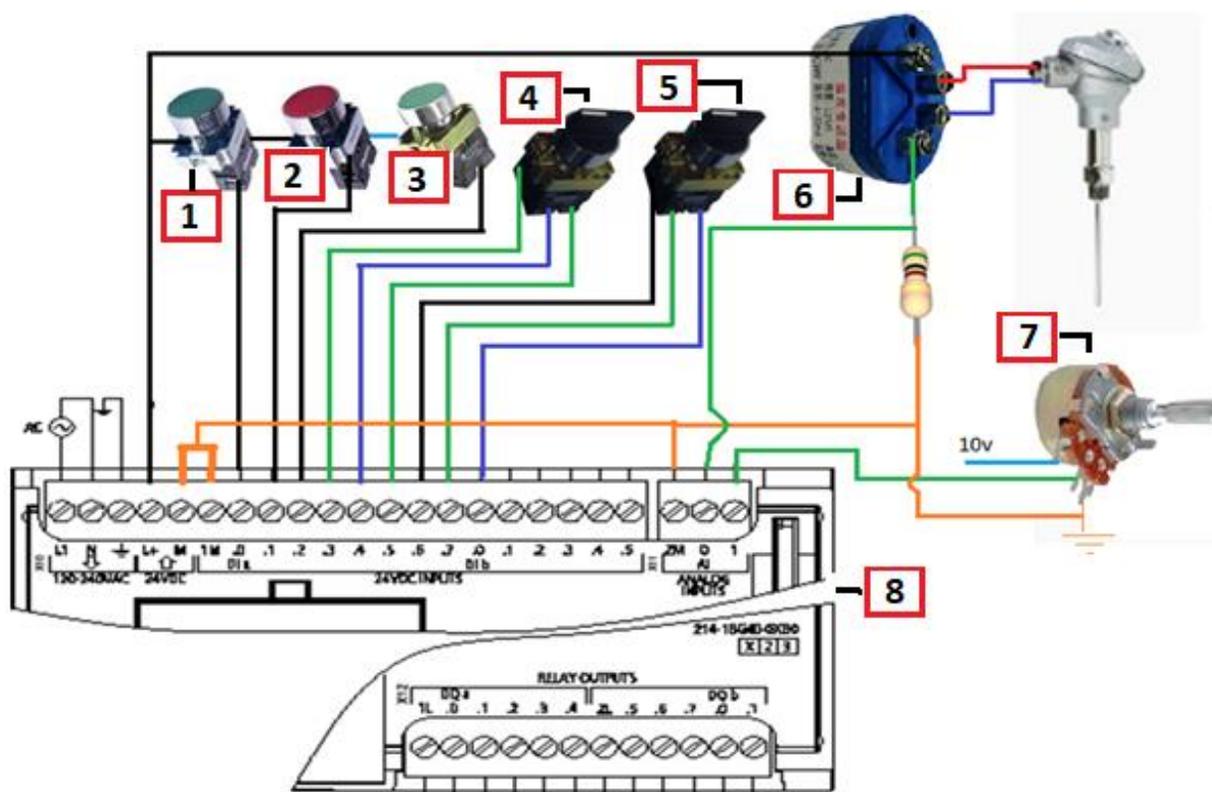
Las salidas analógicas del arduino se reprogramarán como digitales y se conectan al driver del motor del a pasos. La función del motor a paso es controlar el cierre y la apertura de la válvula de bola que conforma la válvula controladora de flujo.

Conexiones PLC S7-1200

Las entradas digitales utilizadas en el PLC S7-1200 son las siguientes: selector de grano; abarca tres posiciones los cuales representa: 1-habas, 2-maiz y 3-Trigo. El selector de control, tiene tres posiciones: 1- Control PID, 2- Control Manual, 3- Control Fuzzy. El push de arranque, el push de stop, como se aprecia en la Figura 48. Las entradas analógicas del plc, se conecta la salida del transmisor de temperatura y el potenciómetro del SetPoint.

Figura 48

Esquema de Entradas al PLC S7-1200

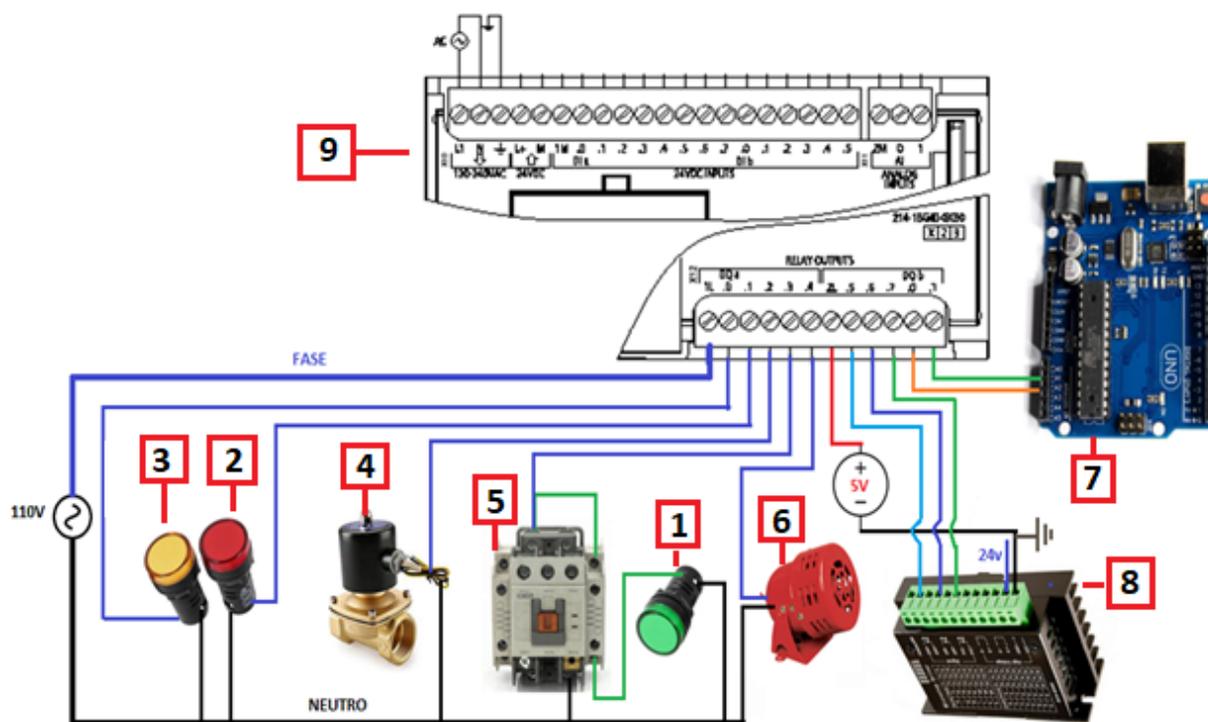


Nota. 1. Botón Arranque, 2. Botón Stop, 3. Botón Pulsos, 4. Selector de Grano, 5. Selector de Control, 6. Transmisor de temperatura, 7. Potenciómetro SetPoint, 8. PLC- s71200

Las salidas del PLCs están distribuidas en dos partes; la primera está orientada a las cargas de corriente alterna 110 voltios como son: contactor, alarma, luz piloto de arranque, luz piloto de stop, luz piloto de jock y electroválvula. Tal como se muestra en la Figura 49. La segunda parte de las salidas del PLC están enfocadas a las señales de corriente continua (5 voltios) tales como: driver motor a pasos (pul+, Dir +, Ena+) y entradas al Arduino (Señal PID y Señal Fuzzy).

Figura 49

Esquema de Salidas del PLC S7-1200.



Nota. 1. Indicador Arranque, 2. Indicador Stop, 3. Indicador Pulsos, 4. Electro válvula, 5. Contactor Magnético, 6. Sirena, 7. Tarjeta arduino uno, 8. Driver motor a pasos, 9. PLC S7-1200.

Capítulo IV

Construcción e Implementación

En base al diseño y selección de los materiales expuestos en los capítulos anteriores, se realiza la construcción e implementación de los sistemas mecánico, eléctrico, electrónico y de control de la tostadora automática de granos.

La implementación del sistema mecánico inicia con la construcción de la estructura base, el mismo que abarca al sistema de transmisión de potencia, sistema de tueste y parte del sistema de control como: tubería de GLP, sistema Bypass y termocupla.

Construcción

Para la ejecución de los diversos procesos que requiere la construcción de la estructura base, tolva y la cubierta de tueste, es necesario contar con máquinas eficientes, herramientas en buen estado y materia prima de excelente calidad como se detalla en la Tabla 8.

Tabla 8

Elementos para la etapa de construcción

Materia prima	Herramientas		Procesos
Planchas de acero galvanizado espesor 7mm y 9mm.	Instrumento de Medición	Flexómetro	Corte de material
Ángulo Estructural ASTM A36		Regla metálica	Esmerilado
Ángulo en L 65X6	Herramienta Máquina Herramienta	Calibrador	Soldado
Ángulo en L 40X4		Escuadra	Doblado
Ángulo en L 30X4		Brocas	Taladrado
Platina 30X4		Limas	Torneado
Eje de transmisión		Machuelos	Machuelado
		Esmeril	Fresado
		Prensas	
		Sierra de arco	
		Taladro	
		Amoladora	
	Torno		
	Esmeril		
	Equipo de Suelda		

Estructura Base

En la Figura 50 se observa las etapas de construcción de la estructura base que inicia desde el proceso de corte del material de ángulo AL 65x60 milímetros con las respectivas medidas de diseño, luego se realiza el esmerilado para continuar con la soldadura de las partes y proseguir con proceso de pintado.

Figura 50

Estructura de la base



Nota. 1. Fase inicial estructura base, 2. Fase final estructura base.

Tolva

Para la elaboración de la tolva, se utiliza una plancha de acero galvanizado espesor 9mm, en el cual se dibuja el plano a escala para realizar el proceso de corte, proceso de doblado y además por las características propias de material se utiliza la soldadura de puntos. Adicionalmente la tolva es desmontable y de fácil ensamblaje, lo cual ayuda en el procesos de limpieza de la misma, como se muestra en la Figura 51.

Figura 51

Tolva



Cámara De Tueste

Está constituida por: la estructura tipo hexagonal, cubierta interna, cubierta externa, cilindro de tueste, lana de vidrio y el quemador. Para la elaboración de la estructura hexagonal se utiliza el Ángulo en L de 40x40 milímetros, las partes son cortadas y soldadas por medio de la soldadura de metal por arco. Tanto para la cubierta interna como externa se utiliza una plancha de acero galvanizado de 9mm. Para la fijación del cilindro de tueste se utiliza unas chumaceras UCP-209, como se aprecia en la Figura 52. La lana de vidrio se coloca entre la cubierta interna y externa.

Figura 52

Cámara de tueste



Nota. 1. Base hexagonal, 2. Cubierta interna, 3. Cubierta externa, 4. Chumacera UCP-209

Quemador. El tipo de material del quemador es latón; debido a su alta resistencia a la oxidación y corrosión al trabajar en ambientes de alta temperatura. En la parte superior del quemador se agujero dos filas de 40 agujeros de 3 mm de diámetro cada uno, con el fin de que se distribuya adecuadamente la flama sobre la parte interior del cilindro de tueste. El quemador es fijado a la estructura base permitiendo colocar el quemador a una distancia idónea del cilindro tostador, como se puede visualizar en la Figura 53.

Figura 53*Quemador*

Nota. 1. Quemador, 2. Cilindro tostador, 3. Estructura base

Implementación

Esta sección trata sobre la creación de la máquina tostadora de granos, en base a la incorporación del sistema mecánico (sistema de transmisión de potencia), sistema eléctrico y electrónico (caja de control) y sistema de control (sistema bypass y controladores).

Sistema de Transmisión de Potencia

El sistema de transmisión de potencia está conformado por elementos como poleas, cadena, bandas, engranes, ejes y chumaceras como se indica en la Figura 54, los mismos que proporcionan la potencia necesaria para que el cilindro de tueste gire.

Figura 54*Componentes del Sistema de Transmisión de Potencia*

Nota. 1. Chumaceras, 2. Ejes de transmisión, 3. Cadena, 4. Engranes, 5. Poleas, 6. Bandas

La implementación del sistema de transmisión de potencia inicia con la manufactura de los orificios en cada una de las poleas con el diámetro (3/4in), mismo diámetro que corresponde al eje de transmisión.

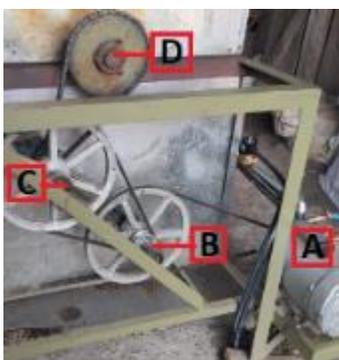
Este sistema se enfoca en 4 ejes de transmisión:

- Eje 1: Eje que corresponde al eje del motor, en el cual se fija una polea de tipo 1A de 3in.
- Eje 2: Eje de longitud de 250 mm y diámetro de 3/4in, en el cual se fijan: 2 chumaceras de 3/4in y dos poleas de tipo 1A con diferentes diámetros (13in y 3in) respectivamente.
- Eje 3: Eje de longitud de 250 mm y diámetro de 3/4in, en el cual se fijan: 2 chumaceras de 3/4in, una polea de tipo 1A con diámetro de 13in y un piñón 14 dientes de paso 1.
- Eje 4: Eje que corresponde al eje de transmisión del cilindro de tueste, en el cual se fija la catalina de 40 dientes de paso 1.

La conexión entre los ejes 1 y 2, 2 y 3 se lo realiza por intermedio de una banda tipo V, por otra parte, la conexión del eje 3 y 4 se lo realiza por medio de una cadena de paso 1. La Figura 55 muestra el sistema de transmisión de potencia implementada en la estructura base.

Figura 55

Sistema de Transmisión de Potencia



Nota. A. Eje 1, B. Eje 2, C. Eje 3, D. Eje 4

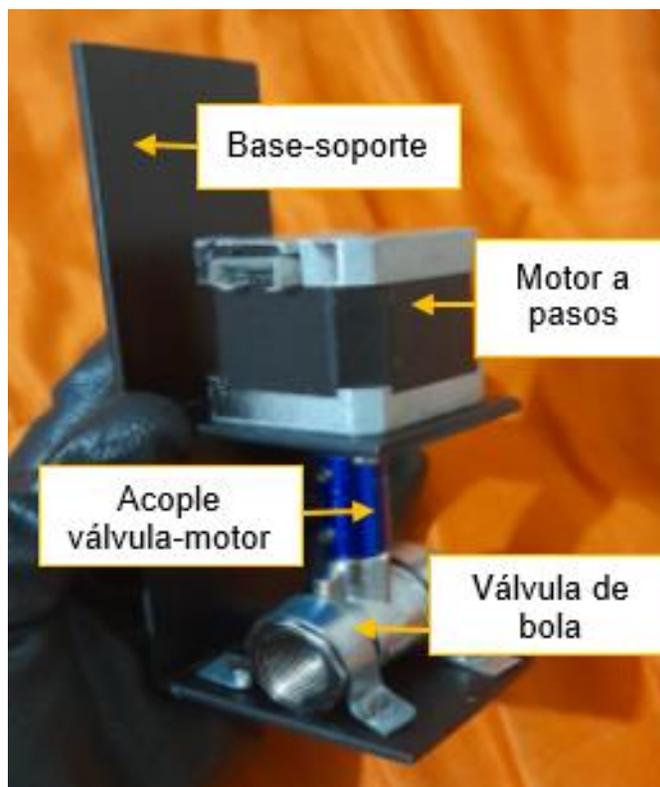
Sistema de Bypass

El sistema de bypass para la válvula reguladora de flujo, está constituido por tres válvulas de bola de 3/8 de pulgada, dos codos de 90 grados de 3/8 de pulgadas, 4 niples 3/8" de 5cm, 5 nipes 3/8" de 10cm, 2 nipe 3/8" de 5cm, 2 uniones de 3/8" y 2 TE de 3/8", en las uniones de los componentes se utiliza teflón con la finalidad de ajustar y evitar posibles fugas.

Válvula Reguladora de flujo. La válvula reguladora de flujo consta de cuatro elementos principales: base soporte de regulación, válvula de bola, motor a pasos y acoplé válvula – motor. La base soporte está fabricada de ASTM A36 y pintada al horno, en el cual se fija el motor a pasos por medio de 4 pernos de 3mm. Por medio de un acople que se conecta el motor a pasos y la válvula de bola. La válvula de bola se fija a la base soporte por medio de dos abrazaderas. La Figura 56 muestra la válvula reguladora de flujo ensamblada.

Figura 56

Ensamble - Válvula reguladora de flujo



La Figura 57 muestra el ensamble final del sistema bypass de flujo fijada a la estructura base adherida a la tubería que conecta al quemador

Figura 57

Ensamble- Sistema de Bypass



Tablero de Control

La principal función del tablero de control es la interacción visual, manual y auditiva entre la máquina y el operario, en el tablero se encuentran conectados luces pilotos, selectores, pulsadores, potenciómetro, paro de emergencia, LCD, sirena y Switch ON-OFF, estos elementos tienen como objeto el ingreso de los parámetros de control para el proceso de tueste. Para colocar y fijar los pulsadores e indicadores se realiza el proceso de taladrado en el tablero para luego proceder con el etiquetado de cada elemento como se indica en la Figura 58

Figura 58

Tablero de Control

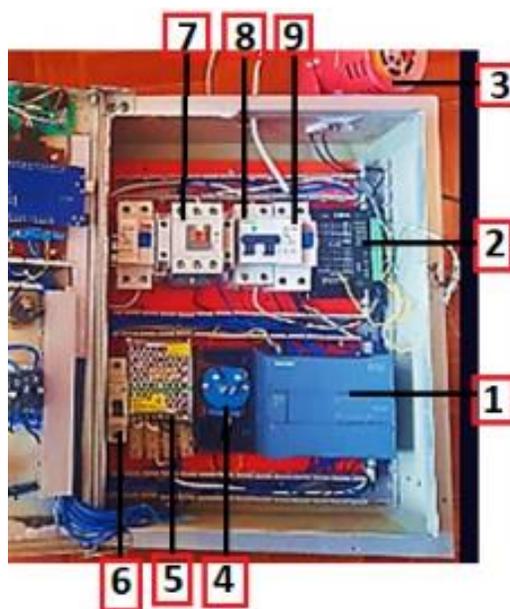


Caja de Control Eléctrico y Electrónico

El proceso de implementación del tablero de control inicia al fijar el PLC S7-1200 al tablero principal y a su alrededor se coloca los demás dispositivos electrónicos tales como la placa de acondicionamiento del transmisor de temperatura, fuente de alimentación del Arduino y LCD, Breaker para proteger al PLC, contactor, interruptor termo magnético e interruptor diferencial, como también el driver del motor a pasos, como indica la Figura 59.

Figura 59

Caja de Control



Nota. 1. PLC, 2. Driver motor a pasos, 3. Sirena, 4. Transmisor de temperatura acondicionado, 5. Fuente DC-5V, 6. Breaker PLC, 7. Contactor magnético, 8. Interruptor termo magnético, 9. Interruptor diferencial.

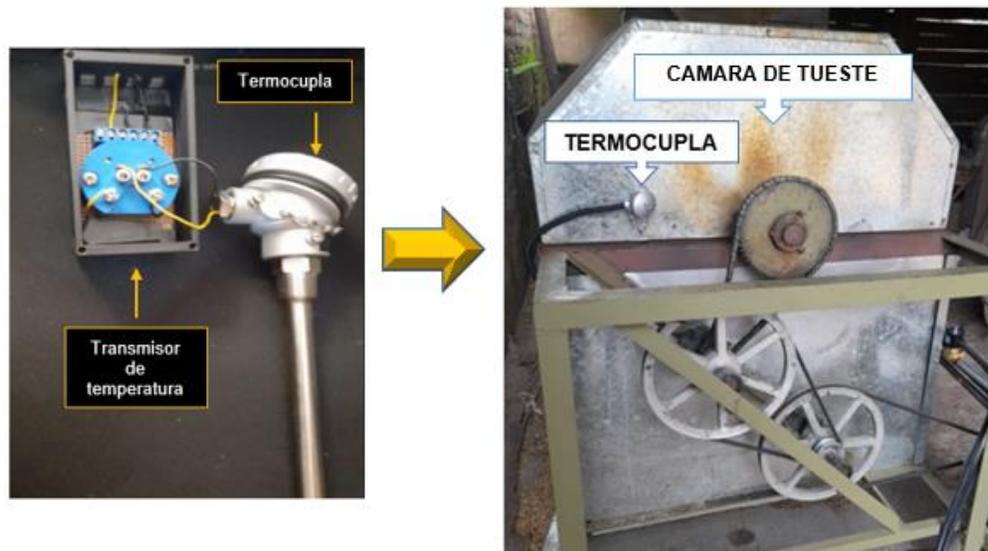
Implementación del transmisor de temperatura

Al transmisor de temperatura se lo ubica en una baquelita agujerada, a la cual se fijan las borneras para facilidad de conectar las entradas, salidas y alimentación del sistema de acondicionamiento; con el fin de brindar seguridad se coloca una salida que se direcciona a la

entrada analógica del PLC. También se coloca la resistencia que realiza la transformación de corriente a voltaje del transmisor. Una vez incorporada la placa del transmisor en una caja de protección se conecta la termocupla tipo K al transmisor, la misma que se fija a la cámara de tueste, como se muestra en la Figura 60.

Figura 60

Acondicionamiento de temperatura



Nota. La imagen representa el acondicionamiento del transmisor y la colocación de la termocupla tipo K en la cámara de tueste.

Sistema de Control

En esta sesión se implementa los controladores PID y Fuzzy de temperatura de la tostadora automática de granos. Para obtener una buena sintonización de los controladores, se procede al modelamiento de planta, el mismo que servirá de análisis en el comportamiento de los controladores con el sistema.

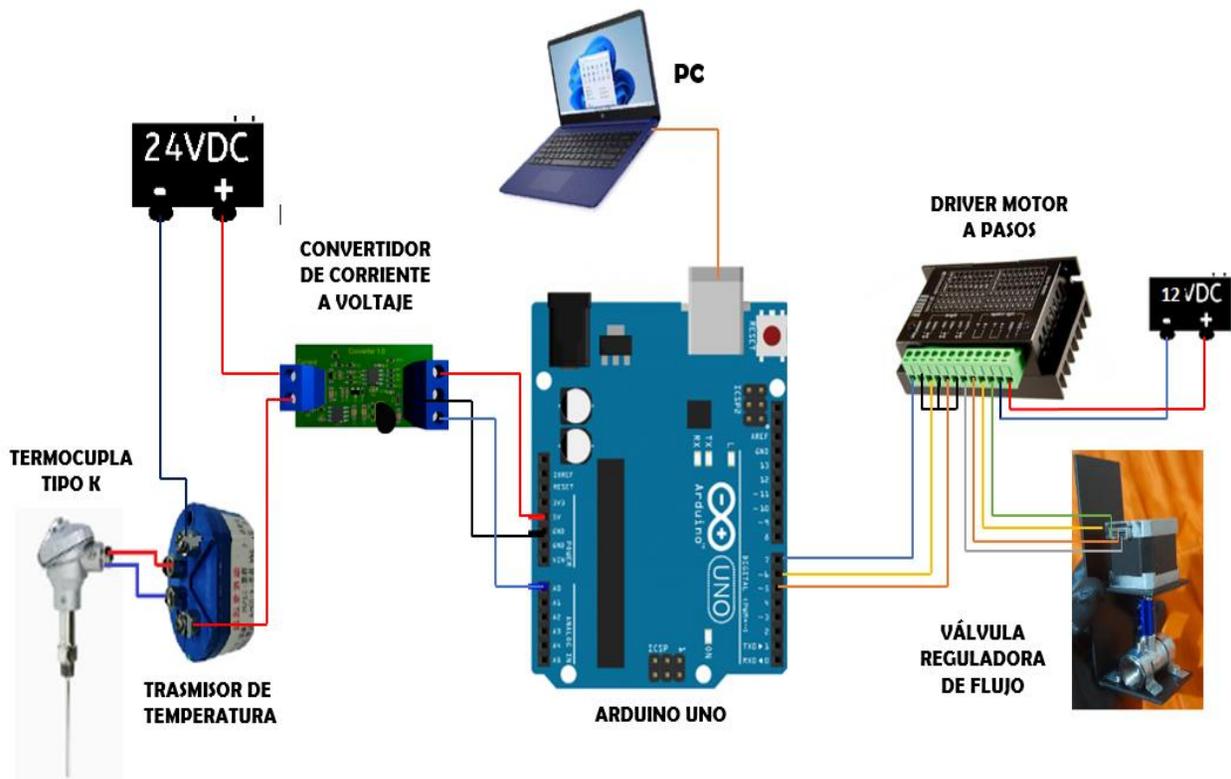
Modelado matemático de la tostadora de granos

El modelado según identificación del sistema trata del método experimental, que permite obtener el modelo del sistema a partir de datos reales de entrada y salida (E/S) de la planta. Al

ser un método experimental se tiene que implementar un circuito para la toma de datos, mismo que se aprecia en la Figura 61. Los softwares que se utilizaron para la adquisición de datos son Matlab y Arduino. Para crear una buena comunicación entre la PC y el Arduino, se instaló el *Matlab Support Packages for Arduino Hardware*.

Figura 61

Circuito de adquisición de datos

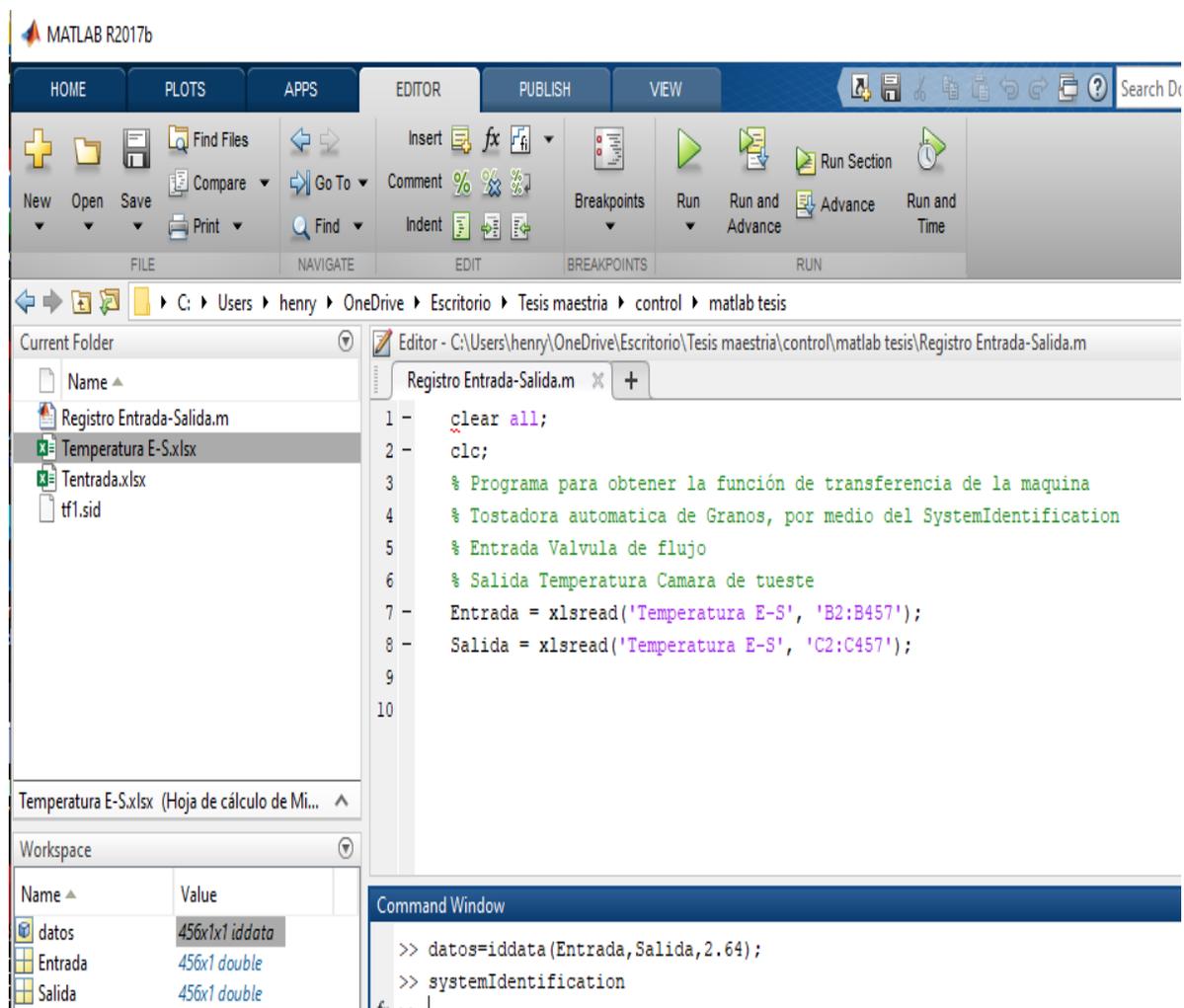


Al conectar el controlador (Arduino) al computador para la adquirir los datos de entrada - salida, al estar conectados correctamente los paquetes, en la ventana de comandos del Matlab se presenta un aviso con la frase "Arduino Uno detectado", aviso que representa que existe comunicación entre el controlador con la Pc y está listo para correr el programa de adquisición de datos. Los datos de entrada y salida registrados experimentalmente, se almacenan en un archivo de Excel generado, que al final contiene 456 datos de entrada y 456 datos de salida.

Mediante el software de MATLAB se analiza la base de datos de entrada y de salida encapsulados en iddata en el objeto llamado “datos”, tal como se aprecia en la Figura 62.

Figura 62

Base de datos de E/S

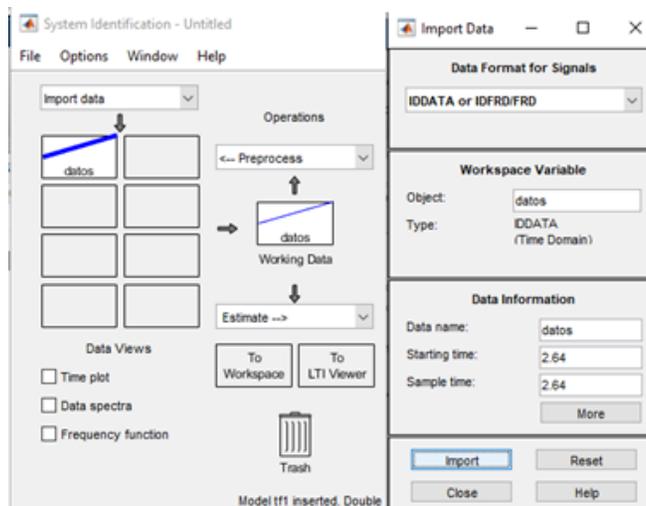


Nota. La imagen representa el código para el almacenamiento de datos de entrada y de salida.

El System Identification función propia del Matlab, importa los datos almacenados desde el Workspace con el nombre del objeto “datos”. Data esencial para obtener la modelación en función de transferencia, tal como se puede apreciar en la Figura 63, el tiempo de muestreo establecido es de 2,64 segundos.

Figura 63

Importación de datos en el SystemIdentification



Una vez importados los datos experimentales de entrada y de salida, se selecciona la operación de Transfer Function Models, estableciendo el número de Zeros y Polos con lo que se requiere modelar el sistema, en esta ocasión se estableció trabajar con dos polos y un Zero como se muestra en la Figura 64, obteniendo como resultado una estimación del 85,18%.

Figura 64

Estimación Función de Transferencia

```

Plant Identification Progress

Transfer Function Identification
Estimation data: Time domain data datos
Data has 1 outputs, 1 inputs and 456 samples.
Number of poles: 2, Number of zeros: 1
Initialization Method: "iv"

Estimation Progress
-----
 7  12.5556  810  7.32e+08  3.64  54.3  2
 8  7.39484  0.000206  9.02e+08  7.96  41.1  2
 9  6.95328  1.9e-05  9.26e+08  13.5  5.97  5
10  6.95245  3.59e-08  9.26e+08  14.4  0.0119  14
11  6.95204  1.79e-08  9.26e+08  14.4  0.00594  15
12  6.95183  8.96e-09  9.26e+08  14.4  0.00297  16
13  6.95181  1.12e-09  9.26e+08  14.4  0.000371  19
14  6.95179  5.6e-10  9.26e+08  14.4  0.000186  20
15  6.95179  1.4e-10  9.26e+08  14.4  4.64e-05  22
16  6.95179  7e-11  9.26e+08  14.4  2.32e-05  23
17  4.47202  9.73e-08  1.14e+09  14.4  35.7  18
18  4.0212  2.06e-08  1.19e+09  22.3  10.1  14
19  3.99399  1.28e-09  1.2e+09  24.8  0.677  16
20  3.96699  1.28e-09  1.2e+09  25  0.676  16

-----
Estimating parameter covariance...
done.

Result
-----
Termination condition: Maximum number of iterations reached.
Number of iterations: 20, Number of function evaluations: 355

Status: Estimated using TFEST
Fit to estimation data: 85.1%, FPE: 3.94959

```

La función de transferencia de la tostadora de granos obtenida se puede observar en la Figura 65, que demuestra el análisis previo establecido de los dos Polos y un Zero.

Figura 65

Función de Transferencia

$$\begin{array}{l} \text{From input "u1" to output "y1":} \\ 0.05474 s + 5.103e-05 \\ \hline s^2 + 0.5611 s + 0.0002109 \end{array}$$

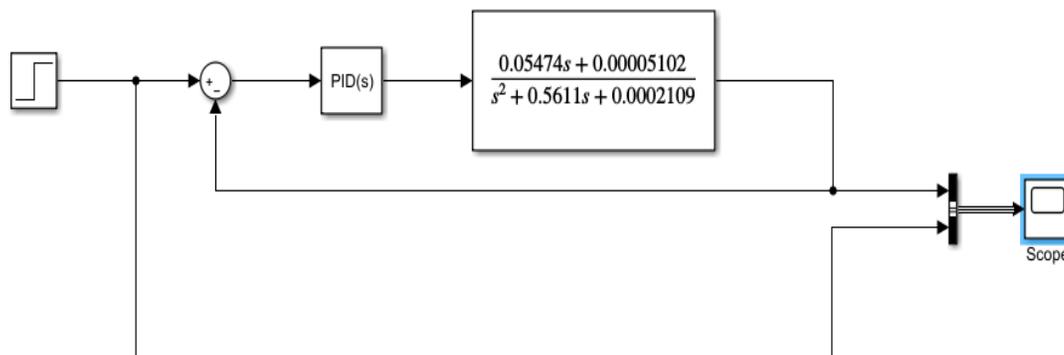
Control PID

Aprovechando el entorno de toolbox Simulink de Matlab conjuntamente con la función de transferencia obtenida experimentalmente se prosigue a diseñar, sintonizar el controlador PID, con la finalidad de analizar e implementar posteriormente.

Diseño Controlador PID. Una vez inicializando el Simulink desde la pantalla de comandos, se implementa el circuito a modelar, como se puede apreciar en la Figura 66, el mismo que tiene el esquema general del controlador PID, que consta: con la entrada esta vez una respuesta escalón, un sumador, el controlador, la función de transferencia de la planta, la retroalimentación y finalmente para su visualización de las curvas características el bloque Scope.

Figura 66

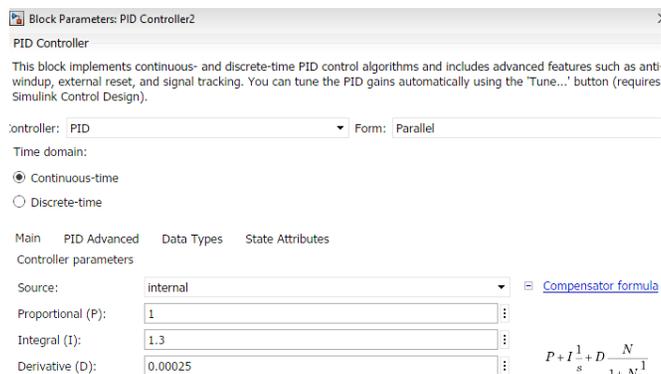
Circuito de bloques del controlador PID



La Figura 67 muestra las constantes del PID que son obtenidas mediante el método de sintonización estocástica.

Figura 67

Constantes del PID

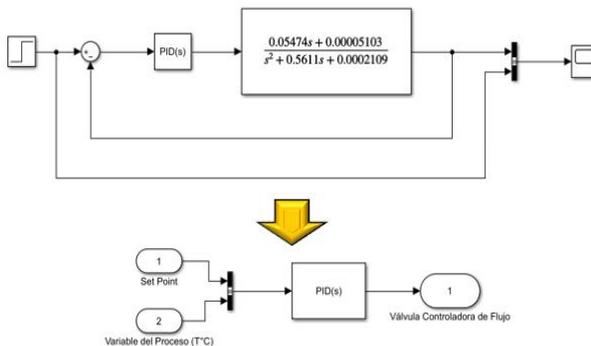


PID Implementado a la planta. Una vez diseñado y simulado el controlador PID en el Simulink de Matlab para pasar el controlador PID diseñado al PLC S7-1200 es necesario seguir los siguientes pasos:

En el entorno de simulink, acondicionar el circuito de bloques PID a un circuito PID con puertos entradas y salidas para un modelo de sub sistema. El mismo que cuenta con una entrada de SetPoint y la Variable de Proceso como entradas al PID, y como salida la Válvula Controladora de Flujo, tal como se puede apreciar en la Figura 68.

Figura 68

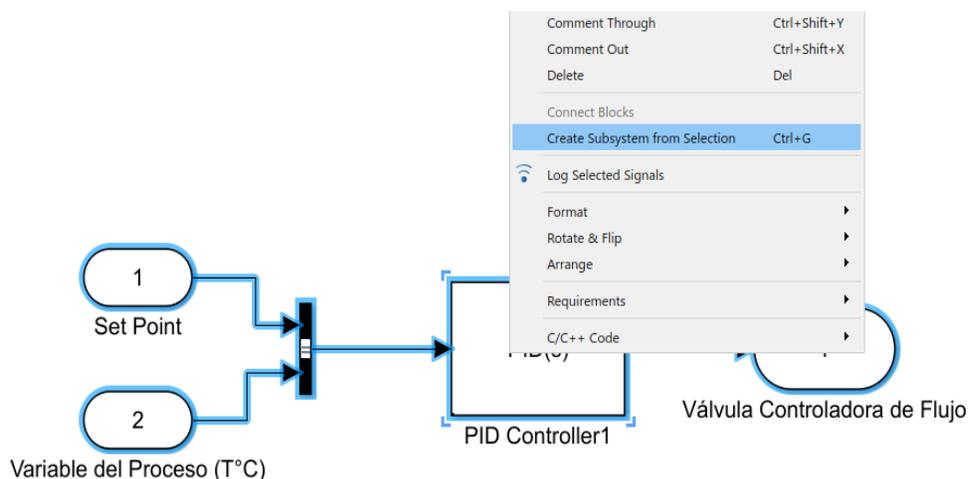
Circuito PID con puertos de entradas y salidas



Para la creación del subsistema PID, se selecciona todo el circuito del PID, se da clic derecho y se selecciona crear subsistema, como se muestra en la Figura 69.

Figura 69

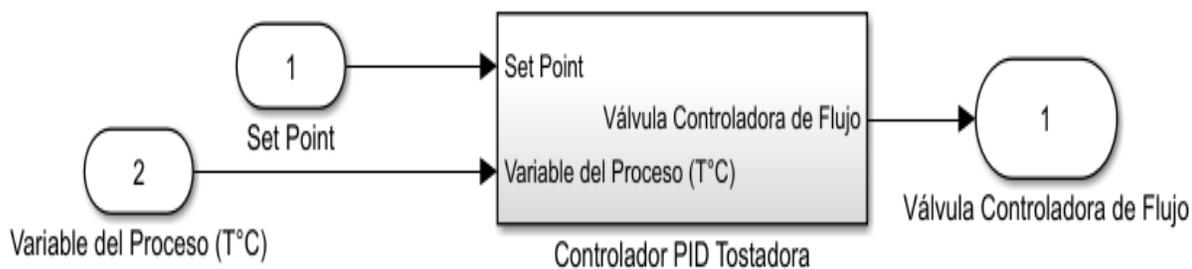
Creación Sub Sistema PID



El subsistema generado en el interfaz de Simulink se puede apreciar en la Figura 70, en el cual se encuentra alojado el PID que se diseñó con anterioridad, con sus respectivas entradas y salidas.

Figura 70

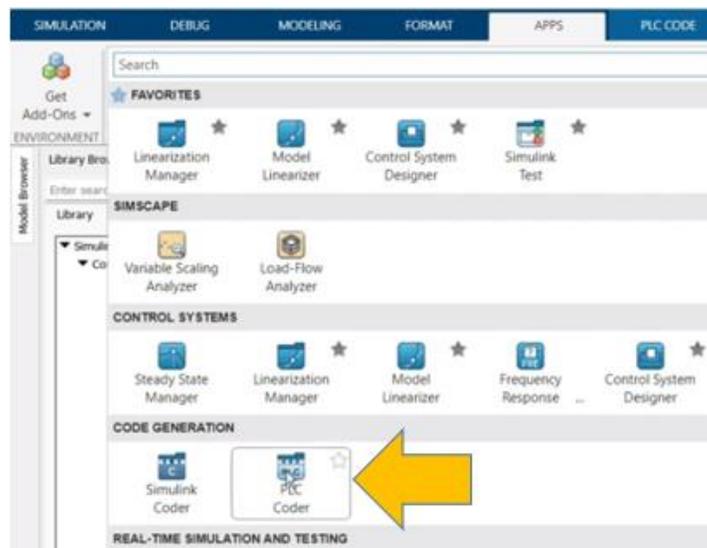
Sub Sistema PID



En la pantalla principal del matlab en la sección de “**APP**”, dirigirse a “**CODE GENERATION**” y selecciona “**PLC CODER**”, tal como se aprecia en la Figura 71.

Figura 71

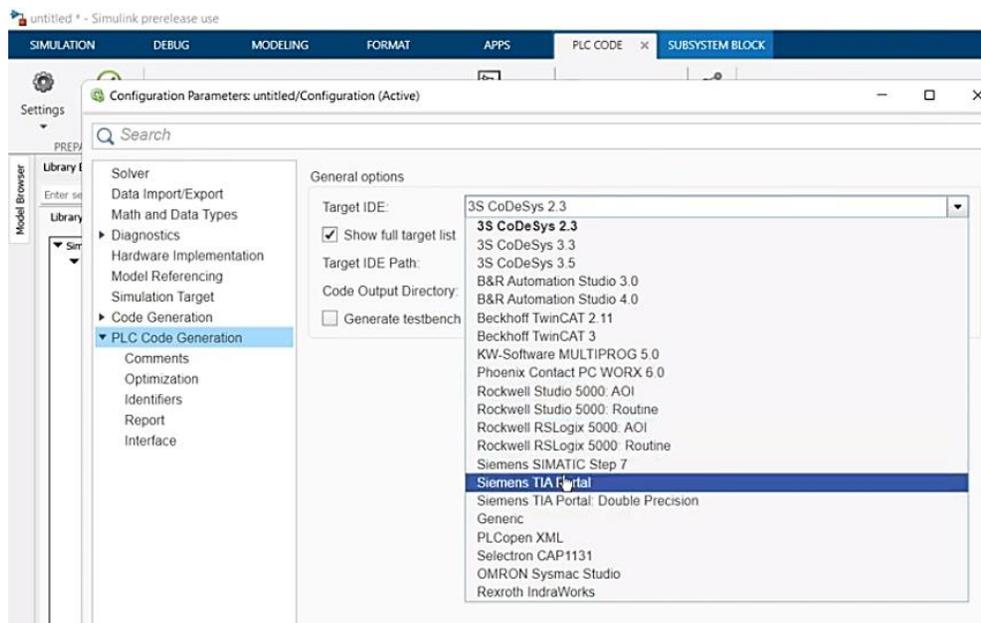
Interfaz pestaña APPS



Dentro de la interfaz del PLC CODE, ir a configuration desplegará el menú de “TARJETA IDE” y seleccionar a la familia del PLC a utilizar, en este caso Simens Tia Portal, como se puede visualizar en la Figura 72.

Figura 72

Selección tipo de PLC a trabajar



La Figura 73 muestra la secuencia a seguir para generar el código que se va a incorporar en el PLC S7-1200, primero hay que dar clic en “Convert to Subsystem”, el ícono se convierte en “Generate PLC Code”

Figura 73

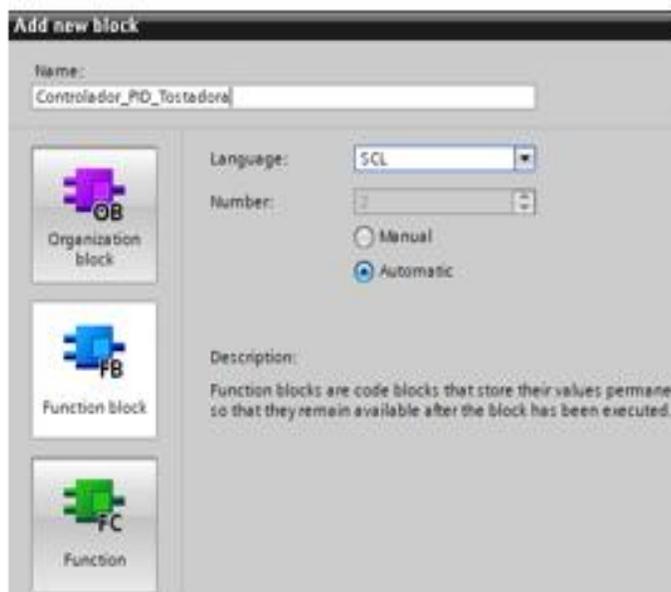
Secuencia de generación del código del PID de Matlab al PLC



El código generado se guarda en un archivo de extensión ST (Structured Text), como se muestra en a Figura 74, para insertar este código al PLC hay que copiar el código generado y pegarlo en el sub proyecto de TIA Portal del PLC S7-1200. Para lo cual se crea una nueva red de programación y se agrega un bloque de tipo función FC (Function Block) en el TIA Portal y se selecciona como lengua de programación SCL (Structured Control Language).

Figura 74

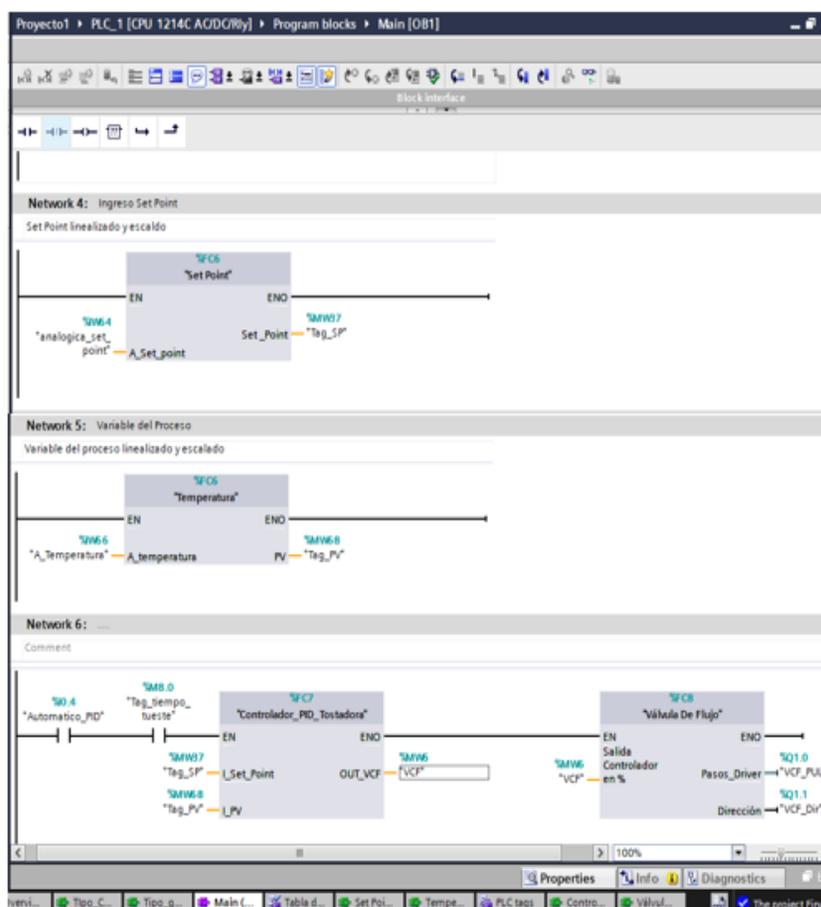
Código PID de PLC Code en Tia-Portal.



Una vez compilado y corregido los errores planteados por el tipo de dato se prosigue a llamar a la función desde el main, y designar las entradas y las salidas que la misma solicitadas por función creada, la Figura 75 muestra un fragmento del programa, en el cual muestra la linealización del SetPoint, y de la temperatura.

Figura 75

Programación TIA-Portal



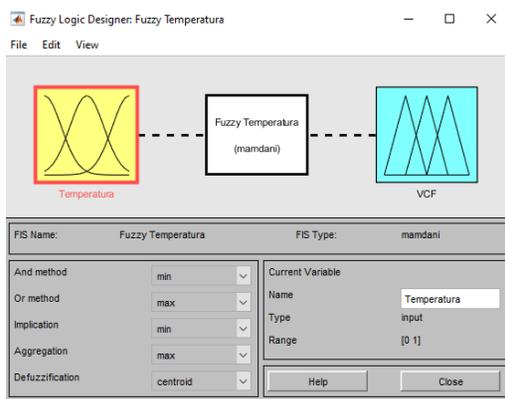
Controlador Fuzzy

Para realizar un control Fuzzy en un PLC S7-1200, primero es necesario contar con un software especializado en el diseño y simulación de controladores Fuzzy como, por ejemplo, MATLAB. Luego se procede a implementar el modelo de control Fuzzy diseñado en el PLC S7-1200.

Diseño Controlador Fuzzy Matlab. Se diseña el controlador Fuzzy en MATLAB utilizando el tool de Fuzzy Logic, especificando las entradas, salidas del controlador tal como se muestra en la Figura 76.

Figura 76

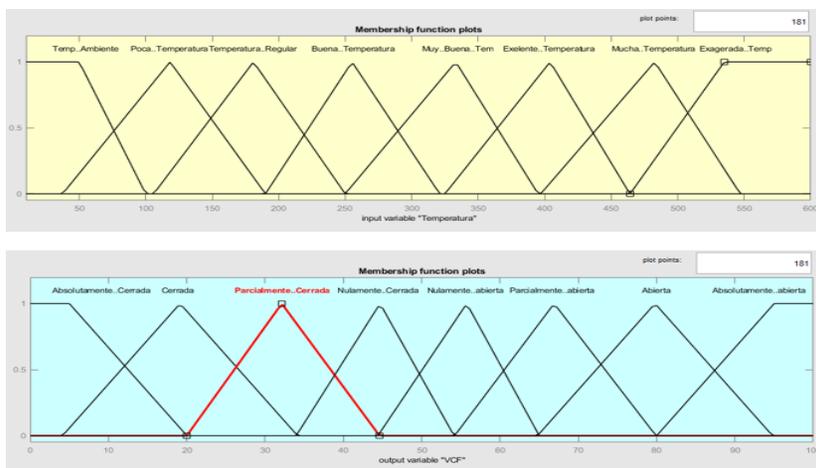
Entorno Fuzzy Logic



Definición de las funciones de membresías: se ha definido 8 funciones de membresía tanto para las variables de entrada y salida del controlador, de las 8 funciones dos son de tipo rampa y 6 de tipo triangular, como se indica en la Figura 77.

Figura 77

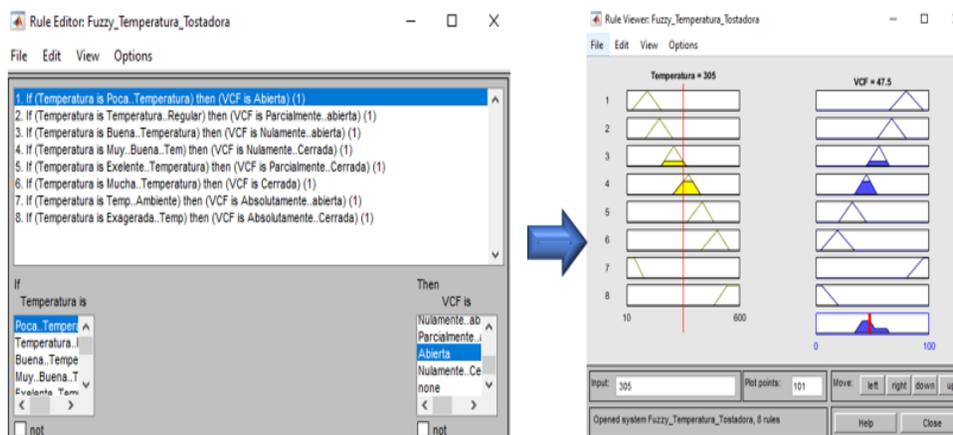
Funciones de membresía



Una vez diseñadas las funciones de membresías con los respectivos rangos, se establecen las reglas, las mismas que relacionan las entradas y salidas del controlador. La Figura 78 indica las reglas definidas del controlador.

Figura 78

Entorno editor de reglas

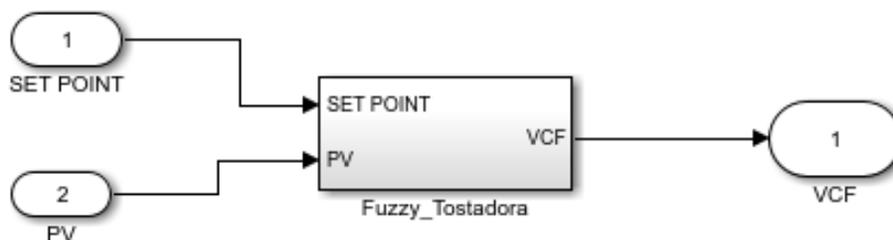


Nota. La imagen muestra las 8 reglas definidas para controlador.

Una vez diseñado el controlado Fuzzy, se exporta el controlador Fuzzy al Workspace del Matlab, en la ventana de comando escribir simulink crear nuevo modelo utilizando el Fuzzy Logic Controllerl, en el cual se manda a llamar el controlador diseñado, posteriormente se diseña el circuito de bloque del controlador para crear un nuevo subsistema. El subsistema generado en el interfaz de Simulink se puede apreciar en la Figura 79, en el cual se encuentra alojado el FUZZY que se diseño con anterioridad, con sus respectivas entradas y salidas.

Figura 79

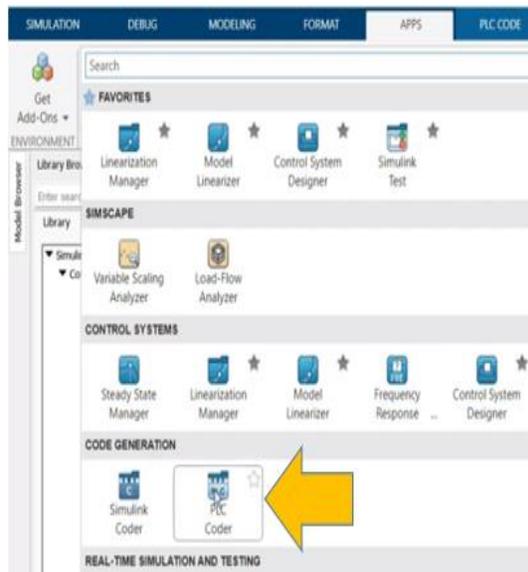
Sub Sistema FUZZY



En la pantalla principal del matlab en la sección de “**APP**”, dirigirse a “**CODE GENERATION**” y seleccionar “**PLC CODER**”, tal como se aprecia en la Figura 80.

Figura 80

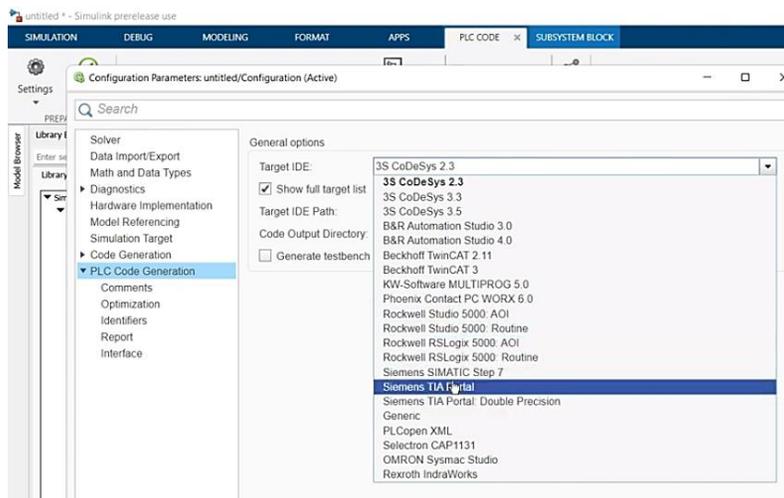
Interfaz pestaña APPS



Dentro de la interfaz del PLC CODE, ir a configuration desplegará el menú de “**TARJETA IDE**” y seleccionar a la familia del PLC a utilizar, en este caso Simens Tia Portal, como se puede visualizar en la Figura 81.

Figura 81

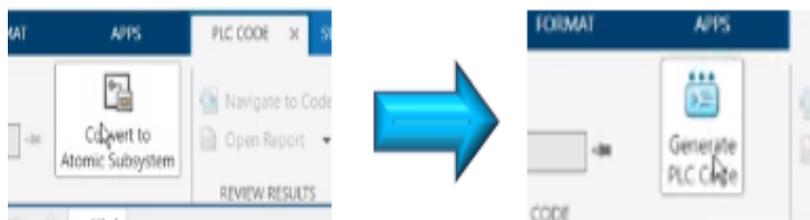
Selección PLC a trabajar



La Figura 82 muestra la secuencia a seguir para generar el código que se va a incorporar en el PLC S7-1200, primero hay que dar clic en **“Convert to Subsystem”**, el ícono se convierte en **“Generate PLC Code”**

Figura 82

Generate PLC Code



Nota. Secuencia para generar el código del FUZZY de Matlab al PLC.

El código generado se guarda en un archivo de extensión ST (Structured Text), como se muestra en a figura 69, para insertar este código al PLC hay que copiar el código generado y pegarlo en el sub proyecto de TIA Portal del PLC S7-1200. Para lo cual se crea una nueva red de programación y se agrega un bloque de tipo función FC (Function Block) en el TIA Portal y se selecciona como lengua de programación SCL (Structured Control Language) es un lenguaje de programación de alto nivel orientado a Pascal que posibilita una programación estructurada.

Figura 83

Código Fuzzy de PLC Code para Tia-Portal.

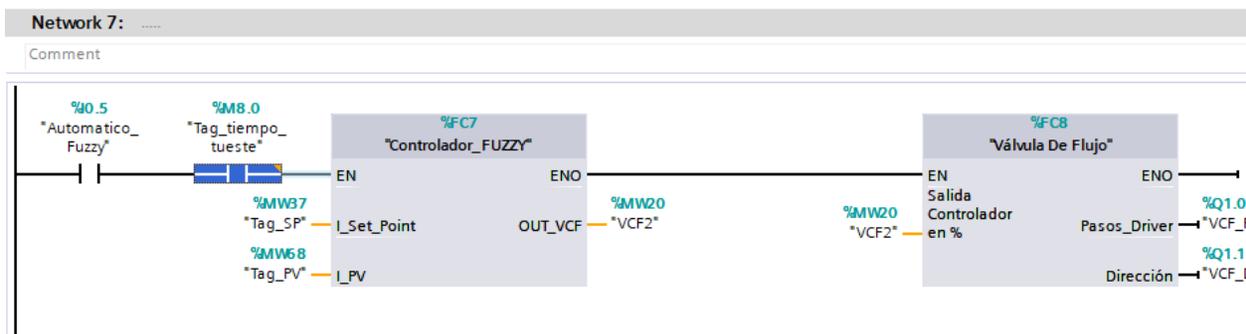
```

Match Case
File: untitled.st
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000
1001
1002
1003
1004
1005
1006
1007
1008
1009
1010
1011
1012
1013
1014
1015
1016
1017
1018
1019
1020
1021
1022
1023
1024
1025
1026
1027
1028
1029
1030
1031
1032
1033
1034
1035
1036
1037
1038
1039
1040
1041
1042
1043
1044
1045
1046
1047
1048
1049
1050
1051
1052
1053
1054
1055
1056
1057
1058
1059
1060
1061
1062
1063
1064
1065
1066
1067
1068
1069
1070
1071
1072
1073
1074
1075
1076
1077
1078
1079
1080
1081
1082
1083
1084
1085
1086
1087
1088
1089
1090
1091
1092
1093
1094
1095
1096
1097
1098
1099
1100
1101
1102
1103
1104
1105
1106
1107
1108
1109
1110
1111
1112
1113
1114
1115
1116
1117
1118
1119
1120
1121
1122
1123
1124
1125
1126
1127
1128
1129
1130
1131
1132
1133
1134
1135
1136
1137
1138
1139
1140
1141
1142
1143
1144
1145
1146
1147
1148
1149
1150
1151
1152
1153
1154
1155
1156
1157
1158
1159
1160
1161
1162
1163
1164
1165
1166
1167
1168
1169
1170
1171
1172
1173
1174
1175
1176
1177
1178
1179
1180
1181
1182
1183
1184
1185
1186
1187
1188
1189
1190
1191
1192
1193
1194
1195
1196
1197
1198
1199
1200
1201
1202
1203
1204
1205
1206
1207
1208
1209
1210
1211
1212
1213
1214
1215
1216
1217
1218
1219
1220
1221
1222
1223
1224
1225
1226
1227
1228
1229
1230
1231
1232
1233
1234
1235
1236
1237
1238
1239
1240
1241
1242
1243
1244
1245
1246
1247
1248
1249
1250
1251
1252
1253
1254
1255
1256
1257
1258
1259
1260
1261
1262
1263
1264
1265
1266
1267
1268
1269
1270
1271
1272
1273
1274
1275
1276
1277
1278
1279
1280
1281
1282
1283
1284
1285
1286
1287
1288
1289
1290
1291
1292
1293
1294
1295
1296
1297
1298
1299
1300
1301
1302
1303
1304
1305
1306
1307
1308
1309
1310
1311
1312
1313
1314
1315
1316
1317
1318
1319
1320
1321
1322
1323
1324
1325
1326
1327
1328
1329
1330
1331
1332
1333
1334
1335
1336
1337
1338
1339
1340
1341
1342
1343
1344
1345
1346
1347
1348
1349
1350
1351
1352
1353
1354
1355
1356
1357
1358
1359
1360
1361
1362
1363
1364
1365
1366
1367
1368
1369
1370
1371
1372
1373
1374
1375
1376
1377
1378
1379
1380
1381
1382
1383
1384
1385
1386
1387
1388
1389
1390
1391
1392
1393
1394
1395
1396
1397
1398
1399
1400
1401
1402
1403
1404
1405
1406
1407
1408
1409
1410
1411
1412
1413
1414
1415
1416
1417
1418
1419
1420
1421
1422
1423
1424
1425
1426
1427
1428
1429
1430
1431
1432
1433
1434
1435
1436
1437
1438
1439
1440
1441
1442
1443
1444
1445
1446
1447
1448
1449
1450
1451
1452
1453
1454
1455
1456
1457
1458
1459
1460
1461
1462
1463
1464
1465
1466
1467
1468
1469
1470
1471
1472
1473
1474
1475
1476
1477
1478
1479
1480
1481
1482
1483
1484
1485
1486
1487
1488
1489
1490
1491
1492
1493
1494
1495
1496
1497
1498
1499
1500
1501
1502
1503
1504
1505
1506
1507
1508
1509
1510
1511
1512
1513
1514
1515
1516
1517
1518
1519
1520
1521
1522
1523
1524
1525
1526
1527
1528
1529
1530
1531
1532
1533
1534
1535
1536
1537
1538
1539
1540
1541
1542
1543
1544
1545
1546
1547
1548
1549
1550
1551
1552
1553
1554
1555
1556
1557
1558
1559
1560
1561
1562
1563
1564
1565
1566
1567
1568
1569
1570
1571
1572
1573
1574
1575
1576
1577
1578
1579
1580
1581
1582
1583
1584
1585
1586
1587
1588
1589
1590
1591
1592
1593
1594
1595
1596
1597
1598
1599
1600
1601
1602
1603
1604
1605
1606
1607
1608
1609
1610
1611
1612
1613
1614
1615
1616
1617
1618
1619
1620
1621
1622
1623
1624
1625
1626
1627
1628
1629
1630
1631
1632
1633
1634
1635
1636
1637
1638
1639
1640
1641
1642
1643
1644
1645
1646
1647
1648
1649
1650
1651
1652
1653
1654
1655
1656
1657
1658
1659
1660
1661
1662
1663
1664
1665
1666
1667
1668
1669
1670
1671
1672
1673
1674
1675
1676
1677
1678
1679
1680
1681
1682
1683
1684
1685
1686
1687
1688
1689
1690
1691
1692
1693
1694
1695
1696
1697
1698
1699
1700
1701
1702
1703
1704
1705
1706
1707
1708
1709
1710
1711
1712
1713
1714
1715
1716
1717
1718
1719
1720
1721
1722
1723
1724
1725
1726
1727
1728
1729
1730
1731
1732
1733
1734
1735
1736
1737
1738
1739
1740
1741
1742
1743
1744
1745
1746
1747
1748
1749
1750
1751
1752
1753
1754
1755
1756
1757
1758
1759
1760
1761
1762
1763
1764
1765
1766
1767
1768
1769
1770
1771
1772
1773
1774
1775
1776
1777
1778
1779
1780
1781
1782
1783
1784
1785
1786
1787
1788
1789
1790
1791
1792
1793
1794
1795
1796
1797
1798
1799
1800
1801
1802
1803
1804
1805
1806
1807
1808
1809
1810
1811
1812
1813
1814
1815
1816
1817
1818
1819
1820
1821
1822
1823
1824
1825
1826
1827
1828
1829
1830
1831
1832
1833
1834
1835
1836
1837
1838
1839
1840
1841
1842
1843
1844
1845
1846
1847
1848
1849
1850
1851
1852
1853
1854
1855
1856
1857
1858
1859
1860
1861
1862
1863
1864
1865
1866
1867
1868
1869
1870
1871
1872
1873
1874
1875
1876
1877
1878
1879
1880
1881
1882
1883
1884
1885
1886
1887
1888
1889
1890
1891
1892
1893
1894
1895
1896
1897
1898
1899
1900
1901
1902
1903
1904
1905
1906
1907
1908
1909
1910
1911
1912
1913
1914
1915
1916
1917
1918
1919
1920
1921
1922
1923
1924
1925
1926
1927
1928
1929
1930
1931
1932
1933
1934
1935
1936
1937
1938
1939
1940
1941
1942
1943
1944
1945
1946
1947
1948
1949
1950
1951
1952
1953
1954
1955
1956
1957
1958
1959
1960
1961
1962
1963
1964
1965
1966
1967
1968
1969
1970
1971
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022
2023
2024
2025
2026
2027
2028
2029
2030
2031
2032
2033
2034
2035
2036
2037
2038
2039
2040
2041
2042
2043
2044
2045
2046
2047
2048
2049
2050
2051
2052
2053
2054
2055
2056
2057
2058
2059
2060
2061
2062
2063
2064
2065
2066
2067
2068
2069
2070
2071
2072
2073
2074
2075
2076
2077
2078
2079
2080
2081
2082
2083
2084
2085
2086
2087
2088
2089
2090
2091
2092
2093
2094
2095
2096
2097
2098
2099
2100
2101
2102
2103
2104
2105
2106
2107
2108
2109
2110
2111
2112
2113
2114
2115
2116
2117
2118
2119
2120
2121
2122
2123
2124
2125
2126
2127
2128
2129
2130
2131
2132
2133
2134
2135
2136
2137
2138
2139
2140
2141
2142
2143
2144
2145
2146
2147
2148
2149
2150
2151
2152
2153
2154
2155
2156
2157
2158
2159
2160
2161
2162
2163
2164
2165
2166
2167
2168
2169
2170
2171
2172
2173
2174
2175
2176
2177
2178
2179
2180
2181
2182
2183
2184
2185
2186
2187
2188
2189
2190
2191
2192
2193
2194
2195
2196
2197
2198
2199
2200
2201
2202
2203
2204
2205
2206
2207
2208
2209
2210
2211
2212
2213
2214
2215
2216
2217
2218
2219
2220
2221
2222
2223
2224
2225
2226
2227
2228
2229
2230
2231
2232
2233
2234
2235
2236
2237
2238
2239
2240
2241
2242
2243
2244
2245
2246
2247
2248
2249
2250
2251
2252
2253
2254
2255
2256
2257
2258
2259
2260
2261
2262
2263
2264
2265
2266
2267
2268
2269
2270
2271
2272
2273
2274
2275
2276
2277
2278
2279
2280
2281
2282
2283
2284
2285
2286
2287
2288
2289
2290
2291
2292
2293
2294
2295
2296
2297
2298
2299
2300
2301
2302
2303
2304
2305
2306
2307
2308
2309
2310
2311
2312
2313
2314
2315
2316
2317
2318
2319
2320
2321
2322
2323
2324
2325
2326
2327
2328
2329
2330
2331
2332
2333
2334
2335
2336
2337
2338
2339
2340
2341
2342
2343
2344
2345
2346
2347
2348
2349
2350
2351
2352
2353
2354
2355
2356
2357
2358
2359
2360
2361
2362
2363
2364
2365
2366
2367
2368
2369
2370
2371
2372
2373
2374
2375
2376
2377
2378
2379
2380
2381
2382
2383
2384
2385
2386
2387
2388
2389
2390
2391
2392
2393
2394
2395
2396
2397
2398
2399
2400
2401
2402
2403
2404
2405
2406
2407
2408
2409
2410
2411
2412
2413
2414
2415
2416
2417
2418
2419
2420
2421
2422
2423
2424
2425
2426
2427
2428
2429
2430
2431
2432
2433
2434
2435
2436
2437
2438
2439
2440
2441
2442
2443
2444
2445
2446
2447
2448
2449
2450
2451
2452
2453
2454
2455
2456
2457
2458
2459
2460
2461
2462
2463
2464
2465
2466
2467
2468
2469
2470
2471
2472
2473
2474
2475
2476
2477
2478
2479
2480
2481
2482
2483
2484
2485
2486
2487
2488
2489
2490
2491
2492
2493
2494
2495
2496
2497
2498
2499
2500
2501
2502
2503
2504
2505
2506
2507
2508
2509
2510
2511
2512
2513
2514
2515
2516
2517
2518
2519
2520
2521
2522
2523
2524
2525
2526
2527
2528
2529
2530
2531
2532
2533
2534
2535
2536
2537
2538
2539
2540
2541
2542
2543
2544
2545
2546
2547
2548
2549
2550
2551
2552
2553
2554
2555
2556
2557
2558
2559
2560
2561
2562
2563
2564
25
```

Una vez compilado y corregido los errores de código planteados por el tipo de dato se prosigue a llamar a la función desde el main, y designar las entradas y las salidas que la misma solicitadas por función creada, la Figura 84 muestra un fragmento del programa, en el cual muestra la linealización del SetPoint, y de la temperatura.

Figura 84

Programación TIA-Portal



Capítulo V

Pruebas y Análisis de Resultados

Las pruebas generales de funcionamiento de la tostadora automática de granos, son realizadas en modo manual, con el fin de analizar el comportamiento entre los sistemas mecánico, eléctrico y electrónico.

Una vez comprobado el correcto funcionamiento entre los sistemas mencionados, se realizan las pruebas y análisis en modo automático, el mismo que está constituido por el control PID y el control Fuzzy, los cuales son analizados de forma individual y en conjunto; tanto en entorno simulado como en el entorno real.

Finalmente, para la validación de la hipótesis planteada, se realiza el análisis de la producción en quintales de granos tostados, utilizados por la Microempresa Bonilla Camino para la producción de harinas.

Pruebas Modo Manual

Para las pruebas en modo manual se establecen los siguientes parámetros: tipo de grano a tostar (habas), cantidad de grano (100 libras) y válvula de flujo (ON al 100%).

Las etapas del proceso general de tostado (Ingreso del grano al cilindro de tueste, creación de la flama, arranque del motor, velocidad del cilindro de tueste y salida de grano), son las principales pruebas planteadas para determinar el análisis de funcionalidad de la tostadora automática de granos.

Prueba de Ingreso de Grano

El ingreso del grano al cilindro de tueste se puede apreciar en la Figura 85, en la cual el operario ingresa el grano hacia la tolva, la misma que direcciona el grano hacia el interior del cilindro de tueste.

Figura 85*Prueba-Ingreso del grano*

El paso del grano de la tolva hacia el cilindro de tueste lo realiza sin dificultad alguna, ingresando la totalidad del grano a tostar.

Prueba de Creación de la Flama

La creación de la flama de tueste se realiza al aperturar la válvula de bola que controla el paso del GLP hacia el quemador y al instante de activar el chispeador, obteniendo de esta manera la flama de tueste como se muestra en la Figura 86.

Figura 86*Prueba-Ingreso del grano*

La flama de tueste se creó con total normalidad y se distribuyó adecuadamente sobre la superficie agujerada del quemador.

Aparte de la creación de la flama se realiza la prueba de presurización, la cual consiste en utilizar agua con detergente y aplicándolo en las uniones del sistema de tubería de la

máquina se observa que no se generan burbujas; esto quiere decir que no hay fugas y el sistema de distribución de GLP es seguro.

Prueba de Arranque

La Figura 87 muestra el tablero de control una vez iniciado el proceso de tueste en modo manual donde se observa la funcionalidad del indicador de arranque con los parámetros establecidos: selector de granos (habas) y selector de control (manual).

Figura 87

Prueba arranque



Nota. 1. Indicador arranque, 2. Selector de grano (haba), 3. Selector control (manual), 4. LCD

Una vez establecidos los parámetros del proceso, al pulsar el botón de arranque se activó y enclavó con normalidad el contactor, el mismo que energiza el motor que generará la rotación del cilindro de tueste. Al pulsar el botón de stop, se detuvo el proceso, cumpliendo con la función establecida dentro del proceso.

Pruebas de Corriente. Aprovechando la prueba de arranque se verifica la corriente nominal del sistema de potencia, tal como se indica en la Figura 88.

Figura 88

Corriente nominal y de arranque



Nota. Corriente de arranque del motor.

La corriente nominal medida 12.9 Amp se acerca a la corriente de la ficha técnica del motor de 13.8 Amp, con lo que valida la selección de los elementos eléctricos y da paso al correcto funcionamiento del sistema eléctrico.

Prueba de RPM del Cilindro de Tueste

La presente prueba tiene como objetivo contabilizar el número de vueltas que da el cilindro de tueste durante un minuto. Para lo cual se utiliza la aplicación móvil (RPM Meter-Strobe Light) el mismo que determina el número de revoluciones por minuto a través de la cámara posterior de teléfono celular, que al estar activada la linterna la aplicación contabiliza cada vez que el punto de referencia corte de luz.

El valor de rpm reales de la tostadora automática de granos es de 24 rpm como se puede apreciar en la Figura 89.

Figura 89*RPM Cilindro de Tueste Real*

El número de revoluciones por minutos planteados en el diseño de detalle es de 29 rpm y el número de revoluciones reales es de 24 rpm. Esta diferencia expuesta entre el rpm real y la diseñada se da por la utilización del motor otorgado por la microempresa Bonilla Camino al ser este de segunda mano.

Por otra parte, el rango de rpm recomendados para procesos de tostado es: $20 > \text{rpm} < 35$, por lo que el número de RPM real se encuentra dentro del rango establecido, logrando así validar el rpm de la tostadora automática de granos.

Prueba Salida de Grano

Luego de haber transcurrido el tiempo de tueste, se detiene el movimiento del motor y se retira la compuerta de salida del cilindro de tueste, posteriormente el motor retoma su movimiento por un lapso de 2 minutos, tiempo necesario para la extracción del grano como se observa en la Figura 90.

Figura 90

Salida del grano



La extracción del grano se lo realiza con total normalidad, logrando extraer el 100 % del grano del cilindro de tueste y no presenta desperdicio de grano en el traspaso al recipiente de almacenamiento.

Pruebas Modo Automático

Esta sección se centra en el comportamiento de los controladores PID y Fuzzy en el control de temperatura de la tostadora automática de granos. El SetPoint utilizado para las pruebas de los controladores en el entorno real es de 450°C, referencia que se utiliza para analizar el comportamiento de la temperatura de la tostadora automática de granos con respecto al tiempo.

Modo Automático PID

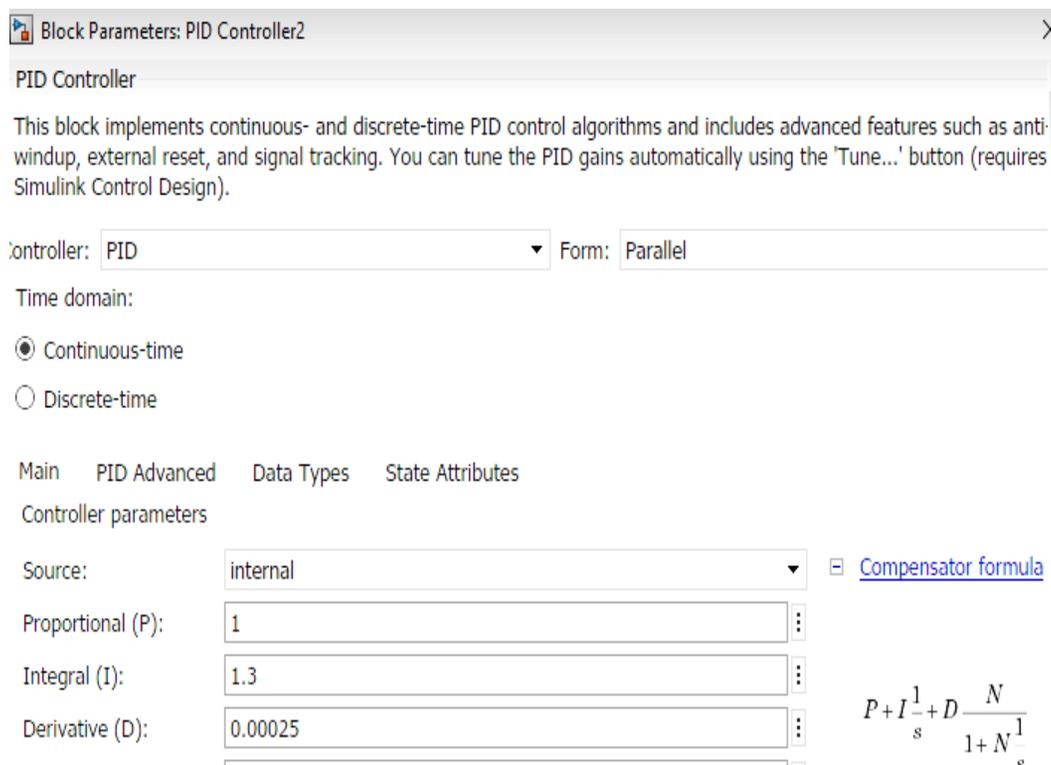
Para la implementación del controlador PID a la tostadora automática de granos en el entorno real, se realiza un análisis previo entre el controlador PID y la planta modelada matemáticamente en un entorno simulado, el cual servirá de herramienta fundamental en la sintonización del controlador.

Entorno simulado PID. El software a utilizar en la simulación del controlador de temperatura PID es el Simulink de Matlab, el cual, una vez implementado el circuito de bloques del proceso en lazo cerrado, se sintoniza el controlador y se analiza la gráfica de salida del proceso en respecto al tiempo. Parte de las pruebas del controlador es someter al sistema una perturbación para analizar el comportamiento de la misma.

La sintonización del controlador PID de temperatura se lo realiza por medio del método estocástico, las ganancias: proporcional, integral y derivativa obtenidas por este método se puede apreciar en la Figura 91.

Figura 91

Constantes del PID

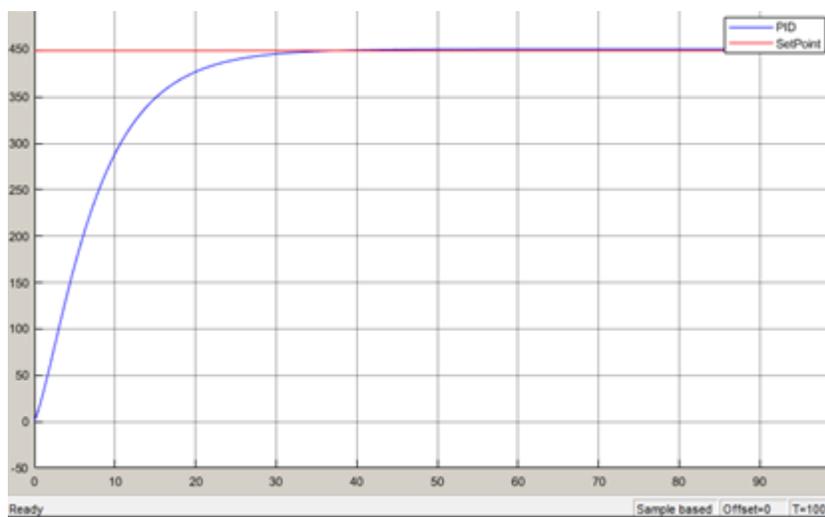


La Figura 92 muestra la respuesta de la planta controlada por una configuración PID paralelo, ante una entrada de tipo escalón. En el cual se observa que el tiempo de establecimiento con un criterio del 98,2% es de 30 segundos y cumple con los objetivos de

control (error de estado estacionario nulo, no sobre impulsos y mínimo tiempo de establecimiento) ya que no presenta oscilaciones.

Figura 92

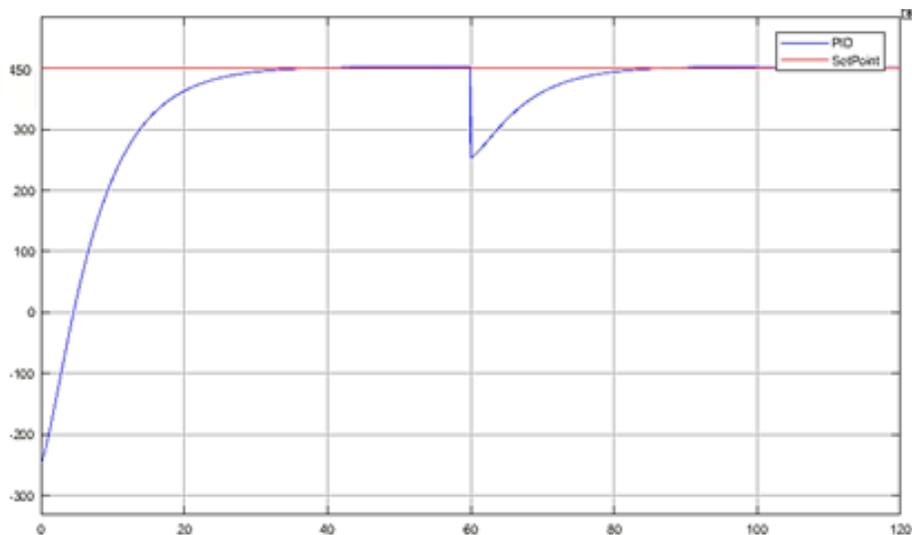
Señales simuladas de la variable de proceso



La Figura 93 muestra el comportamiento de la salida del proceso controlada, al aplicar una perturbación a los 60 segundos.

Figura 93

Señales de la variable de proceso con perturbación



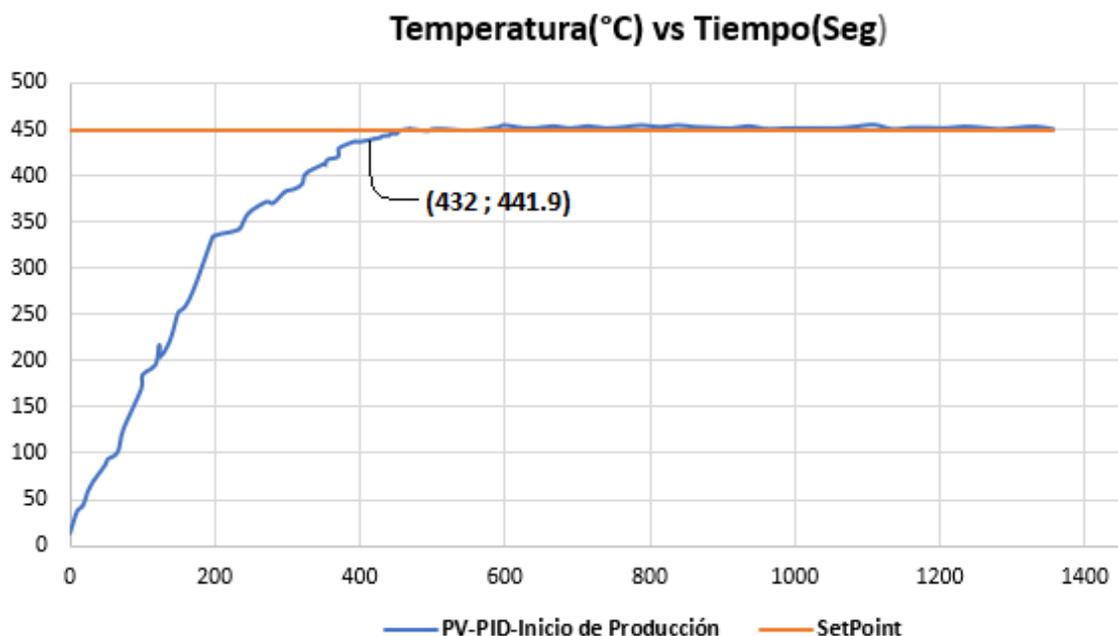
Al introducir una perturbación y recaer la variable de proceso a 250°C como se aprecia en la Figura 93; el controlador responde de manera adecuada y logra estabilizarse a los 25 segundos de registrar la perturbación, no presenta sobre impulso ni tampoco se apreció error en el estado estacionario.

Entorno Real PID. Para la obtención de la gráfica Temperatura (°C) vs Tiempo (Segundos), en el entorno real, se lo realiza en dos etapas del proceso, la primera al iniciar el proceso con la máquina descansada con una temperatura inicial igual a la temperatura ambiente que comprende entre 11°C a 14°C. Y la segunda etapa cuando la máquina lleva tiempo trabajando con una temperatura inicial de 100°C a “150°C

PID Real Inicio de Producción. La prueba realizada al inicio de arrancar la producción de tostado se hace a las 8:30 de la mañana, con una temperatura ambiente inicial de 11°C, y la temperatura de tueste que debe alcanzar es de 450 °C tal como se aprecia en La Figura 94.

Figura 94

Señal real inicio de producción

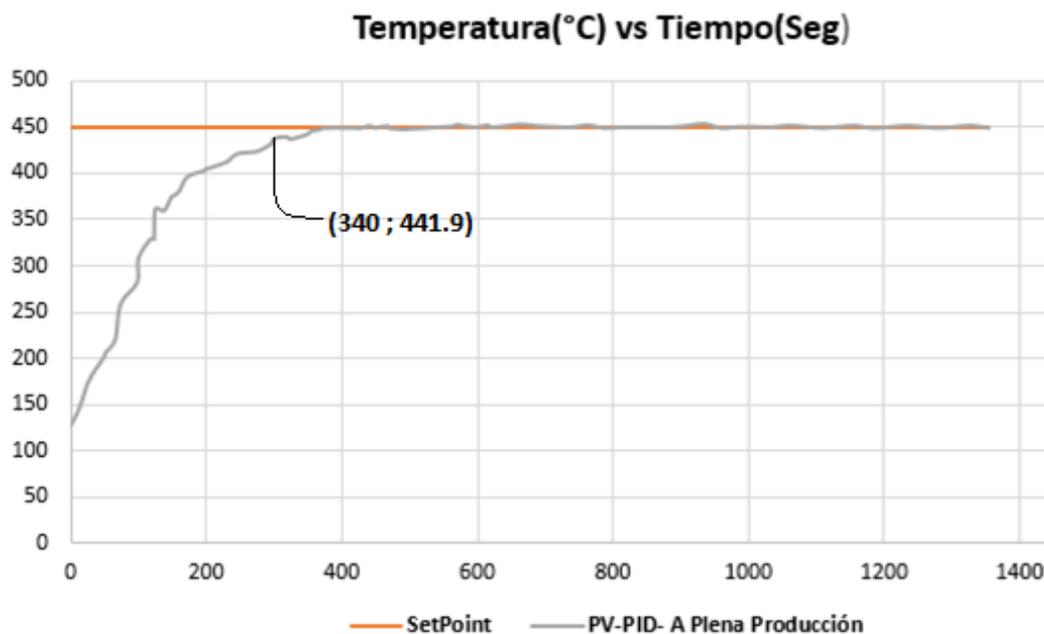


La gráfica Temperatura vs Tiempo utilizando el controlado PID, nos arroja los siguientes resultados: el tiempo de establecimiento aplicando un criterio del 98,2% es de 432 segundos es decir 7.2 minutos, adicionalmente no presenta sobre impulso y el error en estado estacionario es casi despreciable con una tolerancia permitida de 0,02%.

PID Real a Plena Producción. Una vez tostado tres quintales de habas se prosigue realiza la toma de datos con el cuarto quintal a tostar, las condiciones de tueste son: temperatura de tueste 450 °C y tiempo de tueste 23 minutos es decir 1380 segundos tal como se aprecia en La Figura 95.

Figura 95

Señal PID real a plena producción



La gráfica Temperatura vs Tiempo utilizando el controlado PID, a plena producción nos arroja los siguientes resultados: el tiempo de establecimiento con un criterio del 98,2% es de 340 segundos es decir 5.6 minutos, además no presenta sobre impulso y el error en estado estacionario se encuentra dentro de la tolerancia de 0,02%.

Modo Automático Fuzzy

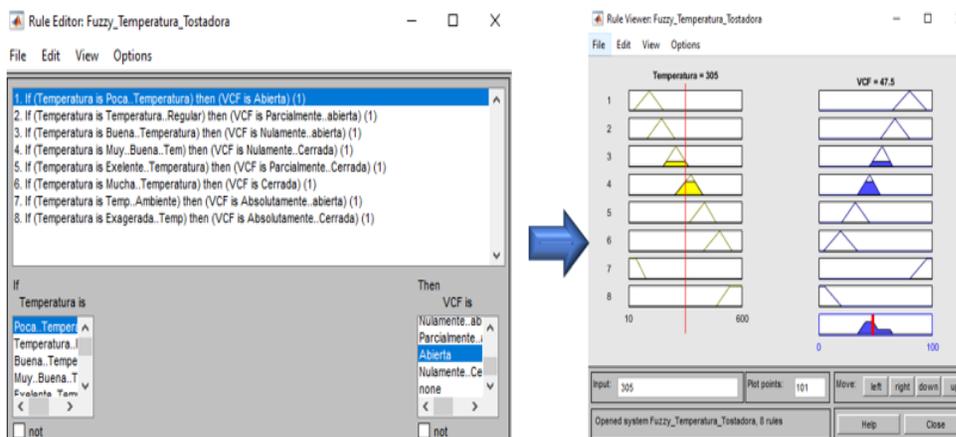
Antes de implementar el controlador Fuzzy a la tostadora automática de grados en el entorno real, se realiza un análisis entre el controlador Fuzzy y la planta modelada matemáticamente en un entorno simulado. Para el diseño del controlador se define 8 funciones de membresía tanto para las variables de entrada y salida del controlador, de las 8 funciones dos son de tipo rampa y 6 de tipo triangular. Las reglas establecidas del controlador Fuzzy son de base proporcional entre las variables de entrada y salida.

Entorno simulado Fuzzy. La herramienta a utilizar en la simulación del controlador de temperatura Fuzzy es el Fuzzy Logic de Matlab, el cual, utiliza una configuración de tipo Mamdani una vez diseñado el controlador se analiza la gráfica de salida del proceso en respecto al tiempo.

Las funciones de membresías diseñadas con sus respectivos rangos son la base para establecer las reglas, las mismas que se encuentran relacionadas de forma proporcional entre las entradas y salidas del controlador, tal como se indica en la Figura 96.

Figura 96

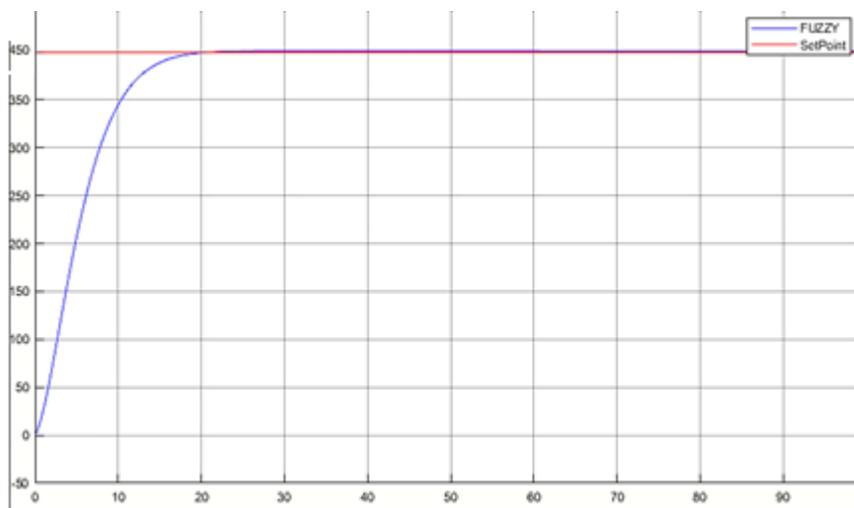
Entorno de reglas



La Figura 97 muestra la respuesta de la planta controlada, al utilizar el controlador Fuzzy de tipo Mamdani, utilizando una entrada de tipo escalón que simulara el SetPoint del proceso.

Figura 97

Señales simuladas de la variable de proceso

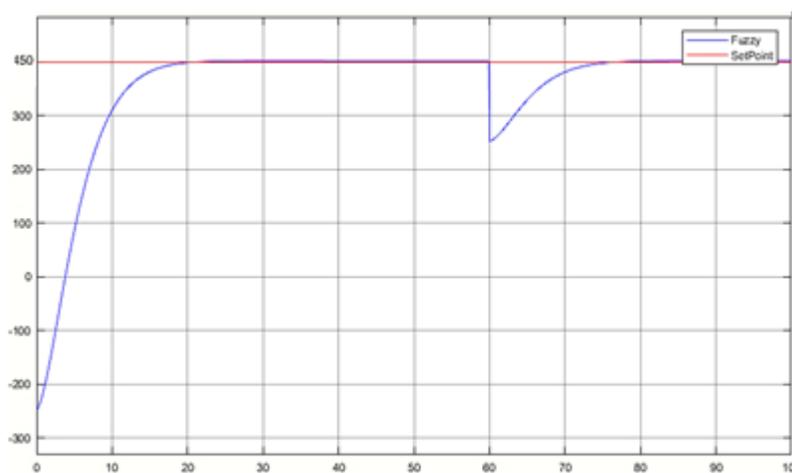


El tiempo de establecimiento utilizando el criterio del 98,2% es de aproximadamente 17 segundos y cumple con los objetivos de control (error de estado estacionario nulo, no sobre impulsos y mínimo tiempo de establecimiento) ya que no presenta oscilaciones.

Parte de las pruebas del controlador Fuzzy es someter al sistema una perturbación para analizar el comportamiento de la misma. La Figura 98 muestra el comportamiento de la salida del proceso controlada, al aplicar una perturbación a los 60 segundos.

Figura 98

Señales de la variable de proceso con perturbación



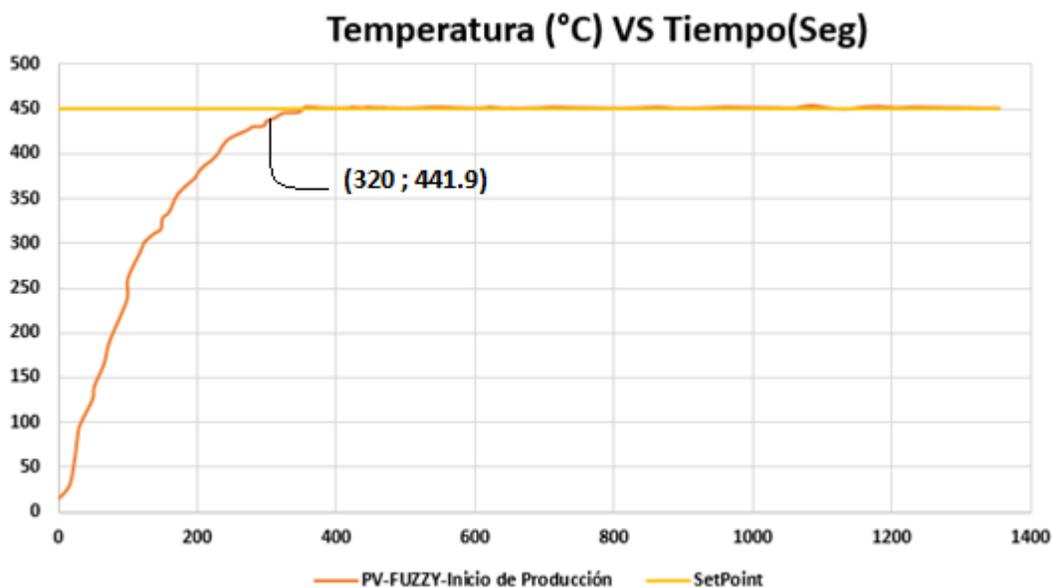
Al introducir una perturbación y recaer la temperatura a 250°C el controlador responde de manera adecuada y se logra estabilizar a los 13 segundos de registrar la perturbación, no presenta sobre impulso ni tampoco se aprecia el error en estado estacionario. Lo que conlleva a validar el funcionamiento del controlador.

Entorno Real Fuzzy. La gráfica de Temperatura (°C) vs Tiempo (Segundos), en el entorno real, se lo realiza en dos etapas del proceso, la primera al iniciar el proceso con la máquina descansada con una temperatura inicial igual a la temperatura ambiente entre 11°C a 14°C. Y la segunda etapa cuando la máquina lleva tiempo trabajando con una temperatura inicial de 100°C a “150°C

Fuzzy Real Inicio de Producción. La producción de tostado inicia a las 8:30 am, con una temperatura ambiente inicial de 11.2°C, y la temperatura de tueste que debe alcanzar es de 450 °C, y el tiempo de tueste es de 23 minutos, tal como se aprecia en La Figura 99.

Figura 99

Señal real inicio de producción



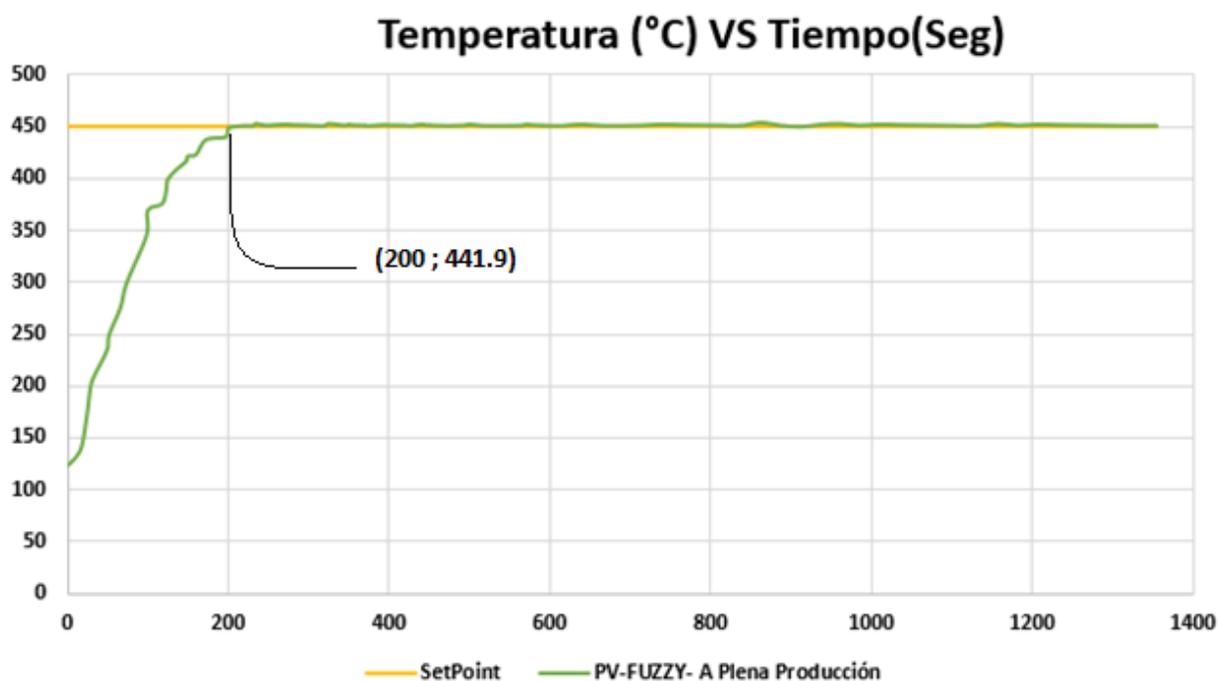
La gráfica Temperatura vs Tiempo utilizando el controlador Fuzzy, nos arroja los siguientes resultados: el tiempo de establecimiento con un criterio del 98,2% es de 320

segundos es decir 5.3 minutos. Adicionalmente no presenta sobre impulso y tampoco presenta error en el estado estacionario al considerar una tolerancia permitida de 0,02%.

Fuzzy Real a Plena Producción. Una vez tostado tres quintales de habas se prosigue realiza la toma de datos con el cuarto quintal a tostar, las condiciones de tueste son: temperatura de tueste 450 °C y tiempo de tueste 23 minutos es decir 1380 segundos tal como se aprecia en La Figura 100.

Figura 100

Señal real Fuzzy a plena producción



La gráfica Temperatura vs Tiempo utilizando el controlador Fuzzy, a plena producción nos arroja los siguientes resultados: el tiempo de establecimiento al utilizar el criterio del 98,2% es de 200 segundos es decir 3.3 minutos, además no presenta sobre impulso y el error en estado estacionario es casi despreciable, con una tolerancia permitida del 0,02%.

Análisis entre Controladores

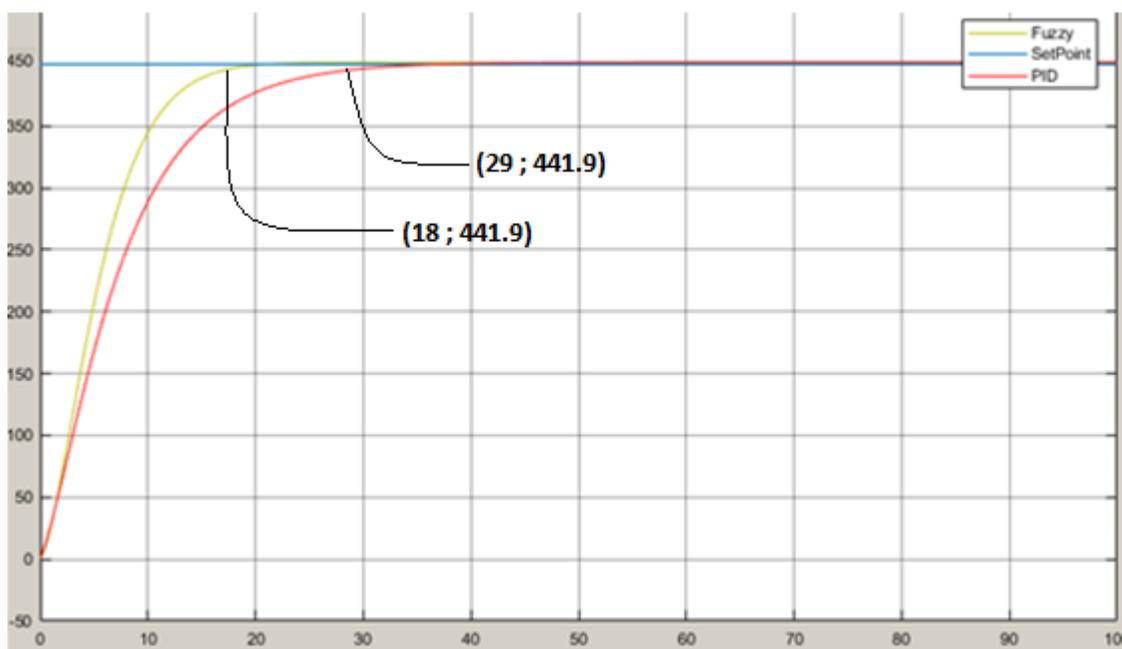
En esta sección se analizará el funcionamiento entre el controlador PID Y Fuzzy Logic en dos entornos: el primero solo el entorno simulado y el segundo solo el entorno real. El

análisis en ambos entornos se lo realiza en virtud de que; al momento de obtener el modelado matemático con una estimación del 83% de la planta en la simulación, los valores con respecto al entorno real son totalmente diferentes como se apreciará posteriormente en esta sección.

Entorno Simulado. La Figura 101 muestra, el funcionamiento de los controladores: PID y Fuzzy en el modelo propuesto, para lo cual la respuesta de tipo escalón se muestra a continuación.

Figura 101

Señales Simuladas PID y Fuzzy



Nota: El eje de las ordenadas representa la temperatura en grados centígrados, mientras que el eje de las abscisas representa el tiempo en segundos.

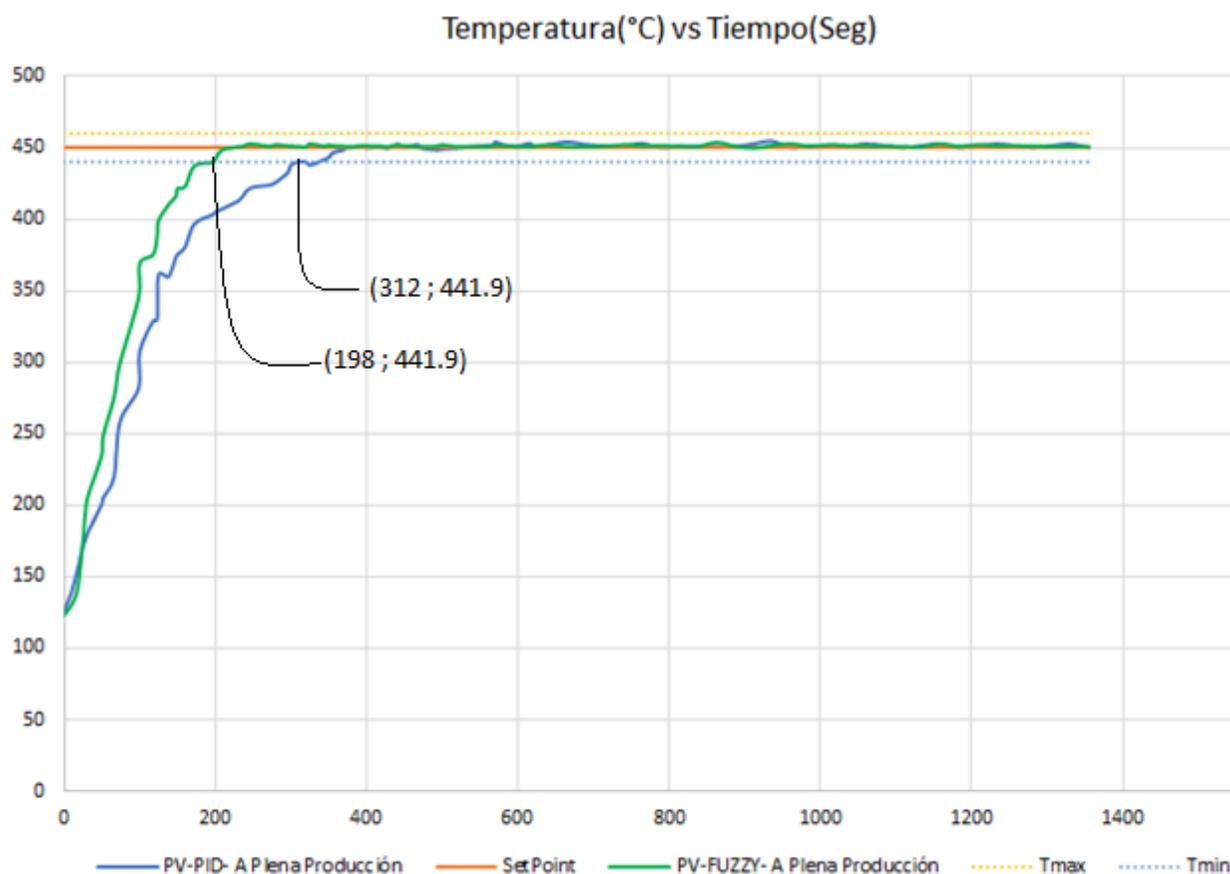
Como se puede evidenciar en la Figura 101, el tiempo de establecimiento (t_s) utilizando un criterio del 98,2% arroja que el controlador PID tiene un $t_s = 29$ segundos mientras que el controlador Fuzzy tiene un $t_s = 18$ segundos, dando una variación porcentual de 37,93% representando mayor tiempo de establecimiento entre el controlador PID con respecto al

controlador Fuzzy, adicionalmente no poseen sobre impulso ni tampoco error en estado estacionario.

Entorno Real. De acuerdo a la Figura 102; se muestra el funcionamiento de los controladores PID y FUZZY en el entorno real, utilizando la respuesta escalón dada por el SetPoint de temperatura de 450 grados centígrados.

Figura 102

Señal real PID y Fuzzy



Nota. Tmax= Temperatura máxima de tueste 460°C, Tmin= Temperatura mínima de tueste 440°C. Las señales PV-PID y PV-FUZZY fueron filtradas para la eliminación de ruido q poseen al ser de una data real, con fines de visualización y análisis.

Como se puede evidenciar en la Figura 102, el tiempo de establecimiento(t_s) utilizando un criterio del 98,2% arroja que el controlador PID tiene un $t_s = 312$ segundos mientras que el

controlador Fuzzy tiene un $t_s = 198$ segundos. La diferencia en t_s de los controladores es de 114 segundos es decir 1.9 minutos y en variación porcentual es de 36,53% siendo el tiempo de establecimiento del controlador PID mayor con respecto al controlador Fuzzy, adicionalmente no poseen sobre impulso. Al ser un sistema real una vez cursado el tiempo de establecimiento se evidencia la presencia pequeñas oscilaciones, las mismas que se encuentran dentro del rango de tolerancia ($\pm 10^\circ\text{C}$) permitidas en el proceso de tueste. Los datos del controlador PID y el controlador Fuzzy obtenidos de la figura 102 se pueden visualizar en la Tabla 9.

Tabla 9

Análisis comparativo entre el controlador PID y Control Fuzzy

	PID	FUZZY
Sobre Impulso	0%	0%
Tiempo de establecimiento	312 segundos	198 segundos

Como se puede evidenciar en el análisis entre los controladores en porcentaje tanto en el entorno real (36,53%) como en el entorno simulado (37,93%), se tiene una similitud de 96,26%. Porcentaje que representa la diferencia del tiempo de establecimiento entre el controlador PID y el controlador Fuzzy. Por lo que independientemente del modelo, los controladores cumplen con su funcionalidad, a pesar de que, en el entorno simulado, se trabajó con una estimación del 85,1%.

Cabe señalar que no se puede realizar un análisis comparativo en valores porque son sistemas totalmente diferentes a pesar de que el modelo matemático se lo realizó de la misma planta.

Validación de la Hipótesis

Para la validación de la hipótesis se realiza el análisis de producción de harinas antes (2022) y después (2023) de la implementación de la tostadora automática de granos haciendo énfasis en la producción de harinas en el mes de febrero del año 2022 y de febrero del año 2023, en el cual se analizará la producción por quintal tostado.

Hipótesis: “La implementación de la tostadora automática de granos mejorará la producción de harinas en la Microempresa Bonilla-Camino”.

Producción de quintales tostado

La Tabla 10 describe la comparación del número de quintales de granos tostados por la microempresa durante el mes de febrero del año 2022 en el cual el proceso de tueste se lo realizaban con el alquiler de una máquina de tueste manual, mientras que en el mes de febrero del año 2023 la microempresa hace uso de la tostadora automática de granos.

Tabla 10

Producción de quintales tostados

Tipo de Grano	Febrero Año 2022	Febrero Año 2023
Maíz	72	80
Haba	45	50
Cebada y Trigo	74	80
Total	191	210

Se ha evidenciado que la Microempresa Bonilla - Camino ha mejorado la producción de quintales de granos tostados en febrero del 2023, superando en 19 quintales de granos a la producción de febrero del 2022., como se muestra en la Figura 103.

Figura 103

Cantidad de quintales tostados



Nota. La gráfica muestra el incremento de 19 quintales tostado de febrero del 2023.

Pérdida en la producción de tostado

Las pérdidas de producción son ocasionadas principalmente por el error humano. En febrero del 2022 al momento de utilizar la máquina manual de alquiler el operario no contaba con la opción de controlar el tiempo ni la temperatura de tueste de los granos, principales factores para la generación de pérdidas en el proceso. La Tabla 11 muestra las pérdidas de producción en cantidad de grano del mes de febrero 2022/2023.

Tabla 11

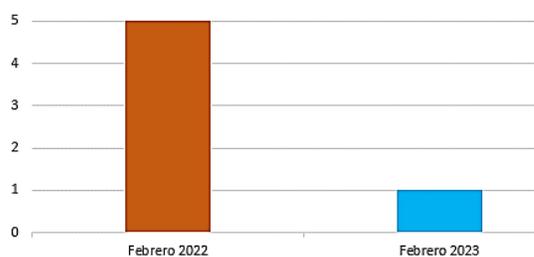
Pérdida de producción

	Febrero 2022	Febrero 2023
Tipo de Grano	Cantidad	Cantidad
Maíz	1	0
Haba	2	1
Cebada y Trigo	2	0
Total	5	1

La Figura 104, muestra que en el año 2022 se obtiene un total de cinco quintales de pérdida, mientras que en el año 2023 se tiene un solo quintal. La baja en las pérdidas de producción en febrero del 2023 se debe a la utilización de la tostadora automática de granos. Pero al ser una máquina operada por el ser humano, las pérdidas de producción no serán descartadas.

Figura 104

Pérdidas de quintales



Nota. La gráfica muestra la disminución de las pérdidas en quintales tostado de febrero del 2023 con respecto a febrero del 2022.

Costo de Producción Por Quintal

Para el proceso de tueste de granos, se analiza los costos de producción de febrero 2022 / 2023. El costo de la materia prima que corresponde a los granos más utilizados por la microempresa es determinado por el promedio entre el valor de los tres granos obteniendo un valor de \$26.60, el resto de los costos de productos y servicios se detalla en la Tabla 12.

Tabla 12

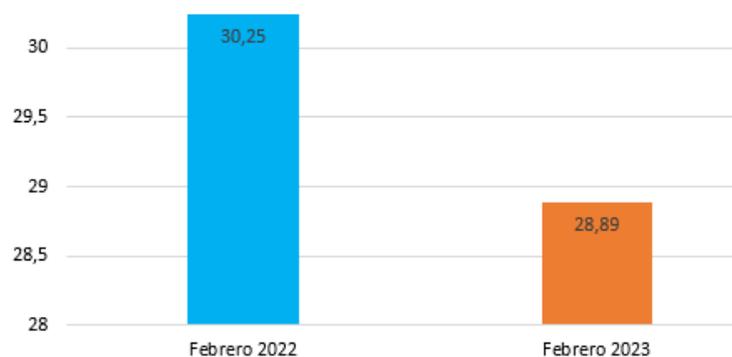
Costo producción por quintal

Producto / Servicio	Febrero 2022	Febrero 2023
Materia Prima (maíz, trigo y haba)	\$ 26.60	\$ 26.60
Máquina de alquiler	\$ 1.25	-
GPL	\$ 0.10	\$ 0.10
Consumo eléctrico	-	\$ 0.05
Transporte	\$ 0.28	\$ 0.12
Mano de Obra	\$ 2.02	\$ 2.02
Total	\$ 30.25	\$ 28.89

La Figura 105 muestra el costo de producción de febrero 2022 de \$30.25, mientras que en febrero del 2023 se obtiene un valor de \$28.89, obteniendo un ahorro de \$ 1.36 por quintal tostado, todo esto gracias a la utilización de la tostadora automática de granos.

Figura 105

Costos de producción



Nota. Gráfica representa Costos de Producción por quintal (\$ dólares) vs Mes (febrero), el mismo que refleja que en febrero del 2023 los costos de producción han disminuido con respecto a febrero del 2022.

Tomando como referencia los 210 quintales tostado de febrero del 2023, al multiplicar con el valor de la diferencia de ahorro de producción por quintal equivalente a \$ 1,36; se determina que existe un ahorro de 285,60 dólares.

Al mejorar la productividad en el proceso de tueste en un 9,95%; se mejora la producción de harinas de la Microempresa Bonilla-Camino y al disminuir las pérdidas de producción, se valida la hipótesis planteada.

Capítulo VI

Conclusiones

- Se ha realizado un análisis previo en cooperación con la microempresa Bonilla – Camino sobre el proceso de tostado realizada diariamente. En el cual se determinó el tiempo de tueste del maíz, trigo y habas, que corresponde a 20, 32 y 23 minutos respectivamente. A su vez; se obtuvo el rango de temperatura permitido para llevar a cabo el proceso de tueste de: 440°C a 460°C.
- Se debe indicar que para el diseño e implementación de la tostadora automática se debe tomar en cuenta las dimensiones y características del cilindro de tueste entregado por la microempresa, así como los requerimientos expuestos por la experticia del operario. Con estos parámetros se aplicó las normas de diseño pertinentes y finalmente cumplir con todos los parámetros de funcionabilidad para obtener un grano tostado de buena calidad.
- El tiempo de establecimiento del controlador Fuzzy es menor en comparación al tiempo de establecimiento del controlador PID, la diferencia mostrada entre los dos controladores es de aproximadamente 1.9 minutos. Razón por la cual el controlador automático Fuzzy es el más utilizado por la Microempresa Bonilla Camino.
- Las gráficas de temperatura vs tiempo de los dos controladores en el entorno real reflejan que no existe presencia de sobre impulso y el error en estado estacionario se encuentra dentro de la tolerancia permitida. Al ser un proceso continuo y no presentar sobre impulso la vida útil estimada del actuador no presentara varianza.
- La productividad de la microempresa Bonilla- Camino, ha incrementado en un 9,95% de quintales de harina (53,2 quintales) en febrero del 2023, en relación a febrero del 2022. Adicionalmente durante el mismo período los costos de producción en el proceso de tueste han disminuido en un 35% que corresponde a un valor económico de 285,60

dólares americanos. Es importante mencionar que las pérdidas de producción han disminuido en un 80% (\$115 dólares).

- El costo total de la tostadora automática de granos es de 1350 dólares americanos, valor accesible para los pequeños y medianos productores de harina, el monto invertido de la tostadora automática de granos se recuperó aproximadamente en cinco meses.

Recomendaciones

- Antes de iniciar con la producción de tostado es recomendable considerar la capacidad del cilindro de tueste; puesto que no debe exceder la cantidad máxima establecida de 120 libras de grano, ya que, baja la calidad de tostado y se reflejará en la uniformidad del grano resultante.
- Para evitar en un futuro posibles paros de producción por problemas con la válvula controladora de flujo prototipada; se recomienda buscar una válvula controladora de flujo que cumpla con: el diámetro de tubería establecido y con los estándares internacionales de seguridad, ya que, al no encontrar una válvula controladora de flujo en el mercado ecuatoriano durante la construcción de la tostadora automática de granos, se procedió a la elaboración de una válvula prototipada.
- Por cuestiones del presupuesto otorgado por la microempresa; para el ingreso de los parámetros de tueste: SetPoint, tipo de Grano y tipo de controlador se utilizó un sistema electrónico: potenciómetros, LCD, selectores, pulsadores e indicadores. Por lo que se recomienda sustituir mencionado sistema por una pantalla HMI; ya que ayudará a monitorizar los datos introducidos en el sistema, a su vez llevará un seguimiento de la información resultante y los datos de ingreso serán de forma exacta y precisa.

Proyectos Futuros

- Para garantizar la calidad del producto resultante, se recomienda como proyecto a futuro implementar un sistema de visión artificial al proceso de control de calidad de los granos tostados ya que actualmente el control de calidad se lo realiza por experticia del operario.
- Con la finalidad de aprovechar la energía calorífica generada por la tostadora automática de granos, se recomienda como proyecto a futuro la implementación de un sistema hidráulico, para el calentamiento del agua, misma que será utilizada para calentamiento de los cilindros de GLP, ya que con el trabajo continuo estos tienden a enfriarse perdiendo sus características gaseosas.

Bibliografía

- Bojórquez Delgado, G., & Bojórquez Delgado, J. (octubre de 2014). *Academia.edu*. Obtenido de <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/38466972/Ctl05-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1649130824&Signature=AnC2MbcfH8HyG7886PCRO4r5wn9f54-RFrsI9ifluBuJaVn8xAvEzvLX~n0bUqhwZrVVC6RwzIxB~YcRlZg82DxME5caQpb1z9zD40xCXRlxE8mSfOt7M6y9t2Nma~k5E~WJbnqxwliAuAORhOvJQ>
- Franklin Electric. (16 de febrero de 2022). *wordpress*.
- Alfaro, V. (2002). ECUACIONES PARA CONTROLADORES PID UNIVERSALES. *Ingeniería*, 1(2), 11-20.
- Araujo, C. (2011). *Simulacion de procesos udenar*. Obtenido de <https://simulaciondeprocesosudenar.wordpress.com/control-proporcional-integral-derivativo-pid-y-estabilidad-de-sistemas-dinamicos/>
- Arciniega, J. (2016). *Diseño, simulación, y propuesta de automatización de una máquina de café con capacidad de 25lb, para tostado- enfriado, dirigida a la producción cafetalera*. Obtenido de Universidad nacional de Loja: <https://docplayer.es/44743888-Universidad-nacional-de-loja-area-de-la-energia-las-industrias-y-los-recursos-naturales-no-renovables.html>
- Arciniega, J. (2016). *Máquina Tostadora Rotatoria de Maní para la Industria Artesanal con Sistema Semiautomático*. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/3743/1/04%20MEC%20052%20TESIS.pdf>
- Arciniega, R. (2014). *Universidad Técnica del Norte*. Obtenido de Máquina Tostadora Rotatoria De Maní Para La Industria Artesanal Con Sistema Semiautomático.: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/3743/1/04%20MEC%20052%20TESIS.pdf>
- Autycom. (2020). Obtenido de <https://www.autycom.com/producto/cpu-simatic-6es7214-1bg40-0xb0-siemens/>
- CARAKENIO73. (25 de marzo de 2018). *Dademuch*. Obtenido de <https://dademuch.com/2019/03/25/definicion-de-sistema-electrico-de-potencia/>
- Cardenas, D. (2022). *Elementos de Maquinas*. Obtenido de Scribd: <https://es.scribd.com/document/142296738/Elementos-de-Maquina#>
- CARRILLO, S., POLO, A., & ESMERAL, M. (15 de noviembre de 2005). Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/2570/257021014004.pdf>

- Cujilema Cujilema, J. M., & Sotomayor Molina, C. E. (2010). Diseño y Construcción de una Tostadora de Maíz. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1802/1/CD2745.pdf>
- De la Torre, F. (2016). *Motor de Inducción Monofásico*. Obtenido de <https://rehip.unr.edu.ar/bitstream/handle/2133/16748/21506-19%20ACCIONAMIENTOS%20ELECTROMEC%20NICOS%20Motor%20de%20Inducci%C3%B3n%20monof%C3%A1sico.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- DirectIndustry, G. d. (2023). *Guías de compra DirectIndustry*. Obtenido de <https://guide.directindustry.com/es/que-sensor-de-temperatura-elegir/>
- EcuRed. (Mayo de 2012). *Molienda*. Obtenido de ecured: <https://www.ecured.cu/Molienda#:~:text=A%20menor%20di%C3%A1metro%20de%20bolas,el%20di%C3%A1metro%20necesario%20de%20bolas.>
- El Comercio. (Mayo de 2018). Obtenido de <https://www.elcomercio.com/pages/especial/provinciabolivar.html#:~:text=Seg%C3%BAn%20el%20Ministerio%20de%20Agricultura,a%20algunos%20mercados%20del%20Ecu>
- Electric.com, S. (2022). *Manual y Catálogo del electricista*.
- EMAC Industrial Solutions and Services S.A . (18 de junio de 2021). Obtenido de <https://emacstores.com/sistemas-de-control-automatico/>
- Emerson. (2019). *GUÍA DE VÁLVULAS DE CONTROL*. Obtenido de <https://www.emerson.com/documents/automation/gu%EDa-de-v%E1lvulas-de%20control-control-valve-handbook-spanish-es-5459932.pdf>
- Esponda, R. D. (2 de junio de 2018). Aplicación Web para la selección de personal por medio de intervalos difusos de evaluación. *Dialnet*, 214-221. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6643337>
- ETSETB, M. (08 de abril de 2023). *Fundamentos y/o Aplicaciones*. Obtenido de Simulink: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/192916/tema_5_simulink-5156.pdf?sequence=7&isAllowed=y
- Golden, B. (6 de febrero de 2015). *Alamy*. Obtenido de <https://www.alamy.es/foto-secado-de-granos-de-maiz-en-una-lona-bajo-un-cielo-azul-en-una-granja-78701076.html>
- Grados Material Mundial. (2021). *Norma ASTM AISI Y SAE US*. Obtenido de <https://www.materialmundial.com/acero-inoxidable-ss-astm-sae-aisi-304-ficha-tecnica/>
- Grupo Koller.com. (2022). Obtenido de https://grupokoller.com.pe/catalogos/INDECO_CATALOGO.pdf
- Industrial-, S. I.-E. (26 de mayo de 2020). *Facebook*. Obtenido de <https://www.facebook.com/photo/?fbid=680376139448121&set=pcb.680376202781448>

- IQR. (4 de diciembre de 2020). *Ingenieria Quimica Reviews*. Obtenido de <https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2020/12/sistemas-de-control-automatico-introduccion.html#Sistemas-de-control-de-lazo-abierto>
- Isover. (2020). *Soluciones de aislamiento*. Obtenido de aplicaciones para la Industria: file:///C:/Users/usuario/Downloads/ref_isover_cat_ind_2811.pdf
- Kouro, S., & Musalem, R. (2002). Control mediante lógica difusa. *Técnicas Modernas en Automática*, 1, 1-7.
- Kywi. (2022). *Kywi*. Obtenido de <https://kywitiendaenlinea.com/product/lana-de-vidrio-89mmx38cmx10mt-craft-guardian/>
- kywi. (2023). *LANA DE VIDRIO*. Obtenido de <https://kywitiendaenlinea.com/product/lana-de-vidrio-89mmx38cmx10mt-craft-guardian/>
- Lozada, J. (2013). <http://www.cervezadeargentina.com.ar/procesos/molienda.html>.
- Lupaca Flores, M. A. (enero de 2019). *Repositorio Digital de Tesis PUCP*. Obtenido de <https://core.ac.uk/reader/196533470>
- Lupaca, M. (Enero de 2019). *TOSTADORA AUTOMÁTICA PARA GRANOS DE QUINUA MEDIANTE AIRE CALIENTE*. Obtenido de <https://core.ac.uk/reader/196533470>
- MathWorks. (08 de noviembre de 2022). *The MathWorks*. Obtenido de The MathWorks: <https://la.mathworks.com/help/control/ref/pidtuner-app.html>
- Molino Chabás S.A. (2014). *Proceso de harinas*. Obtenido de molinochabas: <http://molinochabas.com.ar/index.php/es/proceso-productivo>
- MORENO, K. L. (Agosto de 2017). *DISEÑO DE LA LINEA DE PRODUCCIÓN DE LA PLANTA PROCESADORA DE GRANOS SECOS DE LA ASOCIACIÓN UNOPAC UBICADA EN LA PARROQUIA AYORA, CAYAMBE-ECUADOR*. Obtenido de repositorio.ute: http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/16710/1/69458_1.pdf
- Mott, R. (2006). *Resistencia de materiales aplicada*. Recuperado el 25 de agosto de 2017
- Nieto, C., López, R., & Galvis, O. (2016). *Montaje de Poleas y Correas en V*. Obtenido de Elementos de Máquina: https://repositorio.sena.edu.co/sitios/elementos_maquinas/vol6/volumen06.html#
- Pérez, J. P., Hadzich, M., Veynandt, F., & Delcol, J. (2013). Diseño de un tostador solar de granos para el sector rural. Xx simposio peruano de energía solar y del ambiente (xx spes).

- Pozo, J. (2016). *Diseño y construcción de un tostador por resistencias eléctricas para la elaboración de café de quinua con capacidad de 25 libras*. Obtenido de Universidad Técnica del Norte: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/7524>
- Real Academia Española. (2023). Obtenido de <https://dle.rae.es/tolva>
- Rivera, C. (2018). *DISEÑO DE UNA MÁQUINA TOSTADORA DE CAFÉ MEDIANTE FLUJO DEL AIRE*. Obtenido de Universidad Señor de Sipán: <https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/6790/Bernab%c3%a9%20D%c3%a1vila,%20Luis%20&%20Rivera%20Calongos%20Carlos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Tellez, F. O. (abril de 2020). *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*. Obtenido de http://dep.fie.umich.mx/~fornelas/data/uploads/pres_controldifuso.pdf
- TLV. (2022). *Válvulas de Bypass*. Obtenido de https://www.tlv.com/global/LA/steam-theory/bypass-valves.html#toc_1
- Toledano, M. (2 de febrero de 2019). *fisicotronica*. Obtenido de <http://fisicotronica.com/control-en-lazo-cerrado-abierto/>
- Tremante, P., & Brea, E. (28 de 04 de 2014). *Redalyc.org*. Obtenido de https://www.redalyc.org/pdf/2150/215037911010.pdf?fbclid=IwAR2DJ44vHdMR-0vj5cwV0__YWwRQDmE5uHditJD-O_wtfgjQ_18yPGulv40
- ULE. (2021). *dicyt*. Obtenido de <https://www.dicyt.com/viewItem.php?itemId=11812>
- Valenzuela Hernández, J. G., & Montoya Giraldo, O. D. (diciembre de 2013). *redalyc.org*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/849/84929984006.pdf>
- VÁLVULAS ARCOS S.L. (26 de octubre de 2020). Obtenido de <https://blog.valvulasarco.com/que-es-un-by-pass-en-una-tuberia#:~:text=golpe%20de%20ariete%3F-,%C2%BFQu%C3%A9%20es%20una%20v%C3%A1lvula%20bypass%3F,v%C3%ADas%20o%20de%20tres%20v%C3%ADas>.
- Véles, L. (15 de febreo de 2018). *Makinando*. Obtenido de <https://makinandovelez.wordpress.com/2018/02/15/sistemas-de-control-de-lazo-cerrado/>
- Vulcanotec. (2023). *Vulcano tec.com*. Obtenido de Vulcano tec.com: <https://vulcanotec.com/maquinaria/tostadora-de-granos/>
- weg.net. (23 de 05 de 2022). Obtenido de <https://www.weg.net/catalog/weg/EC/es/search?text=motores+induccion+monofasico>

WIKA S.A. (2022). Obtenido de

https://www.wika.com.mx/products_temperature_transmitters_es_es.WIKA#:~:text=Los%20transmisores%20de%20temperatura%20convierten,20%20mA).

Yudo. (2015). <https://m.es.aliexpress.com/i/32726749663.html>.

ZAMORANO. (Agosto de 2016). *Estudio de factibilidad para instalar una planta procesadora de harina de maíz nixtamalizada en Siguatepeque, Honduras*. Obtenido de bdigital.zamorano: <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/2894/1/AGN-2000-T011.pdf>

Zapata, s., & Tamayo , Á. (2015). Efecto del Tostado Sobre los Metabolitos Secundarios y la Actividad Antioxidante de Clones de Cacao Colombiano. *Facultad Nacional de Agronomía Medellín*.

Anexos