



**Diseño e implementación de un sistema de control de temperatura y riego
automatizado para una máquina tipo Sellopol en la empresa Plásticos Vaqueros del
Huila.**

Kevin Danilo Martínez Olaya.

20441412616

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Electrónica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Neiva, Colombia

2022

**Diseño e implementación de un sistema de control de temperatura y riego
automatizado para una máquina tipo Sellopol en la empresa Plásticos Vaqueros del
Huila.**

Kevin Danilo Martínez Olaya.

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Electrónico.

Director (a):

(M. sC, Ingeniera) MARIO PINTO

Línea de Investigación:

Instrumentación, Inteligencia Computacional y Sistemas de Control

Grupo de Investigación:

Bioinstrumentación y Control (GIBIO)

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Electrónica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Neiva, Colombia

2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado

_____.

Cumple con los requisitos para optar

Al título de _____.

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

Neiva, Día Mes 2021

Contenido

	Pág.
Resumen.....	XI
Abstract.....	XII
Introducción.	1
Marco teórico.	10
1.1 Estado del Arte.....	10
1.1.1 Controladores industriales.....	10
1.1.2 Sistema de riego.....	20
1.1.3 Clasificación de los métodos de riego.....	21
1.2 Marco conceptual.....	22
1.2.1 Partes de la máquina Sellopol.....	22
1.2.2 Materiales.....	34
1.3 Marco legal y normativa.....	37
1.3.1 ISO 50001.....	37
1.3.2 ISO 45001.....	37
1.3.3 IPC 620.....	37
1.3.4 IPC 610.....	38
2. Propuesta De Solución.....	39
2.1 Criterios ingenieriles para escoger los componentes implementados en el sistema diseñado.....	44
2.1.1 Arduino Mega 2560.....	44
2.1.2 Transistores Mosfet IRFZ44N.....	45
2.1.3 Optoacopladores PC817C.....	46
2.1.4 Termocupla tipo K max6675.....	47
2.1.5 Electroválvula estándar 12v.....	48
3. Análisis De Resultados.....	49
4. Conclusiones y Recomendaciones.....	59

4.1	Conclusiones.	59
4.2	Recomendaciones.	60
BIBLIOGRAFÍA.....		61
A. Anexo Conexiones y Banco De Pruebas:		70

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1- 1: Máquina Sellopol de la empresa Plásticos Vaqueros Del Huila.....	4
Fuente: Autor.	4
Figura 1- 2 Panel de selección de temperatura de la Máquina Sellopol de la empresa Plásticos Vaqueros Del Huila.	4
Figura 1- 3: Resistencia de sellado y corte de la Máquina Sellopol de la empresa Plásticos Vaqueros Del Huila.....	5
Figura 1- 4 Banda transportadora de la Máquina Sellopol de la empresa Plásticos Vaqueros Del Huila.	5
Figura 1- 5 Contador mecánico de la Máquina Sellopol de la empresa Plásticos Vaqueros Del Huila.	6
Figura 1- 6: Funcionamiento de un controlador On/Off.....	11
Figura 1- 8: Comportamiento de la acción integral en una planta.....	14
Figura 1- 9: Comportamiento de la acción derivativa en un sistema.	15
Figura 1- 10: Comportamiento del controlador (PI) en una planta.	17
Figura 1- 11: Comportamiento del controlador (PD) en una planta.....	19
Figura 1- 12: Comportamiento del controlador (PID) en un proceso.....	20
Figura 1- 13: Máquina Sellopol.....	23
Figura 1- 14: Motor de arranque.....	24
Figura 1- 16: Rodillo de carga de la máquina Sellopol.	26
Figura 1- 17: Sistema de rodillos de tensión y corte.	26
Figura 1- 18: Sistema variador de velocidad.	27
Figura 1- 19: Medición del voltaje con multímetro de la salida No 1 del selector de temperatura.	28
Figura 1- 20: Medición de la corriente con multímetro de la salida No 1 del selector de temperatura.	28
Figura 1- 21: Medición del voltaje con multímetro de la salida No 2 del selector de temperatura.	29
Figura 1- 23: Medición del voltaje con multímetro de la salida No 3 del selector de temperatura.	30
Figura 1- 24: Medición de la corriente con multímetro de la salida No 3 del selector de temperatura.	30
Figura 1- 25: Medición del voltaje con multímetro de la salida No 4 del selector de temperatura.	31
Figura 1- 26: Medición de la corriente con multímetro de la salida No 4 del selector de temperatura.	31
Figura 1- 27: Eliminador de energía estática.....	33
Figura 1- 28: Contador mecánico de 5 dígitos.	33
Figura 1- 29: Resistencia Estándar.	34
Figura 1- 30: Diodo 1N4004.	34
Figura 1- 31: Display LCD 16x2.....	35
Figura 1- 32: Protoboard estándar.	36
Figura 1- 33: Bornera estándar azul.	36

Figura 2- 1: Controlador PID y De Riego implementado.	39
Figura 2- 2: Entorno System Identification de MatLab.....	42
Figura 2- 4: Ilustración 3D de la pcb propuesta vista de frente.....	44
Figura 2- 5: Ilustración 3D de la pcb propuesta vista trasera.	44
Figura 2- 6: Arduino Mega 2560.....	45
Figura 2- 7: Transistor MOSFET IRFZ44.....	46
Figura 2- 8: Optoacoplador PC817C.....	46
Figura 2- 9: Termocupla tipo K max6675.....	47
Figura 2- 10: Electroválvula 12v.....	48
Figura 3- 1: Comparativa entre la señal de entrada PWM, la señal de salida reflejada en la temperatura y el setpoint manifestado por la temperatura objetivo.	49
Figura 3- 2: Comparativa entre la repuesta del sistema y el setpoint deseado.	50
Figura 3- 3: Análisis y determinación del sistema en grado 1 a partir de los datos obtenidos.	50
Figura 3- 4: Análisis y determinación del sistema en grado 2 a partir de los datos obtenidos.	51
Figura 3- 5: Análisis y determinación del sistema en grado 3 a partir de los datos obtenidos.	52
Figura 3- 6: Proceso de obtención de la función de transferencia de grado 1 en el dominio S y normalización de la función.....	52
Figura 3- 7: Proceso de obtención de la función de transferencia de grado 2 en el dominio S y normalización de la función.....	53
Figura 3- 8: Proceso de obtención de la función de transferencia de grado 3 en el dominio S y normalización de la función.....	54
Figura 3- 9: Análisis de respuesta comparativa entre las funciones de transferencia de grados 1,2,3.	54
Figura 3- 10: Obtención de los controladores PID para las 3 funciones de análisis obtenida.	55
Figura 3- 11: Control PID para la función de grado 1.....	56
Figura 3- 12: Control PID para la función de grado 2.....	56
Figura 3- 13: Control PID para la función de grado 3.....	56
Figura 3- 14: Respuesta en planta del controlador PID de grado 1.....	57
Figura 3- 15: Respuesta en planta del controlador PID de grado 3.....	58
Anexo A - 1: Esquema de conexiones de la pcb en EasyEDA.	70
Anexo A - 2: Montaje del prototipo desarrollado para pruebas y sintonización del sistema.	70
Anexo A - 3: Demostración del sistema en funcionamiento para un setpoint de 185°C. ..	71

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI
°C	Grados Celsius.	°C
Hz	Frecuencia.	Hz
V	Voltios.	V
K	Kilo.	K
T	Temperatura.	°C
W	Watt.	W

Abreviaturas**Abreviatura Término**

μC	Microcontrolador.
On/Off.	Encendido/ Apagado.
P	Proporcional.
I	Integral.
D	Derivativo.
PI	Proporcional Integral.
PD	Proporcional Derivativo.
PID	Proporcional Integral y Derivativo.
T _s	Tiempo de subida.
M _p	Sobretiro.
K _p	Acción Proporcional.
U(t)	Entrada Paso.
E(t)	Señal De Error.
∞	Estado Estacionario.
K _d	Constante Derivativa.
K _p	Ganancia Proporcional.
T _d	Tiempo Derivativo.
T _i	Tiempo Integral

Abreviatura Término

(Dedicatoria)

Kevin Danilo Martínez Olaya.

Dedico este trabajo de grado primero a Dios por brindarme sabiduría y paciencia para culminarlo, a mi madre muy en especial todo mi esfuerzo y dedicación colocado. Por haber estado siempre a mi lado brindándome su apoyo y sus consejos para hacer de mí una mejor persona.

“El hombre nunca sabe de lo que es capaz, hasta que lo intenta”. Charles Dickens.

Agradecimientos

De manera especial quisiera expresar un gran agradecimiento a mi director de tesis Ph.D. Mario Augusto Pinto Serrano; por sus asesorías, por el respeto a nuestras sugerencias e ideas, también, gracias a mi familia, en especial a mi madre por su paciencia, comprensión y solidaridad con este proyecto, por el tiempo, apoyo moral y económico que me han concedido.

A todos los que siempre estuvieron conmigo, muchas gracias.

Resumen

Actualmente, en el departamento del Huila, las empresas dedicadas a la fabricación de bolsas Plásticas son 10; entre las que se encuentra Plásticos Vaqueros, una microempresa con más de 20 años de experiencia en el sector.

Para ejercer esta labor de producción cuenta con tres máquinas de uso específico para el sellado de bolsas, sin embargo, requieren de uno o dos operarios fijos y capacitados, los cuales son encargados de hacer procesos como conteo de producción, ajuste de temperatura para el sellado de las bolsas mediante la manipulación de un cable que se conecta en una bornera aumentando o disminuyendo la potencia que recibe la resistencia y mantener una humedad constante para la banda transportadora mediante el riego por medio de un galón y de esta forma evitar adherencia de la bolsa en la banda. Lo que producía una pérdida de tiempo y recursos. Estos procesos, se optimizaron con el diseño e implementación de un sistema automatizado que mediante un control PID mantiene la temperatura de sellado en 180 y 250 °C punto óptimo de funcionamiento para el sellado, al igual que la inclusión de un sistema de riego anti-adherencia, lo cual elimina un trabajo manual del operario.

Palabras clave: control PID de Temperatura., Sellado de bolsas plásticas, sistema de riego.

Abstract

Currently, in the department of Huila, there are 10 companies dedicated to the manufacture of plastic bags, including Plasticos Vaqueros, a micro-company with more than 20 years of experience in the sector.

However, they require one or two permanent and trained operators, who are in charge of processes such as production counting, temperature adjustment for sealing the bags by manipulating a cable that is connected to a terminal increasing or decreasing the power received by the resistance and maintaining a constant humidity for the conveyor belt by means of irrigation through a gallon and thus avoid adherence of the bag on the belt. These processes were optimized with the design and implementation of an automated system that by means of a PID control maintains the sealing temperature at 180 and 250 °C optimum operating point for sealing, as well as the inclusion of an anti-adherence irrigation system, which eliminates the manual work of the operator.

Keywords: PID temperature control, plastic bag sealing, irrigation system.

Introducción.

Actualmente, el principal objetivo de la industria plástica, es la transformación de componentes derivados de los procesos petroquímicos, como lo son los termoplásticos (materiales que al recibir temperaturas elevadas se tornan flexibles y hasta pueden llegar a deformarse)(Franco et al., 2018)(Yonny Martínez-López, Maryuri García-González, Raúl Ricardo Fernández-Concepción, Daniel Álvarez-LazoII, 2017)(GQSP Colombia, 2019) , en este material se encuentran diversos derivados; sin embargo, el más utilizado y reconocido es el polietileno (PE) esto es debido a que su precio es bajo y su fabricación es relativamente sencilla, de esta manera, el politereftalato tiene una magnitud de producción de 80 millones aproximadamente de toneladas anuales en el mundo, son encontrados comúnmente en aislamientos eléctricos, material de empaque, envases de alta dureza, aceites, entre otros; su campo de aplicación es muy amplio porque se trata de un plástico económico y fácil de moldear dependiendo de lo que se requiera, ya que pasa por un proceso de refinación y allí se obtienen dos derivaciones: polietileno de baja densidad y polietileno de alta densidad (Camilo Andrés Durán Cantor, 2018)(Barboza & Rimapa, 2017).

Asimismo, es importante destacar que esta área de la industria representa el 15% de Producto Interno Bruto (PIB) manufacturero en Colombia para el año 2018, además genera empleo a 65.000 personas aproximadamente, donde más de la mitad (55%) de las empresas que se dedican a esta labor realizan la transformación del plástico en empaques o envases (Mitchell, 2018)(Velandia & Forero, 2016).

Hoy por hoy en Colombia se estima que el polietileno de alta densidad es uno de los polímeros más utilizados para la fabricación de bolsas en diferentes presentaciones, puesto que para el 2018 hubo un consumo de 188.000 toneladas anuales, por ende, es de primera

necesidad el desarrollo de máquinas con procesos industrializados capaces de convertir dicho material en un producto tangible y comercializable, debido a esto existen las máquinas Sellopol (selladoras plásticas de polietileno) (Aco plásticos, 2020)(GQSP Colombia, 2019).

La empresa Plásticos Vaqueros Del Huila, es una empresa de tradición familiar que lleva más de 20 años de experiencia en la fabricación de bolsas plásticas de uso comercial en diferentes tamaños, utilizando máquinas Sellopol, las cuales se caracterizan por ser máquinas accionadas por un motor eléctrico, donde el mecanismo de sellado se basa en una resistencia térmica regulable para los diferentes tipos de calibre de película plástica, para finalmente ser cortada. Existen otros tipos de máquinas similares, como la máquina selladora de bolsas camisetera que cumple las mismas funciones en comparación a la Sellopol, sin embargo, en este equipo sus labores ya se encuentran automatizadas y agrega un proceso adicional de corte para crear las bolsas con orejas de sujeción, pero su costo de 60 millones de pesos colombianos más gastos de envío el cual es muy alto para la microempresa.

En la actualidad, son reducidos los estudios desarrollados en este tipo de mecanismos. La Escuela Politécnica Nacional (RIVADENEIRA, 2010) realizó un sistema de control y monitoreo para una máquina de corte y sellado de fundas tepack en el cual se evidencia el uso de lógica de control y programación mediante PLC y una pantalla HMI que permite el movimiento de una barra de corte y sellado, optando por una interfaz gráfica que permite ajustar los parámetros del proceso; En otra literatura se encuentra la Universidad Autónoma de

Bucaramanga (CARLOS ALJURE, 2018) en la que realizaron una implementación mediante el uso de un microcontrolador (μ C) PIC, de un sistema que se encarga de

interpretar las entradas de los diferentes transductores y datos de programación para el control de los motores y medición de la temperatura mediante un termopar.

Es importante destacar que en este proyecto se realizó un control PID permitiendo más precisión en la temperatura que tendrá la resistencia ya que esta varía de acuerdo al tamaño de bolsa que se quiere sellar y cortar, esto elimina el riesgo del operario debido a que la manipulación es mediante de una interfaz gráfica, donde se puede visualizar los datos de la temperatura actual y selección de la misma.

También se llevó a cabo una mejora al conteo de la producción debido a que ese proceso se realizaba mediante un contador mecánico con un aspecto visual regular, haciendo que el operario esfuerce su vista en gran medida provocando patologías a largo plazo, por lo que se incorporó un display con un tamaño más adecuado que muestra la información perteneciente a esta actividad.

Otro proceso que se automatizó es el riego de la banda transportadora debido a que el empleado ejecutaba esta acción manualmente cada 20 minutos aproximadamente con el propósito de evitar que la bolsa se adhiriera a la banda transportadora, esto ocurre porque el proceso de sellado y corte se hace con alta temperatura.

En la **Figura 1- 1** se muestra de manera gráfica una de las máquinas Sellopol de la empresa utilizada para realizar el proceso de fabricación de estas bolsas en sus diferentes modelos:

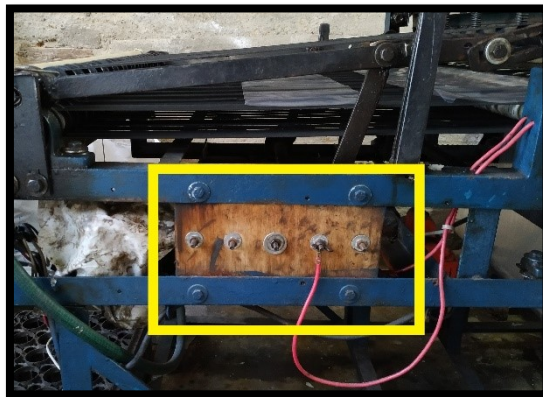
Figura 1- 1: Máquina Sellopol de la empresa Plásticos Vaqueros Del Huila.



Fuente: Autor.

Como se puede observar en el panel de selección de temperatura la máquina carece de un control automático para la selección de temperatura demandada por el tamaño de la bolsa a sellar.

Figura 1- 2 Panel de selección de temperatura de la Máquina Sellopol de la empresa Plásticos Vaqueros Del Huila.



Fuente: Autor.

En la **Figura 1- 2** se puede evidenciar uno de los procesos en donde la máquina debía ser manipulada por un operario.

Figura 1- 3: Resistencia de sellado y corte de la Máquina Sellopol de la empresa Plásticos Vaqueros Del Huila.



Fuente: Autor.

En la

Figura 1- 3 se observa la resistencia de sellado y corte en la cual dependiendo el grosor del material ingresado requiere de una mayor o menor temperatura.

Figura 1- 4 Banda transportadora de la Máquina Sellopol de la empresa Plásticos Vaqueros Del Huila.



Fuente: Autor.

En la **Figura 1- 4** se muestra la banda transportadora en donde las bolsas se adhieren, por lo que fue necesario realizar un sistema de riego, el cual se realizaba de forma manual, el operario debía estar monitoreando todo el tiempo este proceso y tenía en cuenta el momento respectivo para realizar el riego sobre la banda.

Figura 1- 5 Contador mecánico de la Máquina Sellopol de la empresa Plásticos Vaqueros Del Huila.



Fuente: Autor.

También este equipo contaba con un contador mecánico de tamaño reducido sin iluminación propia, el cual se puede apreciar en la

Figura 1- 5 , allí se relaciona la cantidad de bolsas entregadas por la máquina de forma unitaria, para formar un paquete en las diferentes unidades que ofrece el catálogo de productos de la empresa.

De este modo, y teniendo en cuenta todo lo dicho anteriormente se planteó la siguiente interrogante de investigación:

¿Cómo implementar un sistema automatizado para las máquinas tipo Sellopol en su proceso de fabricación de bolsas plásticas para uso comercial?

A la cual se dio respuesta mediante el alcance de los siguientes objetivos:

Diseñar e implementar de sistema automatizado de control de temperatura para el sellado de la bolsa, sistema de riego de una máquina tipo Sellopol en la empresa Plásticos Vaqueros del Huila.

- Identificar adecuadamente la planta a controlar, así como sus elementos para la correcta adecuación de los sistemas de potencia.
- Diseñar el controlador de temperatura PID para el sellado correcto de las bolsas plásticas, sistema de riego anti adherente para la banda transportadora.
- Determinar las características de los dispositivos elementos y materiales para la subsecuente implementación total del sistema.
- Validar el funcionamiento óptimo del sistema.

Para dar cumplimiento a dichos objetivos se escogieron las máquinas tipo Sellopol encontradas en la microempresa Plásticos Vaqueros Del Huila, las cuales recibieron mejoras en el proceso de producción de bolsas plásticas de polietileno, por lo tanto, se automatizaron las técnicas existentes en dicha máquina con la utilización de un microcontrolador, el cual cuenta con la suficiente capacidad de ejecutar el control de la variable de temperatura (control PID), mediante un panel de selección de la temperatura adecuada para el sellado transversal y corte del producto, además, un sistema de riego de agua para la banda transportadora. Se agregó una interfaz gráfica a través de un display, el cual permite la visualización del estado actual de las variables anteriormente mencionadas y también un contador de producción con una mejor ubicación y visibilidad, haciendo que las tareas del

operario sean reducidas y de esta manera se pueda incrementar la producción ya que el tiempo que gasta en otros procesos se suprimen.

Se presenta a continuación la metodología utilizada para el desarrollo del proyecto.

Cada actividad tiene subdivisiones las cuales aseguran un trabajo eficiente, por lo tanto, se explica lo que contiene cada una a continuación:

Actividad 1:

- Documentación: se realiza una documentación minuciosa sobre desarrollos, técnicas y métodos actuales involucrados en el proyecto propuesto, abarcando actividades como formulación y planteamiento del problema, revisión bibliográfica y documental.

Actividad 2:

- se delimita el trabajo en la microempresa Plásticos Vaquero Del Huila, se recopila información acerca del sistema de producción de bolsas plásticas de diferentes tamaños para uso comercial, enfocándose principalmente en la máquina tipo Sellopol, se plantean las posibles mejoras de la máquina, así como la identificación de la planta para un sistema de control.

Actividad 3:

- diseño de un controlador PID para la variable de temperatura y el riego anti adherente para la banda transportadora, teniendo en cuenta los siguientes parámetros.
- Determinar los parámetros de potencia que se deben implementar y establecer cual tiene actualmente la máquina.

- Se enciende el sistema de riego tiempo establecido por el operario,
- Mantener la temperatura óptima de la resistencia para el corte y sellado de la bolsa sin que el plástico sufra deformación.

Actividad 4:

- se definen los materiales, dispositivos y demás elementos necesarios para la implementación del control, integrando parámetros estéticos y funcionales ajustados a las necesidades planteadas.

Actividad 5:

- Se pone en funcionamiento el proceso de la máquina en un entorno de trabajo que permita poner a prueba los sistemas de control con las adecuaciones implementadas. Finalmente se obtuvo un módulo de automatización de las funciones de la máquina Sellopol implementando las mejoras propuestas, teniendo en cuenta los parámetros de control de las variables de riego, temperatura y conteo, con la visualización del display con la interfaz de trabajo.

Marco teórico.

1.1 Estado del Arte.

1.1.1 Controladores industriales.

De acuerdo a la planta que se requiera controlar a continuación se muestran algunos de los controladores más utilizados en la actualidad:(Duboué & Bestard, 2014)(Universidad de Sevilla, 2020)(González Uribe, 2016)

1. On/Off.
2. Proporcional (P).
3. Integral (I).
4. Derivativo (D).
5. Proporcional Integral (PI).
6. Proporcional Derivativo (PD).
7. Proporcional Integral y Derivativo (PID).

Control On/Off:(Mendoza, 2004)(Cristian Camilo Porras Rodríguez, 2020)

Cuando se trata de desarrollar un controlador para una planta en donde la precisión no es una variable muy importante, el control On/Off o también llamado “todo o nada” es adecuado, ya que la estructura general de este tipo de control viene dada por dos estados:(Encarnación Gallo, 2010)

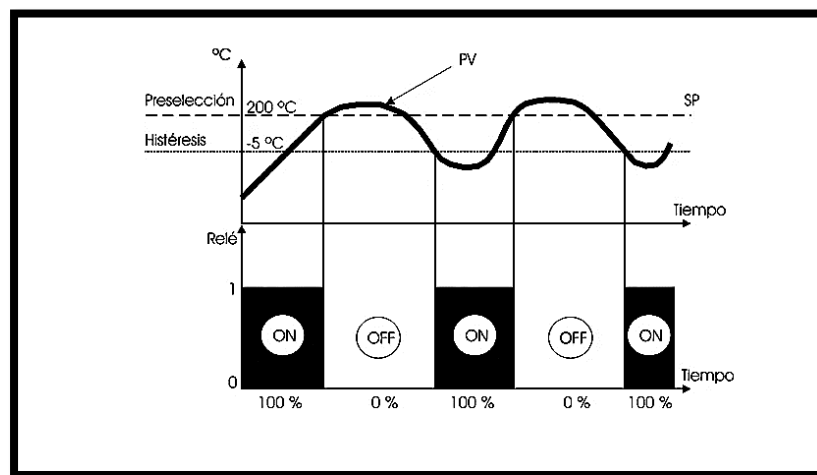
1. Activado del todo (On,100%).
2. Desactivado totalmente (Off,0%).

Entre sus ventajas se encuentran:

- Es la forma más sencilla de aplicar control a un sistema.
- Su costo de implementación es reducido.
- Campo de aplicación bastante amplio (para plantas que requieren poca precisión).
- Su instalación y mantenimiento es simple.

A continuación, en la **Figura 1- 6** se muestra de manera gráfica el comportamiento del controlador descrito anteriormente.

Figura 1- 6: Funcionamiento de un controlador On/Off.



Fuente: (CONTAVAL, n.d.)

Acción de control Proporcional (P):(González Uribe, 2016)

Es utilizada a fin de reducir el tiempo de subida (T_s) ,además, aumenta el sobretiro (M_p) y disminuye el error en estado estable $e(\infty)$. En un controlador que tiene acción proporcional (K_p), el enlace que hay entre la salida $u(t)$ y la señal de error $e(t)$, viene determinado por el siguiente procedimiento (BARRIENTOS HUAMANÍ, 2017).

$$u(t) = K_p * e(t) \quad (1)$$

Aplicando la transformada de Laplace resulta:

$$U(s) = K_p * E(s) \quad (2)$$

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \quad (3)$$

Ahora, se resuelve la ecuación inicial por medio de la transformada z obteniendo lo que se muestra a continuación:

$$U(z) = K_p * E(z) \quad (4)$$

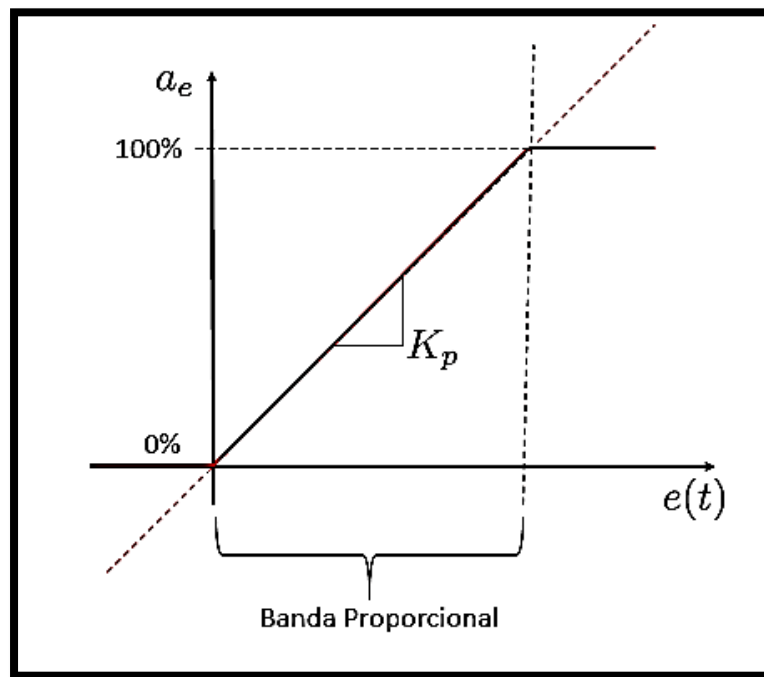
$$\frac{U(z)}{E(z)} = K_p \quad (5)$$

De acuerdo a lo mencionado anteriormente la acción de ganancia proporcional (K_p) no es más que un amplificador de señal ajustable, es importante precisar que para conocer el valor adecuado que debe tener esta variable se aplican diversos métodos que más adelante se mencionaran y explicaran. (Avendaño., n.d.)

En la

Figura 1- 7 se evidencia como actúa la constante de proporcionalidad en comparación con el error que se encuentra en un setpoint específico.

Figura 1- 7: Comportamiento de la acción proporcional en un sistema.



Fuente: (▷ Control PID - Acción de Control Proporcional - [septiembre, 2021], n.d.)

Acción de control Integral (I):(DELGADO POLO & QUINTE POMALAYA, 2013)

Esta variable a menudo es muy tenida en cuenta al momento de implementar un controlador ya que su principal propósito es limitar y si es posible eliminar el error en estado

estacionario $e(\infty)$, el cual es ocasionado por perturbaciones indeseadas del entorno. (Chojolán, 2007)

La relación que hay entre la salida $u(t)$ y la señal de error $e(t)$, está dada por la siguiente fórmula matemática:

$$\frac{du(t)}{dt} = K_i * e(t) \quad (6)$$

Integrando a cada lado:

$$u(t) = K_i * \int_0^t e(t)dt \quad (7)$$

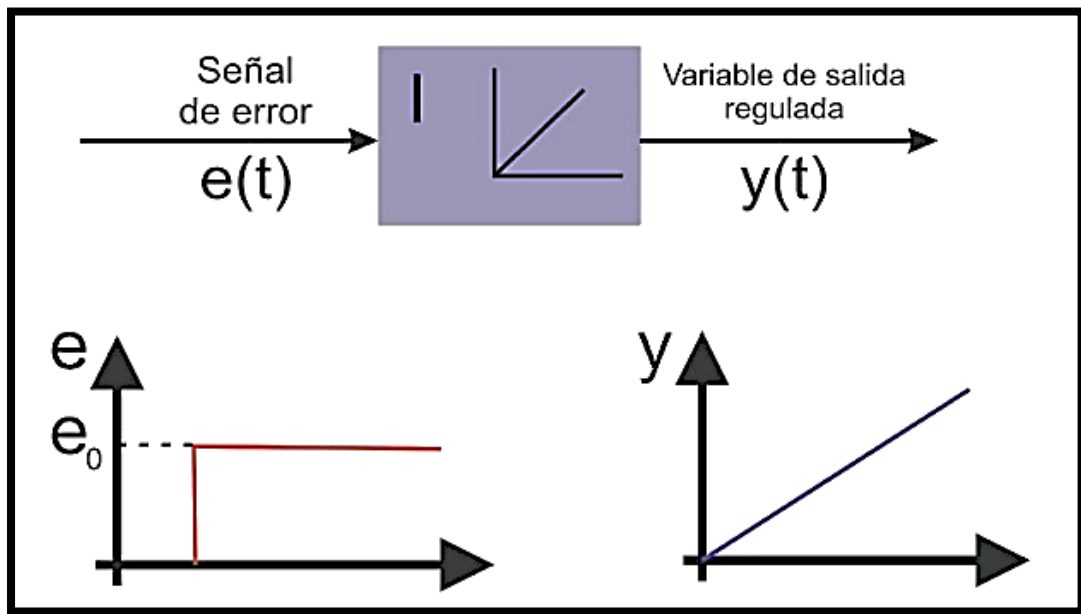
Finalmente, la acción de control integral (K_i) es una variable que su valor es dinámico y este se obtiene luego de aplicar alguno de los diferentes métodos que existen para sintonizar los controladores. (Berm et al., 2016)

A continuación, se muestra la función de transferencia de esta constante:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K_i}{s} \quad (8)$$

Como se puede evidenciar en la anterior ecuación este tipo de control agrega un polo en el origen provocando que la planta sea menos estable. (GARCIA, 2011)

Finalmente, en la **Figura 1- 8** se visualiza el comportamiento de esta variable.

Figura 1- 8: Comportamiento de la acción integral en una planta.

Fuente: Autor.

Acción de control Derivativo (D):(Escobar Díaz & Barrero Páez, 2014)

El control derivativo (K_d) se utiliza cuando se quiere mejorar la estabilidad del lazo de control, también ayuda incrementando la velocidad de respuesta del controlador.(Álamo, 2007)

Entre algunas de sus características se encuentra que cuando la señal de error sea igual por un periodo de tiempo, esta acción de control entrará en modo pasivo evitando eliminar del todo el error estacionario $e(\infty)$.(Morilla García, 2007)

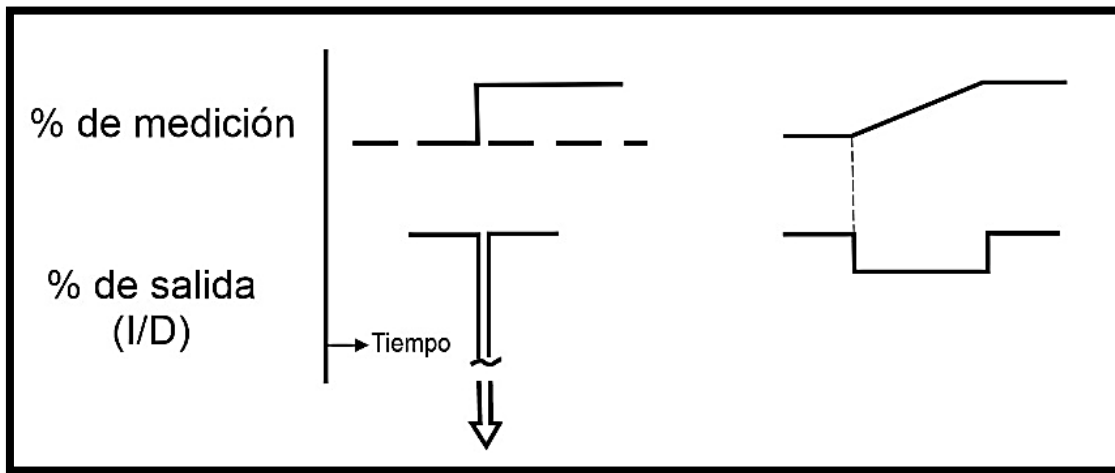
Por lo tanto, el modelo matemático que enlaza la señal de error $e(t)$ con la salida $u(t)$ es la siguiente:(Santos., n.d.)

$$u(t) = K_d * \frac{de(t)}{dt} \quad (9)$$

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_d * s \quad (10)$$

Por lo que esta acción de control se puede modelar como lo muestra la **Figura 1- 9**.

Figura 1- 9: Comportamiento de la acción derivativa en un sistema.



Fuente: Autor.

Proporcional Integral (PI):(Mata, 2016)

Generalmente se implementa este controlador ya que enlazar una acción proporcional e integral es una de las maneras más simples de suprimir la señal de error en estado permanente.(Espíndola López, Eduardo; Carrillo Serrano, n.d.)

Algunas de las situaciones donde es adecuado utilizar este tipo de controlador es en las siguientes:

- El desfase que la planta genera es relativamente pequeño, por lo que, la constante derivativa en esta situación en lugar de perfeccionar, empeora provocando un aumento en el ruido presente.

- Cuando la señal de ruido es muy elevada no resulta apropiado implementar el control derivativo.
- Si en el sistema existen retardos de igual manera no es apropiado utilizar la constante D ya que ella se anticipa provocando una salida errónea.

La fórmula que describe el comportamiento de este controlador está distribuida de la siguiente manera:(López, Ybrain Hernández, Raúl Rivas Pérez, 2015)

$$u(t) = K_p * e(t) + \frac{K_p}{T_i} * \int_0^t e(t) dt \quad (11)$$

Por medio de la transformada de Laplace se llega a la siguiente ecuación:

$$U(s) = K_p * E(s) + \frac{1}{T_i * s} * E(s) * K_p \quad (12)$$

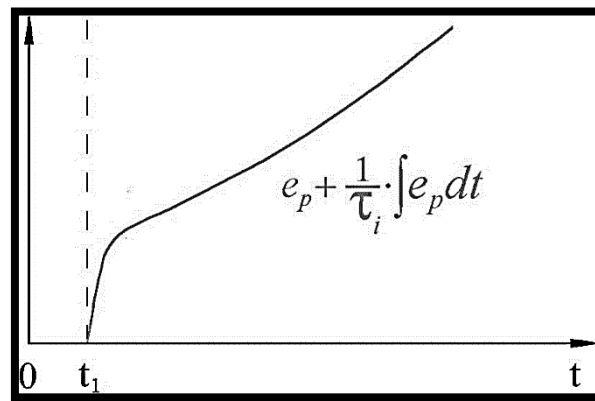
$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p * \left(1 + \frac{1}{T_i * s}\right) \quad (13)$$

Siendo:

- K_p Ganancia Proporcional.
- T_i Tiempo Integral.

Como se puede visualizar en las ecuaciones (11) (12) (13) el tiempo integral (T_i) permite modificar la acción de control, por otro lado, la magnitud que tenga la constante de proporcionalidad (K_p) modifica la distribución integral y proporcional de dicha acción.(Oteiza et al., 2013)

Figura 1- 10: Comportamiento del controlador (PI) en una planta.



Fuente:(6.1. Control PID: Control Proporcional + Integral (PI), n.d.)

En la **Figura 1- 10** se observa la respuesta de este controlador en relación con el tiempo.

Proporcional Derivativo (PD):(Salazar-Silva et al., 2012)

Este controlador normalmente se implementa cuando la planta ya viene con un integrador internamente, sin embargo, este tipo de controlador tiene una principal limitación la cual es la sensibilidad al ruido que tiene la constante derivativa (K_d) por lo que cuando se trabaja con frecuencias considerablemente altas la ganancia que tendrá dicho control será grande.(F. Ramírez-Rasgado & O. Hernández-González, C.-M. Astorga-Zaragoza, G. Valencia-Palomo, M.E. Guerrero-Sánchez, 2020)

Ahora, si en el sistema se encuentra expuesto a niveles de ruido considerables se debe restringir la ganancia o considerar suprimir la acción derivativa (D).(Omar Jimenez-Ramírez et al., 2014)

Es importante señalar que la acción derivativa (D) no se implementa sin la compañía de otra acción (proporcional o integral) ya que es eficaz solamente por algunos periodos transitorios. (OLVERA, 2017)

El modelo que describe este tipo de controlador es la siguiente:

$$u(t) = K_p * e(t) + K_p * T_d * \frac{de(t)}{dt} \quad (14)$$

Empleando la transformada de Laplace el sistema se modela por medio de la siguiente ecuación:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p * (1 + T_d * s) \quad (15)$$

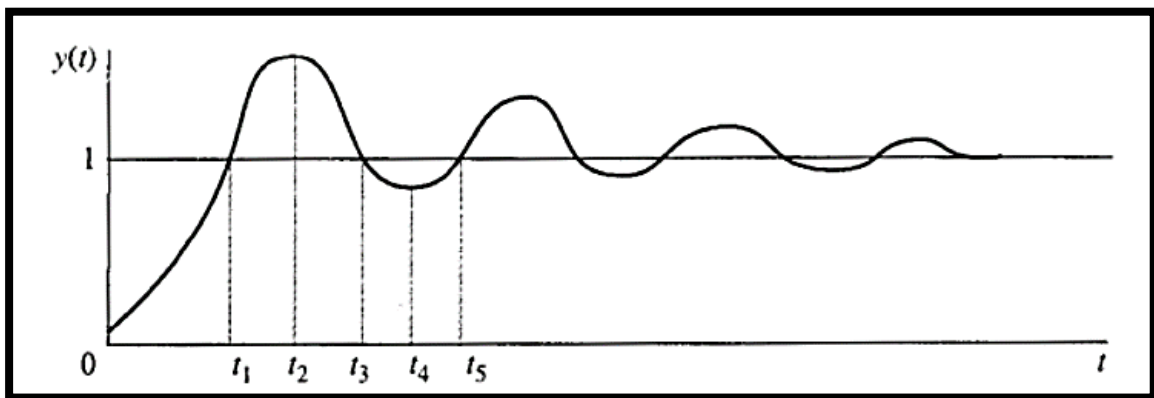
Donde:

- K_p Ganancia Proporcional.
- T_d Tiempo Derivativo.

Es importante mencionar que estas variables se pueden modificar de acuerdo a los requerimientos del diseñador.

En la **Figura 1- 11** se evidencia el comportamiento que genera el controlador descrito anteriormente en la señal de salida para una planta en específico.

Figura 1- 11: Comportamiento del controlador (PD) en una planta.



Fuente: (PID – Diseño Con El Controlador PD (Proporcional-Diferencial) – Dademuchconnection, n.d.)

Proporcional Integral Derivativo (PID):(Verdeza et al., 2016)

Es el controlador más utilizado en la actualidad para procesos industriales ya que permite modular la señal de control de una planta en función de un setpoint, además algunas de sus ventajas es que es resistente a perturbaciones presentadas en el entorno, también, combina todas las ventajas de las tres acciones (Proporcional, Integral y Derivativa) mencionadas en los apartados anteriores, otra de ellas es que la respuesta es muy rápida y en el caso de las perturbaciones la compensación que genera es casi inmediata. (García Mejía et al., 2015)

Lo que hace este controlador un poco difícil de implementar es su sintonización ya que requiere un experto en el tema para que funcione de la mejor manera, además, es necesario luego de ajustado realizar una prueba de funcionamiento para verificar que todo se ejecute bien. (Serna M, 2020)

$$u(t) = K_p * e(t) + \frac{K_p}{T_i} * \int_0^t e(t) dt + K_p * T_d * \frac{de(t)}{dt} \quad (16)$$

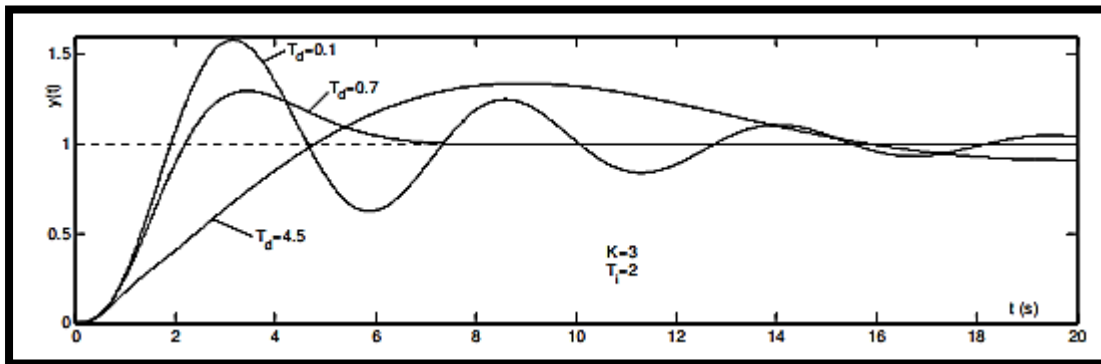
Su función de transferencia en el dominio (s) está dada por la siguiente fórmula:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p * \left(1 + \frac{1}{T_i * s} + T_d * s\right) \quad (17)$$

De lo anterior:

- K_p Ganancia Proporcional.
- T_d Tiempo Derivativo.
- T_i Tiempo Integral.

Figura 1- 12: Comportamiento del controlador (PID) en un proceso.



Fuente: (Walter J. D. Cova, 2005)

Como se muestra en la **Figura 1- 12** el controlador PID es el controlador que más se utiliza debido a su velocidad de acción.

1.1.2 Sistema de riego.

Un sistema de riego es el compendio de estructuras y dispositivos que hacen posible racionalizar el agua de una manera adecuada, con el único propósito de proporcionar este líquido a un sistema, cultivo, planta, etc.

1.1.3 Clasificación de los métodos de riego.

En la actualidad existen diversos métodos de implementación de un sistema de riego, por lo que, en el presente documento se hará énfasis en 3 principalmente los cuales se distribuyen de la siguiente manera:(*RIEGO LOCALIZADO* | *AGRORUM*, n.d.)

1. Sistema de riego por aspersión.
2. Sistema de riego por goteo/localizado.

3. Sistema de riego por superficie.

Sistema de riego por aspersión:

El sistema de riego por aspersión se puede evidenciar en sitios donde se proporciona agua en forma de lluvia hacia un lugar en específico, para que sea posible la implementación de este método es necesario llevar a cabo una red de tuberías las cuales son las encargadas de dirigir el fluido hacia los aspersores, es importante precisar que para lograr obtener una presión de salida se requiere de un sistema de bombeo y finalmente un sistema de control el cual permite definir el tiempo de encendido/apagado del sistema, el horario y demás variables que intervienen allí.(López, 2019)

Sistema de riego por goteo/localizado:

El sistema de riego localizado o también denominado sistema de riego por goteo es aquel en el que se proporciona agua a solamente partes en específico del área la cual se quiere mojar, su implementación puede ser en la superficie o también de manera subterránea y su principal ventaja es la poca cantidad de agua utilizada en comparación a los demás métodos, finalmente su dosificación ya que gracias a un controlador se puede manipular estas variables a fin de conseguir lo que requiere la planta. (CARLOS GABRIEL EIBAR BEJARANO, 2012)

Sistema de riego por superficie:

El sistema de riego por superficie o también llamado sistema de riego por gravedad, su principal objetivo es realizar el riego de un área donde es necesario suministrar el fluido hasta la superficie del terreno y allí la fuerza de gravedad se encarga de repartir el agua por toda la zona, una de sus ventajas es el costo de implementación ya que poner en práctica

esta metodología resulta ser muy económico en comparación a otros sistemas.(González & Playan, 1994)

1.2 Marco conceptual.

1.2.1 Partes de la máquina Sellopol.

Habitualmente una máquina Sellopol se compone de 10 partes fundamentales:

1. Motor de arranque.
2. Chasis de la máquina Sellopol.
3. Rodillo de carga.
4. Sistema de rodillos de tensión y corte.
5. Variador de velocidad.
6. Selector de temperatura de 4 canales.
7. Proceso de sellado y corte.
8. Banda transportadora.
9. Eliminador de energía estática.
10. Contador mecánico de 5 dígitos.

La siguiente **Figura 1- 13** muestra una máquina Sellopol en su estructura estándar de diseño.

Figura 1- 13: Máquina Sellopol.



Fuente: (SELLOPOL, n.d.)

Motor de arranque:

Es el impulsor que realiza todo el funcionamiento de la máquina, corresponde a un motor monofásico de $\frac{1}{2}$ de caballo de fuerza mecánico (Hp) o 372.85 watts (W), tiene una alimentación de 110 V.

Inicialmente tiene un primer sistema de distribución por medio de cadenas y piñones que lo guían hacia el rodillo que le permite el movimiento a la banda transportadora, luego tiene un segundo sistema de transferencia de movimiento por medio de un eje transversal que alimenta una piñonera que permite la selección de velocidad de acuerdo al tamaño de la bolsa de polietileno que se quiera elaborar.

A continuación, en la **Figura 1- 14**, se muestra el motor de arranque implementado en la máquina Sellopol.

Figura 1- 14: Motor de arranque.



Fuente: Autor.

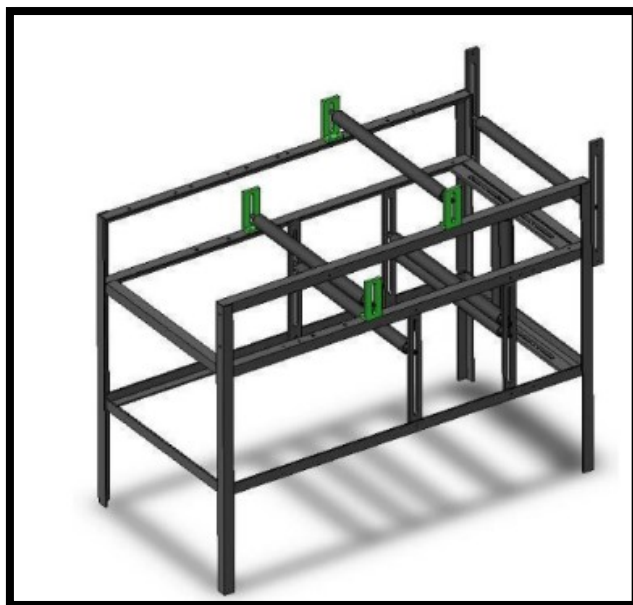
Chasis de la máquina Sellopol:

Es la estructura en la cual se incorporan cada uno de los elementos que en compendio realizan la producción de cada uno de los productos que ofrece la empresa. Este esqueleto es en material de aluminio y láminas de hierro con dimensiones de 2.10 metros de largo por 1.15 metros de ancho.

De una forma gráfica se puede evidenciar en la

Figura 1- 15 la parte correspondiente al chasis.

Figura 1- 15: Chasis de la máquina Sellopol.



Fuente: (Nayibe, Chío Cho, Tibaduiza Burgos Diego Alexander, Rivera Martínez Jorge Armando, 2011)

Rodillo de carga:

Es un eje que atraviesa de lado a lado el chasis de forma horizontal, permite la alimentación de la película de polietileno, cuenta con dos seguros con el propósito de evitar movimientos bruscos en su eje x, además un contrapeso que elimina el riesgo de proporcionar exceso de material al sistema.

En la **Figura 1- 16** se puede visualizar dicho rodillo y el contrapeso.

Figura 1- 16: Rodillo de carga de la máquina Sellopol.



Fuente: Autor.

Sistema de rodillos de tensión y corte:

La máquina cuenta con 6 rodillos de tensión con el fin de tensar el material proporcionado por el rodillo de carga, además cuenta con una cuchilla que divide en dos el diámetro de la película de polietileno.

A continuación, se muestra la **Figura 1- 17** donde se puede visualizar el sistema de rodillos que realizan este proceso.

Figura 1- 17: Sistema de rodillos de tensión y corte.



Fuente: Autor.

Variador de velocidad:

Es un sistema de piñones que permite la variación de diversas velocidades por medio del cambio del radio de un eje que se fija de acuerdo al tamaño de bolsa que se requiera fabricar, ya que si se tiene mayor distancia que recorrer se traduce en más tiempo al subir y bajar la cuchilla de corte.

Figura 1- 18: Sistema variador de velocidad.



Fuente: Autor.

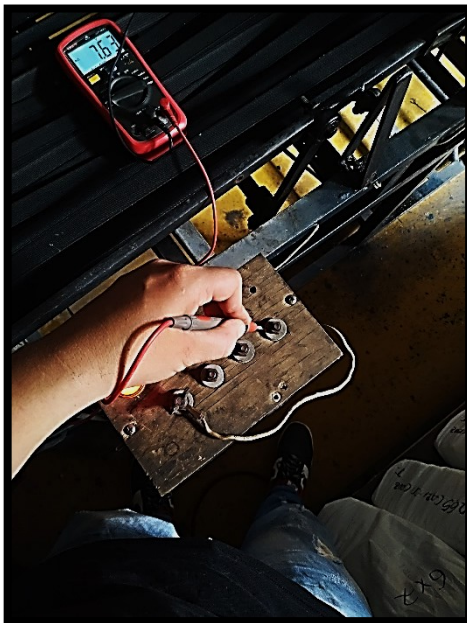
Selector de temperatura de 4 canales:

Es una caja en material de madera y lámina de hierro en la que se almacena un switch de encendido, un ventilador de dimensión 120 mm (milímetros), un led indicador de funcionamiento y un transformador reductor de 4 salidas de voltaje y corriente las cuales se distribuyen de la siguiente manera.

Salida No 1:

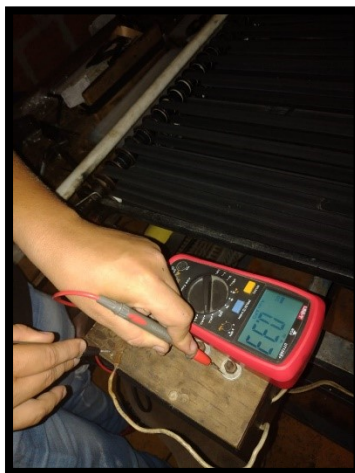
- 7.63 Voltios DC
- 0.33 miliamperios (mA)

Figura 1- 19: Medición del voltaje con multímetro de la salida No 1 del selector de temperatura.



Fuente: Autor.

Figura 1- 20: Medición de la corriente con multímetro de la salida No 1 del selector de temperatura.

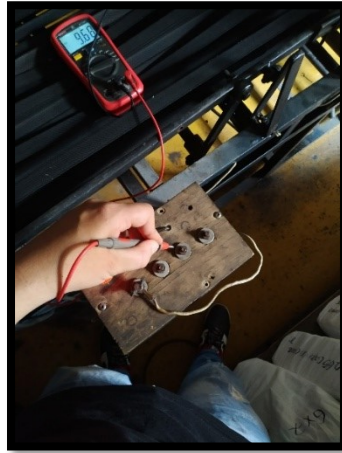


Fuente: Autor.

Salida No 2:

- 9.68 Voltios DC.
- 0.47 miliamperios (mA).

Figura 1- 21: Medición del voltaje con multímetro de la salida No 2 del selector de temperatura.



Fuente: Autor.

Figura 1- 22: Medición de la corriente con multímetro de la salida No 2 del selector de temperatura.

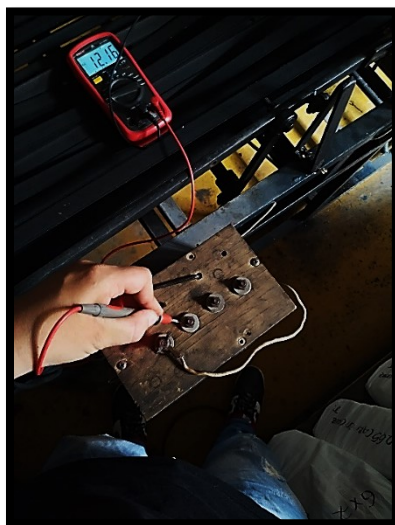


Fuente: Autor.

Salida No 3:

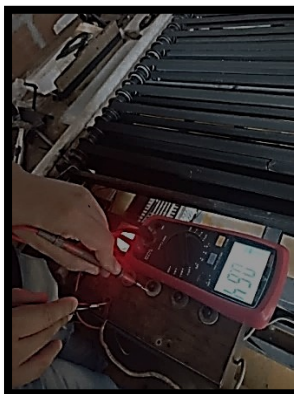
- 12.16 Voltios DC
- 0.64 miliamperios (mA).

Figura 1- 23: Medición del voltaje con multímetro de la salida No 3 del selector de temperatura.



Fuente: Autor.

Figura 1- 24: Medición de la corriente con multímetro de la salida No 3 del selector de temperatura.

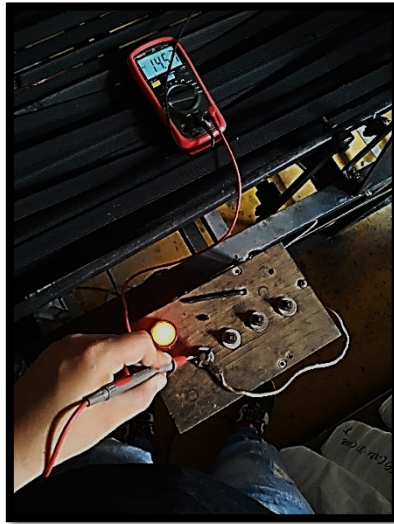


Fuente: Autor.

Salida No 4:

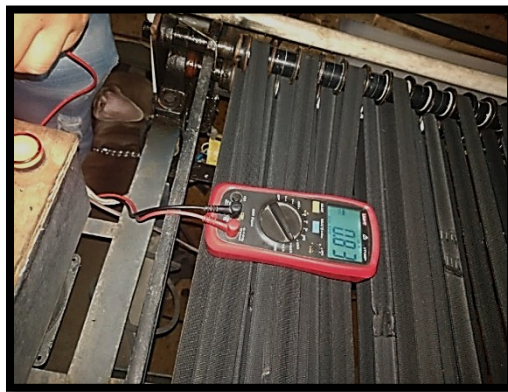
- 14.57 Voltios DC
- 0.83 miliamperios (mA)

Figura 1- 25: Medición del voltaje con multímetro de la salida No 4 del selector de temperatura.



Fuente: Autor.

Figura 1- 26: Medición de la corriente con multímetro de la salida No 4 del selector de temperatura.



Fuente: Autor.

- Como se puede evidenciar en la **Figura 1- 19, Figura 1- 20,**

Figura 1- 21: Medición del voltaje con multímetro de la salida No 2 del selector de temperatura.

, **Figura 1- 22, Figura 1- 23, Figura 1- 24, Figura 1- 25, Figura 1- 26,** por medio de este artefacto se controla el calor aplicado por la resistencia de sellado para los diferentes grosores de material de polietileno que se le ingresa a la máquina.

Proceso de sellado y corte:

Está conformado por una resistencia y una cuchilla, el primero está sujeto a la potencia que le proporciona el selector de temperatura, además está fabricado en material de ferróniquel y el segundo se utiliza en casos específicos, es ajustable por medio de tornillos de fijación y su construcción es en hierro.

La velocidad de funcionamiento de este proceso está ligada directamente al variador de velocidad, también tiene un sistema de amortiguación ejecutado por 5 tornillos (11 cm) con resortes (6 cm).

Banda transportadora:

Es un sistema de cinta elástica que ayuda a mover el material sellado hacia la parte final del proceso de producción y es aquí donde el operario debe realizar un riego cada determinado tiempo con el fin de evitar que el producto se adhiera a la superficie de sellado, también este proceso cuenta con un sistema de apertura/cierre a fin de recolectar la bolsa del proceso anterior.

Eliminador de energía estática:

Es un tubo de PVC el cual internamente tiene un inductor con el propósito de eliminar la energía estática proporcionada por la película de polietileno ya que allí es donde reposa toda la producción entregada por la máquina.

A continuación, se muestra en la **Figura 1- 27** el inductor eliminador de estática.

Figura 1- 27: Eliminador de energía estática.



Fuente: Autor.

Contador mecánico de 5 dígitos:

Es un elemento el cual permite llevar el control de la cantidad de producto entregado por la máquina, cabe precisar que en esta empresa en su mayoría se realiza paquetes de 100 unidades de bolsa y este proceso es accionado por el sistema de apertura/cierre que tiene la banda transportadora.

En la **Figura 1- 28** Se evidencia el contador de unidades de polietileno.

Figura 1- 28: Contador mecánico de 5 dígitos.



Fuente: Autor.

1.2.2 Materiales.

Resistencias:

Una resistencia presenta una oposición al flujo de corriente en un circuito eléctrico esta se mide en ohmios, que su símbolo es la letra griega omega (Ω) la resistencia puede parecer negativa, pero en la electrónica es bastante beneficiosa protegido los circuitos, por esto la gran mayoría de circuitos eléctricos llevan resistencia entre sus conexiones como medida de protección

Figura 1- 29: Resistencia Estándar.



Fuente:(Resistencias Cerámicas - El Octavo Bit, n.d.)

Diodos 1N4004:

Un diodo es un semiconductor que facilita el paso de corriente en un solo sentido y en sentido contrario representa una interrupción bloqueando su paso, es un componente esencial en circuitos electrónicos, este tiene una polaridad determinada por un ánodo

(positivo) y un cátodo (negativo), cuando un diodo tiene una polarización inversa este actúa como un aislante protegiendo el circuito o montaje realizado.

Figura 1- 30: Diodo 1N4004.



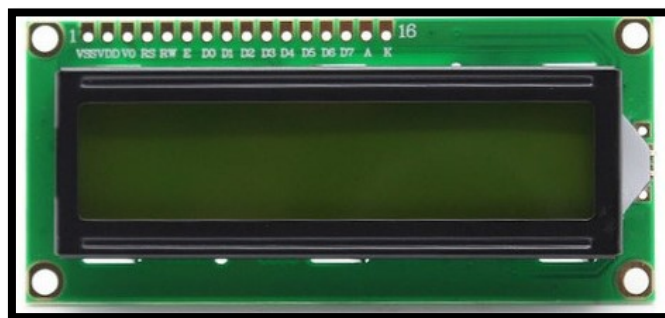
Fuente:(1N4004 Pdf, 1N4004 Description, 1N4004 Datasheet, 1N4004 NView: ALLDATASHEET: n.d.)

Display LCD 16x2:

El display LCD 16x2 es un dispositivo con dos filas y cada una de estas filas cuenta con 16 espacios es usada normalmente para la visualización de caracteres en proyectos de Arduino, Raspberry pi y otros microcontroladores. Es compatible con el juego de comandos estándar del controlador HD44780 el cual se basa la mayoría de los display, su conexión utiliza un bus de datos de 4 u 8 bit y al menos dos señales de control.

Al ser implementado en Arduino no requiere instalar software adicional para su comunicación gracias a la librería LiquidCrystal lo cual es adecuada para implementar en este proyecto.

Figura 1- 31: Display LCD 16x2.

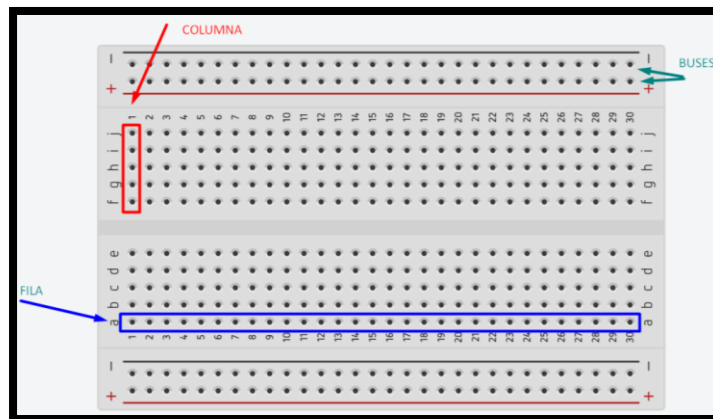


Fuente:(LCD16X2 - 16x2 Character LCD Display Technical Data, n.d.)

Protoboard:

Una proto placa es una placa de prueba donde se pueden colocar componentes electrónicos y cables para crear circuitos sin soldar ningún componente. Los agujeros en la Protoboard están conectados entre sí con pequeñas piezas de metal. Normalmente, estas placas tienen una disposición en la que los orificios de una fila están conectados entre sí, pero los orificios de las diferentes filas no están conectados esto facilita la realización de pruebas y cambios de forma más fácil y segura permitiendo realizar montajes.

Figura 1- 32: Protoboard estándar.



Fuente:(PROTO-BOARD: PROTOBOARD DE 830 PUNTOS DE CONEXIÓN 2 TIRAS DESLIZABLES, n.d.)

Borneras:

Borneras hay varios modelos disponibles, su función es la de servir como conducto o conexión a un circuito específico. Se venden en diferentes colores. Los terminales de paso doble y triple son ideales donde la densidad de conexión es crítica.

Figura 1- 33: Bornera estándar azul.



Fuente:(Bornera 2 Pines Para Impreso, n.d.)

1.3 Marco legal y normativa.

1.3.1 ISO 50001.

Es el estándar internacional para la gestión de la energía y proporciona el marco más sólido para optimizar la eficiencia energética en organizaciones públicas y privadas. demuestra el compromiso de una organización con la mejora continua en la gestión de la energía, lo que le permite predicar con el ejemplo en industrias relevantes y garantizar el cumplimiento de los requisitos legales y reglamentarios aplicables. (*Certificación ISO 50001 - Sistema de Gestión de La Energía | NQA, n.d.*)

1.3.2 ISO 45001.

Es la norma para gestión de seguridad y salud en el trabajo, con fin de proteger a los auditores y trabajadores de cualquier patología o accidente laboral, esta normal fue desarrollada para disminuir cualquier determinante que pueda causar daño irreparable a los empleados o al negocio. Esta norma fue desarrollada por un comité de expertos en seguridad y salud en el trabajo que busca el enfoque a otros sistemas de gestión incluyendo la ISO 9001 y la ISO 14001. (*Certificación ISO 45001 - ¿Qué Es La Norma ISO 45001?, n.d.*)

1.3.3 IPC 620.

La norma IPC/WHMA-A-620 especifica prácticas y requisitos para la fabricación de conjuntos de cables, alambres y arneses. Esta norma describe los materiales, métodos, inspección y criterios de aceptación para la fabricación de interconexiones crimpadas, sujetadas mecánicamente y soldadas y las operaciones de ensamblaje asociadas (equivalentes a las normas de amarres/sujetadores) asociadas con conjuntos de mazos de cables y alambres. Se puede utilizar cualquier método de fabricación de componentes que

cumpla con los requisitos de aceptabilidad descritos en esta norma. (*IPC 620 Requisitos y Aceptabilidad de Cables, Alambres y Arneses*, n.d.)

1.3.4 IPC 610.

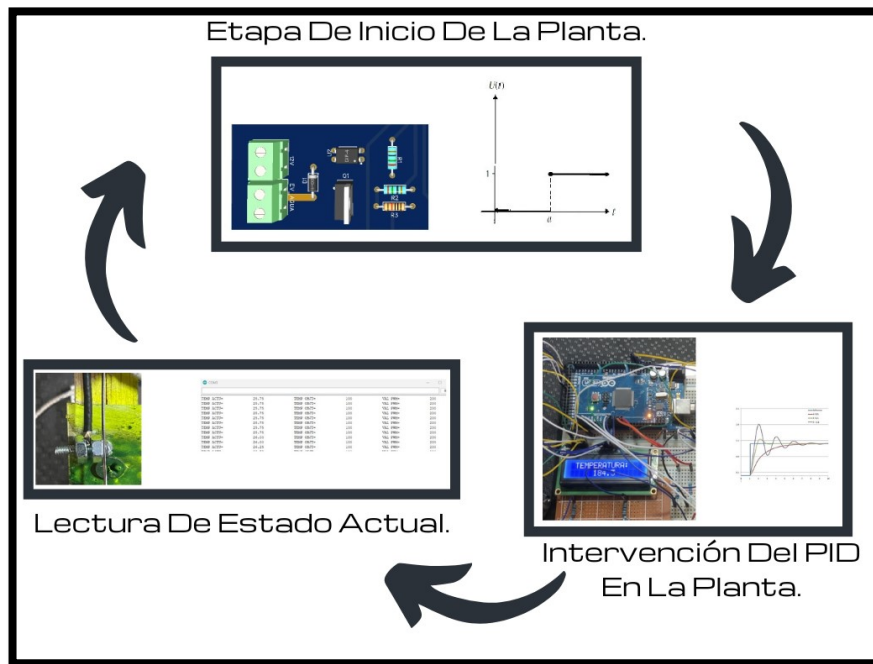
El estándar IPC A 610 para la aceptación de conjuntos electrónicos es el estándar de calidad de placa de circuito impreso más utilizado en la industria electrónica. Preparado por la IPC (Asociación de Conectividad de la Industria Electrónica) de EE. UU. y las principales empresas de fabricación de productos electrónicos del mundo. (*IPC A 610 Para Aceptabilidad de Ensamblados Electrónicos, IPC Calidad.*, n.d.)

2. Propuesta De Solución.

En este capítulo se presenta la metodología que se lleva a cabo para concebir cada uno de los objetivos propuestos.

La **Figura 2- 1** que se encuentra a continuación muestra las etapas que componen el ciclo del sistema implementado.

Figura 2- 1: Controlador PID y De Riego implementado.



Fuente: Autor.

El presente trabajo de investigación se basa en 3 etapas esencialmente que describe el comportamiento de la planta y la corrección que se propuso para evitar 2 actividades manuales que eran realizadas por el operario de la máquina.

Etapa 1: Lectura del estado actual de las variables a controlar (Temperatura y Humedad).

En esta primer etapa se tiene un sensor que permite la medición del estado actual de la temperatura dicho elemento es la Termocupla tipo K max6675, la cual está ubicada en la resistencia que realiza la actividad de sellado en la bolsa platica y que de acuerdo al grosor de estas debe estar en unas temperaturas específicas (180 °C y 250 °C) y en el caso de la humedad se tienen tiempos específicos que vienen determinados por la experticia del operario y se activa de forma manual por medio de un interruptor que está incorporado en el sistema implementado contando con una ubicación de fácil acceso para el operario.

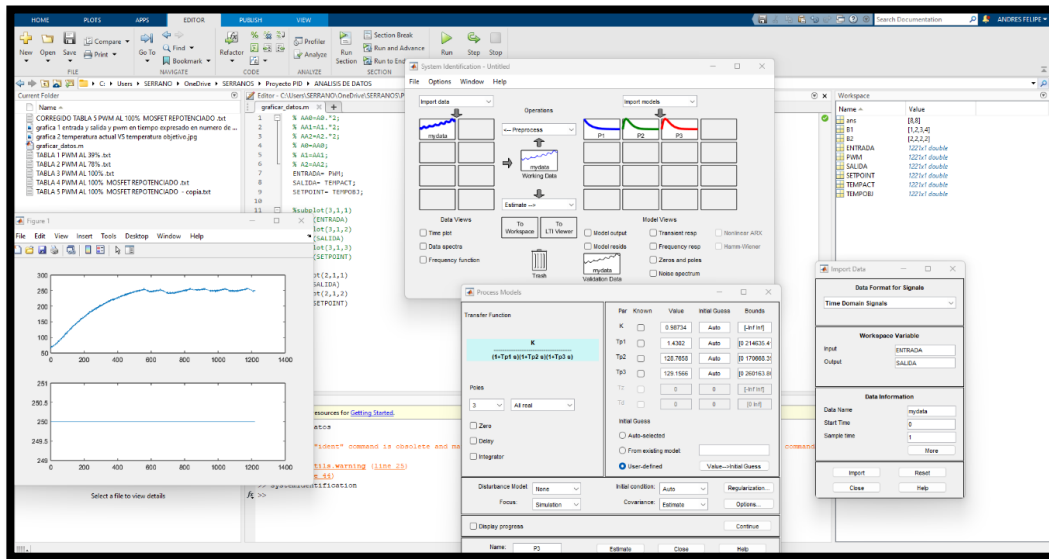
Etapa 2: Controlador PID.

En esta etapa se tomaron más de 7.000 muestras de la respuesta de temperatura en el paso del tiempo a fin de, establecer la base de datos que posteriormente seria procesada en el programa MatLab por medio del toolbox System Identification el cual permite, a partir de un numero de datos, conocer el comportamiento de la planta y así determinar la función de transferencia que describe dicha información, esta aplicación logra entregar funciones de transferencia para sistemas lineales o dinámicos, la manera de conseguir un resultado optimo en esta App se hace por medio de la utilización de modelos de aprendizaje automáticos como lo son el Hammerstein-Wiener y Nonlinear ARX con técnicas basadas en procesos gaussianos (GP), de acuerdo a lo mencionado anteriormente, se puede afirmar que utilizar esta herramienta computacional es de gran ayuda debido a que sus predicciones en los modelos que entrega son altamente acertadas, por lo que, cuando se tiene un modelo con comportamientos dinámicos una de las mejores opciones es conocer la planta por medio de este toolbox, de otra manera, lo que se debe hacer cuando se trabaja con esta herramienta es ingresar una gran cantidad de muestras y ella internamente escoge las que se acomodan más

al comportamiento de la planta y de ahí por medio de los algoritmos ya mencionados genera la función de transferencia que describe dicho comportamiento. Después de haber culminado esta parte se procede a agregar polos y ceros a la función de transferencia original y de esta manera conseguir comportamientos más óptimos en la respuesta del controlador que se va a desarrollar, es importante precisar, que se analizaron tres diferentes modelos entre los cuales se escogió el de orden 3 debido a que arrojo una respuesta mejor en comparación a los demás, en el capítulo 3 (análisis de resultados) del presente trabajo de investigación, se explica de manera más detallada cada una de las respuestas que arrojan los modelos evaluados para tomar la mejor decisión, sin embargo, el modelo 3 arroja un porcentaje de exactitud del 91.52%, información que puede ser corroborada en la **Figura 3-9**.

En la siguiente **Figura 2- 2** se muestra la interfaz del toolbox que corresponde a la herramienta de System Identification para conocer la Función de transferencia correspondiente a cada uno de los 3 modelos evaluados.

Figura 2- 2: Entorno System Identification de MatLab.



Fuente: Autor.

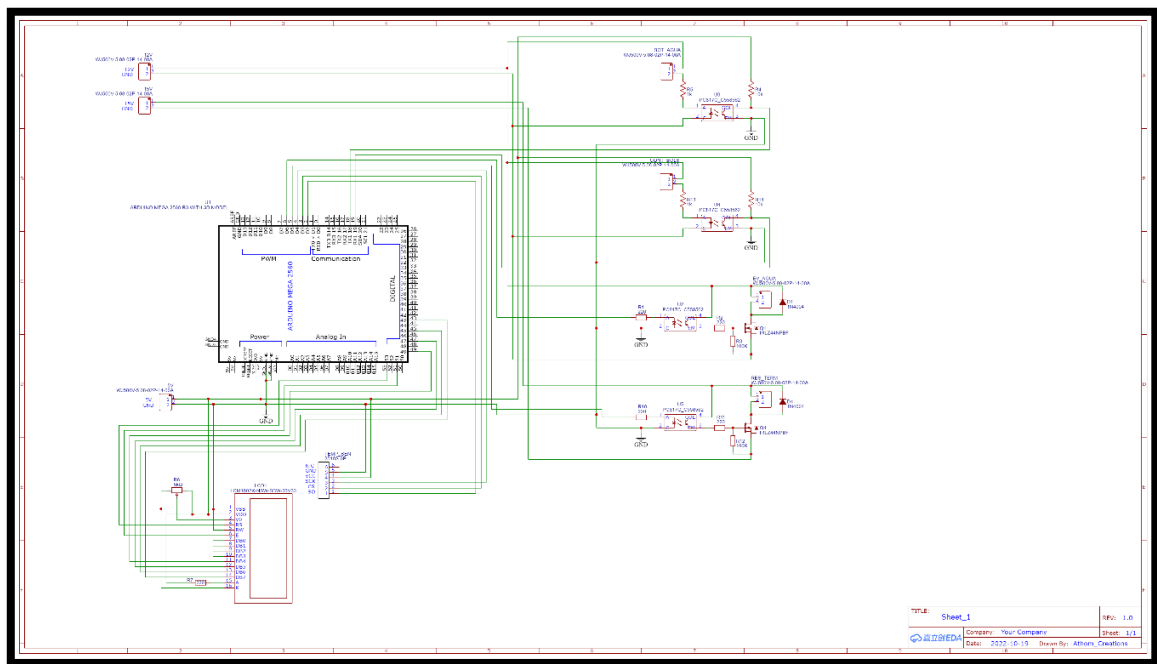
Etapas 3: Potencia.

La tercer etapa del proyecto es la de potencia allí se ingresan 15v DC y se puede tener un máximo de 5 A de consumo en la planta, de esta manera, cuando el sistema llega al setpoint de mayor requerimiento (250°C) en la resistencia tiene los consumos citados anteriormente, en esta parte tenemos 2 optoacopladores los cuales permiten una comunicación aislada entre dos fases del circuito, su función es muy importante dentro del sistema debido a que sin ellos se podrían presentar fallas por perturbaciones externas en la planta, como lo son ruidos armónicos de la red eléctrica o filtración por parte del sensor de temperatura debido que esta está conectada directamente a la resistencia de sellado genera un bloqueo por el paso de potencia por la termocupla hacia el μC y de esta manera garantizamos la protección de la comunicación entre el μC y los transistores, también, estos componentes (MOSFET) están incluidos en el circuito y tienen funciones diferentes, es

importante aclarar que se incorporaron dos de ellos, el primero realiza la función de activación o apagado de la electroválvula en el sistema de riego desarrollado y el segundo hace lo mismo pero en este caso para la resistencia selladora, es importante aclarar que esta etapa viene controlada por la etapa de controlador PID que se explicó en el anterior apartado.

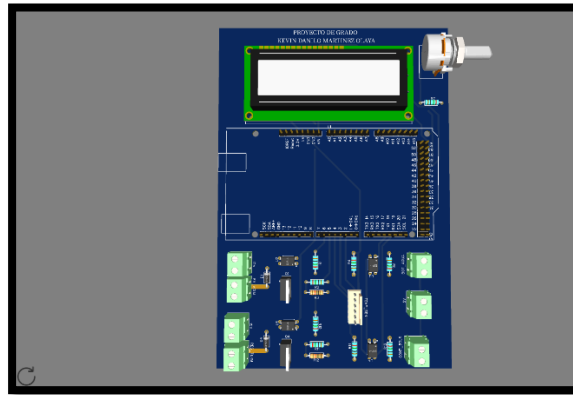
A continuación, en la **Figura 2- 3** se mostrará el diseño electrónico que se deja propuesto para su elaboración por medio de un pcb electrónico donde se evidencia cada una de las etapas explicadas anteriormente.

Figura 2- 3: Esquema electrónico de conexiones en EasyEDA.



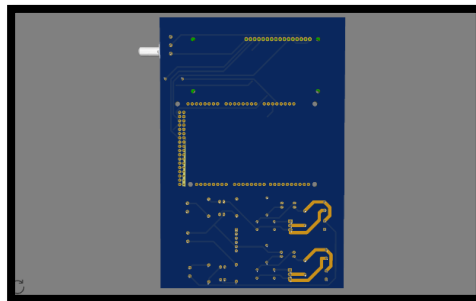
Fuente: Autor.

Figura 2- 4: Ilustración 3D de la pcb propuesta vista de frente.



Fuente: Autor.

Figura 2- 5: Ilustración 3D de la pcb propuesta vista trasera.



Fuente: Autor.

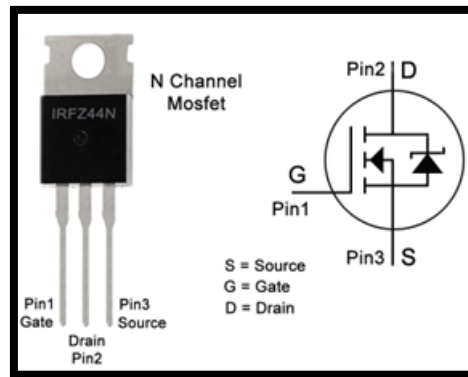
2.1 Criterios ingenieriles para escoger los componentes implementados en el sistema diseñado.

2.1.1 Arduino Mega 2560.

El Arduino MEGA 2560 es una placa de desarrollo basada en el microcontrolador ATmega2560, cuenta con una plataforma de hardware libre, la cual pertenece a una extensa familia entre los cuales se encuentra: El Arduino uno, Arduino Leonardo, Arduino micro y nano entre muchos otros. A diferencia de los anteriormente mencionados, cuenta con mayor capacidad debido a que tiene mayor cantidad de pines con

los transistores tipo BJT o de unión bipolar. Una de las características más importantes de un MOSFET es que son controlados por voltaje, el MOSFET IRFZ44N tiene capacidad de trabajar con 25 voltios y 45 Amperios los cuales son mayor a los requerido por el sistema a controlar en el proyecto.

Figura 2- 7: Transistor MOSFET IRFZ44.

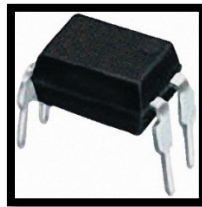


Fuente:(IRFZ44 Pdf, IRFZ44 Description, IRFZ44 Datasheet, IRFZ44 View: ALLDATASHEET: n.d.)

2.1.3 Optoacopladores PC817C.

Un optoacoplador es un circuito electrónico que tiene la función de un interruptor aislador, permitiendo separar la fase de un circuito a otro, facilitando una conexión eléctricamente aislada entre dos circuitos que operan a distintos voltajes, su funcionamiento se base en la emisión de un led infrarrojo.

Figura 2- 8: Optoacoplador PC817C.



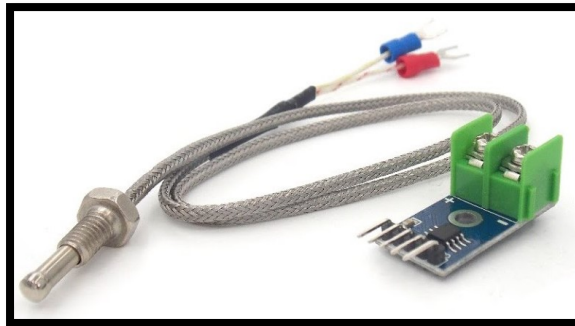
Fuente:(Optoacopladores: Optoacoplador PC817, n.d.)

2.1.4 Termocupla tipo K max6675.

Una termocupla, también conocida como termopar tipo K, es un sensor de temperatura tipo transductor el cual usa dos metales diferentes para crear una diferencia de potencial, una diferencia de temperatura entre un extremo, llamado punto caliente, y el otro extremo, llamado frío. este sensor es de contacto también existen sin contacto lo cual son mediante un rayo láser, pero estas representan una mayor dificultad al momento de medir un punto que está en movimiento constante.

Esta referencia fue escogida debido a que logra medir temperaturas elevadas, las cuales en el presente proyecto se requerían (hasta 250°C), sin embargo, existen en el mercado actual referencias comerciales más económicas que la max6675, pero no brindaban la precisión que tiene esta y tampoco el rango de medición se ajustaba a estos parámetros, por lo que, después de revisar un amplio catálogo de referencias se opto por utilizar la termocupla ya mencionada.

Figura 2- 9: Termocupla tipo K max6675.



Fuente:(MAX6675 Pdf, MAX6675 Description, MAX6675 Datasheet, MAX6675 View:
ALLDATASHEET: n.d.)

2.1.5 Electroválvula estándar 12v.

Electroválvula 12VDC - 1/2" con presión, diseñada para regular el caudal de agua en tuberías. Esta electroválvula funciona todo/nada (abierta o cerrada). Un solenoide es un electroimán que, cuando se activa, se mueve con el diafragma de la válvula y permite el paso del fluido. La válvula permanece abierta mientras el solenoide esté activado. Si el resorte no es accionado, es el encargado de devolver la válvula a su posición de reposo, en este caso del tipo normalmente cerrada (NC).

Figura 2- 10: Electroválvula 12v.



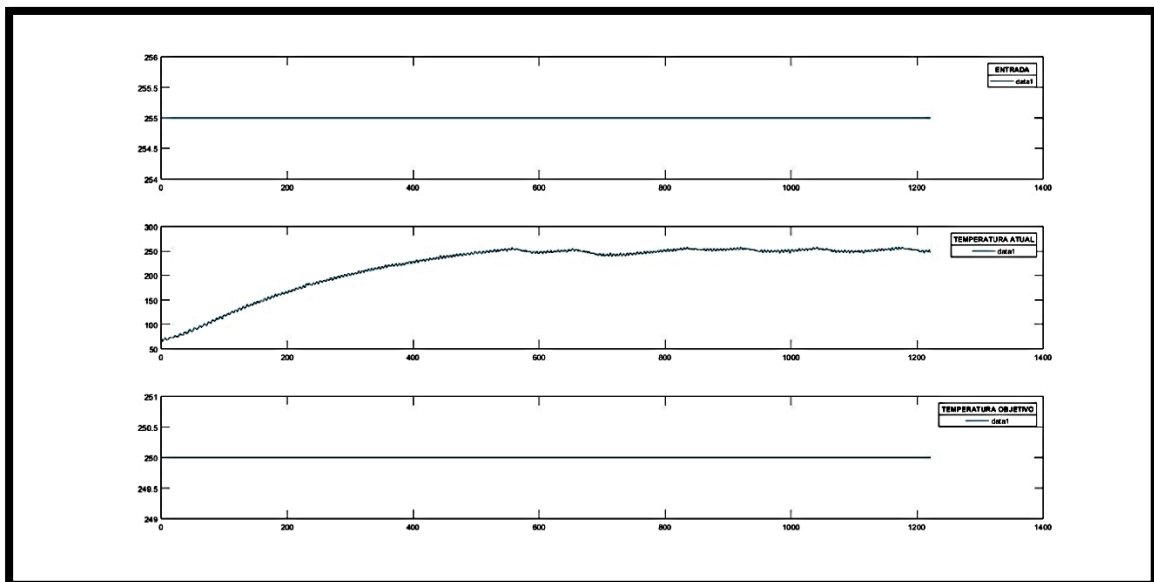
Fuente:(del Carmen et al., 2015)

3. Análisis De Resultados.

En este capítulo se presentan las imágenes más significativas que muestran cómo se da cumplimiento a los resultados esperados propuestos en el inicio de este proyecto, el paso a paso de los cálculos llevados a cabo, para finalmente, conocer el mejor controlador que lleva el setpoint al valor deseado en el menor tiempo y de forma más estable.

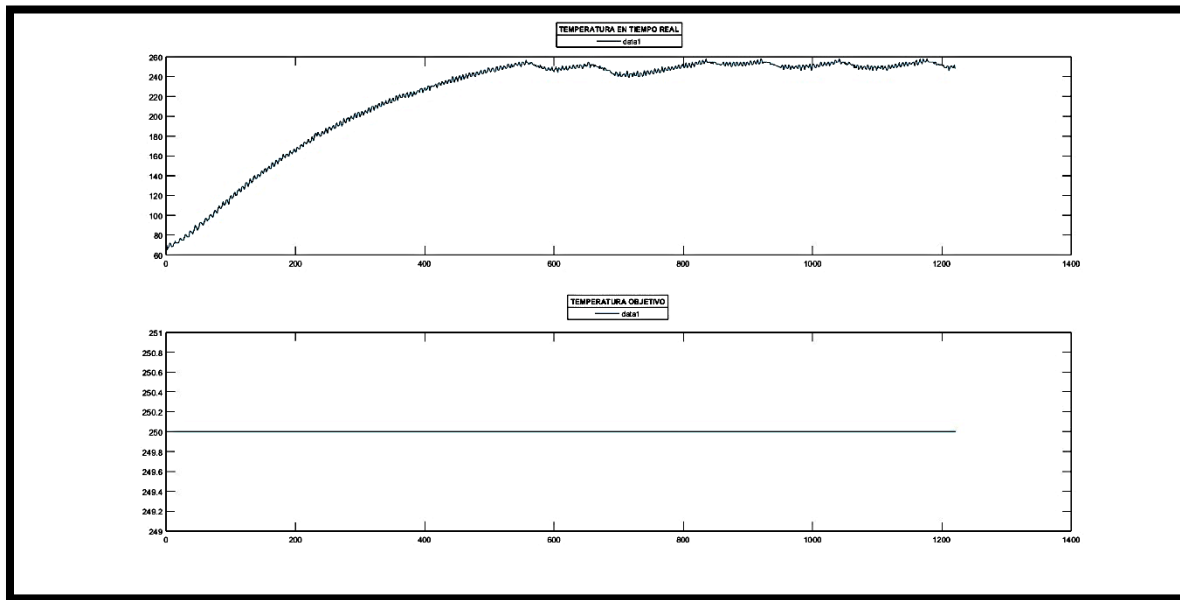
Con el objetivo de realizar el análisis de la planta se tomaron 1221 muestras, a una tasa de muestreo de 3 muestras por segundo en cada uno de los canales, con el objetivo de conocer mejor el comportamiento de la planta, se tomaron mediciones con la señal de entrada a diferentes potencias (39%; 78% y 100%), a fin de, analizar la respuesta de la planta en un amplio espectro de estímulos, siendo la mejor medición con el porcentaje en 100%.

Figura 3- 1: Comparativa entre la señal de entrada PWM, la señal de salida reflejada en la temperatura y el setpoint manifestado por la temperatura objetivo.



Fuente: Autor.

Figura 3- 2: Comparativa entre la repuesta del sistema y el setpoint deseado.



Fuente: Autor.

Como se observa en la gráfica mediante un estímulo cuyo objetivo es llegar a los 250 grados, se puede apreciar que tiene poco sobre impulso en la repuesta.

Figura 3- 3: Análisis y determinación del sistema en grado 1 a partir de los datos obtenidos.

```

Process model with transfer function:
      Kp
G(s) = -----
      1+Tpl*s

      Kp = 1.0055
      Tpl = 215.16

Name: Pl
Parameterization:
  {'Pl'}
Number of free coefficients: 2
Use "getpvec", "getcov" for parameters and their uncertainties.

```

Fuente: Autor.

A partir de los datos obtenidos se usa la función System Identification para generar una función de transferencia de grado 1, posteriormente una función de transferencia de grado 2 y finalmente una de grado 3. Como se aprecia en las siguientes imágenes, esto se realiza con el fin de descubrir cuál es la función de transferencia que más se aproxima a la respuesta real del sistema.

Figura 3- 4: Análisis y determinación del sistema en grado 2 a partir de los datos obtenidos.

```
Process model with transfer function:
      Kp
G(s) = -----
      (1+Tp1*s) (1+Tp2*s)

      Kp = 0.99523
      Tp1 = 133.26
      Tp2 = 138.26

Name: P2
Parameterization:
  {'P2'}
Number of free coefficients: 3
Use "getpvec", "getcov" for parameters and their uncertainties.
```

Fuente: Autor.

Figura 3- 5: Análisis y determinación del sistema en grado 3 a partir de los datos obtenidos.

```

Process model with transfer function:
      Kp
G(s) = -----
      (1+Tp1*s) (1+Tp2*s) (1+Tp3*s)

      Kp = 0.98734
      Tp1 = 1.4302
      Tp2 = 128.77
      Tp3 = 129.16

Name: P3
Parameterization:
{'P3'}
Number of free coefficients: 4

```

Fuente: Autor.

Figura 3- 6: Proceso de obtención de la función de transferencia de grado 1 en el dominio S y normalización de la función.

```

G1 =

From input "u1" to output "y1":
  1.005
-----
 215.2 s + 1

Name: P1
Continuous-time transfer function.

ans =

From input "u1" to output "y1":
  0.004673
-----
 s + 0.004648

Name: P1
Continuous-time transfer function.

```

Fuente: Autor.

Una vez obtenida la función de transferencia de grado 1 procedemos a expresarla en el dominio de S y posteriormente, normalizarla con el objetivo de que sea más fácil realizar el proceso de cálculo manual y realizar pruebas en el microcontrolador. Este proceso se realiza de igual manera en las funciones de transferencia de grado 2 y 3 con el objetivo de aplicar un step y evaluarlas simultáneamente.

Figura 3- 7: Proceso de obtención de la función de transferencia de grado 2 en el dominio S y normalización de la función.

```
G2 =  
  
From input "u1" to output "y1":  
      0.9952  
-----  
1.842e04 s^2 + 271.5 s + 1  
  
Name: P2  
Continuous-time transfer function.  
  
ans =  
  
From input "u1" to output "y1":  
      5.402e-05  
-----  
s^2 + 0.01474 s + 5.428e-05  
  
Name: P2  
Continuous-time transfer function.
```

Fuente: Autor.

Figura 3- 8: Proceso de obtención de la función de transferencia de grado 3 en el dominio S y normalización de la función.

```
G3 =

From input "u1" to output "y1":
    0.9873
-----
2.378e04 s^3 + 1.7e04 s^2 + 259.4 s + 1

Name: P3
Continuous-time transfer function.

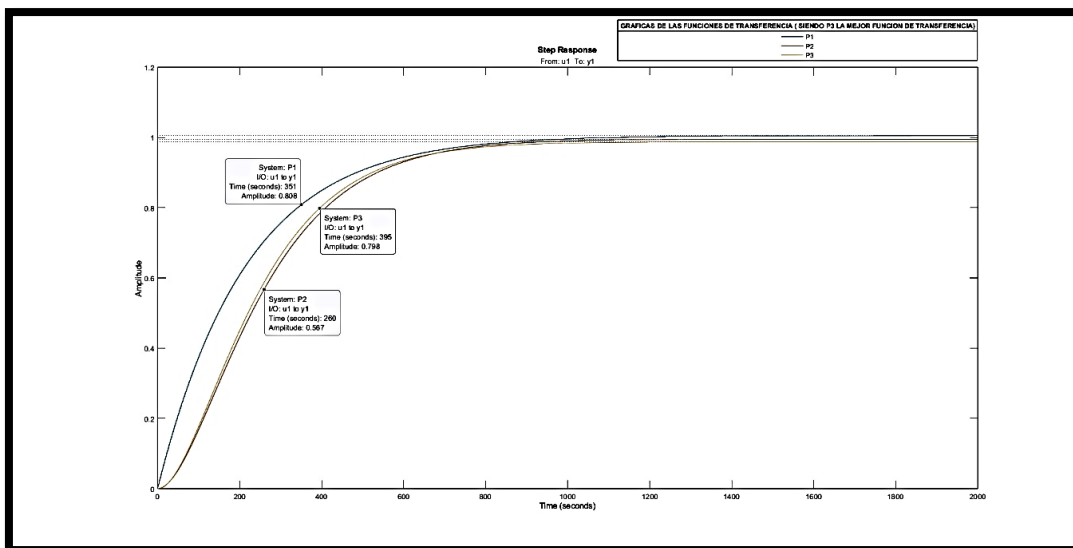
ans =

From input "u1" to output "y1":
    4.151e-05
-----
s^3 + 0.7147 s^2 + 0.0109 s + 4.204e-05

Name: P3
Continuous-time transfer function.
```

Fuente: Autor.

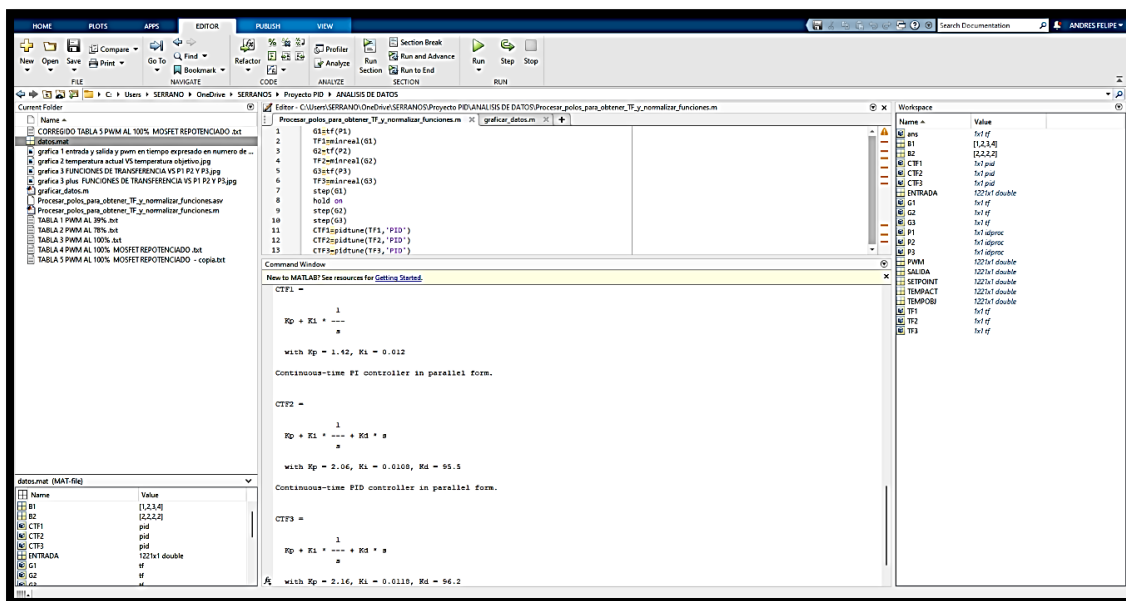
Figura 3- 9: Análisis de respuesta comparativa entre las funciones de transferencia de grados 1,2,3.



Fuente: Autor.

Como se observa en la gráfica de respuesta de sistema se evalúan 3 funciones, cada una de ellas manifiesta un grado de exactitud relacionada a la planta real, siendo el porcentaje de exactitud de la función de grado 1 un 88%, el de porcentaje de exactitud de la función de grado 2 con un 91% y el porcentaje de exactitud de la función de grado 3 un 91.52% siendo esta la más óptima para trabajar con el sistema.

Figura 3- 10: Obtención de los controladores PID para las 3 funciones de análisis obtenida.



Fuente: Autor.

Con el objetivo de analizar las respuestas de los diferentes controladores PID, se obtienen un controlador para cada una de las funciones de transferencia, mediante la función PidTune.

Figura 3- 11: Control PID para la función de grado 1.

```

CTF1 =

      1
Kp + Ki * ----
      s

with Kp = 1.42, Ki = 0.012

Continuous-time PI controller in parallel form.

```

Fuente: Autor.

Debido al bajo grado de la función se obtiene un controlador PI.

Figura 3- 12: Control PID para la función de grado 2.

```

CTF2 =

      1
Kp + Ki * ---- + Kd * s
      s

with Kp = 2.06, Ki = 0.0108, Kd = 95.5

Continuous-time PID controller in parallel form.

```

Fuente: Autor.

Figura 3- 13: Control PID para la función de grado 3.

```

CTF3 =

      1
Kp + Ki * ---- + Kd * s
      s

with Kp = 2.16, Ki = 0.0118, Kd = 96.2

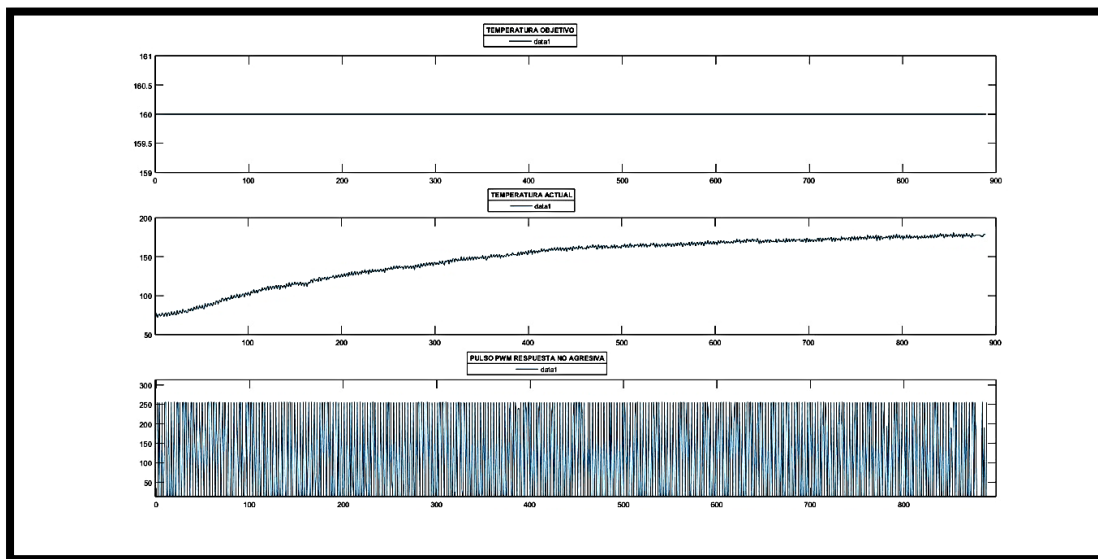
Continuous-time PID controller in parallel form.

```

Fuente: Autor.

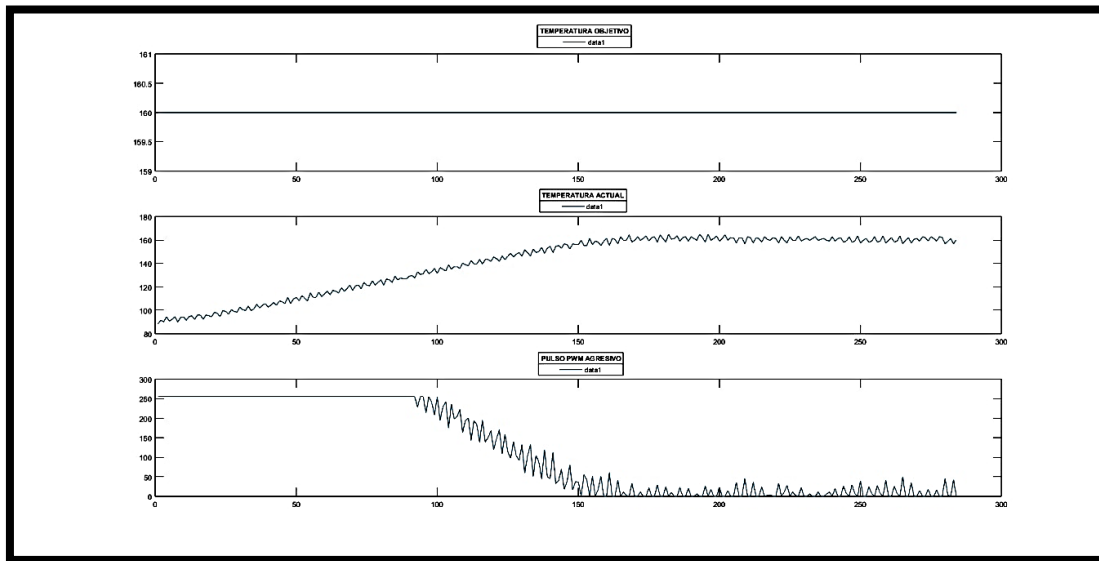
Como se puede observar en los 3 tipo de controladores los parámetros P, I, D son bastante parecidos entre ellos a pesar de que estamos usando funciones de grados diferentes, estas proximidades entre los resultados es lo que garantiza una buena respuesta y la certeza de que los datos obtenidos de la planta son fiables.

Figura 3- 14: Respuesta en planta del controlador PID de grado 1.



Fuente: Autor.

Como se puede observar en la gráfica tenemos una curva de temperatura que de forma suave y concisa, llega al valor deseado, al analizar la aplicación de pulsos PWM se aprecia que debido a que la función no es lo suficientemente precisa, el control se activa de forma contundente en múltiples ocasiones generando un consumo constante de electricidad.

Figura 3- 15: Respuesta en planta del controlador PID de grado 3.

Fuente: Autor.

Al implementar un controlador de grado 3, dado que su proximidad es muy cercana con la planta real se aprecia que su activación es contundente al inicio del sistema y posteriormente cuando el sistema detecta que está cerca al setpoint inicia a disminuir la aplicación de potencia en forma constante representando una disminución del consumo eléctrico y por ende siendo el mejor controlador para implementar en la planta.

4. Conclusiones y Recomendaciones.

4.1 Conclusiones.

- Se desarrollo un controlador PID que funciona de manera eficaz, para el control de la variable de temperatura en la máquina de sellado tipo Sellopol, el cual tiene una precisión del 95% y una tolerancia máxima de error del 5% lo cual hace que se cumpla a cabalidad con el objetivo general del proyecto de grado.
- Se consiguió implementar un sistema de potencia basado en transistores MOSFET los cuales permiten controlar la potencia aplicada a la resistencia principal de la máquina selladora, además, se utilizaron optoacopladores a fin de garantizar un aislamiento que conserve la estabilidad del microcontrolador (μC).
- Se implemento un sistema de riego optimo que garantiza que se humedezca la banda transportadora de manera uniforme, eliminando una actividad que se realizaba de forma manual por el operario de la máquina.
- se utilizaron optoacopladores y transistores con la potencia nominal superior a la requerida por la plata, a fin de, evitar fallas en los componentes que componen el resto del sistema.
- Como resultado de la implementación del sistema propuesto, se logró cumplir a cabalidad con cada uno de los objetivos propuestos (general y específicos) debido a que el sistema implementado suprime 2 actividades manuales esenciales en el sellado de bolsas plasticas en la empresa plásticos vaqueros del huila.
- Componente principales

4.2 Recomendaciones.

- Implementar el sistema en un micro - procesador de sistema embebido a fin de reducir costos de producción y ganar velocidad computacional.
- Desarrollar el circuito de potencia utilizando componentes modernos (Micro electrónica) que permitan reducir el tamaño de la placa y fallas en el mismo.
- Cambiar el sistema de medición de la variable principal (Temperatura) ya que el desarrollado fue mediante contacto y se recomienda uno que sea sin contacto.

BIBLIOGRAFÍA.

▷ *Control PID - Acción de Control Proporcional - [septiembre, 2021]*. (n.d.). Retrieved September 13, 2021, from <https://controlautomaticoeducacion.com/control-realimentado/control-pid-accion-proporcional/>

IN4004 pdf, IN4004 Description, IN4004 Datasheet, IN4004 view: ALLDATASHEET: (n.d.). Retrieved October 27, 2022, from <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/201462/TSC/IN4004.html>

6.1. Control PID: Control Proporcional + Integral (PI). (n.d.). Retrieved September 13, 2021, from <http://www.udesantiagovirtual.cl/moodle2/mod/book/view.php?id=34408&chapterid=363>

Acos plásticos. (2020). Plásticos en Colombia. *Dk*, 53(9), 1689–1699.

Álamo, T. (2007). Diseño del Controlador PID. *Universidad de Sevilla, Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática*, 1–37.

Arduino Mega 2560 Rev3 — Arduino Online Shop. (n.d.). Retrieved October 27, 2022, from <https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3>

Avendaño., L. A. S. (n.d.). *Control Proporcional Derivativo para un Brazo Robótico Articulado*.

Barboza, D., & Rimapa, D. (2017). *Proyecto de Pre-Factibilidad de Producción Polietileno a partir de Etileno*. 82.

BARRIENTOS HUAMANÍ, A. E. (2017). SISTEMA DE CONTROL PROPORCIONAL INTEGRADOR Y DERIVATIVO, COMO ALTERNATIVA PARA MEJORAR LA PRECISIÓN DE TEMPERATURA, APLICADO AL PROCESO DE ELABORACION DE PINTURAS, PARA LA EMPRESA MARA SA. *Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, I(X)*, 1–81.

Berm, J. A., Morera, D. E. Z., & Tatiana, C. (2016). *ANÁLISIS Y DISEÑO DE UN CONTROLADOR DE ROBOTS EXPLORADORES TIPO ÁPODO*.

Bornera 2 Pines para Impreso. (n.d.). Retrieved October 27, 2022, from <https://www.electronicaplugandplay.com/conectores/product/304-bornera-2-pines-para-impreso>

Camilo Andrés Durán Cantor. (2018). ESTUDIO DEL EFECTO DEL RECICLADO Y REPROCESAMIENTO DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD DE GARRAFONES DE AGUA. *2018*, 51.

CARLOS ALJURE, J. R. (2018). *DISEÑO DE UNA MÁQUINA PRECORTADORA Y SELLADORA DE ROLLOS DE PELÍCULA PLÁSTICA PARA LA FORMACION DE BOLSAS PARA LA EMPRESA PLÁSTICOS LA HOGAREÑA BUSTOS Y CIA S EN C*. 372(2).

CARLOS GABRIEL EIBAR BEJARANO, V. L. S. E. (2012). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE CONTROL DE RIEGO PARA LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL - ESPOCH*. 2(July), 32.

Certificación ISO 45001 - ¿Qué es la norma ISO 45001? (n.d.). Retrieved October 27, 2022, from <https://www.nqa.com/es-co/certification/standards/iso-45001>

Certificación ISO 50001 - Sistema de gestión de la energía | NQA. (n.d.). Retrieved October 27, 2022, from <https://www.nqa.com/es-co/certification/standards/iso-50001>

Chojolán, S. E. T. (2007). *DISEÑO DE CONTROLADORES PID EN TIEMPO DISCRETO, Y ANÁLISIS DE RESPUESTA UTILIZANDO HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES*.

CONTAVAL. (n.d.). Retrieved September 10, 2021, from <https://www.contaval.es/regulacion-onoff/>

Cristian Camilo Porras Rodríguez, J. A. G. P. (2020). *SISTEMA PARA EL DESARROLLO DE ESTRATEGIAS DE CONTROL ON / OFF, PID Y LQR APLICADAS AL HELICÓPTERO QUANSER 2 DOF DEL LABORATORIO DE CONTROL DE LA FACULTAD TECNOLÓGICA*.

del Carmen, G., Sustaita, R., Gastón, J., Torres, C., Israel, D., Pedraza, J., Jaime, M., & Ibarra, O. (2015). *Sistema de riego inteligente utilizando electroválvulas a partir de sensores de visión*. 113.

- DELGADO POLO, C. D., & QUINTE POMALAYA, J. O. (2013). Implementación De Un Módulo De Control De Razón Con Un Controlador Pi Para Controlar La Proporción De Mezclado De Dos Flujos. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Duboué, R. C., & Bestard, G. A. (2014). Diseño e implementación de un PID Profesional y un PID Difuso utilizando un microcontrolador PIC18F4550. *Jornada Científica ICIMAF 2014*.
- Encarnación Gallo, A. G. (2010). *Implementación del control de tiempo en las diferentes fases de los procesos de lavado en la empresa lava jeans de la ciudad de Ambato*.
- Escobar Díaz, A., & Barrero Páez, L. E. (2014). Aspectos prácticos de implementación en compensadores PID para control de posición de un automóvil. *Ingenium Revista de La Facultad de Ingeniería*, 15(29), 148. <https://doi.org/10.21500/01247492.1350>
- Espíndola López, Eduardo; Carrillo Serrano, R. V. (n.d.). *Construcción y Control de un Péndulo Invertido sobre un Carro (PISC) con Control Esclavo de Corriente por Computadora*.
- F. Ramírez-Rasgado, R.-R. G.-P., & O. Hernández-González, C.-M. Astorga-Zaragoza, G. Valencia-Palomo, M.E. Guerrero-Sánchez, B. T. (2020). *Control basado en observador para el desplazamiento de estructuras con retardo en la señal de control*. December.

- Franco, Ms. M. L. L., Torres, Ms. S. G. L., & Peña, Dra. C. G. A. (2018). *Industria del plástico IMPLASTIC S. A.* 2018. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2218-36202018000500153&script=sci_arttext&tlng=en
- García Mejía, J. F., Suarez Sánchez, J. C., Flores Fuentes, A. A., Pérez Martínez, J. A., & Torres Reyes, C. E. (2015). Sintonización de un controlador Proporcional-Integral Derivativo aplicado a una celda termoelectrica: Una comparación entre algoritmos genéticos. *Research in Computing Science*, 94(1), 179–192. <https://doi.org/10.13053/rcs-94-1-14>
- GARCIA, P. G. (2011). COMPUTACIÓN EVOLUTIVA PARA LA BUSQUEDA DE ECUACIONES OPTIMAS PARA SINTONIZACIÓN DE CONTROLADORES PID DISCRETOS. *Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey*, 1–61.
- González, J. M., & Playan, E. (1994). Principios básicos del riego por superficie. *Hoja Divulgativa: Ministerio De Agricultura Pesca Y Alimentación*, 10, 32.
- González Uribe, C. D. (2016). *Comparación de un controlador LQR vs un control PID implementados en un helicóptero de dos grados de libertad pivotado*. 15–42.
- GQSP Colombia. (2019). Diagnóstico de requisitos y brecha de calidad y sostenibilidad, sector plástico. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- IPC 620 Requisitos y Aceptabilidad de Cables, Alambres y Arneses*. (n.d.). Retrieved October 27, 2022, from <https://www.aldeltatec.com/blog-diseno-con-normas-y-certificaciones/ipc-620-requisitos-y-aceptabilidad-de-cables-alambres-y-arneses/>

IPC A 610 para aceptabilidad de ensambles electrónicos, IPC calidad. (n.d.). Retrieved October 27, 2022, from <https://www.aldeatec.com/blog-diseno-con-normas-y-certificaciones/ipc-a-610-aceptabilidad-ensambles/>

IRFZ44 pdf, IRFZ44 Description, IRFZ44 Datasheet, IRFZ44 view: ALLDATASHEET: (n.d.). Retrieved October 27, 2022, from <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/17808/PHILIPS/IRFZ44.html>

LCD16X2 - 16x2 Character LCD Display Technical Data. (n.d.). Retrieved October 27, 2022, from <https://www.futurlec.com/LED/LCD16X2.shtml>

López, J. (2019). *RIEGO POR ASPERSIÓN.*

López, Ybrain Hernández, Raúl Rivas Pérez, G. L. G. (2015). *Control proporcional integral robusto de nivel en un tramo de un canal principal de riego. VI (2), 25–34.*

Mata, J. D. O. (2016). *“DISEÑO Y ANÁLISIS COMPARATIVO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA CON LÓGICA DIFUSA VS CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVO (PID) EN UN PROTOTIPO DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO EN UNA PLANTA DE PROCESOS.* 133.

MAX6675 pdf, MAX6675 Description, MAX6675 Datasheet, MAX6675 view: ALLDATASHEET: (n.d.). Retrieved October 27, 2022, from <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/73692/MAXIM/MAX6675.html>

Mendoza, J. (2004). Instrumentación y control. *Tecnología Del Agua*, 24(253), 5–8.

- Mitchell, D. (2018). *Industria plástica, indicador de la economía colombiana*. 2018.
<https://www.reporteroindustrial.com/temas/Industria-plastica,-indicador-de-la-economia-colombiana+126688>
- Morilla García, F. (2007). Controladores PID. *Dpto. Informática y Automática, UNED*, 18.
- Nayibe, Chío Cho, Tibaduiza Burgos Diego Alexander, Rivera Martínez Jorge Armando, L. R. F. (2011). *DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MÁQUINA PARA REALIZAR DOBLADO, CORTADO Y SELLADO DE BOLSAS DE POLIPROPILENO Y POLIETILENO*. May 2016.
- OLVERA, E. O. (2017). *SINTONIZACIÓN DE CONTROLADORES TIPO PROPORCIONAL - DERIVATIVO PARA SISTEMAS LINEALES CON RETARDO*.
- Omar Jimenez-Ramírez, S R Hernández-Reyes, Mario Alan Quiroz-Juárez, & Rubén Vázquez-Medina. (2014). *(Pdf) Controlador Pid-Pd Para Sistemas Lineales Inestables De Segundo Orden Con Retardo /Pid-Pd Controller for Unstable Linear Systems of Second Order With Delay*. May 2016.
- Optoacopladores: Optoacoplador PC817*. (n.d.). Retrieved October 27, 2022, from <https://www.didacticaselectronicas.com/index.php/optoelectronica/optoacopladores/optoacoplador-aislador-aislador-optoacoplado-optoacopladores-optoaislador-aisladores-pc817-detail>
- Oteiza, P. P., Rodríguez, D. A., & Brignole, N. B. (2013). *Sistema de control para el almacenamiento intermedio de gasolina natural*. XXXII, 19–22.

PID – Diseño con el controlador PD (Proporcional-Diferencial) – Dademuchconnection.

(n.d.). Retrieved September 13, 2021, from <https://dademuch.com/2018/06/06/pid-diseno-con-el-controlador-pd-proporcional-diferencial/>

PROTO-BOARD: PROTOBOARD DE 830 PUNTOS DE CONEXIÓN 2 TIRAS

DESLIZABLES. (n.d.). Retrieved October 27, 2022, from <http://www.agelectronica.com><http://www.agelectronica.com>

Resistencias cerámicas - El Octavo Bit. (n.d.). Retrieved October 27, 2022, from

<https://eloctavobit.com/arduino/resistencias-ceramicas/>

RIEGO LOCALIZADO | AGRORUM. (n.d.). Retrieved September 13, 2021, from

<https://www.agrorum.net/blog/blog-1/post/riego-localizado-115>

RIVADENEIRA, C. I. V. (2010). *Diseño e implementación del sistema de control y monitoreo para la máquina de corte y sellado de fundas Tepack.* October 2010.

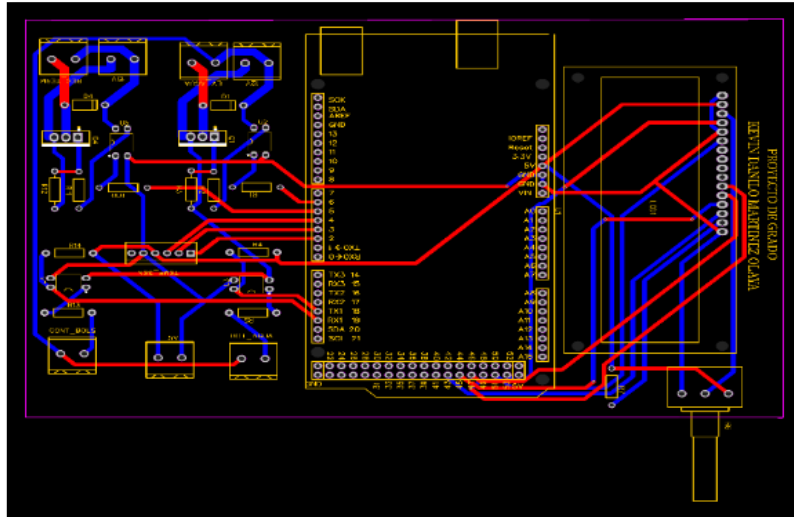
Salazar-Silva, G. H., Moreno-Armendáriz, M. A., & gallegos, J. Á. (2012). Modeling and control in task-space of a mobile manipulator with cancellation of factory-installed proportional - Derivative control. *Computación y Sistemas*, 16(4), 409–419. <https://doi.org/10.13053/cys-16-4-1445>

Santos., S. O. (n.d.). *Sintonización de un controlador PID basado en un algoritmo heurístico para el control de un Ball and Beam.*

- SELLOPOL, C. G. D. L. M. (n.d.). *Máquinas Selladoras para hacer bolsas plásticas*. Retrieved August 10, 2021, from <http://sellopol.blogspot.com/2008/07/fabricamos-máquinaria-para-bolsas.html>
- Serna M, E. (2020). *Desarrollo e Innovación en Ingeniería. Quinta Edición*.
- Universidad de Sevilla. (2020). *TIPOS DE CONTROL UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA*. 1–5.
- Velandia, E. C., & Forero, C. M. (2016). Propuesta de internacionalización para una pequeña empresa del sector plásticos en Bogotá: estudio de caso Plasmotec S.A.S. *Finanzas y Comercio Internacional*.
- Verdeza, A., Di Mare, L., Sanjuán, M., & Bula, A. (2016). Diseño de Ecuaciones de Sintonía para Controladores PID (Proporcional-Integral-Derivativo) Implementados en Fotobiorreactores. *Información Tecnológica*, 27(4), 121–132. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000400013>
- Walter J. D. Cova. (2005). Control PID Un enfoque descriptivo. *Climate Change 2013 - The Physical Science Basis*, 1–30.
- Yonny Martínez-López, Maryuri García-González, Raúl Ricardo Fernández-Concepción, Daniel Álvarez-LazoII, E. M.-R. (2017). *Proceso de transformación de la materia prima*. 2017. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59362017000300002

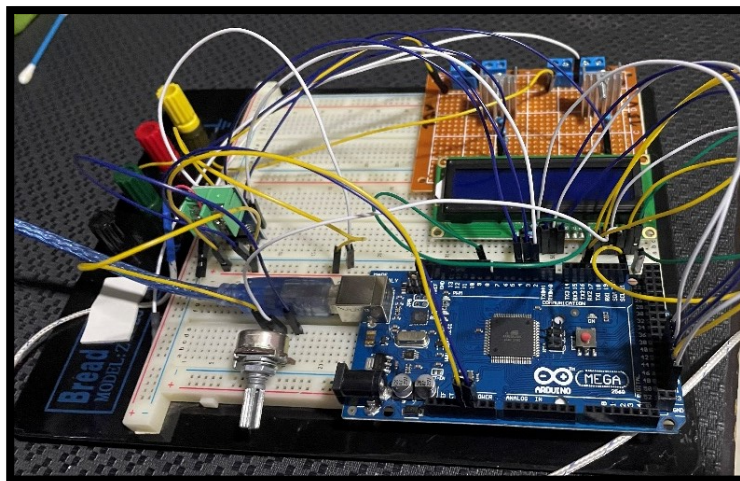
A. Anexo Conexiones y Banco De Pruebas:

Anexo A - 1: Esquema de conexiones de la pcb en EasyEDA.

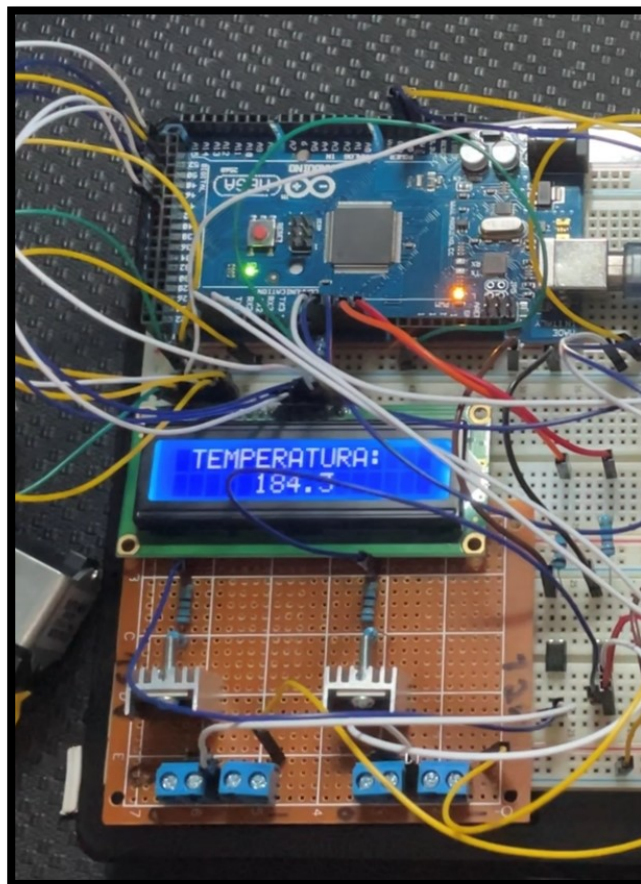


Fuente: Autor.

Anexo A - 2: Montaje del prototipo desarrollado para pruebas y sintonización del sistema.



Fuente: Autor.

Anexo A - 3: Demostración del sistema en funcionamiento para un setpoint de 185°C.

Fuente: Autor.