

DESARROLLO DE UNA PLANTA DIDÁCTICA PARA EL CONTROL DE
TEMPERATURA EN LABORATORIO DE AUTOMÁTICA DE LA CORPORACIÓN
UNIVERSITARIA COMFACAUCA

SEBASTIAN ORTIZ VIDAL
DAVID SANTIAGO SAMBONI

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA COMFACAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
INGENIERÍA MECATRÓNICA
POPAYÁN, CAUCA
2023

DESARROLLO DE UNA PLANTA DIDÁCTICA PARA EL CONTROL DE
TEMPERATURA EN LABORATORIO DE AUTOMÁTICA DE LA CORPORACIÓN
UNIVERSITARIA COMFACAUCA

SEBASTIAN ORTIZ VIDAL
DAVID SANTIAGO SAMBONI

Propuesta proyecto de grado
Para optar al título de
Ingenieros Mecatrónicos

Director:
M.Sc. Saúl Eduardo Ruiz Sarzosa

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA COMFACAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
INGENIERÍA MECATRÓNICA
POPAYÁN, CAUCA
2023

INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

Facultad:	Ingenierías
Programa Académico:	Ingeniería Mecatrónica
Título del proyecto:	Desarrollo de una planta didáctica para el control de temperatura en laboratorio de automática de la Corporación Universitaria Comfacauca
Grupo de Investigación:	Grupo de Investigación en Sistemas Inteligentes
Línea de Investigación institucional:	Automatización y control
Sede Unicomfacauca:	Popayán
Proyecto institucional asociado:	
Fecha de aprobación del perfil:	
Fecha de elaboración de la propuesta:	
Fecha de radicación:	

Datos estudiantes			
Nombres y apellidos	Cédula de ciudadanía	Correo electrónico	Número de celular
David Santiago Samboni Idrobo	1002957259	davidsamboni@unicomfacauca.edu.co	3234030455
Sebastián Ortiz Vidal	1061805039	sebastianortiz@unicomfacauca.edu.co	3206909217

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	9
PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	11
JUSTIFICACIÓN.....	15
ESTADO DEL ARTE.....	18
OBJETIVOS.....	27
OBJETIVO GENERAL	27
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	27
CAPÍTULO 1	28
1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	28
1.1 CONCEPTOS RELACIONADOS CON CONTROL AUTOMÁTICO	28
1.2. ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS DE APRENDIZAJE.....	31
1.3. REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA.....	33
CAPÍTULO 2.	35
2. DISEÑO Y MODELAMIENTO DEL PROTOTIPO	35
2.1. DISEÑO DE ESTRUCTURA	35
2.2. INSTRUMENTACIÓN	36
2.3. DISEÑO ELECTRÓNICO	38
2.4. IDENTIFICACIÓN DE LA PLANTA	39
2.5. REALIZACIÓN DEL CONTROLADOR PID Y RST	41
CAPÍTULO 3	54
3. CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA	54
3.1. IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO	54
3.2. FABRICACIÓN DE LA ESTRUCTURA.....	55
3.3. IMPLEMENTACIÓN ELECTRÓNICA DEL PROTOTIPO	57
3.4. SOFTWARE DE SIMULACIÓN EN LABVIEW	58

3.5. MANUAL DE INSTRUCCIONES	61
3.6. PROTOTIPO FINAL	62
CAPÍTULO 4	67
4. VALIDACIÓN	67
4.1. ENCUESTAS	67
4.2. TEST DE CONFIANZA	68
4.3. TEST DE SHAPIRO WILK	76
4.4. TEST DE CORRELACIÓN DE PEARSON	79
CONCLUSIONES	81
ANEXO 1: CODIGO ARDUINO CONTROL	87
ANEXO 2 CÓDIGO PANTALLA ARDUINO	98
ANEXO 3 MANUAL DE USUARIO	103

TABLA DE FIGURAS

Figura 1 Proceso de selección para obtener estudios primarios. Fuente propia basado en trabajo de la corporación universitaria comfacauca.	20
Figura 2. Estructura de la forma de la planta de temperatura visualizada en SolidWorks. Fuente propia.....	36
Figura 3. Conexión módulo max31865 y termocupla pt100. fuente (Electronicalab, s.f.)	37
Figura 4. Microcontrolador conector al puente H. fuente (alvarado, s.f.)	37
Figura 5. Arduino conectado a pantalla oled tit.funete (electrohobby, s.f.)	38
Figura 6 diseño eléctrico de conexión puente h l298 y termocupla pt100. Fuente propia	38
Figura 7. Gráfica de datos obtenidos en el muestreo planta rápida. Fuente propia	40
Figura 8. Gráfica de datos obtenidos en el muestre de la planta lenta. Fuente propia	40
Figura 9. Función de transferencia de planta lenta. Fuente propia	40
Figura 10. Función de transferencia de planta rápida. Fuente propia	41

Figura 11 parámetros para el controlador p. fuente propia.....	41
Figura 12. Grafica del controlador p. fuente propia.....	42
Figura 13 parámetros del controlador PI. fuente propia	42
Figura 14. Gráfica de control PI. fuente propia.....	43
Figura 15 parámetros de controlador PID. fuente propia	43
Figura 16. Gráfica de controlador PID. fuente propia	44
Figura 17. Diagrama en bloques de simulink-Matlab para control P, PI, PID. fuente propia	44
Figura 18. Respuesta de los controladores P, PI en el scope. fuente propia.....	45
Figura 19. Diagrama control RST en diagrama de bloques en simulink-Matlab. fuente propia.....	46
Figura 20.Gráfica de respuesta del controlador RST. fuente propia.....	47
Figura 21 parámetros para el controlador p. fuente propia.....	47
Figura 22. Grafica del controlador p. fuente propia.....	48
Figura 23 parámetros del controlador PI. fuente propia	48
Figura 24. Grafica de control PI. fuente propia.....	49
Figura 25 parámetros de controlador PID. fuente propia	49
Figura 26. Grafica de controlador PID. fuente propia	50
Figura 27. Diagrama en bloques de simulink-Matlab para control P, PI, PID. fuente propia	50
Figura 28. Respuesta de los controladores P y PI en el scope. fuente propia	51
Figura 29. Diagrama control RST en diagrama de bloques en simulink-Matlab. fuente propia.....	52
Figura 30.Gráfica de respuesta del controlador RST. fuente propia.....	53
Figura 31. Cortes de piezas en 2D. fuente propia	55
Figura 32. Estructura ensamblada. Fuente propia	56
Figura 33. Proceso de corte en maquina laser. Fuente propia	56
Figura 34. Cajas de control ensambladas. Fuente propia	57
Figura 35. Caja de componentes eléctricos para el control.	58
Figura 36. Modo de programación de LabVIEW. fuente propia	59
Figura 37. Gráfica de temperatura y señal del pwm. Fuente propia	60

Figura 38. Información visual de tipo de modo y conexión de puerto en LABVIEW. Fuente propia.....	60
Figura 39. Temperatura a la que quiere alcanzar el usuario. Fuente propia.....	60
Figura 40. MODO CONTROL RST y CONTROL PID	61
Figura 41. Código en bloques en LABVIEW. Fuente propia.....	61
Figura 42. Prototipo educativo	63
Figura 43. panel de usuario en LabVIEW	63
Figura 44. Valor de la temperatura y valor del PWM en tiempo real.....	64
Figura 45. CONTROL PI estabilizado en 45 grados centígrados	65
Figura 46. CONTROL RST estabilizado en 43 grados centígrados	65
Figura 47. FOTO DE CAMARA TERMICA CONTROL PI	66
Figura 48. FOTO DE CAMARA TERMICA CONTROL RST	66
Figura 49. Práctica con estudiantes y herramienta educativa	69
Figura 50. Grafica de media de confianza y porcentaje de estudiantes con confianza alta.	73
Figura 51. Grafica de media de confianza y porcentaje de estudiantes con confianza alta.	73
Figura 52. Grafica de media de confianza y porcentaje de estudiantes con confianza alta.	74
Figura 53. Grafica de media de confianza y porcentaje de estudiantes con confianza alta.	75
Figura 54. Grafica de media de confianza y porcentaje de estudiantes con confianza alta.	75
Figura 55. Grafica de media de confianza y porcentaje de estudiantes con confianza alta.	76
Figura 56. Grafica de media de confianza y porcentaje de estudiantes con confianza alta.	76
Figura 57. test de después de la práctica implementado en página web	78
Figura 57. test de antes de la práctica implementado en página web	79
Figura 58. Parte física del prototipo.....	112
Figura 59. Parte uno del prototipo (selección de modo).....	113

Figura 60. Parte dos del prototipo (pantalla y disturbio)	114
Figura 61. Parte tres del prototipo (cajas de control y sensor)	114
Figura 62. Software de simulación de planta de temperatura en LabVIEW.	116
Figura 63. Simulación de LabVIEW divida en cinco apartados.	116
Figura 64. Archivo Arduino MAESTRO.	118
Figura 65. Código subido a Arduino maestro.	129
Figura 66. Código interfaz de LabVIEW	129
Figura 67. Código subido Arduino pantalla	129
Figura 68. Puerto de conexión exitoso LABVIEW.	135
Figura 69. Botón ok, apartado 5.	135
Figura 70. Botón run e inicio del programa.....	136
Figura 71. Verificación de temperatura correcta sensor.	136
Figura 72. Sensor introducido en la caja de control lumínico.....	137
Figura 73. Sensor introducido en la caja de control con resistencia térmica.....	137
Figura 74. Escoge la planta en la parte del hardware del prototipo.	138
Figura 75. Temperatura deseada de planta lumínica ESTADO ON	139
Figura 76. Temperatura deseada de planta con resistencia térmica ESTADO ON.	139
Figura 77. CONTROL RST control elegido por el usuario.	139
Figura 78. CONTROL PID control elegido por el usuario.	139
Figura 79. ESCRIBE LOS VALORES EN LA CASILLAS	142
Figura 80. ESCRIBE LAS VARIABLES DEL CONTROLADOR PID.	144
Figura 81. Barra y grafica del valor PWM iniciada en 30.....	144
Figura 82. Variar la temperatura deseada.	145
Figura 83. Valor temperatura deseada mayor a temperatura del sensor.	145
Figura 84. Gráfica TEMPERATURA y VALOR PWM, aplicando disturbio.	146

TABLAS

Tabla 1. Asignaturas enfocadas en Control. Programa de Ingeniería en Automática Industrial. Universidad del Cauca.....	13
Tabla 2 Datos estadísticos de estudiantes de la materia de electiva de profundización III . (Fuente propia).....	16
Tabla 3. Búsquedas utilizadas en Google Académico.	18
Tabla 4. Resultados de cada estudio primario con respecto a los criterios de evaluación de calidad. Fuente Propia.....	22
Tabla 5. Descripción de sensor, actuadores y módulos, para la planta lenta. (fuente propia)	33
Tabla 6. Descripción de sensor, actuadores y módulos, para la planta rápida. (fuente propia)	34
Tabla 7. Preguntas de interés del estudiante y % de aprobación.....	67
Tabla 8. PREGUNTA NUMERO UNO DE TEST DE CONFIANZA.....	69
Tabla 9. PREGUNTA NUMERO DOS DE TEST DE CONFIANZA	70
Tabla 10. PREGUNTA NUMERO TRES DE TEST DE CONFIANZA	70
Tabla 11. PREGUNTA NUMERO CUATRO DE TEST DE CONFIANZA.....	70
Tabla 12. PREGUNTA NUMERO CINCO DE TEST DE CONFIANZA.....	71
Tabla 13. PREGUNTA NUMERO SEIS DE TEST DE CONFIANZA	71
Tabla 14. PREGUNTA NUMERO SIETE DE TEST DE CONFIANZA	72
Tabla 15. Nivel de confianza de estudiantes pregunta número uno.....	73
Tabla 16. Nivel de confianza de estudiantes pregunta numero dos	73
Tabla 17. Nivel de confianza de estudiantes pregunta número tres.....	74
Tabla 18. Nivel de confianza de estudiantes pregunta número cuatro	74
Tabla 19. Nivel de confianza de estudiantes pregunta número cinco.....	75
Tabla 20. Nivel de confianza de estudiantes pregunta número seis.....	75
Tabla 21. Nivel de confianza de estudiantes pregunta número siete	76
Tabla 22. Datos del test de Shapiro Wilk, antes de la práctica.	77
Tabla 23. Datos del test de Shapiro Wilk, después de la práctica.....	77
Tabla 24. Rango de valores del coeficiente de correlación de Pearson. Fuente propia	80

Tabla 25. Valores de la media de los datos para test de correlación de Pearson. Fuente propia	80
Tabla 26. Descripción de sensor, actuadores y módulos, para la planta lenta. (fuente propia)	107
Tabla 27. Descripción de sensor, actuadores y módulos, para la planta rápida. (fuente propia).....	108
Tabla 28. Descripción de las plantas de temperatura	109
Tabla 29. Elementos necesarios para el funcionamiento.	110
Tabla 30. Elementos necesarios para la simulación.....	115
Tabla 31. Descripción de archivos en la simulación.	117
Tabla 32. Descripción del modo P y modo PI.....	142

RESUMEN

El presente proyecto se basa en el desarrollo de un prototipo educativo de planta de temperatura para los laboratorios de ingeniería mecatrónica de la Corporación Universitaria Comfacauca. Haciendo uso de la metodología de diseño mecatrónico V Shaped, en primer lugar, se diseña la estructura en 3D y se ensambla con ayuda del software CAD SolidWorks®, lo cual alberga la parte electrónica de la planta, destacando sensores, actuadores y el sistema de acoplamiento de señales. Posteriormente, se implementa el prototipo y se lleva a cabo el proceso de evaluación de su funcionamiento. La prueba piloto de la práctica de laboratorio se realiza en las instalaciones de la Corporación Universitaria Comfacauca de la ciudad de Popayán Colombia; se investiga a un grupo de 12 estudiantes de octavo semestre, quienes realizaron encuestas para verificar el estado de comprensión y conocimiento de la asignatura. Es importante resaltar que se realizó una encuesta descriptiva previa a la ejecución de la práctica con la cual se demostró que el 90% de los estudiantes de ingeniería mecatrónica de Unicomfacauca, entre octavo y noveno semestre, estaban interesados por una herramienta que facilitara el entendimiento de los controladores automáticos. Posterior al uso de la herramienta didáctica se identificó que el 75% de los estudiantes lograron comprender y ejecutar la simulación en el entorno de LABVIEW y se les facilitó el uso de la planta de temperatura con ayuda del manual de usuario, el cual es un producto extra del presente trabajo. Finalmente, se valida el efecto del prototipo educativo en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las asignaturas de control analógico y digital de la Corporación Universitaria Comfacauca. Los valores del estudio estadístico realizado a través de encuestas son analizados por medio del test de Shapiro Wilk, utilizado para evaluar si la muestra de datos sigue una distribución normal. Con un nivel de significancia de 1%, este test corrobora la hipótesis, por lo tanto, se procede a realizar una prueba de coeficiente de correlación lineal de Pearson a la muestra de datos estadísticos, arrojando un valor de $r=0.84$ lo que permite afirmar que la correlación entre los datos analizados es fuerte. Con ayuda de estos resultados, el presente estudio permite concluir que el uso de un prototipo educativo contribuye al aprendizaje de estudiantes de ingeniería en materias que integran saberes de control automático, fortaleciendo y complementando la parte teórica a través de la práctica, argumentando que las herramientas tecnológicas potencian el interés de los estudiantes y optimizan la apropiación de conocimiento de una manera eficaz.

Palabras claves: Aprendizaje didáctico, Control, Ingeniería mecatrónica, Planta de temperatura, Prototipo educativo.

PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

A raíz de los avances tecnológicos de los últimos años, y en plena era de la computación, el uso de las prácticas pedagógicas por medio de herramientas tecnológicas se considera una parte indispensable para mejorar la apropiación del conocimiento del estudiante, ya que los métodos tradicionales de enseñanza ya no promueven adecuadamente el interés para el alumnado según Angarita, Duarte, & Fernandez, (2008), debido a que el entendimiento de la parte teórica en ocasiones no es suficiente, puesto que los estudiantes necesitan procesos prácticos para motivarse a desarrollar conocimiento de alta calidad y asociar el adquirido en materias con procesos basados en problemas reales. Además, el aprendizaje con herramientas es necesario para el correcto progreso del alumnado, dado que generan habilidades útiles al momento de enfrentarse a un ámbito laboral para los futuros ingenieros. A lo largo de los años se han identificado problemáticas en los métodos de enseñanza tradicionales ya que las redes sociales como Facebook inciden en el bajo rendimiento académico de los estudiantes adolescentes debido a que su uso ocasiona una dependencia psicológica, que, incluso, obliga a perder el interés de otras actividades que anteriormente eran agradables. Como consecuencia, influye en el rendimiento escolar ocasionando menores calificaciones en comparación con aquellos estudiantes que no presentan adicción y/o dependencia a las redes sociales, según (Gaitán, 2012).

A nivel internacional, según Gallego et al., (2004) una de las principales dificultades de la educación es la transmisión de conocimientos por medio de la palabra escrita o hablada, sin un buen apoyo visual, que le permita al estudiante entender la temática tratada de una manera precisa y sencilla. En este mismo orden de ideas, González-Islas et al., (2021) describen en su trabajo que México se encuentra en un avance científico, tecnológico y de innovación para el desarrollo de proyectos del sector educativo, en este proyecto se presenta la metodología de implementación y el método de desarrollo de prototipos y material didáctico basado en mecatrónica educativa para la educación básica secundaria con el propósito de fomentar el interés de estudiantes y fortalecer el proceso de enseñanza-aprendizaje, optimizando el nivel educativo y logrando un aprendizaje de alta calidad. Ahora bien, Beltrán Llera, (2003) menciona las estrategias de aprendizaje y cómo están directamente relacionadas con la calidad del aprendizaje del estudiante, ya que permiten identificar y diagnosticar las causas del bajo o alto rendimiento escolar. Es posible que dos sujetos que tienen el mismo potencial intelectual, el mismo sistema instruccional y el mismo grado de

motivación utilicen estrategias de aprendizaje distintas, y, por tanto, alcancen niveles de rendimiento diferentes. La identificación de las estrategias utilizadas permitirá diagnosticar la causa de esas diferencias de rendimiento y mejorar el aprendizaje.

A nivel nacional, por ejemplo, Díaz & Vega (2017) en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, presentan la aplicación de una mano robótica como herramienta de aprendizaje. Lo cual refiere a un trabajo realizado con 59 estudiantes del grado once, esto con el fin de promover el uso de herramientas tecnológicas debido a que mejoran el interés por parte de los estudiantes, optimizando así los gustos por las mediaciones tecnológicas y ampliando el entendimiento por los componentes electrónicos de dicho prototipo. De la misma manera, Rincón Durán, (2020) realiza un trabajo el cual tiene como objetivo, integrar un prototipo robótico con herramientas educativas digitales que simule a la enseñanza de mecanismos, con el fin de fortalecer procesos de enseñanza-aprendizaje siendo estos incentivos y promovedores de aprendizaje en el área de tecnología e informática, impartida en la Institución Educativa Sagrada Familia del Municipio de Paipa Boyacá.

En la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia se presenta una investigación realizada por Pinto-Salamanca et al., (2010), donde se indica que por medio de la robótica educativa y el uso de referentes pedagógicos, es posible apoyar los procesos de enseñanza y aprendizaje de la comunidad académica, con herramientas tecnológicas. Esta investigación concluye que las herramientas tecnológicas con fines educativos es una alternativa didáctica para promover el interés del alumnado, que son importantes para la creación de conocimiento de alta calidad y contribuyen a la creación de ambientes de aprendizaje para que los estudiantes puedan mejorar su entendimiento de conceptos y la interpretación personal de la realidad.

Cabe recalcar que el uso de una encuesta de conocimiento antes y después de la práctica como la implementada por parte de Díaz & Vega, (2017) es parte indispensable para observar el crecimiento del estudiante y cómo éste desarrolla su proceso de aprendizaje con un entorno práctico, lo que permitirá obtener estudios estadísticos de la apropiación del conocimiento y la efectividad de las estrategias didácticas después de usar el prototipo educativo como herramienta tecnológica, con el fin de evidenciar el proceso del estudiante y cuáles son los temas de mayor complejidad para el alumno.

el docente Jeison Tacue, afirma que, actualmente, la línea de control automático se divide según la Tabla 1:

Tabla 1. Asignaturas enfocadas en Control. Programa de Ingeniería en Automática Industrial. Universidad del Cauca

ASIGNATURA	SEMESTRE	TIPO DE ASIGNATURA
Sistemas dinámicos	4	T
Modelado y simulación de sistemas	4	TP
Control continuo	5	T
Control discreto	6	T
Control de procesos industriales	7	T
Lab de control de procesos	8	P
Control inteligente	9	T

T: Teórica; TP: Teórico-Práctica; P: Práctica

Las asignaturas de control legalmente no tienen componentes prácticos pero los docentes hacen pequeñas prácticas demostrativas y trabajos. Ahora bien, Modelado y simulación es Teórico práctico, en esta asignatura se realizan varias prácticas pequeñas intercaladas de simulación, además, alrededor de 3 prácticas de implementación de mayor dificultad. Por su parte, Control continuo, maneja una sola práctica de implementación al final de la asignatura. Y trabajos sencillos de simulación. Sistemas dinámicos, no acostumbra prácticas, solo teoría de sistemas. Control de procesos es solo teoría. El Lab de procesos, tiene 6 plantas nivel, multivariable, temperatura, reactor, presión y motores. Por cada planta 2 prácticas, identificación y control. Finalmente, Control inteligente es teoría, pero se hace un trabajo final de implementación o hasta 3 prácticas intersemestrales, de fuzzy, RNA y algoritmos genéticos. Se puede afirmar con total seguridad que los estudiantes de la Universidad del Cauca, en materia de control, salen con excelentes bases y logran apropiarse de mejor manera los principios de la rama, gracias a toda la línea teórica-práctica que maneja el programa de Ingeniería en Automática Industrial, programa ejemplo de Ingeniería Mecatrónica de la Corporación Universitaria Comfacauca.

Teniendo en cuenta lo evidenciado anteriormente, se determina que un prototipo didáctico es indispensable para obtener aprendizaje de alta calidad, en asignaturas con componente práctico, puesto que las técnicas tradicionales, como: métodos de enseñanza a través de libros o planes de estudios convencionales, no son suficientes para la correcta apropiación del conocimiento, de la misma manera no promueven el interés de los estudiantes, y como consecuencia de no fomentarlo, provoca un entorno de estudio que tiende a ser monótono y aburrido. Del mismo modo, el alumnado tiende a presentar falencias en temas específicos al momento de ver asignaturas, reduciendo la cantidad de conocimiento que apropian por si solos. Específicamente, en las asignaturas de Control del programa de Ingeniería Mecatrónica de la Corporación Universitaria Comfacauca, las cuales integran: **electiva de profundización II:** materia enfocada a control automático analógico (CONTROL PID), **electiva de profundización III:** Materia enfocada a control automático digital (CONTROL RST), se requiere de prácticas de laboratorio que contribuyan al desarrollo y promuevan el interés del estudiante, permitiendo profundizar los conceptos teóricos, y así poseer bases sólidas de control.

Por otra parte, es necesario resaltar que la mayoría de investigaciones y estudios como el estudio realizado por (Marquez & Ruiz, 2014) son relacionados con prototipos educativos en el proceso de enseñanza que enfocan a primaria básica y bachillerato. Debido al poco material de investigación en estudios profesionales y superiores, se observa una limitación al no obtener datos estadísticos de este tipo de investigaciones ya que pocas se encuentran profundizadas al alumnado universitario, al haber pocos estudios, el presente trabajo toma especial relevancia puesto que se realiza en un entorno universitario.

Debido a las limitaciones actuales en la evaluación del efecto de los prototipos educativos en ambientes universitarios, y a las limitaciones de mediaciones tecnológicas que presentan las asignaturas Electivas de Profundización II y III de la Corporación Universitaria Comfacauca, surge la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo contribuir a través de estrategias didácticas y mediaciones tecnológicas al entendimiento y profundización de las asignaturas de ingeniería aplicada al control analógico/digital en el laboratorio de automática de la Corporación Universitaria Comfacauca?

JUSTIFICACIÓN

En la presente investigación se consideran las prácticas pedagógicas como estrategias o instrumentos que el docente utiliza en el aula para guiar el proceso de aprendizaje, a fin de desarrollar en el estudiante múltiples competencias en su campo de acción, entendiendo como estrategia de aprendizaje los procedimientos y operaciones que los estudiantes emplean en forma controlada e intencional mediante instrumentos para aprender significativamente y solucionar problemas. En este orden de ideas se concibe la práctica pedagógica como un proceso que se convierte en el espacio de conceptualización, investigación y experimentación didáctica, donde el estudiante aborda saberes de manera articulada lo cual beneficia la comprensión de los diferentes temas abordados en clase.

Por otra parte, lo realizado por Díaz & Vega, (2017) asegura que un prototipo educativo es beneficioso para los estudiantes de las carreras de ingeniería debido a una encuesta realizada a los estudiantes después de la prueba didáctica, la cual resulta exitosa con un 93.23% (55 estudiantes) que la relacionaron como excelente, pues consideran que dominan y comprenden con facilidad cada uno de los componentes y funciones vistas. Esto resalta que los estudiantes lograron un mejor entendimiento con las herramientas tecnológicas. Realizar una encuesta a los alumnos antes y después de la realización de la práctica de laboratorio con el prototipo educativo, permite llevar a cabo un seguimiento estadístico de los estudiantes que adquirieron el conocimiento, y observar si alcanzaron los objetivos de aprendizaje propuestos en las materias de control, de esta forma es posible determinar la apropiación del conocimiento mediada por herramientas tecnológicas, y si estos son exitosos para el proceso de aprendizaje y el desarrollo cognitivo del estudiante en una universidad, aportando además en la generación de competencias laborales de los futuros ingenieros.

Dentro del sistema educativo la relación entre la teoría y la práctica es una de las cuestiones más importantes en la pedagogía, ya que tiene valiosas implicaciones para la formación y el desarrollo profesional de los estudiantes, dado que es en las prácticas educativas donde se aplican los conocimientos y se logra evidenciar un crecimiento en el aprendizaje. Cabe destacar que son

espacios donde los estudiantes pueden desempeñar áreas de su futura profesión, lo que les permite aprender pasando a la acción e indirectamente fortaleciendo el crecimiento personal y profesional.

En la universidad de Alicante se estudió la posibilidad de ofrecer un laboratorio virtual, utilizando nuevas tecnologías virtuales que ayudan al correcto desarrollo del estudiante, este estudio muestra que mejora el proceso de aprendizaje y compara el desarrollo del aprendizaje convencional por medio de herramientas tecnológicas (Torres, Candelas, & Puente, 2003). Habiendo evidenciado que las herramientas tecnológicas son de gran ayuda para fomentar el interés de los estudiantes y mejorar la apropiación del conocimiento, se propone una herramienta tecnológica didáctica en los laboratorios de ingeniería de la Corporación Universitaria Comfacauca de tipo práctica lo cual implementa controladores PID y RST para las asignaturas de interés debido a que estas materias son de gran importancia dentro de la carrera, por lo tanto, es indispensable evidenciar que aproximadamente el 27% de los estudiantes en los últimos semestres han perdido la asignatura que implementa estos controladores, según la tabla 2 de la materia **electiva de profundización III** de la Corporación Universitaria Comfacauca.

Tabla 2 Datos estadísticos de estudiantes de la materia de **electiva de profundización III**.
(Fuente propia).

Periodo 1-2021		Periodo 2-2021		Periodo 1-2022	
Estudiantes	21	Estudiantes	12	Estudiantes	28
Perdieron	4	Perdieron	4	Perdieron	8
Porcentaje que perdieron	19	Porcentaje que perdieron	33	Porcentaje que perdieron	29
Media notas	3.2	Media notas	2.7	Media notas	3.1

Por lo expuesto anteriormente se propone desarrollar un prototipo educativo que contribuya a profundizar los conocimientos de la materia, con el fin de mejorar el promedio de las notas de los estudiantes, así mismo reducir el porcentaje de alumnos que pierden la materia al fomentar el interés por aprender y como resultado vislumbrar una mejoría en el proceso de apropiación del conocimiento por parte del estudiante, siendo esto un aporte fundamental para que los estudiantes

logren entender mejor los procesos de los controladores digitales y lograr evidenciar en un futuro que aproximadamente el 80% de los estudiantes puedan culminar la materia con un completo entendimiento y avanzar en el proceso de estudios de ingeniería ya que, conforman estudios importantes, puesto que al hacer uso del prototipo de planta de temperatura con prácticas presenciales, se busca potencializar el aprendizaje dentro de las aulas de clases de la Corporación Universitaria Comfacauca, teniendo en cuenta que, como afirman Serracín et al., (2017) estas estrategias didácticas son de gran importancia, gracias a la implementación de los prototipos como herramientas de aprendizaje, los cuales son eficaces para fortalecer los procesos educativos y facilitan la enseñanza, asimismo, mejora la capacidad del alumno al entender, con el fin de ampliar su respuesta cognitiva en un entorno similar, a fin de que sean más conscientes al solucionar problemáticas en un futuro.

En conclusión, se puede garantizar que las prácticas de laboratorio promueven el desarrollo cognitivo del estudiante universitario, son métodos de aprendizaje efectivos, al ser interactivos, didácticos y dinámicos, lo cual mejora el autoaprendizaje por medio de prácticas al experimentar procesos en ambientes presenciales y seguros, lo cual inducirá al alumno en un entorno profesional, para enfrentarse en desafíos situacionales que necesitan ser resueltos conscientemente en un campo laboral como futuros ingenieros y así potenciar la solución de conflictos en temas específicos como los controladores digitales.

ESTADO DEL ARTE

A partir de una revisión de literatura, como en el trabajo de (Solarte y Ortega, 2023), a continuación se presentan los estudios más relevantes que tienen conjunto de bases con datos bibliográficas, con el fin de obtener artículos de gran valor en investigación en los cuales se obtiene información en inglés y español con estudios de la importancia del uso de herramientas tecnológicas y estrategias didácticas de aprendizaje hacia el ámbito estudiantil, donde se demuestra material en el cual se mejora la interacción del estudiante y la apropiación del conocimiento por medio de la mecatrónica educativa. En relación considerable respecto al presente proyecto, y que han sido probados o se encuentran aplicados en varios niveles de educación (básica, media y/o superior) logrando mejorar el proceso de enseñanza – aprendizaje.

Para este fin se usó la herramienta de base de datos de Google Académico. Es importante mencionar que Google Académico compila estudios que pueden ser encontrados en gran variedad de bases de datos bibliográficas con información de calidad al obtener resultados de búsqueda eficaces. En lo cual se realizó una búsqueda con palabras claves relacionadas a las estrategias didácticas de aprendizaje y el uso de herramientas tecnológicas para el aprendizaje.

Con el primer apartado de búsqueda se realiza una investigación referente a material investigativo de las estrategias didácticas de aprendizaje. Con la segunda fuente de búsqueda se observó estudios relacionados con herramientas tecnologías en usos educativos para estudiantes.

Tabla 3. Búsquedas utilizadas en Google Académico.

Numero	Cadena de búsqueda de palabras
1	Se hizo uso de palabras “estrategias de aprendizaje”, “estrategias didácticas” y “enseñanza y aprendizaje”.
2	Se hizo uso de palabras “herramientas educativas”, “robótica educativa” y “tecnología y aprendizaje”.

En la tabla 3 se visualiza el tipo de búsquedas que se implementaron para encontrar investigaciones de alta calidad, las cuales se realizó una organización en tipo de estudios que enfatizan este tipo de búsquedas en los cuales se demostró con datos estadísticos este tipo de investigaciones son

provechosas para el estudiante, para el docente y para la institución que implementa las herramientas tecnológicas y las estrategias de aprendizaje.

Búsqueda en las bases de datos

Al especificar las fuentes bibliográficas requeridas, se construyen cadenas de búsqueda de palabras clave y sus sinónimos correspondientes, y estas cadenas se aplican luego a cada motor de búsqueda de fuentes bibliográficas.

Eliminar estudios repetidos

Al realizar la búsqueda de estudios los resultados pueden ser redundantes, por tal motivo se eliminan dichos estudios y son almacenados en un gestor de referencias bibliográficas.

Selección de estudios primarios

De los artículos encontrados, se aplicaron los criterios de inclusión y exclusión mencionados en la sección "Criterios de selección" (se lee el título, resumen, introducción y conclusión si es necesario) para extraer el artículo principal. A continuación, se guarda cada estudio principal.

Selección final

Una vez almacenado cada estudio primario, se procede a realizar una lectura completa de cada estudio.

Eliminar inquietudes

Si se presentan dudas e inquietudes una vez leídos los artículos, se acude a un experto en el tema para intentar resolver las diferencias.

Evaluación de calidad.

Los estudios primarios fueron evaluados y clasificados de acuerdo con los *Criterios de evaluación de calidad*, que se mencionarán en la sección Criterios de evaluación de la calidad, para asegurar la correcta evaluación de los estudios primarios.

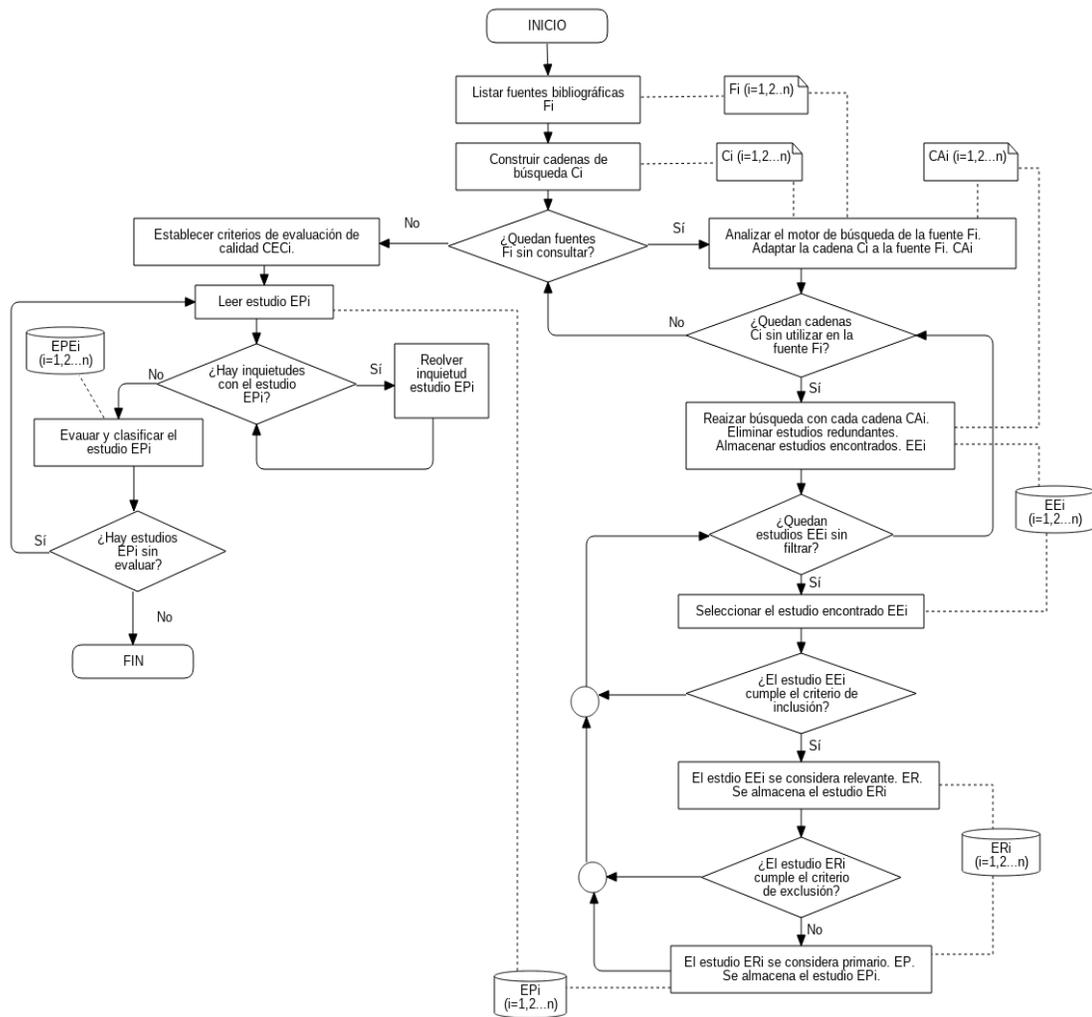


Figura 1 Proceso de selección para obtener estudios primarios. Fuente propia basado en trabajo de la corporación universitaria comfacauca.

Criterios de selección

Una de las actividades esenciales durante la fase de planeación de esta investigación, es la definición de los criterios de inclusión y los criterios de exclusión. Estos criterios están destinados a ayudar a los investigadores a seleccionar artículos adecuados y se utilizan para reducir el número de artículos a analizar.

Para la selección de estudios relevantes, el *criterio de inclusión* se basó en un análisis del título, resumen y palabras claves de los artículos obtenidos en la búsqueda, esto con el fin de

determinar si están relacionados con “desarrollo de una planta didáctica para el control de temperatura en laboratorio de automática de la corporación universitaria comfacauca”.

Para determinar qué estudios eran lo suficientemente importantes para considerarlos como estudios primarios, el *criterio de exclusión* fue el encargado de excluir artículos que tuvieran los siguientes aspectos: no tienen información acerca de sistemas de extrusión de polímeros o ensayos mecánicos en las palabras clave y el resumen.

Criterios de evaluación de calidad

El objetivo de los criterios de evaluación de calidad es asegurar una apropiada evaluación de cada estudio que fue considerado primario. Los criterios de evaluación establecidos son:

- CEC 1.** ¿El estudio presenta algún tipo de contribución: metodología, técnica, herramienta, enfoque, modelo, método, estrategia o framework?
- CEC 2.** ¿El estudio presenta algún método de investigación basado en el análisis y descripción como: estudio empírico, estudio experimental, pruebas de concepto, teórica o caso de estudio?
- CEC 3.** ¿El estudio menciona y aplica el tipo de contribución planteado?
- CEC 4.** ¿El estudio realiza un análisis de los resultados obtenidos?

Para cada uno de los criterios de evaluación de calidad, se aplica la siguiente valoración: S (sí) = 1, P (parcialmente) = 0.5, N (no) = 0. De esta manera, el resultado total para la evaluación de cada estudio (CEC1 + CEC2 + CEC3 + CEC4) puede resultar de la siguiente manera: 0, 0.5 y 1 (incompleto) 1,5 y 2 (regular), 2,5 (bueno), 3 (muy bueno) y 3,5 y 4 (excelente).

Para evaluar cada estudio primario, se establecieron reglas a cada criterio de evaluación, esto con el fin de complementar la parte cualitativa a la valoración:

- CEC 1.** S, el estudio propone el uso o una nueva metodología, Framework, modelo, técnica o herramienta; P, la contribución está presente pero no se describe claramente; N, la contribución no puede ser identificada o no está establecida.

CEC 2. S, el estudio menciona que ha aplicado explícitamente algún método de investigación; P, el estudio presenta información relevante pero no especifica el método de investigación; N, el método de investigación no puede ser identificado o no está descrito.

CEC 3. S, el estudio presenta de forma detallada el tipo de contribución que ha sido llevado a cabo; P, el tipo de contribución llevado a cabo es representado de forma breve; N, el estudio no describe claramente el tipo de contribución llevado a cabo.

CEC 4. S, el estudio presenta un análisis detallado que explique los resultados obtenidos; P, los resultados son explicados brevemente; N, los resultados no pueden ser identificados o no están descritos.

Estudio de evaluación de calidad

Inicialmente se identificaron 40 estudios en la base de datos, estos de ahora en adelante se consideran como encontrados. Al eliminar los estudios redundantes, 25 estudios fueron considerados como no repetidos. Con el criterio de inclusión, 17 estudios fueron considerados como relevantes, mediante la lectura del título, resumen y palabras claves. Los 17 estudios fueron analizados con el criterio de exclusión (El criterio de exclusión es el conjunto de criterios definidos por una entidad para determinar qué elementos no entrarán en el alcance de un proyecto o programa. Estos criterios pueden variar en función de la entidad o del proyecto, pero generalmente incluyen cosas como presupuesto, tiempo, entre otros), Se obtuvieron 6 primarios, ver tabla 4.

Tabla 4. Resultados de cada estudio primario con respecto a los criterios de evaluación de calidad. Fuente Propia.

ID	Nombre del estudio	Año de publicación	CEC				Calidad	
			1	2	3	4	Cuantitativo	Cualitativo
1	Relación de material didáctico con la enseñanza de ciencia y tecnología.	2008	P	S	S	S	3.5	MB
2	Didáctica constructivista	2004	S	P	S	P	3	MB
3	Robótica educativa para enseñanza de las ciencias	2017	S	S	S	S	3	MB

4	Robótica educativa aplicada a la enseñanza básica secundaria	2014	P	P	S	P	2.5	B
5	Uso de la robótica educativa como herramienta en los procesos de enseñanza	2010	S	P	S	P	3	MB

Teniendo en cuenta los criterios de selección utilizados, a continuación, se describen los trabajos -encontrados en la literatura- más significativos para el presente proyecto.

En el trabajo de Angarita-Velandia et al., (2008) se ilustra la aplicación de estrategias pedagógicas adecuadas al estudio de los conceptos científicos, tecnológicos y sus aplicaciones con estudiantes de educación básica de diferentes instituciones educativas de la ciudad de Duitama. En este trabajo se reporta el impacto causado con la utilización del material didáctico innovador en el aula de clases, con el fin de mejorar el proceso enseñanza-aprendizaje. Resulta interesante que en esta investigación se diseña y se evalúa el material educativo específicamente para impartir temáticas relacionadas con ciencia y tecnología, comparándolo con el material tradicional como carteles, guías y libros. Los resultados son evidentes ya que refleja por un lado que los estudiantes captan mejor el concepto y por el otro que al docente se le facilita enseñarlo.

Gallego et al., (2004) indican que una de las principales dificultades de la educación es la transmisión de conocimientos por medio de la palabra escrita o hablada, sin un buen apoyo visual, que le permita al estudiante entender la temática tratada de una manera precisa y sencilla. También relata de una técnica de enseñanza basada en la transformación didáctica de lo que producen los científicos y que circula en las revistas especializadas, apoyada en la interacción entre docente-estudiantes, de los estudiantes entre sí y de todos los miembros del colectivo aula, con los contenidos temáticos acompañados de herramientas de enseñanza y de estudio; los cuales están centrados a los alumno, teniendo como principal relación, un entorno didáctico el cual hace que la enseñanza se potencie y se pueda evidenciar la mejora por medio de pruebas, que contienen estrategias de aprendizaje y conocimiento general.

García et al., (2017) tienen como principal aporte lograr en los alumnos el fortalecimiento en la comprensión de las ciencias, utilizando la robótica educativa como herramienta pedagógica y principal motor para su motivación. Donde el objetivo principal es realizar una propuesta usando

la robótica como herramienta pedagógica para la enseñanza de las ciencias. Por medio de la construcción y la programación de robots los estudiantes puedan, por una parte, visualizar, explorar y comprobar conceptos de razonamiento de las áreas de conocimiento involucradas. Se busca, además, estimular el desarrollo de habilidades para trabajar colaborativamente con sus compañeros y para tomar decisiones como equipo, esto se refiere a poder escucharse, a discutir y a respetar las ideas y opiniones de otros. La metodología utilizada es la ingeniería didáctica que consiste en las siguientes fases: Primera fase: Análisis preliminares, Segunda fase: Concepción y análisis a priori de las situaciones didácticas, Tercera fase: Experimentación, Cuarta fase: Análisis a posteriori y evaluación. El diseño y desarrollo de robots en las instituciones educativas, parte de la necesidad de incursionar en nuevas temáticas relacionadas con la ciencia y la tecnología, donde una de ellas es la robótica, que permite abrir nuevos campos del conocimiento y relacionar otros, mostrando al alumno un rango de posibilidades para su futuro profesional. Con la aplicación de la estrategia de aprendizaje propuesta de Robótica Educativa como herramienta pedagógica para la enseñanza de las ciencias, se logra motivar a los alumnos para que construyeran y programarían su propio robot, aplicando los conocimientos adquiridos durante el taller, también lograr que se sintieran identificados con la forma de trabajar, además de trabajar por medio de secuencias didácticas y entornos de aprendizaje.

Para el desarrollo de la investigación de Angarita-Velandia et al., (2008) se establecieron tres actividades, con el fin de determinar la importancia de emplear materiales didácticos para la enseñanza de conceptos tecnológicos y científicos. Una primera actividad consistió en realizar un sondeo sobre los conceptos que los niños tenían acerca de ciencia y tecnología, así como para establecer los conceptos y el material didáctico que utilizan los docentes en esta temática; la segunda actividad consistió en la aplicación de materiales didácticos que facilitan la comprensión de conceptos científicos y tecnológicos, y la última actividad fue la realización de otro sondeo, para verificar nuevos conocimientos y el grado de aceptación de los materiales didácticos empleados. En cuanto al uso de material didáctico para la enseñanza de ciencia y tecnología, se pudo establecer que todos los docentes emplean elementos tradicionales, como carteles, videos, libros, gráficas y el computador. Sin embargo, ninguno de ellos emplea material didáctico novedoso, como prototipos y programas específicamente diseñados para el estudio de conceptos científicos y tecnológicos. En este punto, los docentes coincidieron en afirmar que es necesaria la

adecuación de nuevos espacios y la utilización de material didáctico innovador, para ofrecer a los estudiantes nuevos conceptos y experiencias en la enseñanza de la ciencia y la tecnología.

En el trabajo de Márquez D & Ruiz F, (2014), se evidencia que la enseñanza de la tecnología en etapas tempranas de escolarización, juega un papel fundamental en fomentar en el niño el interés por la ciencia. En el presente artículo se muestra el primer estudio relacionado con la enseñanza de la robótica a niños y niñas de algunos colegios pertenecientes a la región Sabana Centro de Chía perteneciente al Departamento de Cundinamarca. El objetivo del proyecto consistió en difundir el conocimiento sobre el diseño y construcción básica de robots, mediante la capacitación presencial y virtual, que persigue motivar y crear con ello el interés a los participantes por la ciencia, la ingeniería y la tecnología. También se evidenció la aplicación de diversos materiales educativos como guías de aprendizaje, cartillas, videos, maquetas, páginas web, donde se demostró que estos métodos son más útiles al momento de que el estudiante pueda comprender las materias que tienen integrados controles automáticos, aplicando metodologías didácticas que hará más fácil el desarrollo del estudiante.

En el trabajo de Lalinde & Fernandez, (2018), habla sobre el coeficiente de correlación de Pearson es una medida utilizada en diversas áreas científicas, desde estudios técnicos, econométricos o de ingeniería; hasta investigaciones relacionadas con las ciencias sociales. Esta herramienta estadística es utilizada especialmente en aquellos escenarios en los que debe ser interpretada correctamente o en los que se tienen que comprobar las suposiciones matemáticas que sustentan una investigación.

Según Salamanca, Lombana, & Holguín, (2010) A través de la robótica educativa y de modelos pedagógicos y didácticos, se apoya los procesos de enseñanza y aprendizaje de la comunidad académica, con herramientas tecnológicas. Se describe la implementación de un robot móvil de configuración diferencial, construido con el set de piezas del kit de robótica Lego, como apoyo a los procesos de enseñanza y aprendizaje en los niveles de educación preescolar y educación básica primaria, en tres instituciones educativas del departamento de Boyacá, Colombia. Se establece un estado del arte de aplicaciones similares, los lineamientos para la construcción del robot y los resultados de su aplicación en el ambiente educativo. De forma general, se evidencia el potencial de los ambientes para el aprendizaje desarrollados a partir de la robótica educativa,

como nueva propuesta didáctica que responde a los requerimientos de sociedades contemporáneas que reclaman nuevos métodos de enseñanza.

La importancia de los trabajos anteriores radica en que por medio de ellos se evidencia el interés por el estudio y aplicación de estrategias didácticas para facilitar el proceso de enseñanza-aprendizaje en temas de ciencia y tecnología. El presente proyecto plantea el desarrollo de un prototipo educativo de una planta de temperatura para los laboratorios de las asignaturas de control de carreras de ingeniería aplicada, con el objetivo de fortalecer y complementar la parte teórica a través de la práctica. El proyecto propuesto en este documento pretende...

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un prototipo de planta didáctica para el control analógico y digital de temperatura para el laboratorio de automática de la Corporación Universitaria Comfacauca

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Implementar un prototipo educativo con técnicas de control para una planta de temperatura apoyado en herramientas CAD y CAM.
2. Evaluar el funcionamiento del prototipo educativo de planta de temperatura para laboratorio de ingeniería aplicada al control analógico y digital.
3. Validar el efecto del prototipo educativo en el proceso de enseñanza-aprendizaje en las asignaturas de control analógico y digital de la Corporación Universitaria Comfacauca.

CAPÍTULO 1

1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

En este capítulo la información que se brinda ayuda a un mejor entendimiento para la comprensión de términos, definiciones, estrategias pedagógicas y requerimientos del sistema. En el primer apartado se habla sobre el control automático y la definición de conceptos importantes para el entendimiento de una planta de temperatura. El segundo apartado tiene como intención informar acerca de estrategias didácticas para los estudiantes al momento de apropiar conocimiento y cuáles son los puntos clave para el correcto desarrollo de una estrategia de aprendizaje. Para finalizar se informa los requerimientos importantes que debe llevar el sistema para el correcto control de la planta de temperatura y su acoplamiento de señales, incluyendo materiales que en el cual se usa para la fabricación incursión de tecnología en el campo para la realización de dicha labor.

1.1 CONCEPTOS RELACIONADOS CON CONTROL AUTOMÁTICO

Este proyecto se realizará desde el ejercicio profesional de la ingeniería mecatrónica la cual es considerada en la actualidad como un área de integración de disciplinas, ya que esta incorpora elementos de la mecánica, electrónica y programación, uniendo la ingeniería mecánica, ingeniería electrónica, ingeniería de control e ingeniería informática. Para continuar es importante establecer las definiciones relacionadas con la temática, inicialmente se aborda la definición de control automático y control avanzado.

1.1.1. Control automático

El control automático ha jugado un papel vital en el avance de la ciencia y de la ingeniería, constituyéndose en parte integral e importante de los procesos industriales y de manufactura modernos, resultando esencial en operaciones industriales como el control de presión, temperatura, humedad y viscosidad, y flujo en las industrias de transformación.

Control analógico

En control en lazo cerrado se tiene un controlador que compara la variable (temperatura que se mide con un sensor) con la referencia, temperatura que se quiere tener y convertir el error que resulta, en una acción de control para reducir el error. La unidad de control puede reaccionar de diferentes maneras ante la señal de error y Proporcionar señales de salida para que actúen los elementos correctores, Pérez et al., (2008).

También resulta importante lo descrito por Cova, (2005) señalar el Control Proporcional Integral Derivativo (PID) ya que este es un mecanismo de control mediante realimentación negativa, el cual aplica una acción correctora al sistema de salida obteniendo el valor deseado al actuador.

Controlador RST

El controlador digital R-S-T de dos grados de libertad se está convirtiendo en un estándar para el control por computadora en la industria. el diseño del controlador R-S-T, que implica la identificación del modelo de planta a partir de datos, combinado con un diseño de control robusto. El rendimiento del controlador se puede mejorar aún más mediante la identificación del modelo de planta en un circuito cerrado y el reajuste del controlador. Para grandes variaciones de parámetros, se debe considerar la adaptación para mantener el rendimiento, El filtro T filtra la referencia y sirve para minimizar sobre impulsos, el S filtra la salida, que junto con el filtro R actúan en la regulación lo cual permitirá reducir el error (rechazo de perturbación). (Landau, 1998)

Proceso

Es una operación progresivamente continua, caracterizada por una serie de cambios graduales con tendencia a producir un resultado final de un objetivo determinado. En adelante, se entenderá por proceso cualquier operación que se vaya a controlar. (Paz, 2011)

Planta

Se designará como planta a cualquier objeto físico que pueda ser controlado. Puede ser un equipo, quizás simplemente un juego de piezas de una máquina funcionando juntas, cuyo objetivo

es realizar una operación determinada. Ejemplos de plantas son: horno de calentamiento, reactor químico, etc. (Perez et al., 2008)

Sistema

De forma más general, se puede definir a un sistema como un arreglo, conjunto o combinación de cosas conectadas o relacionadas de manera que constituyen un todo. De forma científica se puede definir como un arreglo de componentes físicos conectados o relacionados de tal manera que formen una unidad completa o que puedan actuar como tal; en otras palabras: Un sistema es una combinación de componentes que actúan conjuntamente, con un determinado objetivo a cumplir.

Como puede observarse, el término sistema no está aplicado únicamente a objetivos físicos, el concepto de sistema puede ser aplicado a fenómenos abstractos y dinámicos como, por ejemplo, la economía. Por tanto, cuando se hable de sistemas implicará referirse a fenómenos físicos, biológicos, económicos, sociológicos, etc.(Perez et al., 2008)

Entrada

Se entiende como entrada o estímulo una señal de excitación que se aplica a un sistema de control. Las hay de referencia y de perturbación. La referencia es aquella que se aplica a voluntad del usuario con el fin de encontrar una respuesta deseada. La perturbación es una señal de entrada no deseada y no previsible que afecta adversamente el valor de la salida del sistema, éstas pueden tener origen interno (generada por la misma planta) o externo. (Paz, 2011)

Sistema de control

Es un arreglo de componentes físicos conectados de tal manera que el arreglo pueda comandar, dirigir o regular, asimismo o a otro sistema. Estos sistemas comandan dirigen o controlan dinámicamente.(Perez et al., 2008)

Salida de un sistema de control

Es una variable del sistema controlado que se elige de modo tal que mediante su estudio se analiza si el sistema cumple o no con los objetivos propuestos. Se verá más adelante que en los

sistemas realimentados esta señal de salida contribuye a realizar el control propuesto. (Perez et al., 2008)

Realimentación

Es una propiedad de los sistemas que permiten que la salida del sistema o cualquier variable del mismo sea comparada con la entrada al sistema o con cualquier componente del sistema, de tal manera que pueda establecerse la acción de control apropiada entre la entrada y la salida. (Perez et al., 2008)

Perturbaciones

Es una señal que tiende a afectar adversamente el valor de la salida de un sistema. Si la perturbación se genera dentro del sistema se la denomina interna, mientras que una perturbación externa se genera fuera del sistema. Las perturbaciones actúan sobre un sistema modificando, su funcionamiento por lo que su presencia implica la necesidad de control. Normalmente las perturbaciones actúan sobre un sistema aleatoriamente (Perez et al., 2008).

Termocuplas

Las termocuplas son los sensores de temperatura eléctricos más utilizados en la industria. Una termocupla se hace con dos alambres de distinto material unidos en un extremo, al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño, del orden de los milivolts el cual aumenta con la temperatura. (Aragón et al., 2003)

1.2. ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS DE APRENDIZAJE

Cuando se empezó a hablar de las estrategias de aprendizaje, hace ya algunos años (McKeachie, 1985; Beltrán, 1993, 1995, 1996), nadie esperaba que iban a tener la trascendencia que han tenido, ni que su existencia fuera a extenderse tanto en el tiempo. La acogida que han tenido en congresos, conferencias, revistas, y demás escaparates académicos no parece sino el resultado de una campaña de marketing rigurosamente programada. Hoy día, siguen siendo aún uno de los constructos estrella en las revistas científicas de mayor prestigio. Han dado lugar a numerosos programas de intervención y, lo que es más importante, han ofrecido apoyo y cobertura

a gran parte de las ideas que han favorecido el cambio de paradigma educativo. Sólo por esto, estaría justificado el amplio despliegue que se ha hecho de ellas en los diferentes campos de la investigación psicopedagógica. Su papel como mediadoras entre estímulo y respuesta, especialmente en el campo de la educación, ha permitido abandonar viejos planteamientos mecanicistas, ensanchar los marcos teóricos explicativos de la ejecución humana, abrir horizontes más prometedores en el campo de los procesos de enseñanza-aprendizaje y elaborar programas de eficacia probada para mejorar el rendimiento escolar.

Los elementos pedagógicos son una parte esencial lo cual se debe evidenciar con documentos que permiten ver el desarrollo de los estudiantes a partir de herramientas tecnológicas, las cuales facilitan el aprendizaje y mejora las respuestas cognitivas. A continuación, se proporciona evidencia de estudios que utilizan estrategias didácticas de aprendizaje.

Es importante considerar la didáctica a seguir para que el proceso de enseñanza-aprendizaje aporte al crecimiento educativo al estudiante, para esto se tendrá claro lo que será enseñado y cuáles serán los objetivos alcanzados al finalizar el curso. *Técnicas de enseñanza*, se garantiza la adquisición del conocimiento de forma correcta y práctica. *El contexto*, donde las técnicas de enseñanzas abarcan las estrategias didácticas, lo cual son actividades organizadas para construir y alcanzar metas trazadas y logros extras en el proceso de aprendizaje. Feo, (2010) clasifica estrategias didácticas de aprendizaje en 4 partes:

Estrategias instruccionales

Estrategias de enseñanzas

Estrategias de aprendizaje

Estrategias de evaluación

Estas estrategias mejoran la interacción entre estudiante-docente, lo cual busca tener un mejor proceso de aprendizaje al momento de realizar prácticas de aprendizaje.

1.3. REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

Teniendo en cuenta la temperatura como una variable a controlar en un ambiente cerrado, se presenta dos configuraciones de plantas, la primera que se usa es un control de temperatura en un bloque de aluminio (este bloque se utiliza para una mejora en la conducción de la temperatura), para lo cual se hizo uso de un actuador tipo cilíndrico y en la segunda configuración en un ambiente de medición adecuado, se usó dos bombillos incandescentes para regular la temperatura; estas dos configuraciones se implementaron con el fin de obtener dos muestras, una tarda en un rango de entre 8-10 minutos y la otra en un rango de 30-45 minutos. se plantean el sensor y los actuadores que se están utilizando en cada uno de los modos que se presenta en el prototipo.

1.3.1. Control de temperatura en bloque de aluminio

Se plantea el control utilizando un sensor de temperatura y como actuador una resistencia eléctrica, la información correspondiente se encuentra en la tabla 5.

Tabla 5. Descripción de sensor, actuadores y módulos, para la planta lenta. (fuente propia)

	Nombre	Características
Sensor	Termocupla Pt100	Temperatura: -50°C a 400°C Dimensiones: 4 x 30 mm / (diámetro x largo) Longitud cable: 1 metro
Módulo del sensor	Max31865	Resolución ADC de 15 bits Conversión simple de la resistencia RTD de platino al valor digital.
actuador	Cartucho Calentador	Voltaje 12v Potencia 40w Corriente 3.3 A Diámetro 6mm Longitud 20 mm

Modulo del actuador	Puente H L298N	Canales: 2 Voltaje lógico: 5v DC Capacidad de corriente: 2A a 3A
----------------------------	-------------------	--

1.3.2. Control de temperatura en ambiente iluminado

Se plantea el control utilizando un sensor de temperatura y como actuador un bombillo incandescente de 12v DC, la información correspondiente se encuentra en la tabla 6.

Tabla 6. Descripción de sensor, actuadores y módulos, para la planta rápida. (fuente propia)

	Nombre	Características
Sensor	Termocupla Pt100	Temperatura: -50°C a 400°C Dimensiones: 4 x 30 mm / (diámetro x largo) Longitud cable: 1 metro
Modulo del sensor	Max31865	Resolución ADC de 15 bits Conversión simple de la resistencia RTD de platino al valor digital.
actuador	Bombillo incandescente	Voltaje 12v Potencia 10w Corriente 1.5 ^a

Posteriormente, se menciona que entre los componentes se hizo uso de pulsadores de estado, un led rojo, un led verde de aviso en el cual van integrados en la estructura. La estructura se fabrica en madera mdf de 5 mm. Como productos consumibles se usó pegante de madera, pintura.

CAPÍTULO 2.

2. DISEÑO Y MODELAMIENTO DEL PROTOTIPO

En este capítulo se presenta el diseño y modelamiento del prototipo de la planta de temperatura el cual se desarrolló mediante herramientas tipo software, entre estas herramientas se encuentra SolidWorks, Proteus y Matlab. Este capítulo está dividido en cinco partes, las cuales constan de: diseño de estructura, instrumentación electrónica, diseño electrónico, identificación de la planta de temperatura y por último el modelamiento del controlador PID y RST. Para el modelado de la estructura se utilizó SolidWorks, un programa utilizado para diseño CAD que permite diseñar piezas y ensamblajes en 3D y planos en 2D. con ayuda de dicho software se realizó el diseño de las piezas y el ensamblaje de la estructura que albergará la parte electrónica del prototipo. En el segundo apartado se ilustra la instrumentación utilizada para medir y controlar la temperatura, la cual incluye sensores, actuadores, microcontroladores y módulos necesarios para el funcionamiento correcto de la planta. En el tercer apartado se realizó la parte eléctrica con ayuda del software Proteus, el cual se usó con el fin de modelar la parte eléctrica del prototipo que contiene sensores y actuadores, estos son usados para la medición y el control de la temperatura. Finalmente, se hace uso del software de Matlab, este programa se utilizó para las dos partes finales. Se encontró la función de transferencia de la planta de temperatura y posteriormente se encontró los cálculos necesarios para la creación del control PID y RST.

2.1. DISEÑO DE ESTRUCTURA

En la figura 2 se observa un plano ensamblado en el software de diseño SolidWorks en 3D en el cual se crea 6 piezas dándole un diseño innovador y llamativo que albergará la estructura eléctrica de la planta de temperatura. Se optó por una forma de curva de control como estilo didáctico debido a que la figura del plano en 3D que se visualiza es la curva observada al realizar un control automático y al entrar en estado estable, esto con el fin de ayudar al estudiante al reconocimiento y asimilación de curvas de control, esta estructura albergará el sistema electrónico donde se ubica una pantalla y los dos modos de simulación con diferentes tipos de actuadores.

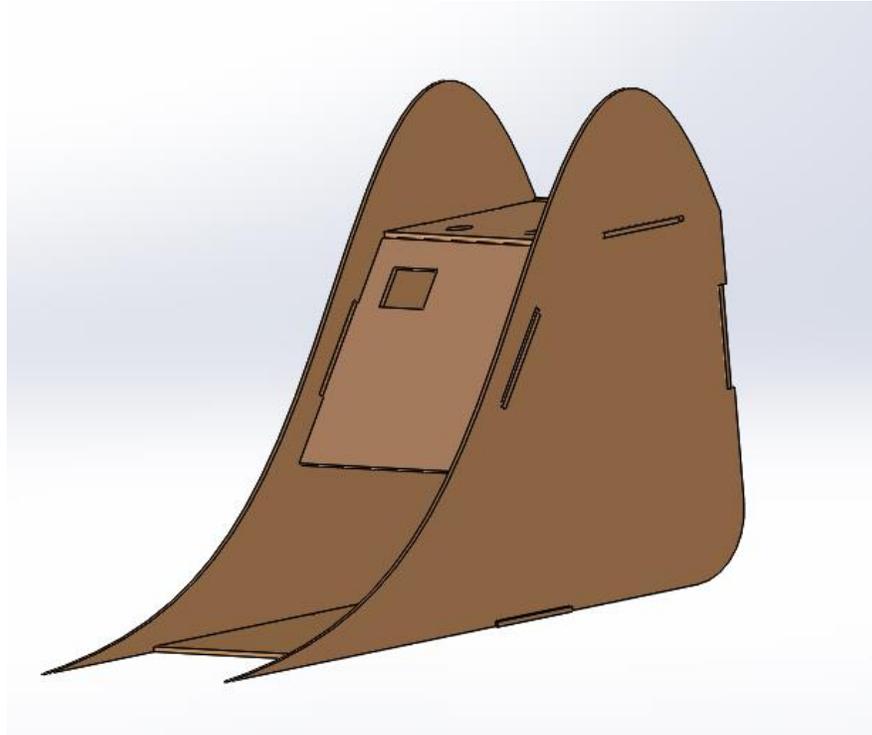


Figura 2. Estructura de la forma de la planta de temperatura visualizada en SolidWorks.
Fuente propia

2.2. INSTRUMENTACIÓN

Para el modelado y la programación de los actuadores y sensores se utilizó el software de programación Arduino en el cual se usaron dos microcontroladores.

El primer Arduino es el encargado de la adquisición de datos, enviar datos y el modelamiento del controlador RST el cual se compone de fórmulas las cuales están integradas para el funcionamiento y transmitir la señal PWM al actuador. Para medir la temperatura se utilizó la termocupla pt100 con un módulo max31865 para realizar la conexión de Arduino ilustrado en la figura 3. Los actuadores que se usaron fueron una resistencia eléctrica calentadora de tipo cilíndrica 12 v DC y bombillos incandescentes 12 v DC, conectados a un puente H ilustrado en la figura 4, con el fin de regular la salida PWM del Arduino que es de 0-5 v DC.

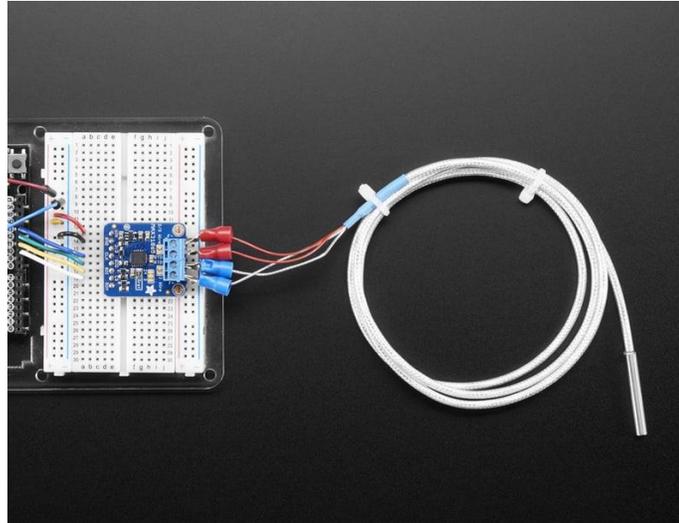


Figura 3. Conexión módulo max31865 y termocupla pt100. fuente (Electronicalab, s.f.)

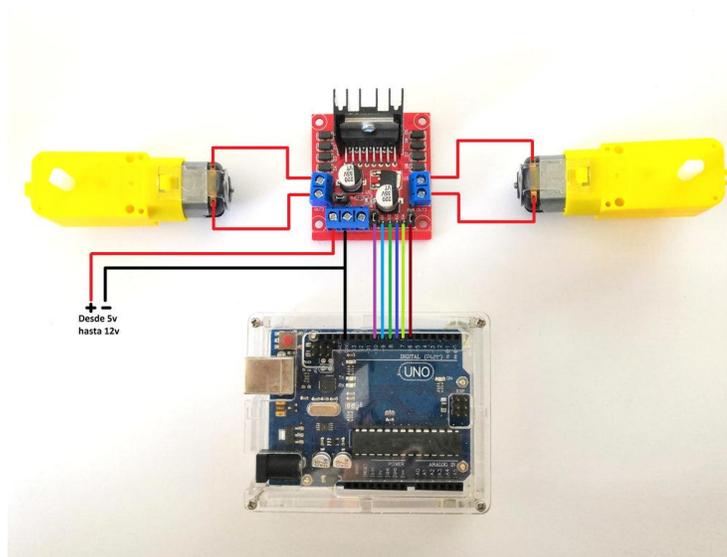


Figura 4. Microcontrolador conectador al puente H. fuente (alvarado, s.f.)

El segundo Arduino en el cual se optó por una pantalla tipo oled la cual funciona a 3.3v, tiene como función mostrar la temperatura mediante una gráfica y valor de la señal del pwm en que se está enviando al actuador, la información visualizada es en tiempo real, como una herramienta interactiva con el usuario como se observa en la figura 5.

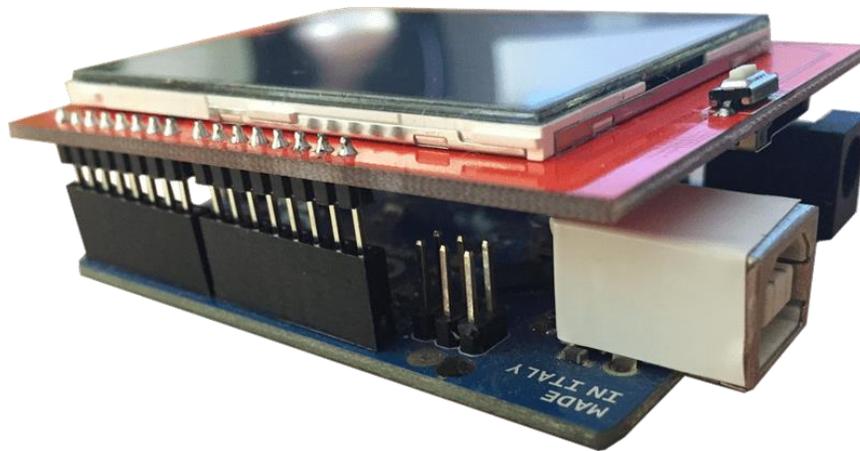


Figura 5. Arduino conectado a pantalla oled tít.funete (electrohobby, s.f.)

2.3. DISEÑO ELECTRÓNICO

Para obtener el diseño electrónico se utilizó el programa Proteus, ya que permite al usuario una interacción más fácil debido a que se puede visualizar y simular con este software de programación, por lo tanto, se realizó el diseño con los componentes electrónicos, para realizar la fase de identificación, tal como se observa en la figura 5.

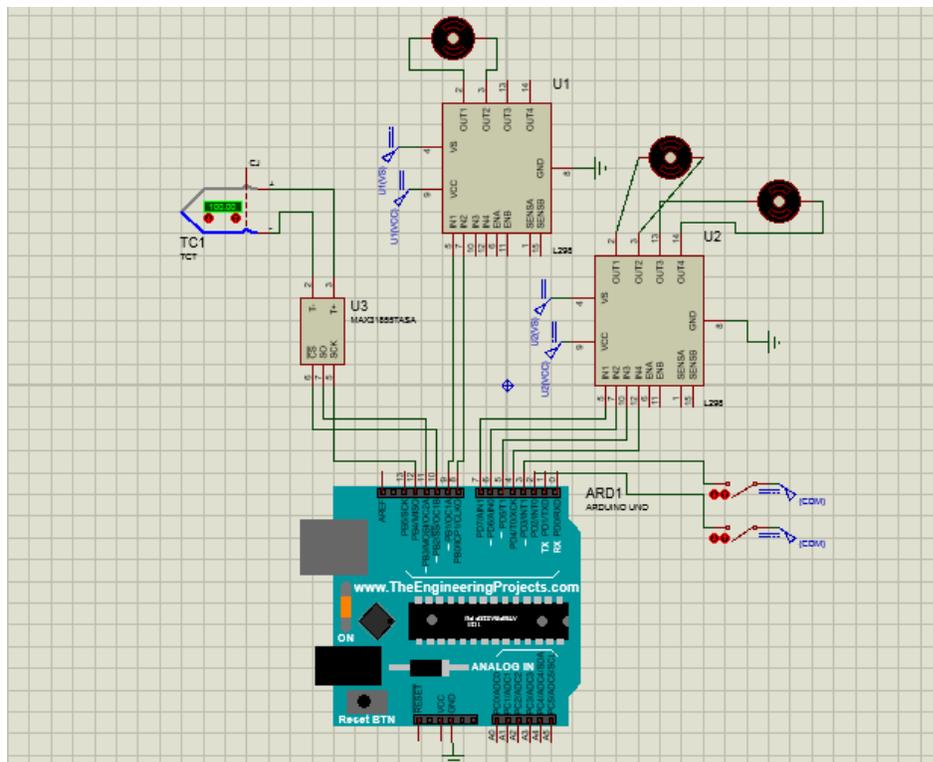


Figura 6 diseño eléctrico de conexión puente h l298 y termocupla pt100. Fuente propia

La conexión del sensor pt100 está enlazado al módulo Max 35855j el cual realiza la conversión y envía la señal de la temperatura al Arduino. Las salidas del pwm son por los pines digitales número (2,3,4,5) en los cuales se envía una señal de low a los pines (3,4) y se envía la señal del PWM a los pines (2,5), estas salidas van conectadas a un puente H L298 el cual tiene como objetivo activar los actuadores, en este caso dos bombillos los cuales elevan la temperatura en la práctica real y permite hacer la obtención de datos para encontrar la planta con la que se realizará, posteriormente, el controlador PID y RST.

2.4. IDENTIFICACIÓN DE LA PLANTA

Se crea la programación, como parte principal se realiza la instalación de la librería Adafruit_MAX31865.h para el funcionamiento del sensor de temperatura pt100 y se programa los actuadores para ejecutar el programa y realizar el muestreo de datos con el fin de observar el comportamiento de la temperatura, con una salida de PWM fija, las salida del pwm es de 0-5 voltios DC y se conecta a un puente H que realiza la regulación para mandar entre 0-12 voltios DC a los actuadores dependiendo del pulso enviado al pwm.

Se realiza un muestreo de los datos en los cuales se enviará una señal al PWM de 150 que es equivalente 2.9 v DC que recibirá el puente H y lo regula a 5.5 v DC que es la resistencia y el bombillo. Los datos muestreados es la temperatura, la señal enviada al pwm y el tiempo de muestreo. Con ayuda del software jupyter, un programa que permite la recopilación de datos en tiempo real, el cual ayudara a la lectura del sensor y poderlos visualizar en una gráfica, esto facilitara el muestreo de los datos y el comportamiento de la variable que en nuestro caso es la temperatura, el programa guarda los datos arrojados en la simulación en un archivo tipo CSV. En la figura 7 y la figura 8 se ilustra los datos que se muestrearon, la temperatura y el valor del pwm, estos datos se grafican con ayuda de MATLAB.

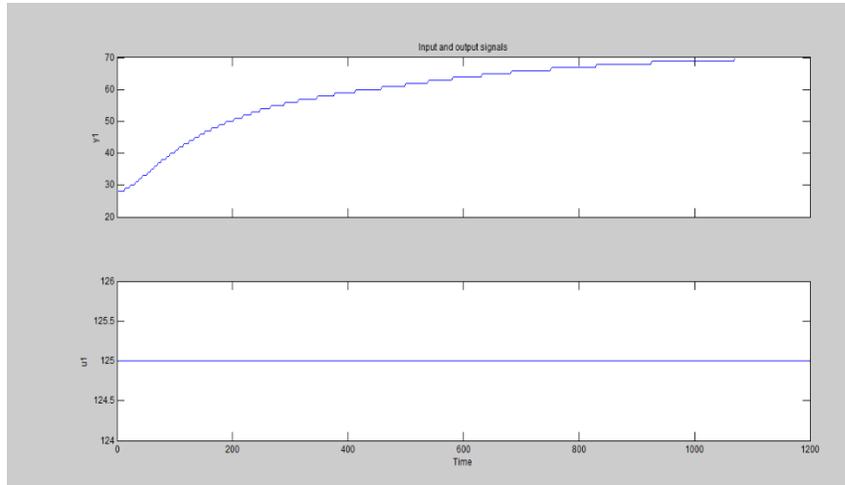


Figura 7. Gráfica de datos obtenidos en el muestreo planta rápida. Fuente propia

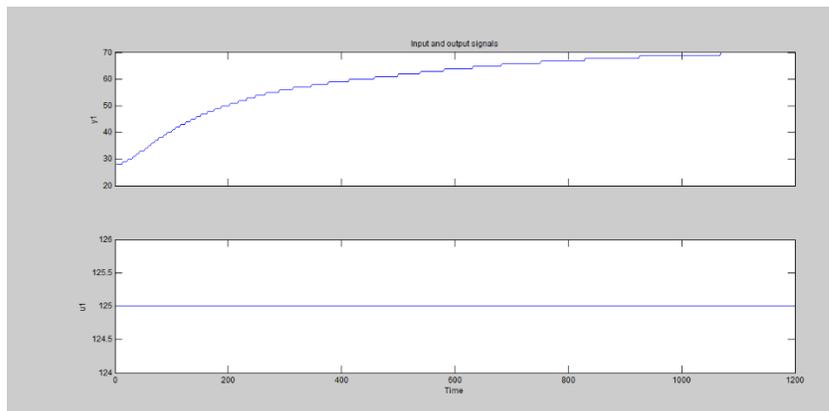


Figura 8. Gráfica de datos obtenidos en el muestreo de la planta lenta. Fuente propia

Al obtener todos los datos necesarios y con ayuda del programa Matlab y con el toolbox llamado ‘*identification*’ se encontró el valor las dos plantas, la cual se obtiene la primera función de transferencia de la planta lenta en la figura 9 y una segunda función de transferencia de la planta rápida en la figura 10, con la que realizaremos el control RST y PID.

```

From input "u1" to output "y1":
  0.0008634
  -----
  s + 0.001226
Name: tfl
Continuous-time identified transfer func
  
```

Figura 9. Función de transferencia de planta lenta. Fuente propia

```

From input "u1" to output "y1":
  0.001925
-----
      s + 0.003908
Name: tf1

```

Figura 10. Función de transferencia de planta rápida. Fuente propia

2.5. REALIZACIÓN DEL CONTROLADOR PID Y RST

Para la realización del control de la planta de temperatura didáctica, con el uso de la función de transferencia que obtuvo en la identificación de la planta, Se crea los dos tipos de controladores PID y RST con el fin que el usuario pueda observar la variación de la temperatura, dependiendo de la salida del controlador y ajustando el valor al tipo de planta de temperatura que manejará el usuario.

2.5.1. Control PID de la planta de temperatura rápida

Con el uso de la función de transferencia de la planta lenta se inicia el proceso de la creación del controlador PID y lo cual se hallarán los valores que permiten a la planta controlar la temperatura, entre los valores a encontrar que son P (valor proporcional), I (valor integral), D (valor derivativo) con ayuda del toolbox PIDTUNER de Matlab.

En la figura 11 se visualiza los parámetros del controlador p que se obtuvo en el PIDTUNER y en la figura 12 se observa el error en estado estable debido a que se estabiliza en 0.6 también podemos observar que el controlador se estabiliza en 600 segundos .

CONTROL P(proporcional)

Controller Parameters		
	Tuned	Block
P	2.6909	0.30538
I		
D		
N		

Figura 11 parámetros para el controlador p. fuente propia

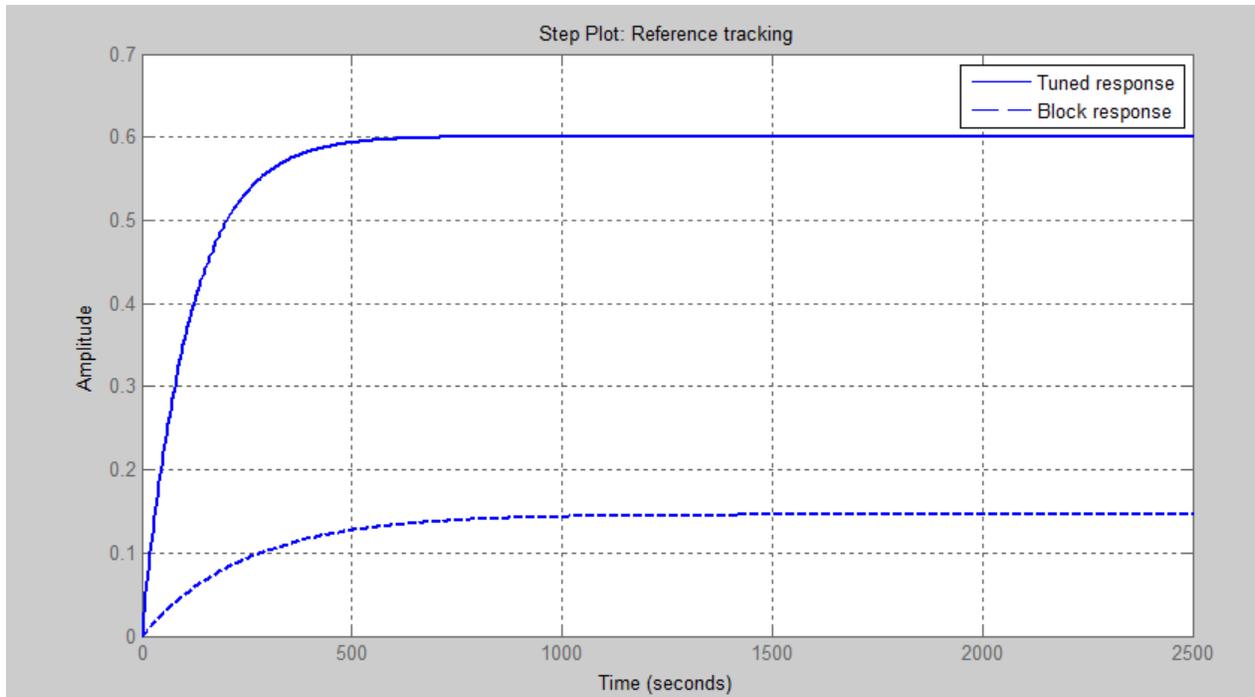


Figura 12. Grafica del controlador p. fuente propia

En la figura 13 se visualiza los parametros del controlador PI que se obtuvo en el PIDTUNER y en la figura 14 se observa que la planta se estabiliza en 1 lo que quiere decir que el controlador esta funcionando correctamente.

CONTROL PI(proporcional-integral)

Controller Parameters		
	Tuned	Block
P	1.2635	0.14023
I	0.0069084	0.0011914
D		
N		

Figura 13 parámetros del controlador PI. fuente propia

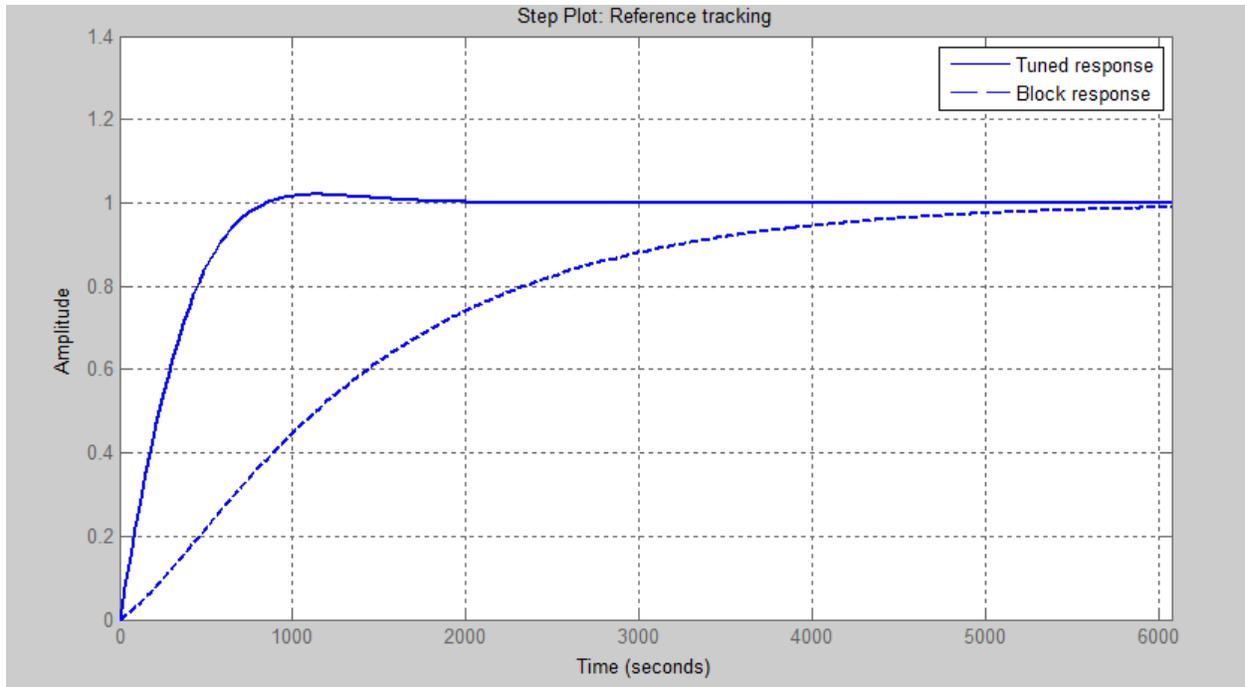


Figura 14. Gráfica de control PI. fuente propia

En la figura 15 se visualiza los parametros del controlador PID que se obtuvo en el PIDTUNER y en la figura 16 se observa que la planta se estabiliza en 1 lo que quiere decir que el controlador esta funcionando correctamente.

CONTROL PID(proporcional-integral-derivativo)

Controller Parameters		
	Tuned	Block
P	1.1084	0.18094
I	0.0060033	0.0010804
D	-195.5956	0
N	0.0056669	100

Figura 15 parámetros de controlador PID. fuente propia

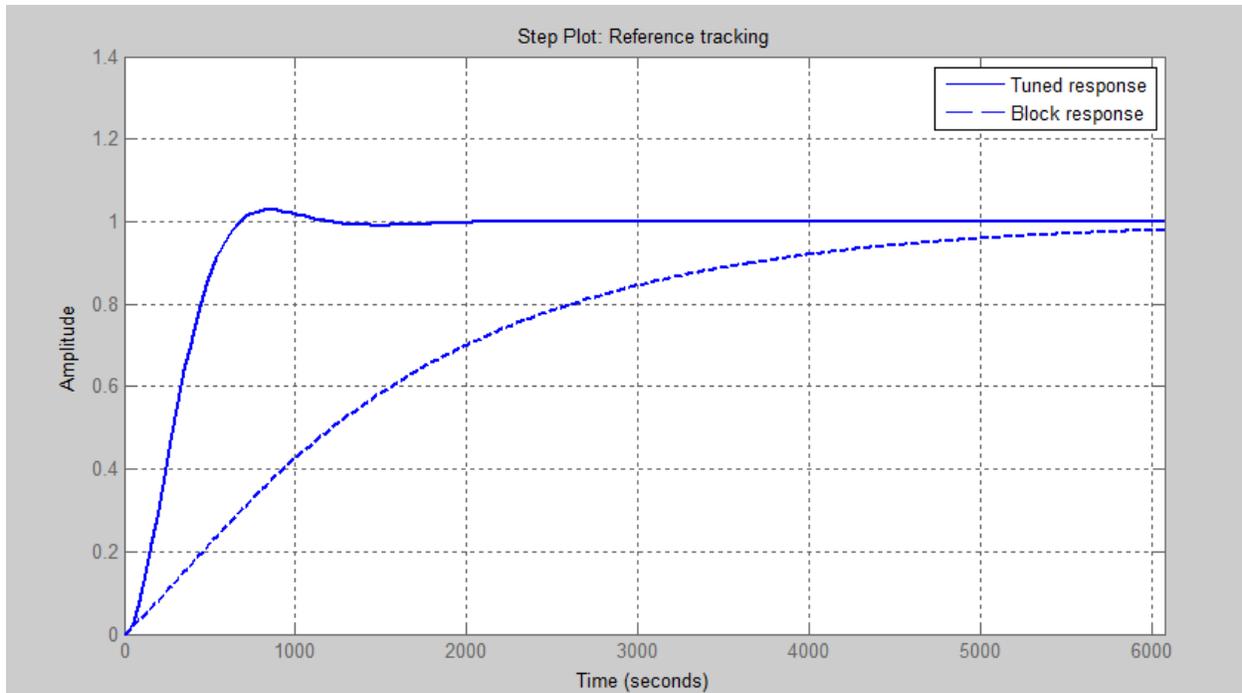


Figura 16. Gráfica de controlador PID. fuente propia

A continuación, se realizó la simulación en el entorno de matlab con la librería de 'simulink' en la que se configura la planta en lazo abierto y cerrado, controlador PID, controlador PI, controlador p, controlador RST y controlador RST con seguimiento y regulación. Se ponen a prueba ante una variación de set point y una perturbación. En la figura 17 se observa el diagrama de bloques. La respuesta del actuador se observa en la figura 18.

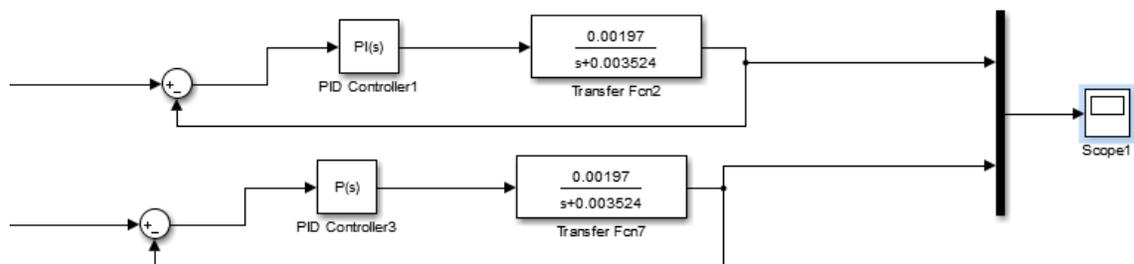


Figura 17. Diagrama en bloques de simulink-Matlab para control P, PI, PID. fuente propia

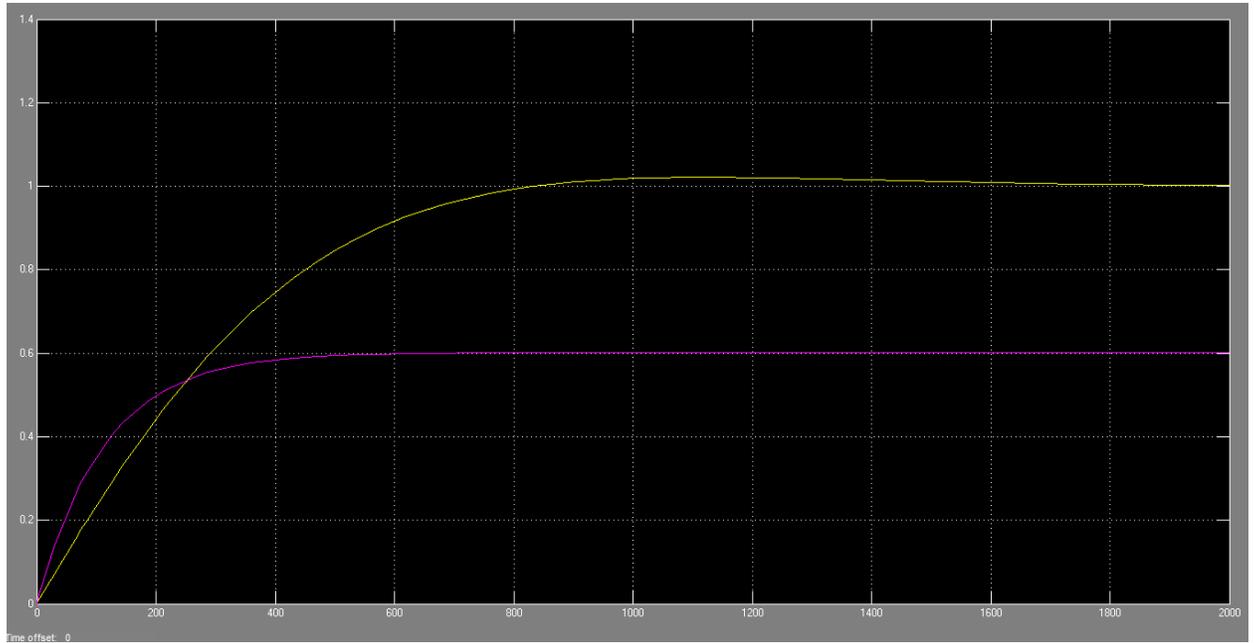


Figura 18. Respuesta de los controladores P, PI en el scope. fuente propia

2.5.2. Control RST de la planta de temperatura lumínica rápida

Con el uso de la función de transferencia de la planta rápida ilustrada en la ecuación (1). Se inicia el proceso de la creación del controlador RST y la identificación de las ecuaciones que ayudaran a controlar la variable, en este caso es la temperatura.

A continuación se proponen los siguientes criterios de diseño como tiempo de muestreo, frecuencia deseada, amortiguamiento, tiempo de establecimiento. Con ayuda de matlab se integra los diseños del controlador con la planta y se procede a discretizar la función de transferencia como se ilustra en ecuacion (3) y se calcula los valores del controlador RST ilustrado en la ecuacion (4).

$$Planta = \frac{0.002321}{s + 0.003567} \quad (1)$$

Se proponen los siguientes criterios de diseño:

$$\begin{aligned} t_{ss} &= 830 & t_{ssd} &= 920 \\ \varepsilon &= 0.8 & T_{eq} = T &= 283 \\ 0.2(T_{eq}) < T_s < 0.6(T_{eq}) &\rightarrow 56.6 < T_s < 169.8 \end{aligned} \quad (2)$$

$$Planta\ discretizada = \frac{0.1253}{z - 0.7759} \quad (3)$$

Se encuentra los valores del controlador RST con R=S ilustrados en la ecuacion (4)

$$R(q^{-1}) = 1.7422 - 1.1989q^{-1} \quad S(q^{-1}) = 1 - q^{-1} \quad (4)$$

Poterior al encontrar lo valores del controlador RST se realiza la simulación en el entorno de matlab con la librería de ‘symulink’ en la que se configura la planta en lazo abierto y cerrado, controlador RST y controlador RST con seguimiento y regulación. Se ponen a prueba ante una variación de set point y una perturbación. En la figura 19 Se observa el diagrama de bloques. La respuesta del modelado se observa en la figura 20.

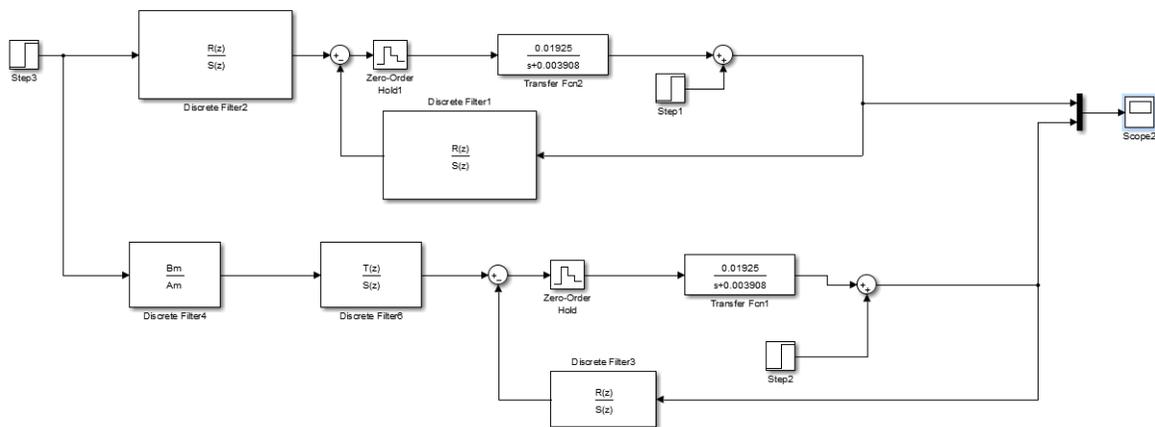


Figura 19. Diagrama control RST en diagrama de bloques en simulink-Matlab. fuente propia

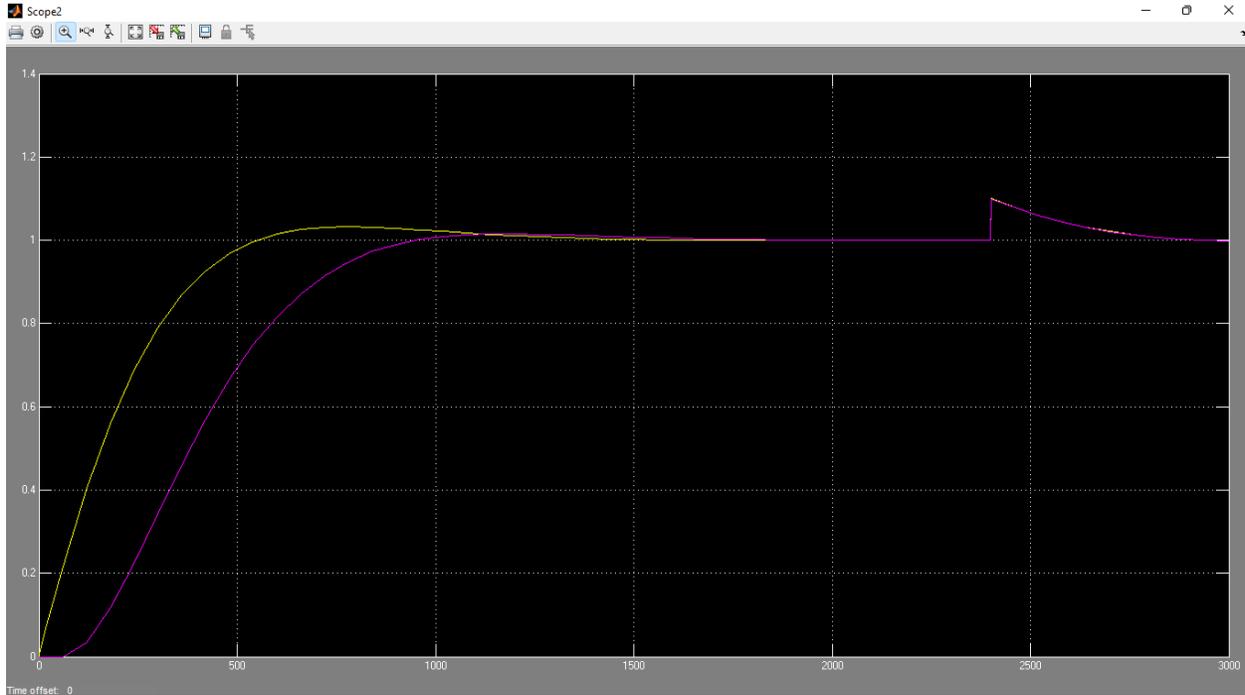


Figura 20. Gráfica de respuesta del controlador RST. fuente propia

2.5.3. Control PID de la planta de temperatura lenta

Con el uso de la función de transferencia de la planta lenta se inicia el proceso de la creación del controlador PID y lo cual se hallarán los valores que permiten a la planta controlar la temperatura, entre los valores a encontrar son P (valor proporcional), I (valor integral), D (valor derivativo) con ayuda del toolbox PIDTUNER de Matlab.

En la figura 21 se visualiza los parámetros del controlador p que se obtuvo en el PIDTUNER y en la figura 22 se observa el error en estado estable debido a que se estabiliza en 0.56.

CONTROL P(proporcional)

Controller Parameters		
	Tuned	Block
P	2.3856	2.38
I		
D		
N		

Figura 21 parámetros para el controlador p. fuente propia

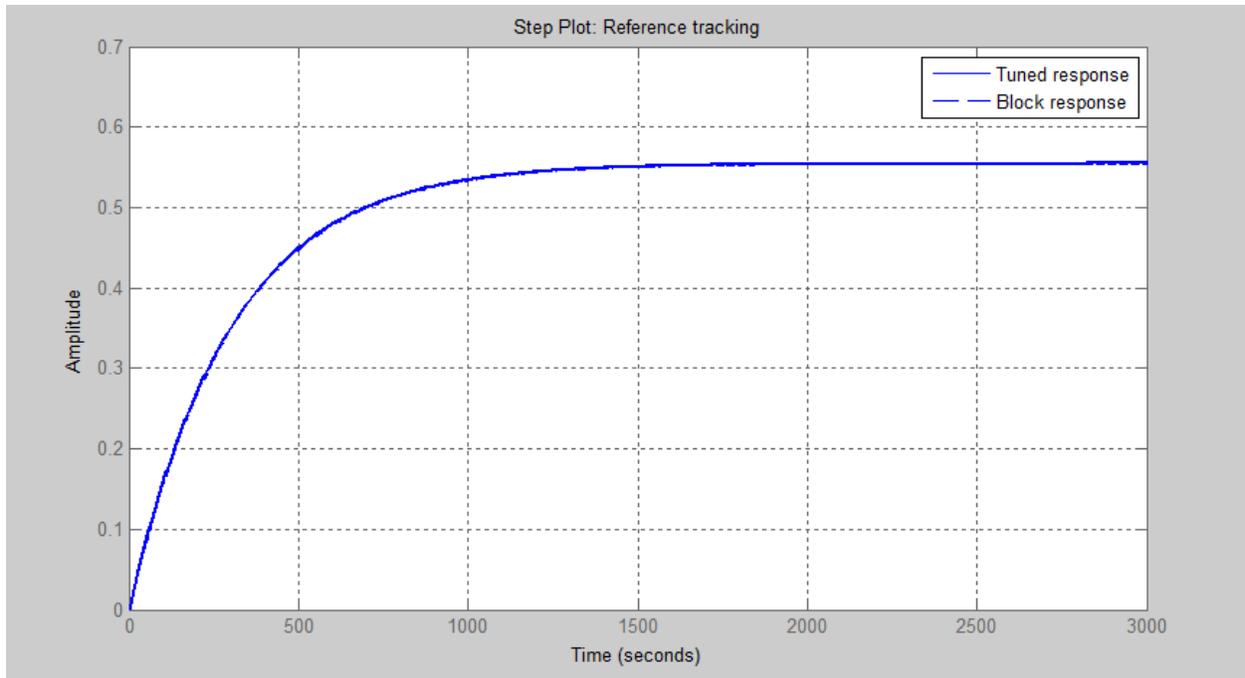


Figura 22. Grafica del controlador p. fuente propia

En la figura 23 se visualiza los parametros del controlador PI que se obtuvo en el PIDTUNER y en la figura 24 se observa que la planta se estabiliza en 1 lo que quiere decir que el controlador esta funcionando correctamente.

CONTROL PI(proporcional-integral)

Controller Parameters		
	Tuned	Block
P	0.99279	0.93
I	0.0023852	0.0022
D		
N		

Figura 23 parámetros del controlador PI. fuente propia

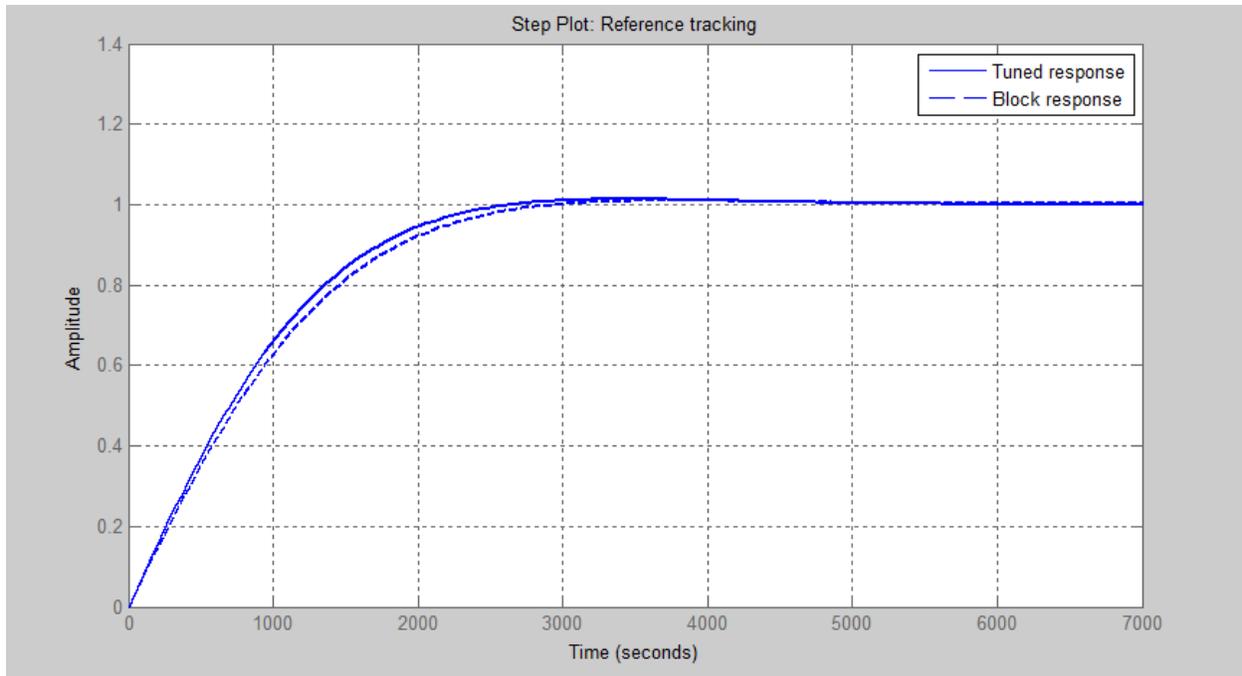


Figura 24. Grafica de control PI. fuente propia

En la figura 25 se visualiza los parametros del controlador PID que se obtuvo en el PIDTUNER y en la figura 26 se observa que la planta se estabiliza en 1 lo que quiere decir que el controlador esta funcionando correctamente.

CONTROL PID(proporcional-integral-derivativo)

Controller Parameters		
	Tuned	Block
P	0.17662	0.18094
I	0.0010941	0.0010804
D	0	0
N	100	100

Figura 25 parámetros de controlador PID. fuente propia

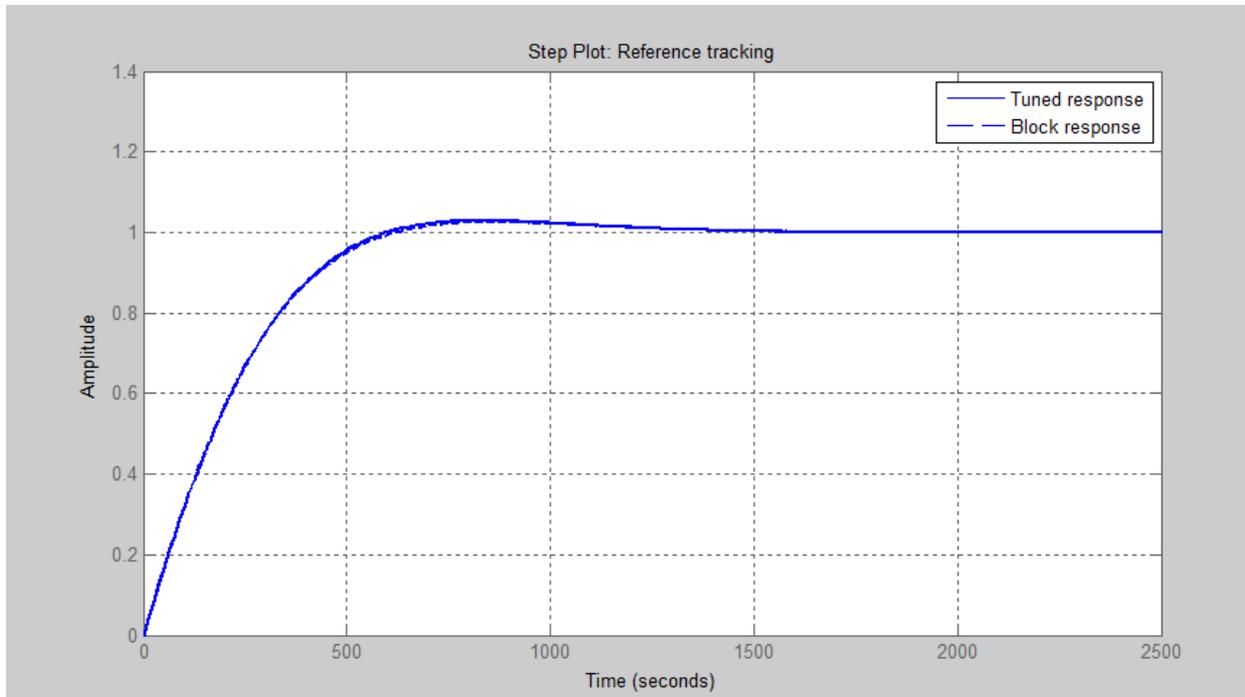


Figura 26. Grafica de controlador PID. fuente propia

A continuación, se realizó la simulación en el entorno de matlab con la librería de 'symulink' en la que se configura la planta en lazo abierto y cerrado, controlador PID, controlador PI, controlador p, controlador RST y controlador RST con seguimiento y regulación. Se ponen a prueba ante una variación de set point y una perturbación. En la figura 27 se observa el diagrama de bloques. La respuesta del actuador se observa en la figura 28.

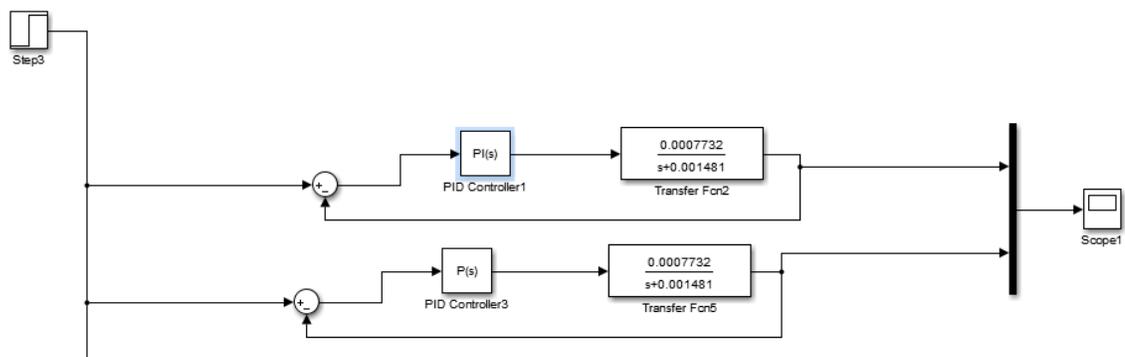


Figura 27. Diagrama en bloques de simulink-Matlab para control P, PI, PID. fuente propia

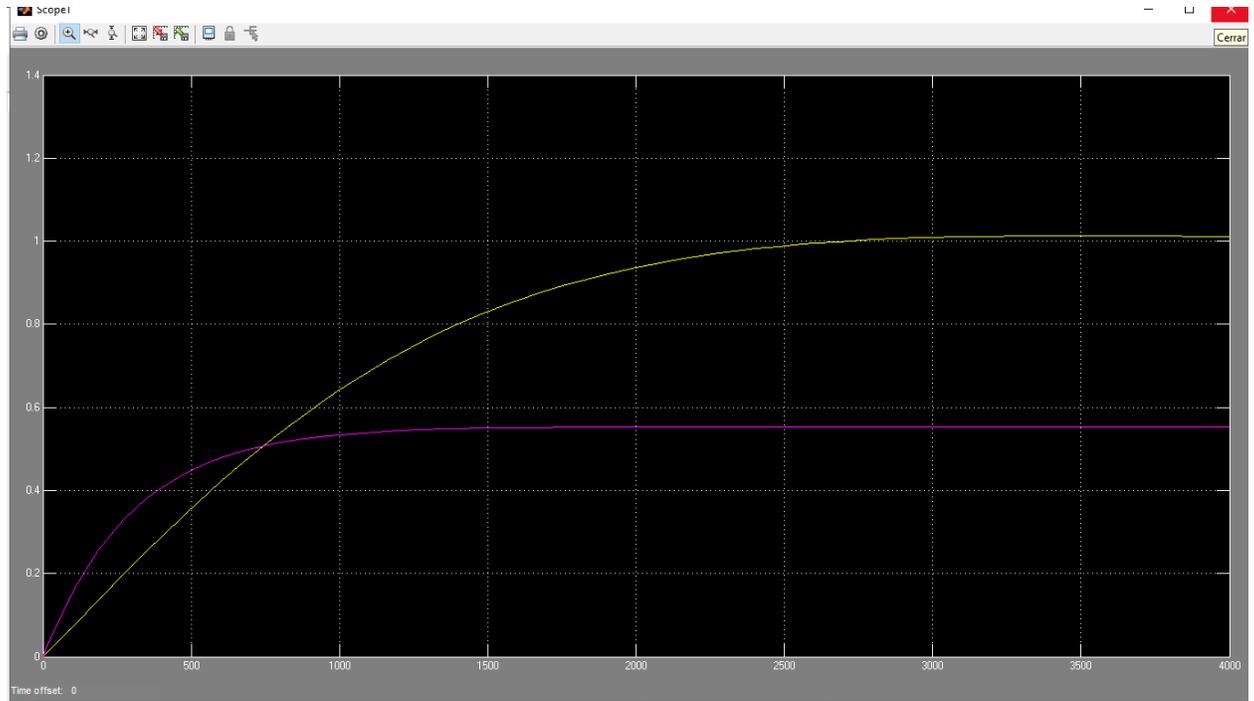


Figura 28. Respuesta de los controladores P y PI en el scope. fuente propia

2.5.4. Control RST de la planta de temperatura con resistencia térmica lenta

Con el uso de la función de transferencia de la planta lenta ilustrada en la ecuación (5). Se inicia el proceso de la creación del controlador RST y la identificación de las ecuaciones que ayudaran a controlar la variable, en este caso es la temperatura.

A continuación se proponen los siguientes criterios de diseño como tiempo de muestreo, frecuencia deseada, amortiguamiento, tiempo de establecimiento. Con ayuda de matlab se integra los diseños del controlador con la planta y se procede a discretizar la función de transferencia como se ilustra en ecuación (6) y se calcula los valores del controlador RST ilustrado en la ecuación (7).

$$Planta = \frac{0.0007732}{s + 0.001481} \quad (5)$$

Se proponen los siguientes criterios de diseño:

$$\begin{aligned} t_{ss} &= 1800 & t_{ssd} &= 2000 \\ \varepsilon &= 0.8 & T_{eq} = T &= 675 \\ 0.2(T_{eq}) < T_s < 0.6(T_{eq}) &\rightarrow 135 < T_s < 405 \end{aligned} \quad (6)$$

$$Planta\ discretizada = \frac{0.1338}{z - 0.7436} \quad (7)$$

Se encuentra los valores del controlador RST con R=S ilustrados en la ecuacion (8)

$$R(q^{-1}) = 2.0728 - 1.4547q^{-1} \quad S(q^{-1}) = 1 - q^{-1} \quad (8)$$

Se realiza la simulación en el entorno de matlab con la librería de ‘simulink’ en la que se configura la planta en lazo abierto y cerrado, controlador RST y controlador RST con seguimiento y regulación. Se ponen a prueba ante una variación de set point y una perturbación. En la figura 29 Se observa el diagrama de bloques. La respuesta del modelado se observa en la figura 30.

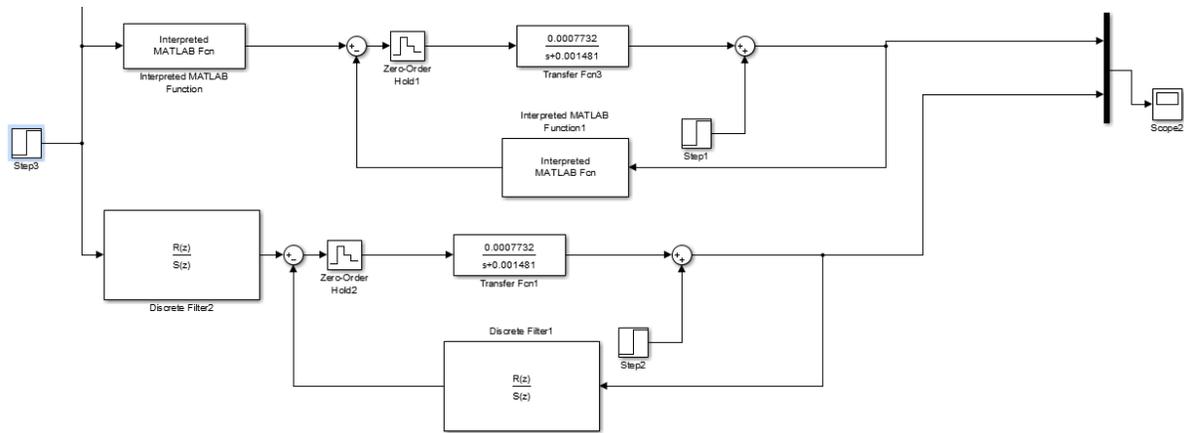


Figura 29. Diagrama control RST en diagrama de bloques en simulink-Matlab. fuente propia

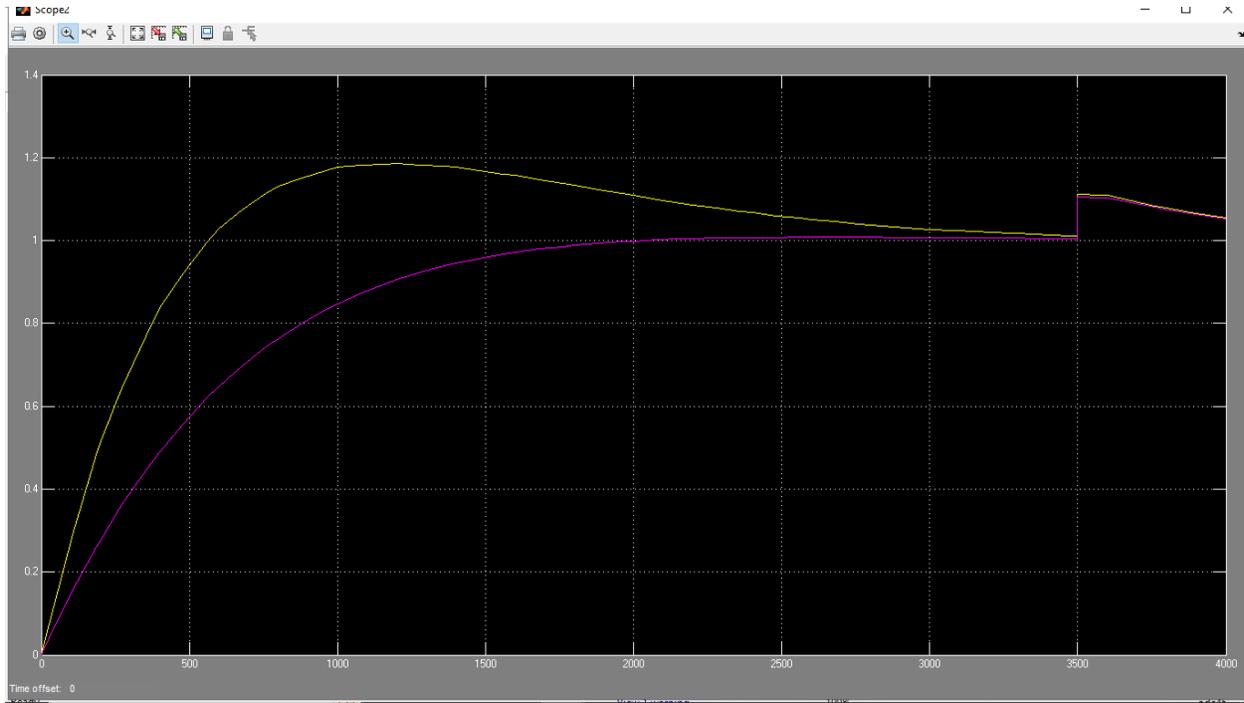


Figura 30. Gráfica de respuesta del controlador RST. fuente propia

CAPÍTULO 3

3. CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA

El desarrollo del prototipo implica el diseño de una estructura la cual brindará soporte físico, para la creación del diseño mecánico se usó la herramienta llamada SolidWorks este es el software que permitió dimensionar la estructura, posterior de obtener las piezas del prototipo se realizó el ensamblaje de la estructura que albergará nuestro sistema de control con todos sus actuadores y sensores. Posterior se presenta la estructura donde se alberga el sistema eléctrico y de control que se usa para contener instrumentación y realizar conexiones para el funcionamiento de la planta de temperatura. En el apartado final se implementa un software tipo visual con ayuda del programada LABVIEW en el cual se puede modelar variables en tiempo real, con la intención de que el usuario o estudiante puedan interactuar con un software visual que les permita entender conceptos básicos del controlador PID y RST.

3.1. IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO

Para el control de la temperatura se implementó dos tipos de actuadores ilustrados en la tabla 5 y la tabla 6, los cuales brindan un tiempo diferente en el control, forma de cilindros de 3cm y el segundo actuador enfocado a calentar con iluminación un ambiente cerrado, lo cual se implementó bombillos de 12v. Se agregó un sensor de temperatura tipo termocupla pt1000 que se insertara para medir la temperatura en alguno de los dos tipos de ambientes. Para la interfaz gráfica se utilizó el programa LabVIEW para el modelado del entorno de simulación de datos. De componente electrónico se utilizó dos Arduino tipo uno. El primero para graficar datos en tiempo real mediante una pantalla oled tft de 2.4 pulgadas y el segundo Arduino se usó para la adquisición de datos y regulación de variables que realizara los cálculos necesarios para implementar el control PID y RST. En este caso el prototipo está usando 4 pines digitales para la conexión del módulo max313123 que permite medir la señal enviada por la termocupla, dos entradas digitales para la señal enviadas por los suiches tipo balancín, tres salidas digitales usadas para enviar la señal que se inyectarán en los actuadores, tres salidas que estarán el modo LOW que serán enviadas al puente H y ayudarán a controlar la polaridad de los actuadores implementados.

3.2. FABRICACIÓN DE LA ESTRUCTURA

Como primer paso para la creación de la planta de temperatura se cortó el diseño de la estructura con ayuda de una cortadora laser como se ilustra en la figura 31, equipo de la Corporación universitaria Comfacauca. Los archivos que se obtuvieron se procedieron a ser guardados como un archivo DXT en lo cual se cambia a un tipo de archivo en 2D para poder ser enviadas al programa de la cortadora laser, posteriormente cortar las piezas y ensamblar la estructura como se observa en la figura 32.



Figura 31. Cortes de piezas en 2D. fuente propia



Figura 32. Estructura ensamblada. Fuente propia

La realización de la estructura se demoró un aproximado de 40min, en lo cual se utilizó un material de tipo madera mdf de 5mm, posterior al cortado se unió las piezas y se obtuvo la estructura en la cual se va a integrar el sistema eléctrico y la instrumentación necesaria.

Posterior a la creación de la estructura se optó por crear cajas de plástico tipo acrílico en las cuales se simula un ambiente controlado, debido a que guardan la temperatura de manera efectiva, puesto que el sistema basa en transmisión de calor por medio del ambiente. De igual forma se procedió a realizar el diseño en la cortadora laser y se obtuvo las cajas de control, el proceso se presenta en la figura 33 y se ilustra las cajas ensambladas en la figura 34.

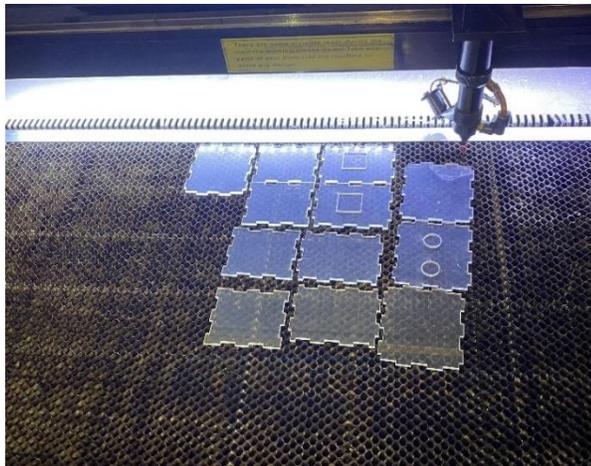


Figura 33. Proceso de corte en maquina laser. Fuente propia

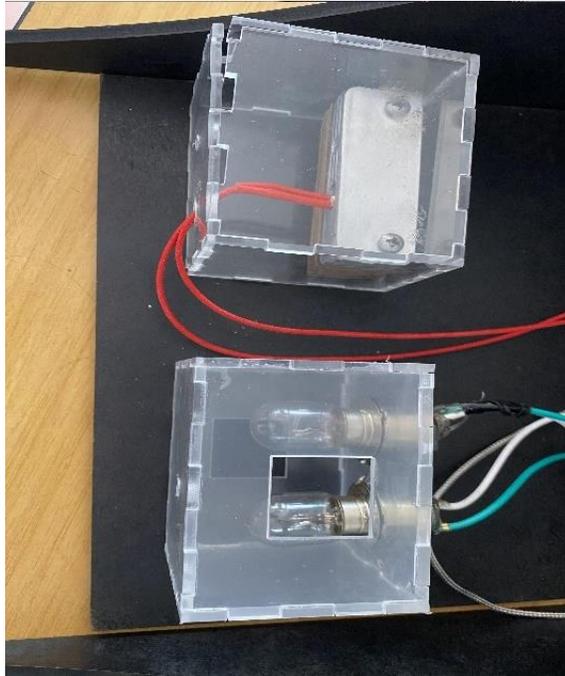


Figura 34. Cajas de control ensambladas. Fuente propia

3.3. IMPLEMENTACIÓN ELECTRÓNICA DEL PROTOTIPO

Se realizó la unión de la instrumentación eléctrica para el correcto funcionamiento de la planta de temperatura, el cual se utilizó una PCB para la conexión de cableado con una organización lógica estructurada. La parte principal electrónica del prototipo está integrada con un Arduino tipo uno, encargado de procesar las señales del sensor de temperatura, el cual se usó la termocupla pt100 para obtener datos en tiempo real y poder procesar el controlador RST y PID con ayuda de ecuaciones que permitirán controlar la variable que es la temperatura, el código está en el ANEXO 1. Se procedió a integrar los elementos de electrónica en los cuales se hizo uso de una caja de madera de medidas 24cm x 10 cm x 13cm previamente utilizada en un prototipo anterior la cual ayuda a contener todo el sistema eléctrico y de control para su correcto funcionamiento. En la figura 35 se ilustra los componentes que se usaron para el control de la temperatura.

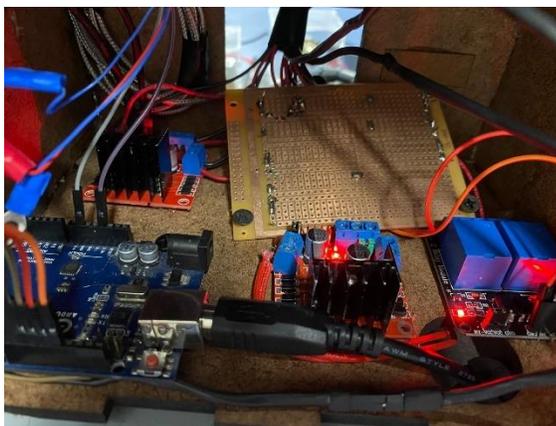


Figura 35. Caja de componentes eléctricos para el control.

Se integra dos módulos de puente H los cuales realizan la regulación del voltaje de entrada que necesitan los actuadores de 12 V DC, de igual modo se implementó dos módulos de relees los cuales energizan los pilotos que dan aviso al usuario en qué tipo de modo se está usando el prototipo. Para la energización de los puentes H se usó una fuente modelo ATX-750N la cual se conecta a la red eléctrica de 110 v AC y permitirá energizar parte del proyecto y los componentes que necesiten de 12 v DC.

3.4. SOFTWARE DE SIMULACIÓN EN LABVIEW

En el modelado del entorno de simulación uso el programa LabVIEW el cual utiliza como tipo de programación en bloques y con función de adquirir y mandar datos por medio de una comunicación serial de Arduino. Lo principal fue el modelado de variables en el cual se integra varios ciclos de programación, en los que ejecuta la lectura del puerto serial, se inicia a medir y enviar datos. Entre los ciclos de programación que están integrados en el programa, se implementa botones con el fin que el estudiante pueda interactuar con tipos de controladores, los cuales integran controladores de tipo P, PI, PID y RST. También con un modo de LAZO CERRADO y LAZO ABIERTO como se ilustra en la figura 36.

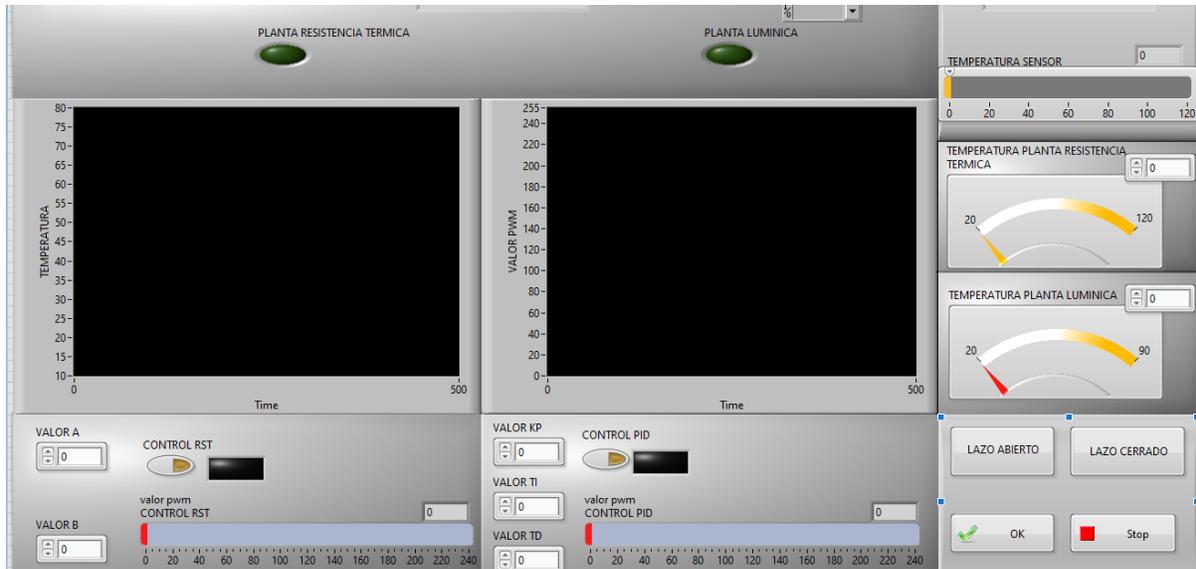


Figura 36. Modo de programación de LabVIEW. fuente propia

Conforme se realizó la ventana de programación se construyó un entorno visual para el usuario en LabVIEW el cual tiene la opción de entrar en dos tipos de modos, un modo de planta lumínica y un modo de planta con resistencia térmica, así como el tipo de control que se desea ejecutar, el usuario puede modificar la temperatura a la que desea que llegue el actuador y en la cual se observa los siguientes elementos: la temperatura en tiempo real mediante una gráfica y barra, la gráfica de la salida del controlador en tiempo real como se ilustra en a figura 37. El estado del modo de simulación, el cual contiene el modo rápido y modo lento y el puerto serial donde se conectará con el programa, se ilustra en la figura 38. En la figura 39 se observa la parte de la temperatura que se desea llegar en cada tipo de modo debido a que se tiene dos plantas. Cabe resaltar cuando está disponible algún modo o se puede usar la interfaz se puede de color verde indicando al usuario que se encuentra en ese modo de uso. En la figura 40 se ilustra la fase de la simulación donde se pueden colocar los valores encontrados en la simulación de Matlab los cuales son A y B del controlador RST, también los valores KP, TI, TD del controlador PID, lo cual si los valores del control están bien la simulación se ejecutará de manera exitosa.

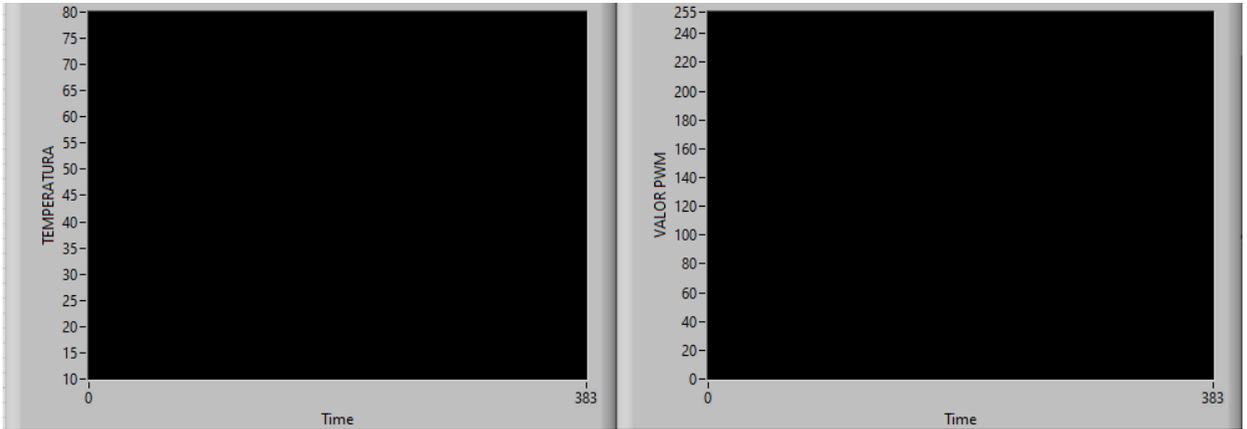


Figura 37. Gráfica de temperatura y señal del pwm. Fuente propia



Figura 38. Información visual de tipo de modo y conexión de puerto en LABVIEW.

Fuente propia.

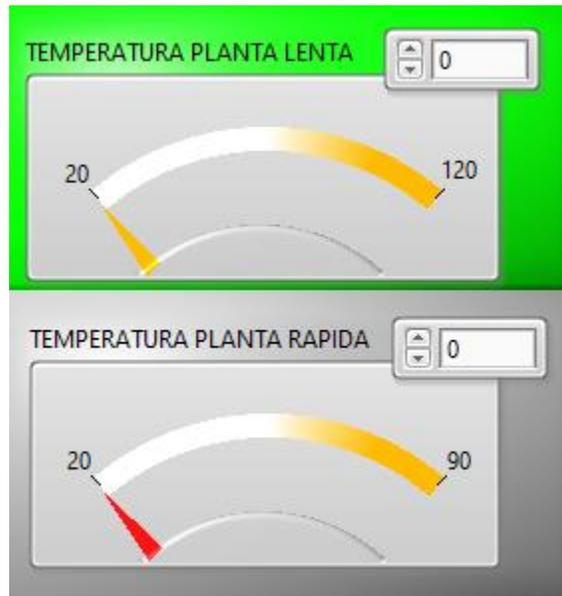


Figura 39. Temperatura a la que quiere alcanzar el usuario. Fuente propia.

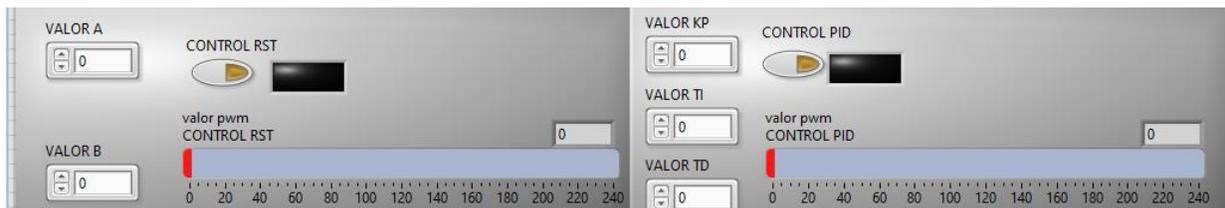


Figura 40. MODO CONTROL RST y CONTROL PID

A continuación, se da información acerca del software integrado en LABVIEW lo cual tiene programación por bloques, este programa integra un ciclo “while” y ciclos de caso de estructura que permitirá simular la planta y conectar los datos obtenidos en gráficas, indicadores y pulsadores boléanos, que ayuda a la interacción con el usuario o estudiante. Uniendo comparadores lógicos para poder ejecutar partes graficas integradas en la figura 41. Se presenta el código usado para el control y la programación de variables, lo cual se observa el modo de recepción y transmisión de datos con una velocidad de 9600 baudios, el tipo de agrupación y el tiempo de simulación que se tiene en cada modo.

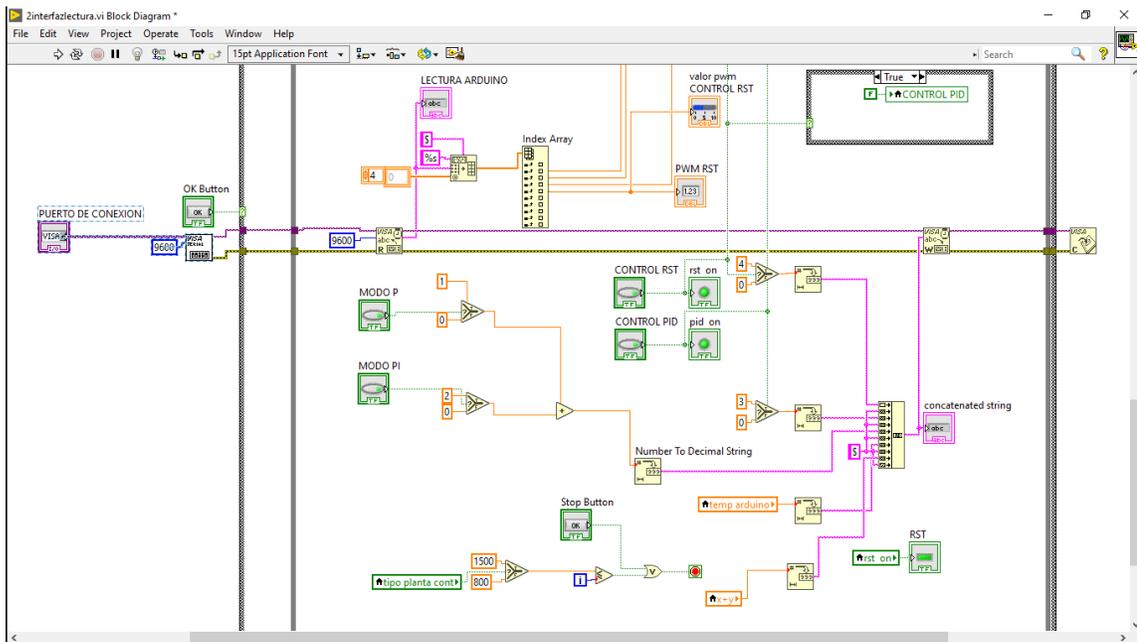


Figura 41. Código en bloques en LABVIEW. Fuente propia.

3.5. MANUAL DE INSTRUCCIONES

Se realizó un manual con función de guiar al usuario, en este caso estudiantes de la Corporación universitaria Comfacauca, en la que se crea con el fin de ayudar a ejecutar la simulación creada en el programa LabVIEW, debido a que el estudiante debe seguir una serie de pasos en los cuales se ejecuta el programa. Este software tiene dos modos de simulación, lo cual

ejecuta dos tipos de plantas diferentes, una planta de transferencia térmica mediante una placa de aluminio y la segunda planta de transferencia de calor mediante un ambiente controlado.

A continuación, se presenta las fases del manual donde se presenta la introducción, descripción del prototipo el cual se detalla los componentes del hardware y software que componen la simulación. Consiguiente se presenta los pasos a seguir para la implementación del software y los datos encontrados en la simulación de Matlab y el código que se tiene que se implementó en el microcontrolador para que la planta controle la temperatura. En el ANEXO 3 está la información del manual.

3.6. PROTOTIPO FINAL

Con base en los objetivos del proyecto, se presentan los resultados de la estructura de soporte, el diseño electrónico, la creación de la planta de temperatura didáctica, la simulación en el entorno de LabVIEW y posterior a la construcción e implementación del prototipo se realizó una validación con el fin de demostrar que el uso del prototipo educativo potencia el conocimiento del estudiante, específicamente en las materias que integran el control automático. En la figura 42 se ilustra el prototipo educativo terminado, lo que compone estructura y sistema eléctrico. Consiguiente a esto se implementó la programación de los dos Arduino con el programa final del control RST y PID, la comunicación de datos y la implementación de la pantalla. Los códigos implementados se encuentran en el ANEXO 1 y el ANEXO 2.



Figura 42. Prototipo educativo

A continuación, en la figura 43 se presenta la simulación en LabVIEW, la cual ilustra los dos tipos de planta y la temperatura deseada, en la simulación se debe colocar los valores del controlador, ya sean A y B del control RST o KP, TI y TD del control PID.

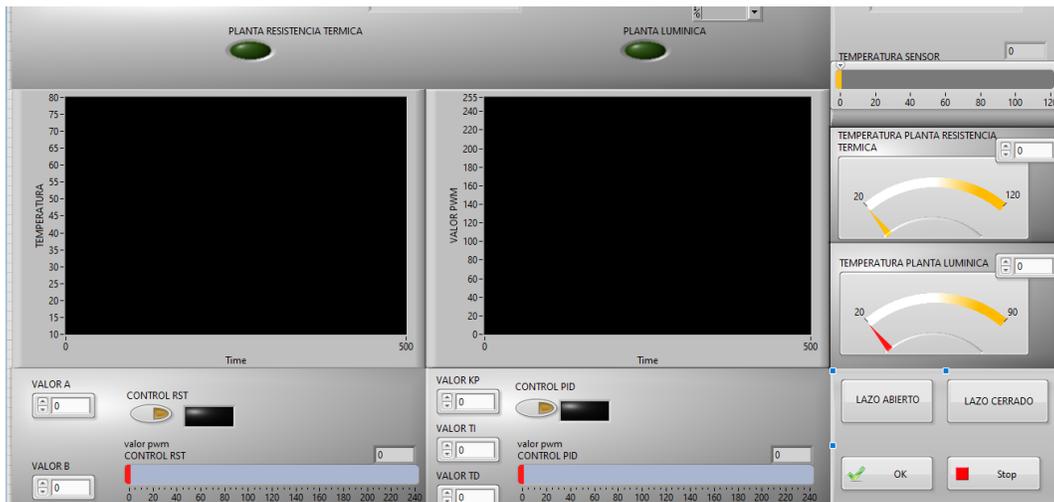


Figura 43. panel de usuario en LabVIEW

En el cual se integró los valores del controlador implementado en Matlab los cuales se integraron en las casillas de la simulación en el programa de LabVIEW con la planta de

temperatura, lo cual fue exitoso debido a que controla la temperatura y se estabiliza en el valor deseado al implementar el control se observa un impulso mayor en el cual se obtiene por el uso de un disturbio externo de un ventilador de 5v en la planta lumínica lo cual representa el disturbio implementado, en la figura 44 se ilustra la simulación exitosa con los datos del controlador en el cual se observó el sobre impulso que tiene al momento de energizar los actuadores en 190 del valor total del PWM, y se observa que la temperatura se estabiliza en 42 grados centígrados aprox.

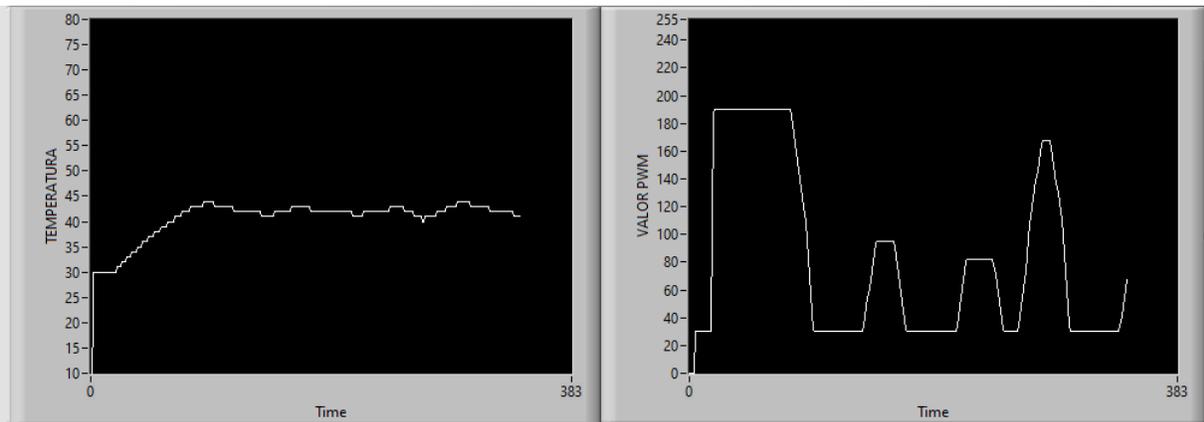


Figura 44. Valor de la temperatura y valor del PWM en tiempo real

A continuación, se presenta el resultado de la simulación de la planta lumínica con los datos implementados en el controlador realizado en Matlab. La respuesta de la simulación se ilustra en las figuras 45 y 46.

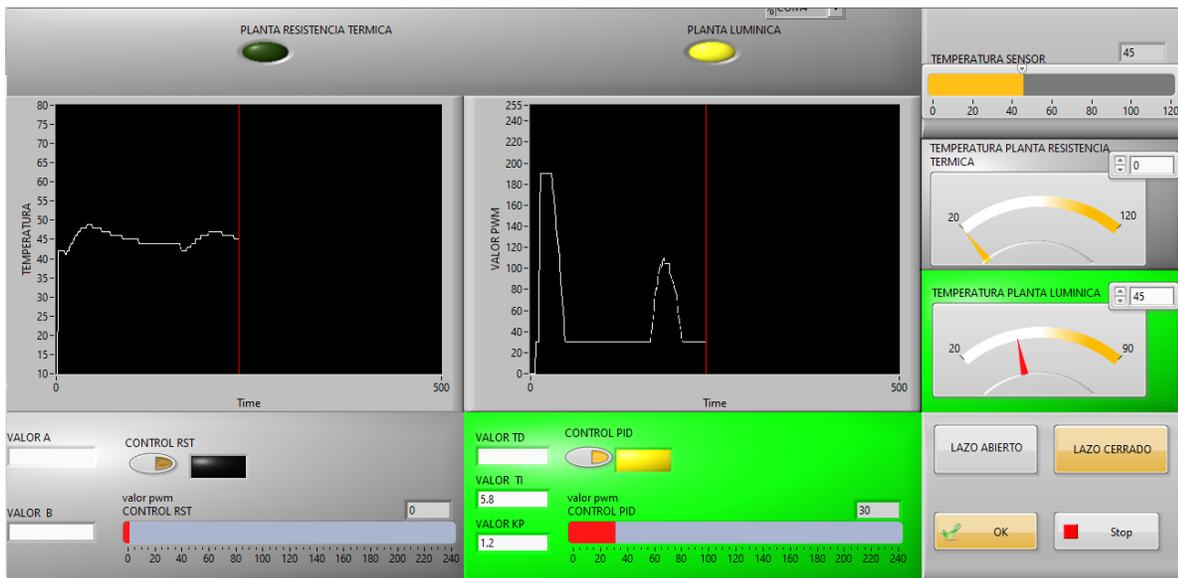


Figura 45. CONTROL PI estabilizado en 45 grados centígrados

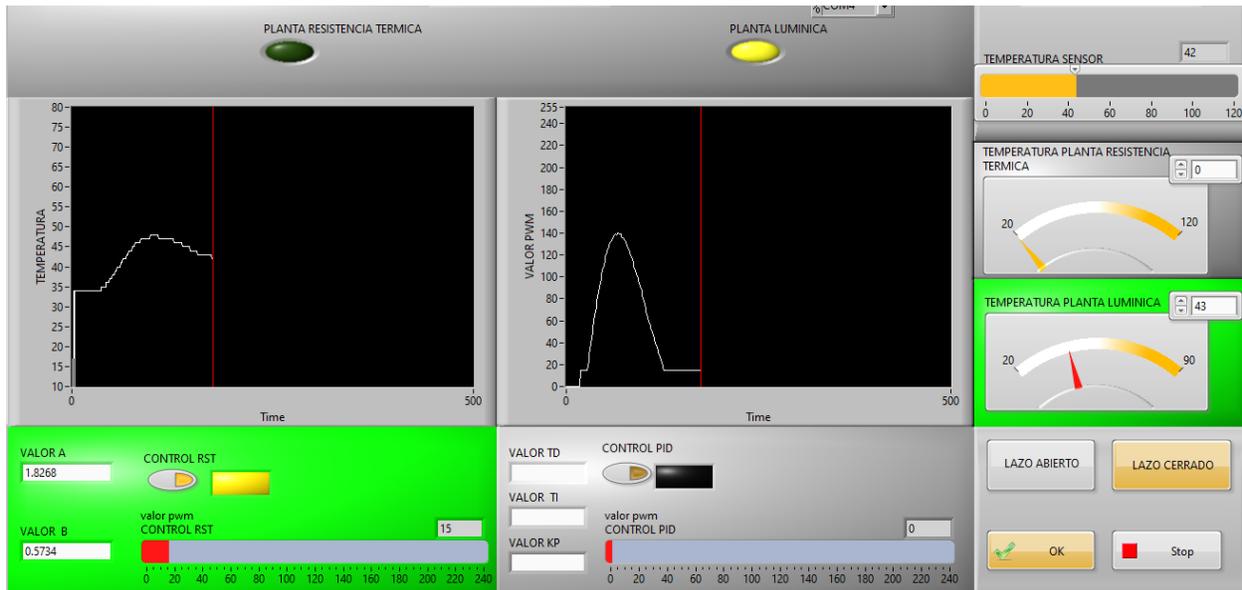


Figura 46. CONTROL RST estabilizado en 43 grados centígrados

Para validar la información de la planta se complementó con el uso de una cámara térmica en la cual se observa el valor de la temperatura dentro de la caja de control. Se observa en la figura 44 la temperatura del CONTROL PID la cual está estabilizada en 45 grados centígrados, la misma temperatura que se observa en la foto tomada por la cámara ilustrada en la figura 47. De igual manera, se ilustra en la figura 46 la temperatura estable en 43 grados centígrados con uso del CONTROL RST, la misma temperatura que se obtuvo en la foto de la cámara térmica, esta se ilustra en la figura 48, con este resultado se confirma que en la simulación la temperatura es correcta.

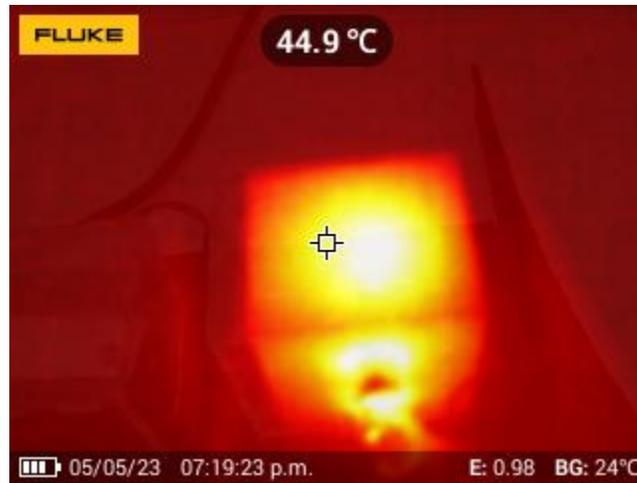


Figura 47. FOTO DE CAMARA TERMICA CONTROL PI

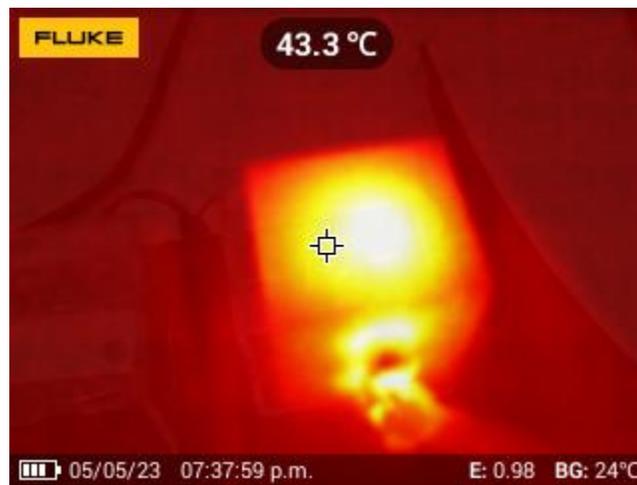


Figura 48. FOTO DE CAMARA TERMICA CONTROL RST

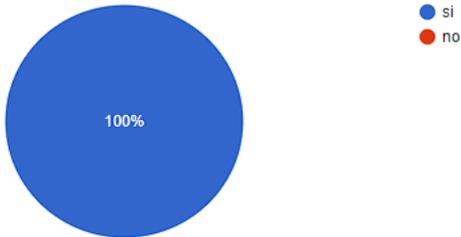
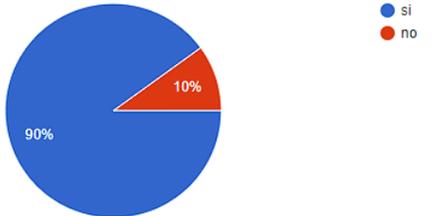
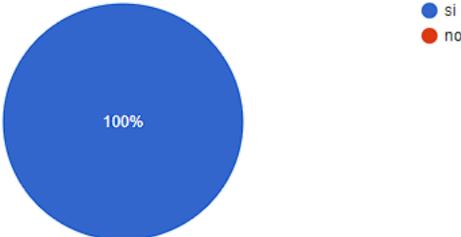
CAPÍTULO 4

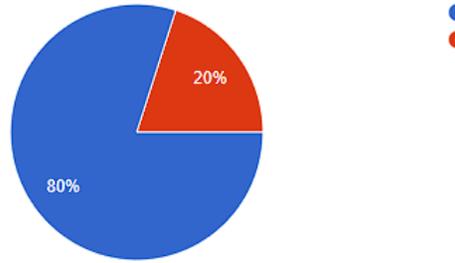
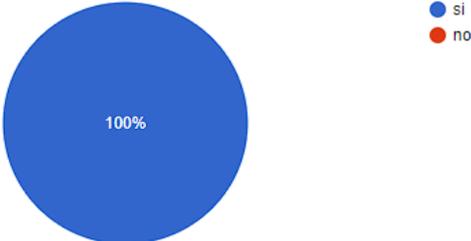
4. VALIDACIÓN

4.1. ENCUESTAS

Para aprobar el interés del estudiante se realizó una encuesta a 20 estudiantes de octavo semestre, la encuesta contiene 6 preguntas cerradas las cuales se enfocan en qué tan interesado está el estudiante por este tipo de herramientas para las clases de control automático, lo cual fue todo un éxito y se comprobó que los estudiantes estaban interesados por implementar este tipo de herramientas. A continuación, se presenta en la tabla 7 la información de las preguntas realizadas a los estudiantes en la encuesta de interés por este tipo de herramientas.

Tabla 7. Preguntas de interés del estudiante y % de aprobación

Preguntas	% de estudiantes que aprueba o no aprueban el uso del prototipo						
¿Crees tú como estudiante que las materias de control mejorarían el aprendizaje si se implementara un nivel práctico para complementar la parte teórica vista en clase?	 <p>A pie chart with a single blue segment representing 100%. A legend to the right shows a blue dot for 'si' and a red dot for 'no'.</p> <table border="1"><thead><tr><th>Respuesta</th><th>Porcentaje</th></tr></thead><tbody><tr><td>si</td><td>100%</td></tr><tr><td>no</td><td>0%</td></tr></tbody></table>	Respuesta	Porcentaje	si	100%	no	0%
Respuesta	Porcentaje						
si	100%						
no	0%						
¿Te gustaría la implementación de una planta didáctica de temperatura para el laboratorio de automática?	 <p>A pie chart with a large blue segment representing 90% and a smaller red segment representing 10%. A legend to the right shows a blue dot for 'si' and a red dot for 'no'.</p> <table border="1"><thead><tr><th>Respuesta</th><th>Porcentaje</th></tr></thead><tbody><tr><td>si</td><td>90%</td></tr><tr><td>no</td><td>10%</td></tr></tbody></table>	Respuesta	Porcentaje	si	90%	no	10%
Respuesta	Porcentaje						
si	90%						
no	10%						
¿Te gustaría un espacio en el semestre para la inducción de una planta de temperatura?	 <p>A pie chart with a single blue segment representing 100%. A legend to the right shows a blue dot for 'si' and a red dot for 'no'.</p> <table border="1"><thead><tr><th>Respuesta</th><th>Porcentaje</th></tr></thead><tbody><tr><td>si</td><td>100%</td></tr><tr><td>no</td><td>0%</td></tr></tbody></table>	Respuesta	Porcentaje	si	100%	no	0%
Respuesta	Porcentaje						
si	100%						
no	0%						

<p>¿piensas que tu nota mejoraría al implementar este tipo de prácticas de laboratorio?</p>	 <p>100%</p>
<p>¿crees que el entorno de una planta didáctica enfocada al control digital mejoraría tu conocimiento para desenvolverse en un entorno laboral?</p>	 <p>80% 20%</p>
<p>¿te gustaría implementar la planta de temperatura con la ayuda de un manual que contenga todos los pasos para la creación del controlador?</p>	 <p>100%</p>

4.2. TEST DE CONFIANZA

A continuación, se realizó la práctica a un grupo de 12 estudiantes de octavo semestre. Para la ejecución se les compartió un archivo el cual contiene EL MANUAL de usuario, este explica el código que se implementa y los pasos que debe seguir para correr la simulación de la planta, el programa del controlador RST y PID implementado en el Arduino, un archivo de Matlab en los cuales está la simulación del controlador y los valores esenciales para la creación, un archivo CSV el cual contiene los valores de la planta en lazo abierto y un archivo PDF que contiene los criterios para la realización del controlador, esto con el fin de que el estudiante ensaye los pasos para realizar un controlador.

Para la validación del prototipo educativo se realizó siete preguntas de tipo abierto, para evaluar la confianza del estudiante antes y después de la práctica, lo cual el estudiante se autocalifico de 0.0 a 5.0 según el nivel de confianza que tiene para implementar los saberes teóricos en una planta real, con el fin de observar el desarrollo de la confianza del estudiante después de realizar la práctica.

Se realizó la práctica con un grupo de 12 estudiantes de octavo semestre. En la figura 49 se ilustra la practica con el uso de la herramienta educativa en el salón de clase.



Figura 49. Práctica con estudiantes y herramienta educativa

Al realizar la práctica se observó a los estudiantes interesados, puesto que iban a implementar la teoría matemática vista en clase en una práctica con una planta real. A continuación, se presenta las preguntas implementadas y la respuesta de los estudiantes, antes y después de realizar la práctica con el prototipo educativo, lo cual se ilustra de la tabla 8 a la tabla 14, la repuesta de las siete preguntas de confianza realizadas a los estudiantes.

Tabla 8. PREGUNTA NUMERO UNO DE TEST DE CONFIANZA

¿qué tan capacitado te sientes para implementar la instrumentación necesaria para la creación de un control digital?	
ANTES	DESPUES

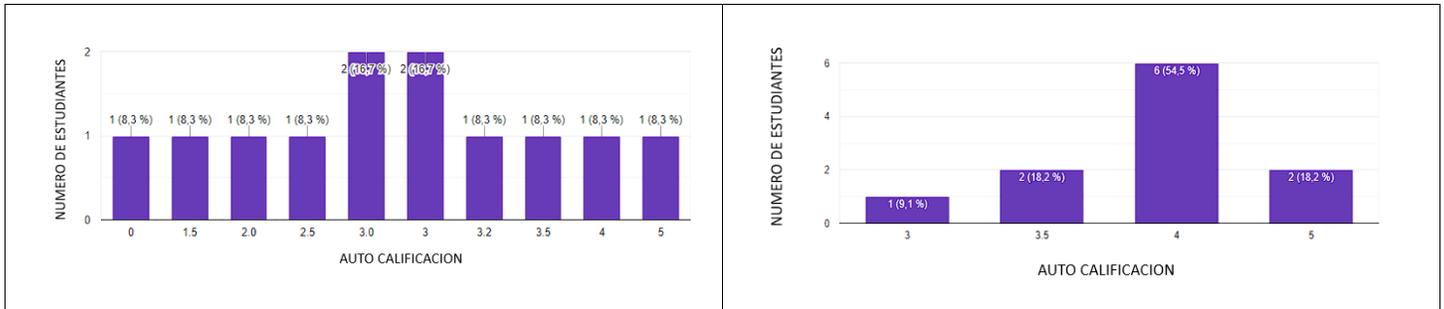


Tabla 9. PREGUNTA NUMERO DOS DE TEST DE CONFIANZA

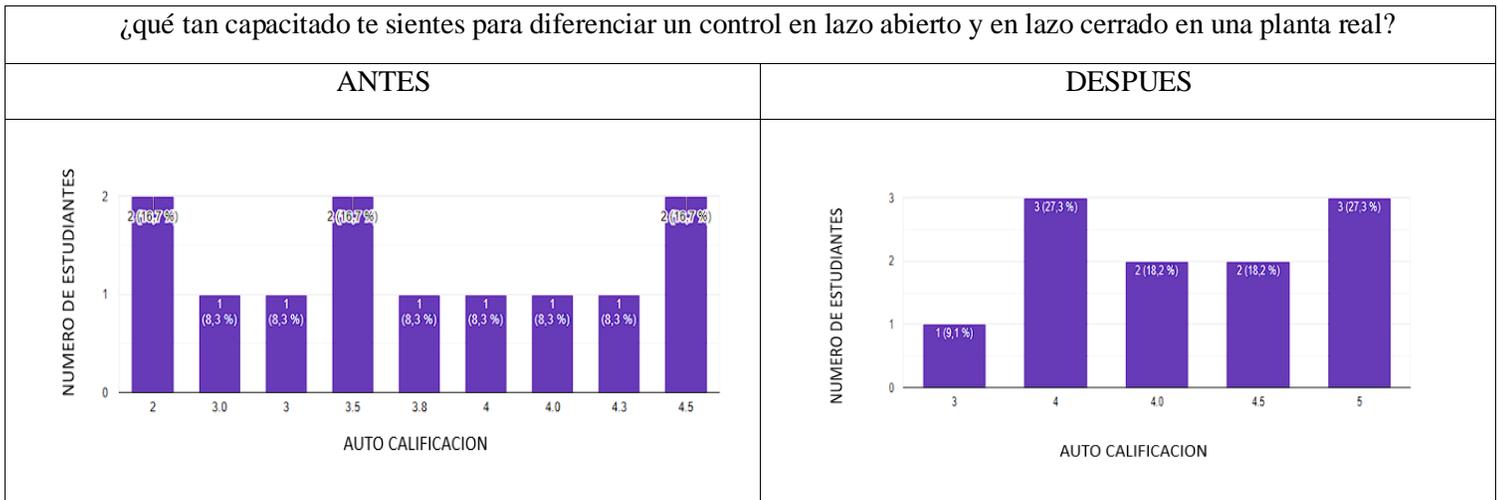


Tabla 10. PREGUNTA NUMERO TRES DE TEST DE CONFIANZA

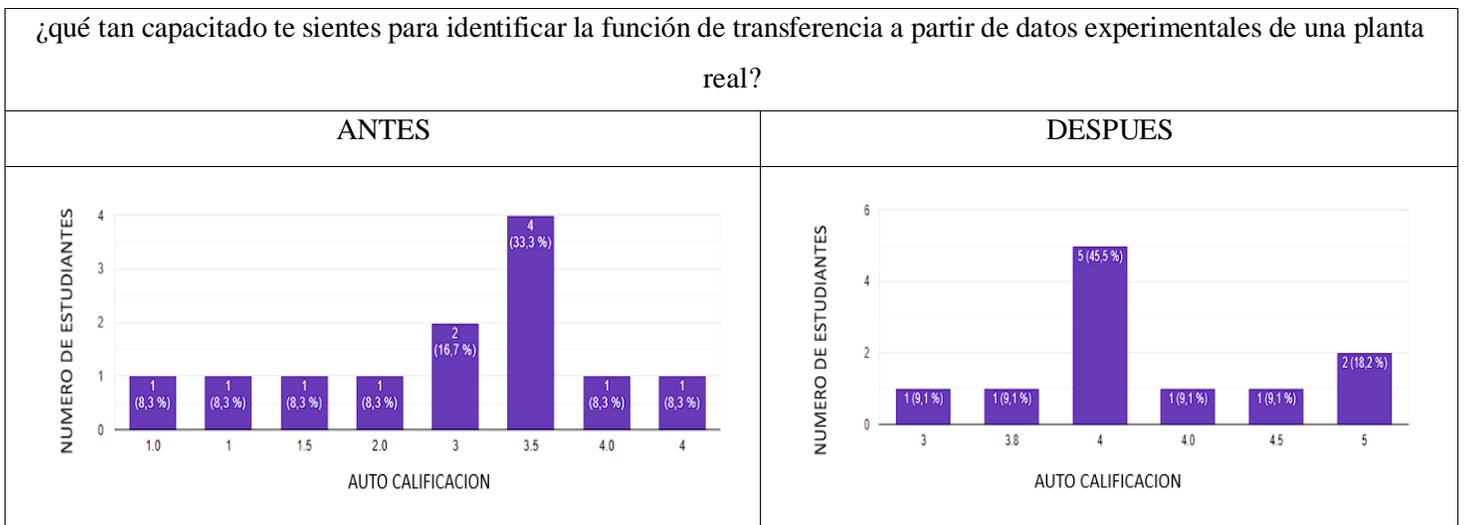


Tabla 11. PREGUNTA NUMERO CUATRO DE TEST DE CONFIANZA

¿qué tan capacitado te sientes para implementar los conocimientos lógicos y matemáticos para la creación de un controlador?

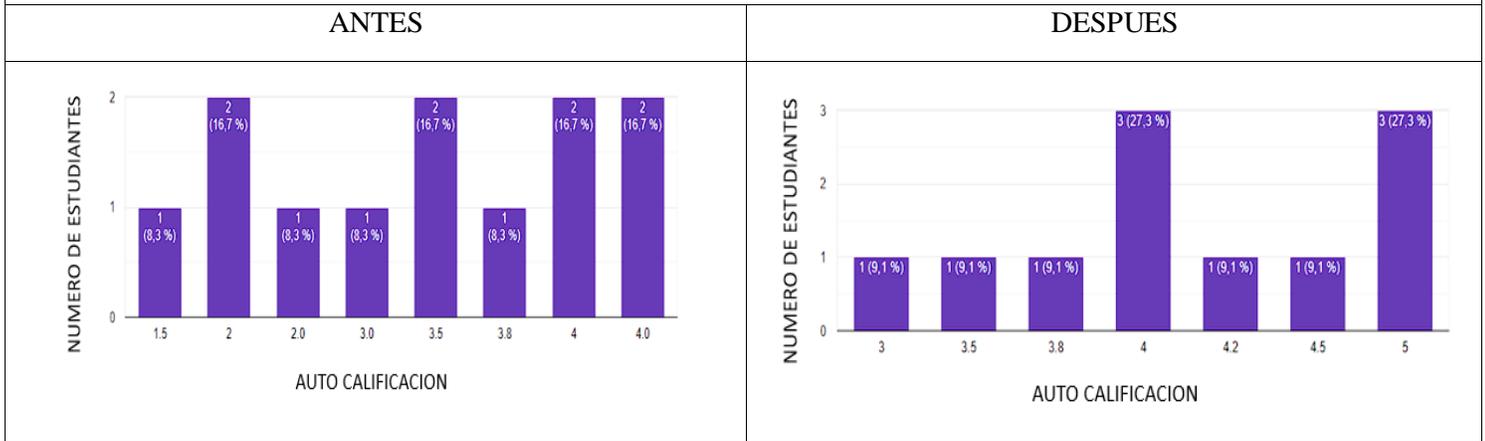


Tabla 12. PREGUNTA NUMERO CINCO DE TEST DE CONFIANZA

¿qué tan capacitado te sientes para implementar la programación para la creación de un control digital en un microcontrolador?

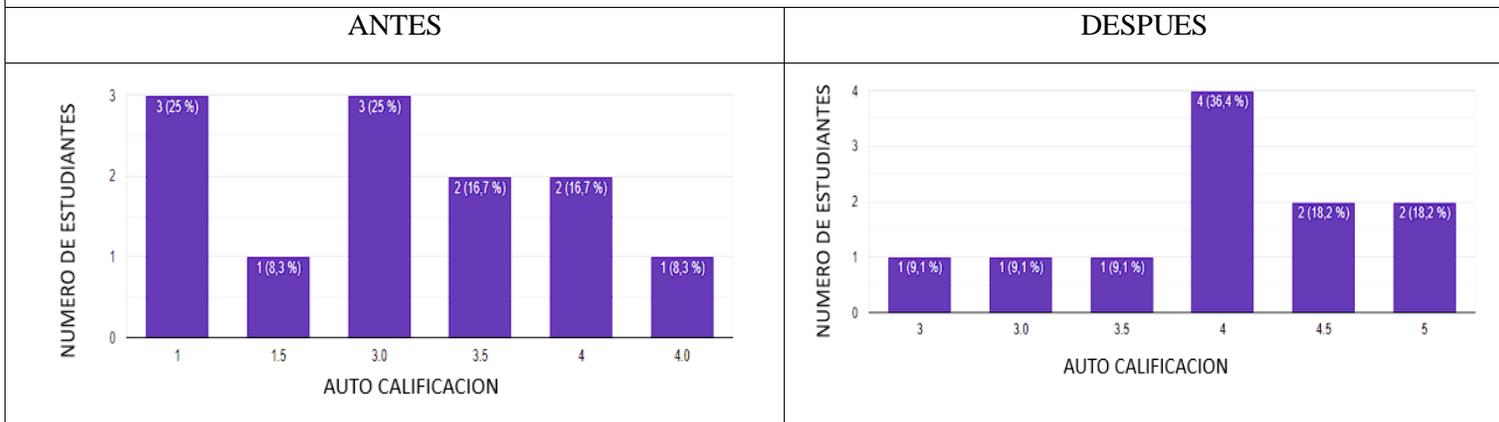


Tabla 13. PREGUNTA NUMERO SEIS DE TEST DE CONFIANZA

¿qué tan capacitado te sientes para implementar los criterios de diseño en la creación de un controlador?



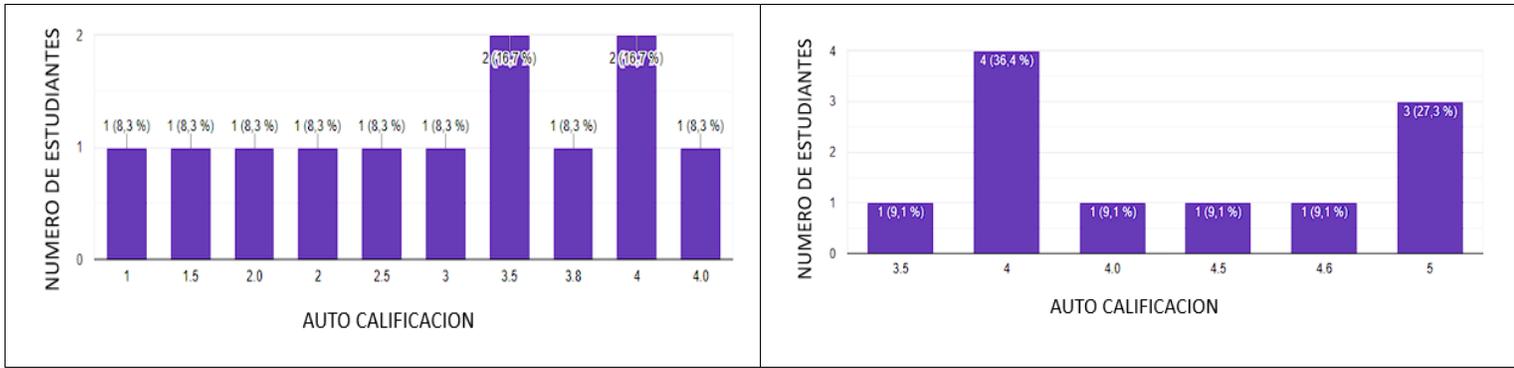
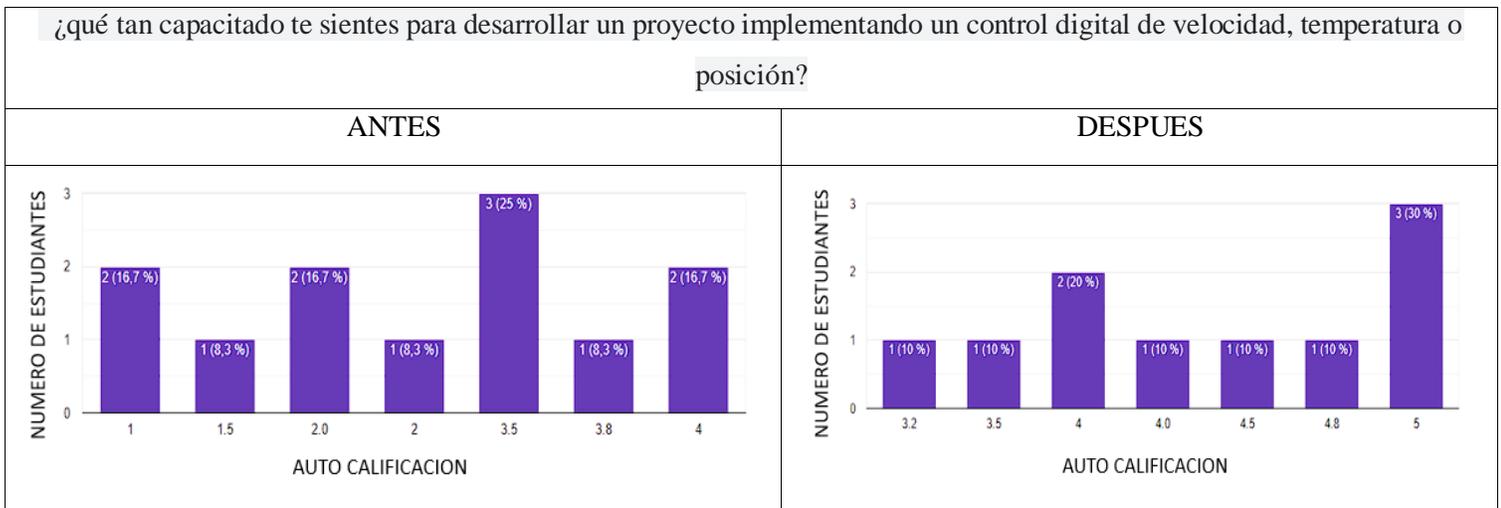


Tabla 14. PREGUNTA NUMERO SIETE DE TEST DE CONFIANZA



En las encuestas se evidencia directamente el crecimiento del estudiante en cuanto a confianza, puesto que comparando este nivel antes y después de realizar la práctica con el prototipo educativo, se observa que los estudiantes obtuvieron una mejora significativa en la implementación y creación de controladores automáticos. Ver resultados de las preguntas en las tabla 15 a 21.

A continuación, se describen los datos observados que permiten validar si la implementación del prototipo educativo fue de utilidad para la absorción de conocimiento del estudiante y lograr un aprendizaje eficiente complementando la parte teórica con la práctica. Consiguiente, se presenta la interpretación de los datos que se obtuvo, los cuales son la media de la respuesta de confianza de los estudiantes y el porcentaje de estudiantes con un nivel de confianza alta o superior a 4.0.

Tabla 15. Nivel de confianza de estudiantes pregunta número uno

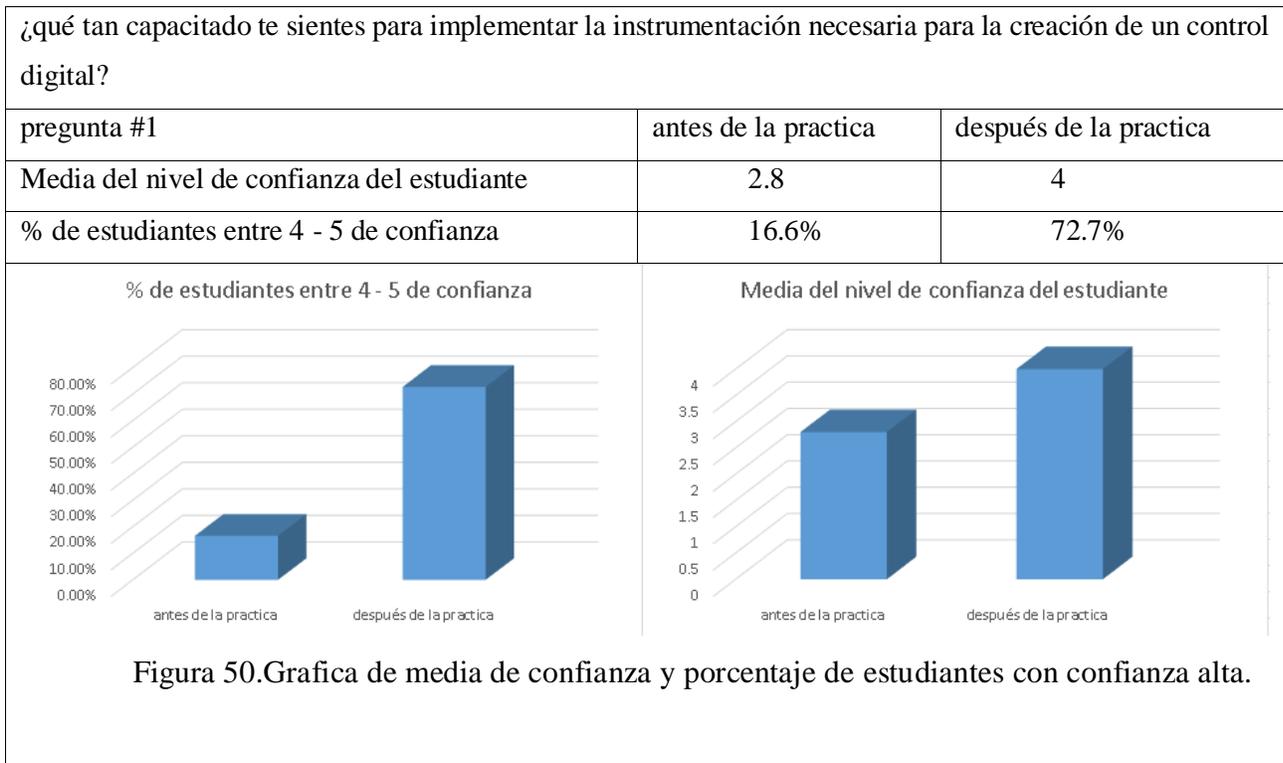


Tabla 16. Nivel de confianza de estudiantes pregunta numero dos

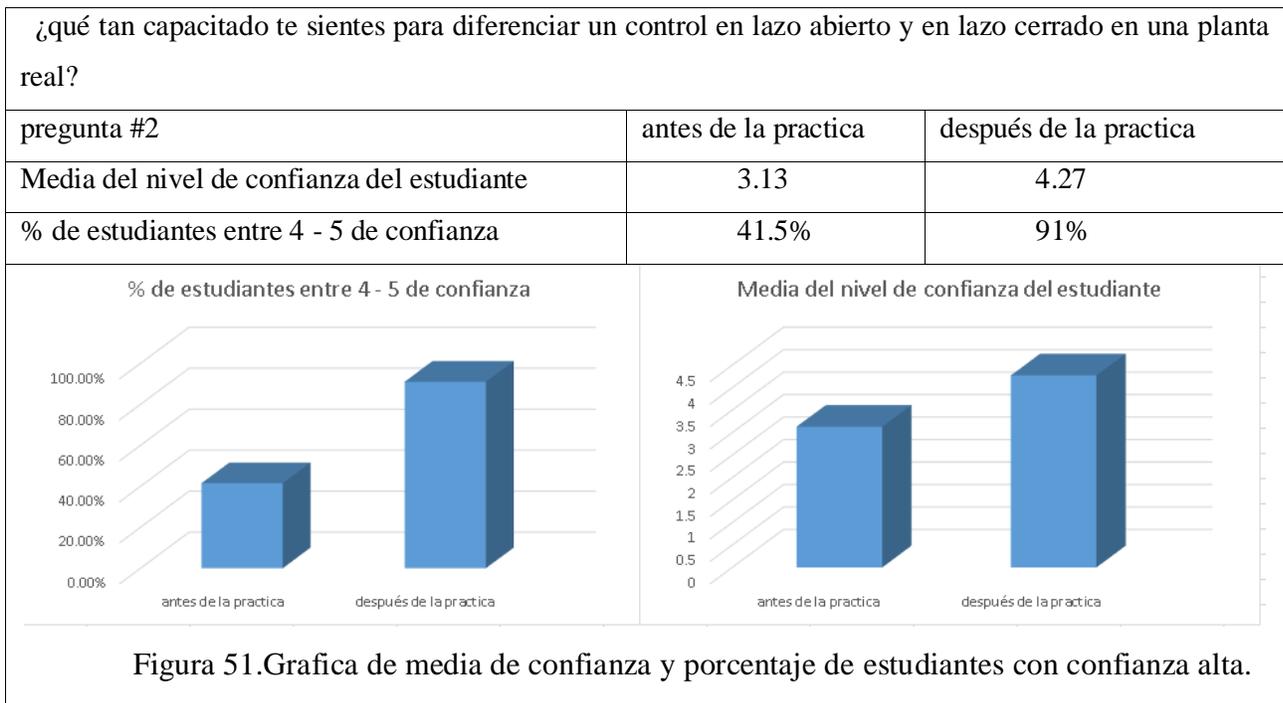


Tabla 17. Nivel de confianza de estudiantes pregunta número tres

¿qué tan capacitado te sientes para identificar la función de transferencia a partir de datos experimentales de una planta real?		
pregunta #3	antes de la practica	después de la practica
Media del nivel de confianza del estudiante	2.79	4.48
% de estudiantes entre 4 - 5 de confianza	16.6%	81.9%
<p>Figura 52. Grafica de media de confianza y porcentaje de estudiantes con confianza alta.</p>		

Tabla 18. Nivel de confianza de estudiantes pregunta número cuatro

¿qué tan capacitado te sientes para implementar los conocimientos lógicos y matemáticos para la creación de un controlador?		
pregunta #4	antes de la practica	después de la practica
Media del nivel de confianza del estudiante	3.1	4.1
% de estudiantes entre 4 - 5 de confianza	33.4%	72.7%

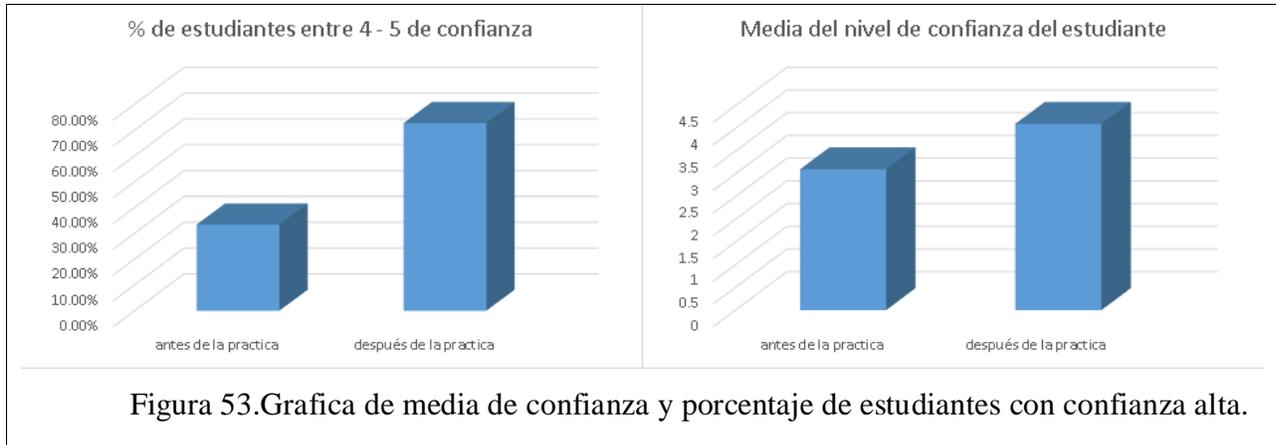


Tabla 19. Nivel de confianza de estudiantes pregunta número cinco

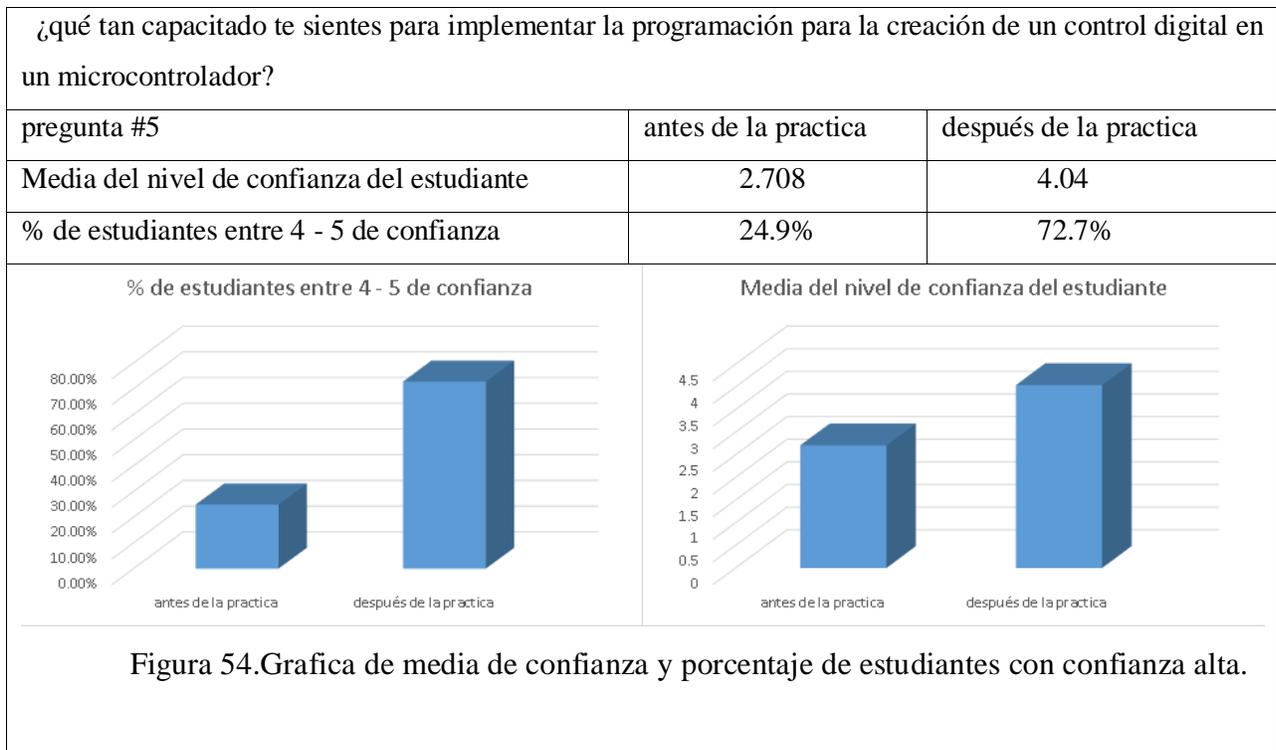


Tabla 20. Nivel de confianza de estudiantes pregunta número seis

¿qué tan capacitado te sientes para implementar los criterios de diseño en la creación de un controlador?

pregunta #6	antes de la practica	después de la practica
Media del nivel de confianza del estudiante	2.9	4.32
% de estudiantes entre 4 - 5 de confianza	24.9%	54.6%

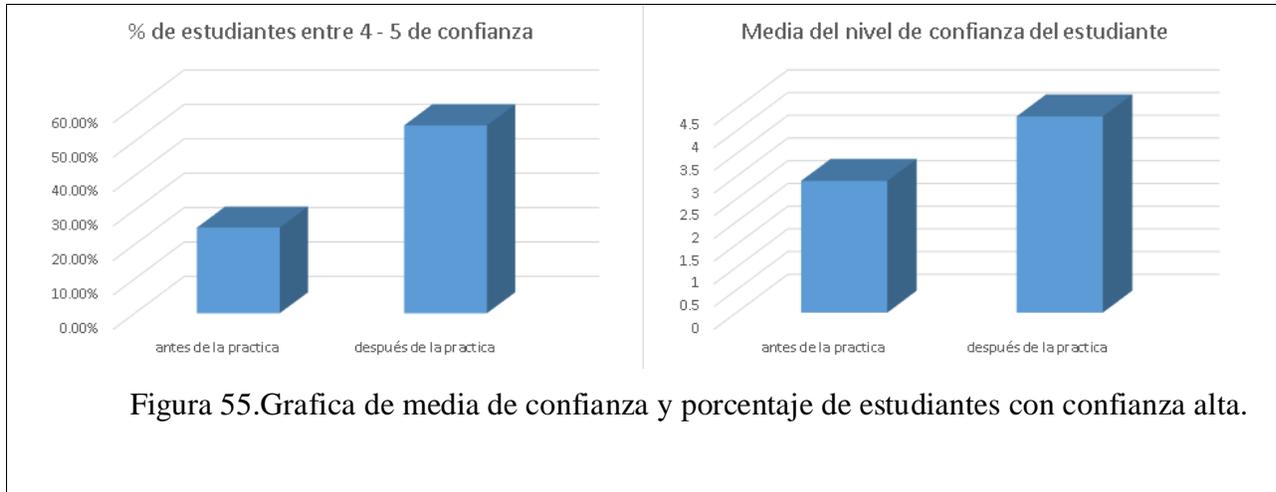
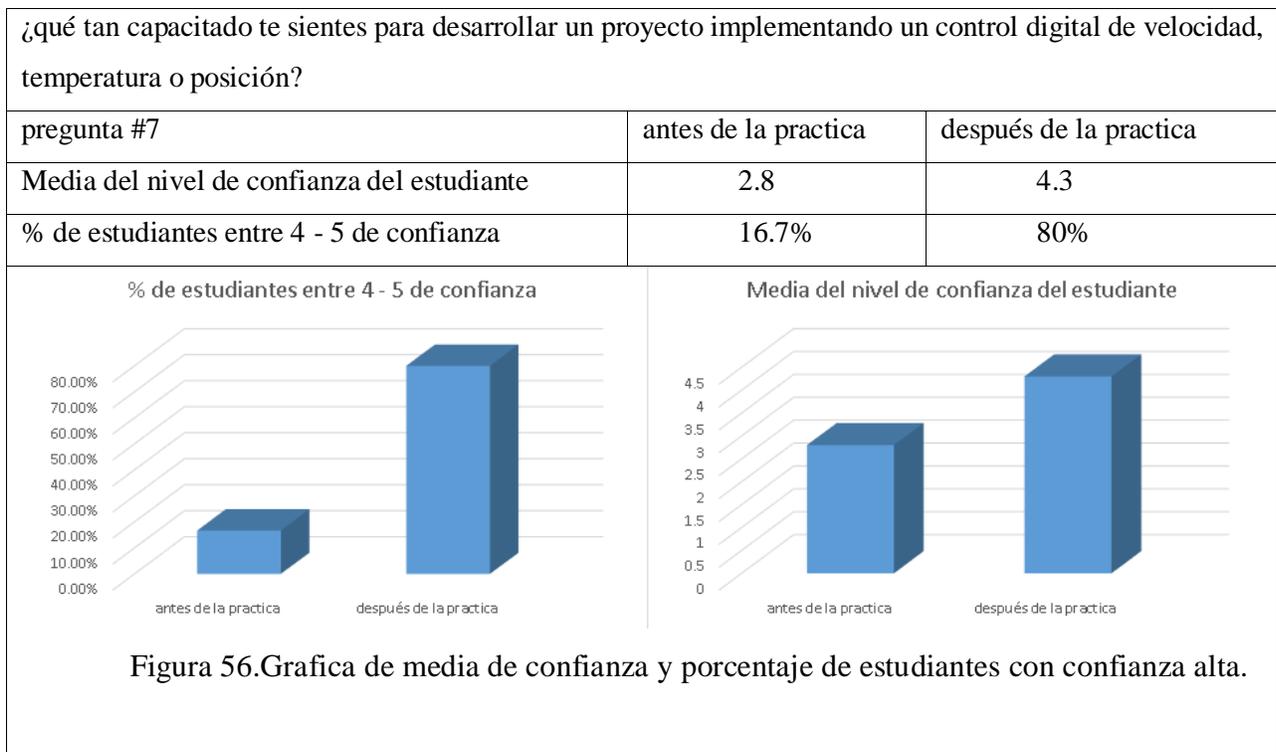


Tabla 21. Nivel de confianza de estudiantes pregunta número siete



4.3. TEST DE SHAPIRO WILK

Posterior a la recopilación de datos se realizó la prueba de normalidad de Shapiro Wilk en la cual se plantea una hipótesis con un nivel de significancia de 1% y del 5%, la cual se diferencia

por H0: La distribución es normal y H1: La distribución no es normal, lo que indica si los datos obtenidos pertenecen una distribución de datos normales.

Se realizó la prueba de Shapiro Wilk a los dos tipos de encuesta de confianza, la respuesta del test antes de la práctica se ilustra en la tabla 22 y en la tabla 23 el resultado del test después de la práctica.

Tabla 22. Datos del test de Shapiro Wilk, antes de la práctica.

media de respuestas del test antes de la práctica	media	varianza	contraste de hipótesis	significancia 5% 7 datos	significancia 1% 7 datos	HO: LA VARIABLE TIENE UNA DISTRIBUCION NORMAL	H1: LA VARIABLE TIENE UNA DISTRIBUCION NO NORMAL
2,7 2,7 2,79 2,8 2,8 3,1 3,12	2,85	0,1885	0,784	0,803	0,76	NO SE RECHAZA H1, debido a que $0,784 < 0,803$ con una significancia del 5% la variable tiene una distribución no normal	NO SE RECHAZA HO, debido a que $0,784 > 0,76$ con una significancia del 2% la variable tiene una distribución normal

Tabla 23. Datos del test de Shapiro Wilk, después de la práctica.

media de respuestas del test después de la práctica	media	varianza	contraste de hipótesis	significancia 5% 7 datos	significancia 1% 7 datos	HO: LA VARIABLE TIENE UNA DISTRIBUCION NORMAL	H1: LA VARIABLE TIENE UNA DISTRIBUCION NO NORMAL
4 4,01 4,1 4,27 4,3 4,32 4,48	4,21	0,1929	0,919	0,803	0,76	NO SE RECHAZA HO, debido a que $0,919 > 0,803$ con una significancia del 5% la variable tiene una distribución normal	NO SE RECHAZA HO, debido a que $0,919 > 0,76$ con una significancia del 2% la variable tiene una distribución normal

En la cual se observa que el resultado con un nivel de significancia de 2% en las dos encuestas obtiene como resultado que NO SE RECHAZA HO, lo que significa que tiene una distribución normal la población que se muestreó, también se observó que con un nivel de significancia del 5% en el test denominado: “después de la práctica”, NO SE RECHAZA HO lo que indica que tiene

una distribución normal, por último, se observó un nivel de significancia del 5% para el resultado del test denominado: “antes de la práctica” que dio como resultado NO SE RECHAZA HI lo que significa que la población tiene una distribución no normal. Para realizar la verificación de los valores del test de Shapiro Wilk se implementó un test realizado en una página web Shapiro Wilk Test (Web version) (sdittami.altervista.org) en el cual dio como resultado el valor visualizado en las figuras 57 y 58.

Shapiro, SS y Wilk, MB (1965). "Análisis de la prueba de varianza para la normalidad (muestras completas)", *Biometrika* 52: 591-611 .
Versión en línea implementada por [Simon Dittami](#) (2009)

Pegue los datos aquí: (resultados a continuación)

```
4
4,01
4,1
4,27
4,3
4,32
4,48
```

Calcular Limpiar todo

Resultados:

```
n = 7
Media = 4.211428571428571
SD = 0,17929757122621354
W = 0,9196117092813366

Umbral (p=0,01) = 0,7300000190734863 --> HO aceptado
Umbral (p=0,05) = 0,8029999732971191 --> HO aceptado
Umbral (p=0,10) = 0,8379999995231628 --> HO aceptado
```

Figura 57.test de después de la práctica implementado en página web

Shapiro, SS y Wilk, MB (1965). "Análisis de la prueba de varianza para la normalidad (muestras completas)", *Biometrika* 52: 591-611 .
Versión en línea implementada por [Simon Dittami](#) (2009)

Pegue los datos aquí: (resultados a continuación)

```
2,7
2,7
2,79
2,8
2,8
3,1
3,12
```

Calcular Limpiar todo

Resultados:

```
n = 7
Media = 2.8585714285714285
SD = 0,17724075635780198
W = 0,7840600596211655

Umbral (p=0,01) = 0,7300000190734863 --> HO aceptado
Umbral (p=0,05) = 0,8029999732971191 --> HO rechazado
Umbral (p=0,10) = 0,8379999995231628 --> HO rechazado
```

--> Sus datos no se distribuyen normalmente $p < 0.05$

Figura 58.test de antes de la práctica implementado en página web

Al analizar los resultados del test de Shapiro Wilk se verificó que lo datos implementados en las tablas 22 y 23 son correctos, debido a que con la significancia del 1% la población tiene una distribución normal.

4.4. TEST DE CORRELACIÓN DE PEARSON

Consiguiente a la prueba de normalidad se realizó el test de correlación de Pearson el cual permitió identificar la relación estadística entre dos variables, en el cual se mide de -1 a 1, un valor de 0 indica que no hay asociación entre las variables y entre más se acerque al valor de 1 será más fuerte la relación. En la tabla 24 se observa los niveles del coeficiente de correlación.

Tabla 24. Rango de valores del coeficiente de correlación de Pearson. Fuente propia

Rango de valores	Interpretación
0 < r < 0.1	Correlación nula
0.1 < r < 0.3	Correlación débil
0.3 < r < 0.5	Correlación moderada
0.5 < r < 1	Correlación fuerte

A continuación, en la tabla 25 se realizó la comparación de la media de los datos antes y después de la práctica y se implementó el test de correlación lineal de Pearson en la ecuación (9) para la cual se obtuvo el valor del coeficiente de correlación de Pearson de $r_{xy} = 0.8439$, tal como se aprecia en la ecuación (11), lo cual indica que la correlación entre los datos es fuerte (ver tabla 24).

Tabla 25. Valores de la media de los datos para test de correlación de Pearson. Fuente propia

antes de la práctica = X	después de la práctica = Y
2,7	4
2,7	4,01
2,79	4,1
2,8	4,27
2,8	4,3
3,1	4,32
3,12	4,48

$$r_{xy} = \frac{\sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{N \sum X^2 - (\sum X)^2} * \sqrt{N \sum Y^2 - (\sum Y)^2}} \quad (9)$$

$$r_{xy} = \frac{7 * 84.4 - 20 * 29.4}{\sqrt{7 * 57.3 - 400} * \sqrt{7 * 124 - 869}} \quad (10)$$

$$r_{xy} = 0.8439 \quad (11)$$

CONCLUSIONES

Se ha llevado a cabo de manera exitosa la implementación de un prototipo educativo de planta de temperatura con dos modos de operación, basada en controladores PID y RST, apoyado en herramientas CAD y CAM. Este trabajo deja, además, un manual de usuario como guía para que el estudiante de ingeniería lleve a cabo la práctica de laboratorio correctamente; y se implementó una interfaz amigable con el usuario, la cual permite la visualización de variables y señales en tiempo real, para que el estudiante logre el pleno entendimiento de los controladores analógicos y digitales.

Posteriormente, se logró evaluar el funcionamiento del prototipo educativo de planta de temperatura para laboratorio de ingeniería, aplicada al control analógico y digital, con ayuda del software de simulación Matlab, a través de una práctica de laboratorio propuesta en la asignatura de control digital. La prueba piloto se realizó en las instalaciones de la Corporación Universitaria Comfacauca, de la ciudad de Popayán Colombia. Se investigó a un grupo de 12 estudiantes de octavo semestre con ayuda de un docente del área de ingeniería enfocada en control automático, obteniendo una respuesta exitosa al observar que los controladores RST y PID se estabilizan en las temperaturas de referencia propuestas, corroborando los datos con una cámara térmica.

Finalmente, se valida el efecto de la planta didáctica en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las asignaturas de control analógico y digital de la Corporación Universitaria Comfacauca. Los datos -obtenidos en la encuesta de confianza antes de la práctica, realizada a los 12 estudiantes que cursan la asignatura de control digital- indican que el nivel de confianza es de 25% en comparación al test realizado después de la práctica que es de 75% de confianza, implementando los conocimientos de controladores automáticos en un control real, después, con ayuda del test de Shapiro Wilk se concluye que: con un nivel de significancia del 1% la población medida tiene una distribución normal, por tanto, se procede a realizar la prueba de coeficiente de correlación lineal de Pearson, la cual arroja un coeficiente de $r=0.84$, indicando que la correlación entre los test realizados es fuerte, lo que permite afirmar que el uso de herramientas educativas como la propuesta en este trabajo, potencian el conocimiento y el interés de los estudiantes logrando un aprendizaje eficiente.

De esta manera, la presente investigación ha logrado cumplir a cabalidad con los objetivos propuestos, lo que permite -a partir del próximo semestre- a los docentes de las asignaturas de

control de la Corporación Universitaria Comfacauca, mejorar los procesos de enseñanza-aprendizaje, al complementar la teoría de control por medio de la práctica.

REFERENCIAS

Aillon, M. (noviembre de 2010). *DISEÑO DE UN SISTEMA SCADA DE CONTROL AUTOMÁTICO*. Obtenido de DISEÑO DE UN SISTEMA SCADA DE CONTROL AUTOMÁTICO : <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/101/1/t552ec.pdf>

alvarado, j. c. (s.f.).

Angarita, M., Duarte, J., & Fernandez, H. (2008). *Relación del material didáctico con la enseñanza de ciencia y tecnología*. Obtenido de Relación del material didáctico con la enseñanza de ciencia y tecnología.: <https://educacionyeducadores.unisabana.edu.co/index.php/eye/article/download/730/1708?inline=1>

Becerra, J. (Octubre de 2017). *SEGUIMIENTO DE MULTIPLES OBJETOS EN MOVIMIENTO PARA LA NAVEGACIÓN EN ROBÓTICA MÓVIL*. Obtenido de http://repositorio.ute.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/14699/69793_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Cabrera, X. (noviembre de 1996). *diseño y construccion de prototipo de control de temperatura*. Obtenido de diseño y construccion de prototipo de control de temperatura: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/5107/1/T230.pdf>

Coba, W. (diciembre de 2005). *Control PID*. Obtenido de Control PID: http://www.frlr.utn.edu.ar/archivos/alumnos/electronica/catedras/38-sistemas-de-control-aplicado/Publicaciones/Control_PID_Enfoque_Descriptivo.pdf

- Feo , R. (2009). *Orientaciones básicas para el diseño de estrategias didácticas*. Obtenido de Orientaciones básicas para el diseño de estrategias didácticas: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3342741.pdf>
- Gaitán, M. (2012). *Influencia del Facebook en el bajo rendimiento académico de adolescentes de 13 a 15 años*. Guatemala.
- Gallego, R., & Roymar, P. (1996). *DIDACTICA CONSTRUCTIVISTA*. Obtenido de DIDACTICA CONSTRUCTIVISTA: <https://www.redalyc.org/pdf/356/35602515.pdf>
- Gausemeier, & Moehring. (2002). *A New Guideline for the Design of Mechatronic Systems* (ISSN 1474-6670 ed., Vol. IFAC Proceedings Volumes).
- Kilo, T. p. (2017). *concepto de mecatronica definicion y aplicacion*. Obtenido de <https://www.espaciohonduras.net/mecatronica/concepto-de-mecatronica-definicion-y-aplicacion>
- Kolk, D. S. (2010). *Mechatronics System Design*. Cengage Learning. ISBN 1439061998, 9781439061992.
- Lalinde, & Fernandez, J. (2018). *Sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: definición, propiedades y suposiciones*. *Archivos venezolanos de Farmacología y Terapéutica*, .
- Marquez, J., & Ruiz, J. (2014). *ROBÓTICA EDUCATIVA APLICADA A LA ENSEÑANZA BÁSICA SECUNDARIA*. Obtenido de ROBÓTICA EDUCATIVA APLICADA A LA ENSEÑANZA BÁSICA SECUNDARIA: <https://www.raco.cat/index.php/DIM/article/download/291518/379999/>

- Martinez, L., & Niño, J. (2017). *UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA*. Obtenido de UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA: <https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/2257/1/TGT-417.pdf>
- Mazone, V. (2002). *control automatico 1*.
- Montoya, N., Jimenez, A., Higuera, A., & Marlon, A. (2020). *Prototipo industrial de un sistema de parqueo para prácticas de aprendizaje en automatización*. Obtenido de Prototipo industrial de un sistema de parqueo para prácticas de aprendizaje en automatización: <http://repositorio.pascualbravo.edu.co:8080/jspui/handle/pascualbravo/1151>
- Morales, R., & Ramirez, R. (2013). *Sistemas de tiempo continuo*. Obtenido de <http://prod77ms.itesm.mx/podcast/EDTM/ID295.pdf>
- Ordoñez, P. (diciembre de 2007). *DISEÑO AUTOMÁTICO DE CONTROLADORES RST ROBUSTOS POR MEDIO DEL MOLDEO DE LA FUNCIÓN DE SENSIBILIDAD*. Obtenido de DISEÑO AUTOMÁTICO DE CONTROLADORES RST ROBUSTOS POR MEDIO DEL MOLDEO DE LA FUNCIÓN DE SENSIBILIDAD: https://repositorio.tec.mx/bitstream/handle/11285/568135/DocsTec_5761.pdf?sequence=1
- Perez, M., Hidalgo, A., & Perez, E. (2007). *INTRODUCCION A LOS SISTEMAS DE CONTROL*. Obtenido de INTRODUCCION A LOS SISTEMAS DE CONTROL: <http://dea.unsj.edu.ar/control1/apuntes/unidad1y2.pdf>
- Prieto, M. (2011). *repositorio institucional*. Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/1583#:~:text=El%20dise%C3%B1o%20de%20los%20controladores,deseadas%20en%20regulaci%C3%B3n%20y%20seguimiento>

- Reyes, I., & Montaña, F. (junio de 2010). *MODELAMIENTO Y CONTROL DIGITAL DE TEMPERATURA PARA HORNO ELECTRICO*. Obtenido de MODELAMIENTO Y CONTROL DIGITAL DE TEMPERATURA PARA HORNO ELECTRICO: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/7044/tesis489.pdf>
- Roberto, P. C. (mayo de 2006). *DISEÑO PARA EL CONTROL AUTOMÁTICO* . Obtenido de DISEÑO PARA EL CONTROL AUTOMÁTICO : http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0582_EA.pdf
- Ruiz, F. A. (2021). *Diseño e implementación de controlador de temperatura en plataformas electrónicas*. Obtenido de Diseño e implementación de controlador de temperatura en plataformas electrónicas: <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/42373/aruizfe.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Salamanca, P., Lombana, B., & Holguín, P. (2010). *Uso de la robótica educativa como herramienta en los procesos de enseñanza*.
- Serracin, J., Moreno, I., Vasquez, T., & Bonilla, i. (julio de 2017). *prototipo de robot paralelo delta para fortalecer el proceso educativo a nivel superior*. Obtenido de prototipo de robot paralelo delta para fortalecer el proceso educativo a nivel superior: <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/memoutp/article/download/1484/html?inline=1>
- Torres , D., & Santos, B. (8 de agosto de 2016). *DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONTROL PID DE TEMPERATURA UN ATRAVES DE LA TOMA DE DATOS ATRAVES DE UNA PLACA ARDUINO Y SU PROCESAMIENTO EN EL SOFTWARE LABVIEW*. Obtenido de DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONTROL PID DE TEMPERATURA UN ATRAVES DE

LA TOMA DE DATOS ATRAVES DE UNA PLACA ARDUINO Y SU PROCESAMIENTO EN EL SOFTWARE LABVIEW:

<https://pdfcookie.com/documents/control-pid-de-temperatura-con-arduino-9lgryx096y2o>

Torres, Candelas, & Puente. (2003). *Laboratorios virtuales remotos para el aprendizaje practico de las asignaturas de ingenieria*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/39437520_Laboratorios_virtuales_remotos_para_el_aprendizaje_practico_de_asignaturas_de_ingenieria

Victor, M. H., Ramon, S., & Roberto , V. C. (2013). *CONTROL AUTOMATICO*. Mexico df, Mexico .

ANEXO 1: CODIGO ARDUINO CONTROL

LIBRERÍAS, DECLARACIÓN DE VARIABLES, LECTURA DE SENSOR, CONTROLADORES RST Y PID.

```
// ARDUINO MAESTRO CONTROL RST Y CONTROL PID
#include <TimerOne.h>
#include <Adafruit_MAX31865.h>

//LECTURA TERMOCUPLA
Adafruit_MAX31865 thermo = Adafruit_MAX31865(10);
double RREF = 430.0;
double RNOMINAL = 100.0;

// VARIABLES DE MODOS Y CONTROL
double pwmval;
int temp;
String pwmpid, r, modo, tipo;
String s, t, u, v, x, y, z,zz, zzz;
int MODO, condi, plenta, prapida, TL, CRST, CPID, TIPOL;
double VALORKP, VALORTI, VALORA1, VALORB1, VALORTD;
volatile double dT_V;
volatile unsigned long tiempo1;

/*****
  Parámetros controlador digital RST LENTA
*/
double b1;
double a1;
int setp1;
int pwmrst1;
```

```

// Estados sin desplazar y desplazados (Bloque de control de lazo de
realimentación)
double x2, x2s;

// Salida de controlador uk, entrada de controlador ek (Bloque de control de
lazo de realimentación)
double uk1;
double ek1;

// Estados sin desplazar y desplazados (Bloque de control de SetPoint)
double x2t, x2st;
// Salida de controlador uk, entrada de controlador ek (Bloque de control de
SetPoint)
double ukt1;
double ekt1;

/*****
Parámetros controlador digital RST RAPIDA
*/
double b;
double a;
int setp;
int pwrst;

// Estados sin desplazar y desplazados (Bloque de control de lazo de
realimentación)
double x1, x1s;

// Salida de controlador uk, entrada de controlador ek (Bloque de control de
lazo de realimentación)
double uk;
double ek;

// Estados sin desplazar y desplazados (Bloque de control de SetPoint)
double x1t, x1st;
// Salida de controlador uk, entrada de controlador ek (Bloque de control de
SetPoint)
double ukt;
double ekt;

//VARIABLE CONTROL PID planta rapida

```

```

float r11 = 0;
volatile float U1 = 0, U_11 = 0;
byte TS1 = 3;

float KP1, TI1, TD1;
float q01, q11, q21;
volatile float e1 = 0 , e_11 = 0, e_21 = 0;
//PLANTA LENTA

float k1 = 0.52, tau1 = 675;

//VARIABLE CONTROL PID planta rapida

float r1 = 0;
volatile float U = 0, U_1 = 0;
byte TS = 3;

float KP, TI, TD;
float q0, q1, q2;
volatile float e = 0 , e_1 = 0, e_2 = 0;

//PLANTA RAPIDA

float k = 0.559, tau = 283.7;

// millis multitarea

unsigned long premillis = 0;
unsigned long curmillis = 0;
const long interval = 3000;

void setup() {

    Serial.begin(9600);

//modo de pines digitales SUICHE
    pinMode(8, INPUT);
    pinMode(9, INPUT);

```

```

//iniciacion sensor
  thermo.begin(MAX31865_2WIRE);

// FUNCION DE MUESTREO CADA 3s
  Timer1.initialize(3000000);
  Timer1.attachInterrupt(ISR_RT);

//DECLARACION VARIABLES PWM
  modo = "0";
  pwmval = 0;
  digitalWrite(2, LOW);
  digitalWrite(4, LOW);
  digitalWrite(7, LOW);
  analogWrite(3, pwmval);
  analogWrite(5, pwmval);
  analogWrite(6, pwmval);
}

void loop() {

  curmillis = millis();
// MULTICILO ARDUINO MILLIS
  if (curmillis - premillis >= interval) {

    premillis = curmillis;

    //ENTRADA DE SUICHES
    plenta = digitalRead(8);
    prapida = digitalRead(9);

    //LECTURA SENSOR
    temp = thermo.temperature(RNOMINAL, RREF);

    //LECTURA DE DATOS LABVIEW
    String strs[20];
    int StringCount = 0;
    r = Serial.readString();

```

```

while (r.length() > 0)
{
    int index = r.indexOf('$');
    if (index == -1) // No space found
    {
        strs[StringCount++] = r;
        break;
    }
    else

    {
        strs[StringCount++] = r.substring(0, index);
        r = r.substring(index + 1);
    }
}
// RESULTADOS EN STRING
v = strs[3].toInt(); // temperatura setpoint
u = strs[2].toInt(); //VALOR KP PID
t = strs[1].toInt(); //control PID
s = strs[0].toInt(); //control RST
x = strs[4].toInt(); //LAZO CERRADO Y LAZO ABIERTO
y = strs[5].toInt(); //VALOR TI PID
z = strs[6].toInt(); //VALOR A1 RST
zz = strs[7].toInt(); //VALOR B1 RST
zzz = strs[8].toInt(); //VALOR B1 RST
// CONVERTIR VALORES DE STRING A INT
VALORKP = u.toFloat();
VALORTI = y.toFloat();
VALORA1= z.toFloat();
VALORB1= zz.toFloat();
VALORTD= zzz.toFloat();

CRST = s.toInt();
CPID = t.toInt();
TL = v.toInt();
TIPOL = x.toInt();
}

}

void ISR_RT()
{
    //PLANTA LENTA
    if (plenta == 1) {

```

```

modo = "777";
//ACTUADOR LUMINICO APAGADO PWM=0
analogWrite(5, 0);
analogWrite(3, 0);

//CONTROL LAZO CERRADO
if (TIPOL == 44) {

//CONTROL RST LENTA
if ( CRST == 4) {

//VALORES DE LABVIEW
a1= VALORA1;
b1= VALORB1;
//TEMPERATURA LECTURA SENSOR
ek1 = temp;
// Ecuaciones de estado bloque de lazo de realimentación
x2s = x2 + ek1;
// Salida de control de lazo de realimentación
uk1 = a1 * ek1 + b1 * x2;
// Actualización de estados
x2 = x2s;

// Entrada al bloque de control = setPoint
ekt1 = TL;
// Ecuaciones de estado bloque de control de setPoint
x2st = x2t + ekt1;
// Salida de control del bloque de setPoint
ukt1 = a1 * ekt1 + b1 * x2t;
// Actualización de estados
x2t = x2st;

// VALOR PWM
pwmrst1 = (ukt1 - uk1);

//SATURACION
if (pwmrst1 < 0) {
    pwmrst1 = 0;
}
if (pwmrst1 > 190) {
    pwmrst1 = 190;
}
}
}

```

```

//ESCRIBIR VALOR PWM
analogWrite(6, pwmrst1);
// OTRA PLANTA VALOR= 0
analogWrite(3, 0);
analogWrite(5, 0);

pwmrst=pwmrst1;

}

//CONTROL PID PLANTA LENTA
if ( CPID == 3) {
//DEFINICION KP TI
KP1 = VALORKP;
TI1 = VALORTI;
TD1 = VALORTD;

//CONSTRUCCION CONTROLADOR PI
q01 = KP1 * (1 + TS1 / (2 * TI1) + (TD1 / TI1));
q11 = KP1 * (1 - TS1 / (2 * TS1) + (TD1 / TI1));
q21 = TD1 / TS1;

//SET POINT TEMPERATURA IDEAL
r11 = TL;

e1 = (r11 - temp);
U1 = U_11 + q01 * e1 + q11 * e_11 + q21 * e_21;

//SATURACION
if (U1 < 0){
    U1 = 0;
}
if (U1 > 190){
    U1 = 190;
}
//ACTUALIZACION DE VARIABLES
e_21 = e_11;
e_11 = e1;
U_11 = U1;

//ESCRIBIR VALOR PWM
analogWrite(6, U1);
U=U1;

```

```

}
}
    // MODO LAZO ABIERTO
if (TIPOL == 55) {

    if ( CPID == 3) {
analogWrite(6, U);
    }
    if ( CRST == 4) {

analogWrite(6, pwmrst);
    }

}
}
/*

// CODIGO PLANTA LUMINICA

*/
// PLANTA RAPIDA LUMINICA
if ( prapida == 1) {

modo = "888";
analogWrite(6, 0);

//CONTROL LAZO CERRADO
if (TIPOL == 44) {
    //CONTROL PID RAPIDA
    if ( CPID == 3) {

        //VALORES DEL CONTROLADOR KP, TI
        KP = VALORKP;
        TI = VALORTI;
        TD = VALORTD;

        //DEFINICION DE VARIABLES DEL CONTROLADOR
        q0 = KP * (1 + (TS / 2*(TI)));
        q1 = -KP * (1 - (TS / 2*(TI)));
        q2 = KP * TD / TS;
    }
}
}
}
}

```

```

//SET POINT- TEMPERATURA IDEAL
r1 = TL;

e = (r1 - temp);
U = U_1 + q0 * e + q1 * e_1 + q2 * e_2;

// CONTROL DE SATURACION ACTUADORES
if (U < 30) {
    U = 30;
}
if (U > 190) {
    U = 190;
}
e_2 = e_1;
e_1 = e;
U_1 = U;

//ESCRIBIR PWM EN ACTUADOR

analogWrite(5, U);
analogWrite(3, U);

}

//CONTROL RST RAPIDA
if ( CRST == 4) {

a= VALORA1;
b= VALORB1;
ek = temp;
// Ecuaciones de estado bloque de lazo de realimentación
x1s = x1 + ek;
// Salida de control de lazo de realimentación
uk = a * ek + b * x1;
// Actualización de estados
x1 = x1s;
// Entrada al bloque de control = setPoint
ekt = TL;
// Ecuaciones de estado bloque de control de setPoint
x1st = x1t + ekt;
// Salida de control del bloque de setPoint
ukt = a * ekt + b * x1t;
// Actualización de estados

```

```

x1t = x1st;
pwmrst = (ukt - uk);
//FILTRO DE SATURACION
if (pwmrst < 30) {
    pwmrst = 30;
}
if (pwmrst > 210) {
    pwmrst = 210;
}
analogWrite(3, pwmrst);
analogWrite(5, pwmrst);
}

}
// MODO LAZO ABIERTO
if (TIPOL == 55) {

    if ( CPID == 3) {
        analogWrite(3,U);
        analogWrite(5, U);
    }
    if ( CRST == 4) {

        analogWrite(3, pwmrst);
        analogWrite(5, pwmrst);
    }

}
}
// MODO DE ESCOGER LA PLANTA(NO ENCENDER LOS DOS SUICHES)
if ( prapida == 0 & plenta == 0) {
    modo = "0";
    analogWrite(3, 0);
    analogWrite(5, 0);
    analogWrite(6, 0);
}
if ( prapida == 1 & plenta == 1) {
    modo = "0";
    analogWrite(3, 0);
    analogWrite(5, 0);
    analogWrite(6, 0);
}
}

```

```
/*
 *
 *
 */

// IMPRIMIR VARIABLES
Serial.println();
Serial.print("$");
Serial.print(modo);
Serial.print("$");
Serial.print(temp);
Serial.print("$");
Serial.print(U);
Serial.print("$");
Serial.print(pwmrst);
Serial.print("$");
Serial.print(CRST);
Serial.print("$");
Serial.print(CPID);
Serial.print("$");
Serial.print(TL);
Serial.print("$");

}
```

ANEXO 2 CÓDIGO PANTALLA ARDUINO

```
// CODIGO PANTALLA ESCLAVO
#include <Adafruit_TFTLCD.h>
#include <Adafruit_GFX.h>

#define LCD_CS A3
#define LCD_CD A2
#define LCD_WR A1
#define LCD_RD A0
#define LCD_RESET A4

#define BLACK    0x0000
#define BLUE     0x001F
#define RED      0xF800
#define GREEN    0x07E0
#define CYAN    0x07FF
#define MAGENTA 0xF81F
#define YELLOW   0xFFE0
#define WHITE    0xFFFF

float volt = 0;
int t,p,q;

int adcRaw = 0;
double x = 20;
double C;
String r;

Adafruit_TFTLCD tft(LCD_CS, LCD_CD, LCD_WR, LCD_RD, LCD_RESET);

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  tft.reset();

  uint16_t identifier = tft.readID();

  if (identifier == 0x9325) {
    Serial.println(F("Found ILI9325 LCD driver"));
  } else if (identifier == 0x9328) {
    Serial.println(F("Found ILI9328 LCD driver"));
  } else if (identifier == 0x7575) {
```

```

    Serial.println(F("Found HX8347G LCD driver"));
} else if (identifier == 0x9341) {
    Serial.println(F("Found ILI9341 LCD driver"));
} else if (identifier == 0x8357) {
    Serial.println(F("Found HX8357D LCD driver"));
} else {
    Serial.print(F("Unknown LCD driver chip: "));
    Serial.println(identifier, HEX);
    Serial.println(F("If using the Adafruit 2.4\" TFT Arduino shield, the
line:"));
    Serial.println(F(" #define USE_ADAFRUIT_SHIELD_PINOUT"));
    Serial.println(F("should appear in the library header (Adafruit_TFT.h)."));
    Serial.println(F("If using the breakout board, it should NOT be
#define'd!"));
    Serial.println(F("Also if using the breakout, double-check that all
wiring"));
    Serial.println(F("matches the tutorial."));
    return;
}

tft.begin(identifier);

tft.setRotation(1);
tft.fillScreen(BLACK);

tft.setCursor(30,30);
tft.setTextColor(WHITE);
tft.setTextSize(3);
tft.print("PLANTA DE TEMP");

tft.setCursor(70,100);

tft.setTextColor(BLUE);
tft.setTextSize(1.7);
tft.print("DAVID SAMBONI");

tft.setCursor(70,115);
tft.setTextColor(BLUE);
tft.setTextSize(1.7);
tft.print("SEBASTIAN ORTIZ");

```

```

tft.fillRect(40,150,190,60,RED);
tft.drawRect(40,150,190,60,WHITE);
tft.setCursor(55,175);
tft.setTextColor(WHITE);
tft.setTextSize(2.8);
tft.print("UNICOMFACAUCA");

delay(4000);
tft.fillScreen(BLACK);
}

void loop(){

    tft.fillRect(10,10,115,35,BLACK);
    tft.setCursor(10,10);
    tft.setTextColor(CYAN);
    tft.setTextSize(2);
    tft.print(t);

    tft.setCursor(40,10);
    tft.setTextColor(WHITE);
    tft.setTextSize(2);
    tft.print("temp");

    tft.setCursor(100,10);
    tft.setTextColor(CYAN);
    tft.setTextSize(2);
    tft.print(p);

    tft.setCursor(190,10);
    tft.setTextColor(CYAN);
    tft.setTextSize(2);
    tft.print(q);

    tft.setCursor(220,10);
    tft.setTextColor(WHITE);
    tft.setTextSize(2);
    tft.print("PWM");

    tft.setCursor(140,10);
    tft.setTextColor(WHITE);

```

```

tft.setTextSize(2);
tft.print("PWM");

tft.setCursor(0,45);
tft.setTextColor(WHITE);
tft.setTextSize(C);
tft.print("130");
tft.setCursor(0,75);
tft.setTextColor(WHITE);
tft.setTextSize(C);
tft.print("110");
  tft.setCursor(0,105);
tft.setTextColor(WHITE);
tft.setTextSize(C);
tft.print("90");

tft.setCursor(0,135);
tft.setTextColor(WHITE);
tft.setTextSize(C);
tft.print("70");
tft.setCursor(0,165);
tft.setTextColor(WHITE);
tft.setTextSize(C);
tft.print("50");
tft.setCursor(0,195);
tft.setTextColor(WHITE);
tft.setTextSize(C);
tft.print("30");
tft.setCursor(0,220);
tft.setTextColor(WHITE);
tft.setTextSize(C);
tft.print("10");
tft.setCursor(4,230);
tft.setTextColor(RED);
tft.setTextSize(C);
tft.print("T");

tft.drawRect(20,30,299,210,MAGENTA);
tft.drawCircle(x, map(t, 25, 150, 200, 60), 1, GREEN);
x=x+3;
if(x>318){
  x=20;

```

```

    tft.fillRect(20,90,318,110,BLACK);
}

String strs[20];
int StringCount = 0;
r=Serial.readString();

while (r.length() > 0)
{
    int index = r.indexOf('$');
    if (index == -1) // No space found
    {
        strs[StringCount++] = r;
        break;
    }
    else
    {
        strs[StringCount++] = r.substring(0, index);
        r = r.substring(index+1);
    }
}

// Show the resulting substrings

p= strs[3].toInt();
q= strs[4].toInt();
t= strs[2].toInt();
Serial.println(p);
Serial.println(t);
Serial.println(q);

    delay(1000);
}

```

ANEXO 3 MANUAL DE USUARIO

MANUAL DE USO DE PLANTA DE TEMPERATURA IMPLEMENTADO A CONTROL PID Y CONTROL RST

TABLA

introducción	106
Alcance	106
DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO 106	
Instrumentación para control de temperatura planta con resistencia térmica.....	106
Instrumentación de planta de temperatura lumínica	107
Especificaciones de los dos tipos de plantas	109
HARDWARE	110
Requerimientos de hardware	110
descripción del hardware	111
descripción de elementos del hardware	112
parte uno (selección de planta)	112
parte dos (pantalla y disturbio)	113
parte tres (cajas de control y sensor)	114
SOFTWARE LABVIEW	115
REQUERIMIENTOS PARA LA SIMULACION.....	115
DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE	115
INTERFAZ PRINCIPAL	116
DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE LA INTERFAZ	116
EJECUCION DE LA SIMULACION	117
CONEXIÓN Y ORGANIZACIÓN DE CÓDIGOS 117	
PRIMER PASO (VERIFICACION DE CODIGOS)	117
SEGUNDO PASO (SUBIR ARCHIVO MAESTRO)	118
TERCER PASO (VERIFICAR INTERFAZ DE USUARIO)	129
CUARTO PASO OPCIONAL (CODIGO PANTALLA TFT 2.4 in)	129

EJECUCIÓN DE LA SIMULACIÓN	135
PASO 1(ENLACE Y EJECUCIÓN DE INTERFAZ)	135
PASO 2 (ESCOGE TIPO DE PLANTA)	137
PASO 3(ESCOGE EL TIPO DE CONTROL QUE DESEAS USAR)	139
PASO 4 (SOLO SI ESCOGISTE EL MODO RST).....	140
PASO 5 (SOLO SI ESCOGISTE EL CONTROL PID).....	142
PASO 6	144
DISTURBIO PLANTA LUMINOSA	146

Tabla figuras

Figura 1. Parte física del prototipo.....	112
Figura 2. Parte uno del prototipo (selección de modo).....	113
Figura 3. Parte dos del prototipo (pantalla y disturbio)	114
Figura 4. Parte tres del prototipo (cajas de control y sensor)	114
Figura 5. Software de simulación de planta de temperatura en LabVIEW.	116
Figura 6. Simulación de LabVIEW dividida en cinco apartados.	116
Figura 7. Archivo Arduino MAESTRO.	118
Figura 8. Código subido a Arduino maestro.	129
Figura 9. Código interfaz de LabVIEW	129
Figura 10. Código subido Arduino pantalla	129
Figura 11. Puerto de conexión exitoso LABVIEW.	135
Figura 12. Botón ok, apartado 5.....	135
Figura 13. Botón run e inicio del programa.....	136
Figura 14. Verificación de temperatura correcta sensor.	136

Figura 15. Sensor introducido en la caja de control lumínico	137
Figura 16. Sensor introducido en la caja de control con resistencia térmica.....	137
Figura 17. Escoge la planta en la parte del hardware del prototipo.	138
Figura 18. Temperatura deseada de planta lumínica ESTADO ON	139
Figura 19. Temperatura deseada de planta con resistencia térmica ESTADO ON.	139
Figura 20. CONTROL RST control elegido por el usuario.	139
Figura 21. CONTROL PID control elegido por el usuario.	139
Figura 22. ESCRIBE LOS VALORES EN LA CASILLAS	142
Figura 23. ESCRIBE LAS VARIABLES DEL CONTROLADOR PID.	144
Figura 24. Barra y grafica del valor PWM iniciada en 30	144
Figura 25. Variar la temperatura deseada.	145
Figura 26. Valor temperatura deseada mayor a temperatura del sensor.....	145
Figura 27. Grafica TEMPERATURA y VALOR PWM, aplicando disturbio.	146

TABLA

Tabla 1. Descripción de sensor, actuadores y módulos, para la planta lenta. (fuente propia).....	107
Tabla 2. Descripción de sensor, actuadores y módulos, para la planta rápida. (fuente propia).....	108
Tabla 3. Descripción de las plantas de temperatura	109
Tabla 4. Elementos necesarios para el funcionamiento.	110
Tabla 3. Elementos necesarios para la simulación.....	115
Tabla 4. Descripción de archivos en la simulación.....	117
Tabla 6. Descripción del modo P y modo PI.....	142

introducción

El presente manual de instrucciones busca brindar asistencia al personal estudiantil para realizar una práctica de control usando una planta de temperatura en la Corporación universitaria Comfacauca, el cual muestra de manera general los procedimientos para ejecutar correctamente la práctica de laboratorio, con el fin de facilitar la comprensión del material usado para el correcto funcionamiento del prototipo, con ayuda de un programa para diseñar aplicaciones con adquisiciones de datos llamado LabVIEW se implementó un software visual, en el cual se visualiza los datos de la planta de temperatura en tiempo real.

Alcance

El manual de instrucciones está dirigido a el alumnado de la Corporación universitaria Comfacauca, con el fin de adquirir una herramienta de trabajo que permita el desarrollo de conocimiento y la apropiación de saberes visto en la materia que implementa controles PID Y RST mediante un prototipo de planta de temperatura y una interfaz de visualización creada en el programa LabVIEW.

DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO

La presente guía se basa en dos partes, como parte principal se tiene una introducción a los elementos que requieren el uso del prototipo, lo cual se componen de la estructura física y electrónica implementada. Como segunda parte se describe el software de simulación, en el cual se ilustra los datos de la temperatura y el estado de los actuadores en una interfaz visual, para la creación se utilizó un programa llamado LabVIEW.

Como parte fundamental del prototipo, se presenta dos tipos de plantas, las cuales tienen especificaciones diferentes, referente a el tipo de actuadores que se usan, el tiempo de estabilización de la planta y los rangos de temperatura.

Instrumentación para control de temperatura planta con resistencia térmica

Se plantea el control utilizando un sensor de temperatura y como actuador una resistencia eléctrica, la información correspondiente se encuentra en la tabla 5.

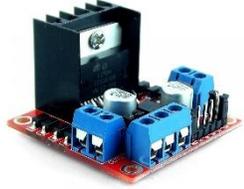
Tabla 26. Descripción de sensor, actuadores y módulos, para la planta lenta. (fuente propia)

	Nombre	Características	Imagen
Sensor	Termocupla Pt100	Temperatura: - 50°C a 400°C Dimensiones: 4 x 30 mm / (diámetro x largo) Longitud cable: 1 metro	
Módulo del sensor	Max31865	Resolución ADC de 15 bits Conversión simple de la resistencia RTD de platino al valor digital.	
actuador	Cartucho Calentador	Voltaje 12v Potencia 40w Corriente 3.3 A Diámetro 6mm Longitud 20 mm	
Modulo del actuador	Puente H L298N	Canales: 2 Voltaje lógico: 5v DC Capacidad de corriente: 2A a 3A	

Instrumentación de planta de temperatura lumínica

Se plantea el control utilizando un sensor de temperatura y como actuador un bombillo incandescente de 12v DC, la información correspondiente se encuentra en la tabla 6.

Tabla 27. Descripción de sensor, actuadores y módulos, para la planta rápida. (fuente propia)

	Nombre	Características	Imagen
Sensor	Termocupla Pt100	Temperatura: -50°C a 400°C Dimensiones: 4 x 30 mm / (diámetro x largo) Longitud cable: 1 metro	
Modulo del sensor	Max31865	Resolución ADC de 15 bits Conversión simple de la resistencia RTD de platino al valor digital.	
actuador	Bombillo incandescente	Voltaje 12v Potencia 10w Corriente 1.5 ^a	
Modulo del actuador	Puente H L298N	Canales: 2 Voltaje lógico: 5v DC Capacidad de corriente: 2A a 3A	

Especificaciones de los dos tipos de plantas

Tabla 28. Descripción de las plantas de temperatura

Tipo de planta	Planta con resistencia térmica(LENTA)	Planta lumínica (RAPIDA)
Descripción	Planta de temperatura con actuadores cilíndricos los cuales se calentarán mediante de una barra de aluminio	Planta de temperatura con actuadores de tipo bombillo incandescente la cuales brindaran calor a un ambiente cerrado
Tipo de actuador	Cartucho cilíndrico calentador 12 V DC	Bombillo incandescente 12 V DC
Tipo de sensor	Termocupla pt100	Termocupla pt100
Tiempo de simulación	20 a 30 min	8 a 15 min
Temperatura máxima	120	80
Temperatura mínima	30g	30g
Tiempo de establecimiento de la temperatura	1800 seg o 10 min	700 seg o 12 min

Función de transferencia de la planta	$\frac{0.002321}{s + 0.003567}$	$\frac{0.0007732}{s + 0.001481}$
Datos controlador RST	<p>A=1.8268</p> <p>B=0.5734</p>	<p>A= 2.0728</p> <p>B=0.5</p>
DATOS CONTROLADOR PID	<p>KP=1.2</p> <p>TI=5.8</p>	<p>Kp=1.3</p> <p>Ti=4.9</p>

HARDWARE

Requerimientos de hardware

elementos necesarios para el funcionamiento eléctrico.

Tabla 29. Elementos necesarios para el funcionamiento.

elemento	descripción	ilustración
cable de poder fuente	cable de 110 v AC para alimentar los actuadores a 12v.	

cable usb-arduino largo	cable para el Arduino, enfocado en control	
cable usb-arduino corto	cable para Arduino, enfocado en pantalla	

descripción del hardware

Se presenta la estructural de un prototipo de la planta de temperatura el cual albergará la parte electrónica del prototipo, por consiguiente, se ilustra los elementos que componen la estructura, el prototipo se compone de tres partes, una encargada de simular dos tipos de plantas, la segunda encargada de ilustrar los datos obtenidos mediante una pantalla y la tercera contiene las cajas de control las cuales albergara el sensor y los actuadores. La estructura se ilustra en la figura 58.



Figura 59. Parte física del prototipo.

descripción de elementos del hardware

se describe los elementos que tiene el prototipo para la correcta ejecución de la practica parte uno (selección de planta)

los siguientes elementos ilustrados en la figura 59 componen la parte de selección de tipo de planta de temperatura, el cual se tiene dos modos, el primero el modo lumínico y el segundo que es llamado modo con resistencia térmica, el cual tiene sus leds que avisan si está en el modo que desea el usuario.



Figura 60. Parte uno del prototipo (selección de modo)

parte dos (pantalla y disturbio)

los siguientes elementos ilustrados en la figura 60 componen la parte de ilustración y disturbio de la planta lumínica, la cual tiene como intención graficar los datos mediante una pantalla tft de 2.4 in. Contiene un suich el cual ocasionará un disturbio EXCLUSIVAMENTE en la planta lumínica.



Figura 61. Parte dos del prototipo (pantalla y disturbio)

parte tres (cajas de control y sensor)

los siguientes elementos ilustrados en la figura 61, se clasifican en dos cajas transparentes de control que contienen los actuadores de brindaran calor a el tipo de planta que deseen utilizar y también contiene un UNICO sensor cilíndrico el cual es el que ayudara a medir la temperatura dentro de la caja de control que el usuario desea simular.

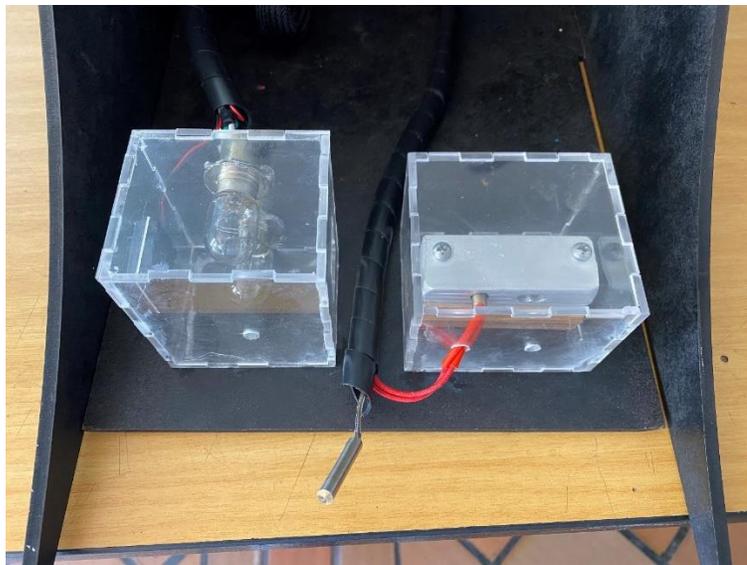


Figura 62. Parte tres del prototipo (cajas de control y sensor)

SOFTWARE LABVIEW

REQUERIMIENTOS PARA LA SIMULACIÓN.

requerimientos necesarios para ejecutar la simulación.

Tabla 30. Elementos necesarios para la simulación.

Elemento	descripción	ilustración
USB-LLAVE DE PROGRAMA	El USB contiene el código de Arduino y programa con la simulación que hará funcionar el prototipo con la simulación.	

DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE

El software de visualización implementado en el programa LabVIEW, se presenta como apoyo al proceso de enseñanza-aprendizaje de procesos de controladores automáticos a través de la interacción del estudiante con un sistema de control visual, en el cual el usuario puede observar la curva de la temperatura, la curva de la salida del controlador y también puede ejecutar los modos de uso que tiene la planta, también puede variar la temperatura que desea el usuario mediante variadores en la pantalla de la simulación. Se presenta la interfaz visual implementada en el programa LABVIEW en la figura 62.

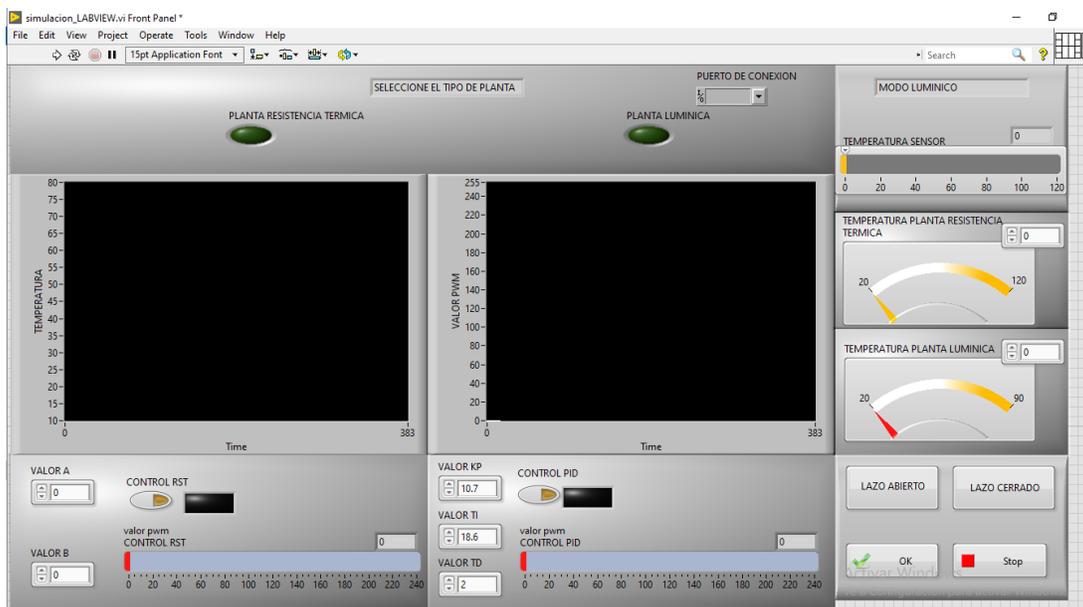


Figura 63. Software de simulación de planta de temperatura en LabVIEW.

INTERFAZ PRINCIPAL

El software está compuesto en cinco partes, el primer apartado se compone de el puerto de conexión y modo de planta, el segundo se observa las gráficas de la temperatura y la señal de pwm. El tercero contiene el apartado del valor de la temperatura actual y la temperatura deseada. El cuarto apartado contiene los modos de control que se tienen. El quinto apartado contiene el inicio y stop del software, el modo en lazo abierto y lazo cerrado. En la figura 63 se observa las partes en las que está dividida la simulación.

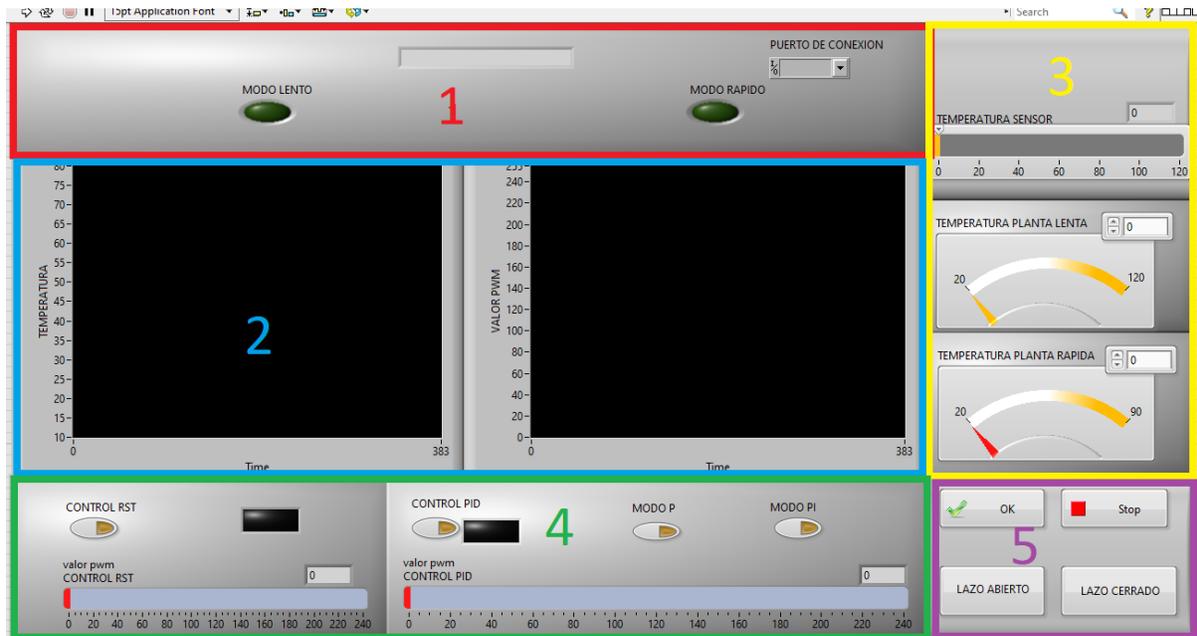


Figura 64. Simulación de LabVIEW dividida en cinco apartados.

DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE LA INTERFAZ

1. Permite escoger el puerto en el cual se realiza la conexión a Arduino y se visualiza en qué tipo de modo en el que se realizará la práctica. la ejecución de este bloque es el principal debido a que el usuario debe seleccionar mediante los switches implementados en la estructura, seleccionar unos del modo de la planta, se desbloqueara la temperatura deseada ubicada en el apartado 3.
2. Permite visualizar las gráficas del valor de la temperatura y el valor del pwm enviado al actuador.

3. Permite visualizar la temperatura mediante una barra amarilla y en este apartado se podrá escoger la temperatura deseada que se enviará al controlador, en este caso nuestro setpoint.
4. Permite escoger un tipo de controlador, está dividido en control RST y PID, en el cual se pueden escoger el tipo de controlador que utilizaremos mediante un switch de color amarillo implementado en a la pantalla de la simulación. adicional a esto el modo PID tiene un modo de controlador PROPORCIONAL Y un controlador PROPORCIONAL INTEGRAL, en el cual tendrán que escoger alguno de los modos y lograr analizar la señal.
5. Permite iniciar la simulación, parar la simulación y adicionalmente se puede seleccionar el modo de lazo cerrado y lazo abierto el cual el estudiante puede observar que pasa en cada uno de los modos

EJECUCIÓN DE LA SIMULACIÓN

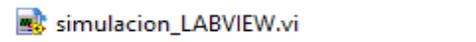
CONEXIÓN Y ORGANIZACIÓN DE CÓDIGOS

PRIMER PASO (VERIFICACIÓN DE CÓDIGOS)

Se procede a verificar si la USB contiene los códigos necesarios para la ejecución de la práctica y simulación del software. En la tabla 31 se describe los archivos utilizados en la simulación.

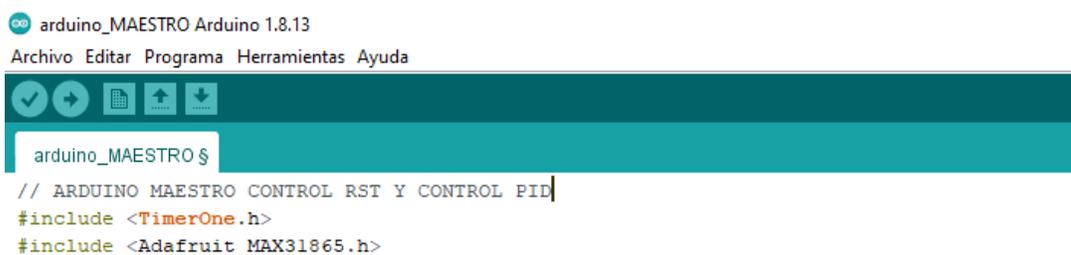
Tabla 31. Descripción de archivos en la simulación.

Archivo	Descripción	Imagen
Arduino_MAESTRO.ino	Este archivo con tiene el programa de Arduino donde se encuentra la lectura del sensor, control de las variables de la	

Arduino_pantalla.ino	<p>planta, envío de datos entre otros.</p> <p>Este archivo contiene el programa encargado de leer las variables enviadas por el Arduino maestro y las grafica en una pantalla tft.</p>	 arduino_MAESTROT Arduino IDE 2.0.4
Simulación_LABVIEW.vi	<p>Archivo que contiene la simulación de la planta de temperatura.</p>	 simulacion_LABVIEW.vi

SEGUNDO PASO (SUBIR ARCHIVO MAESTRO)

se inicia implementar la información de la memoria USB. Se procede a abrir el archivo con nombre Arduino_MAESTRO.ino como se ilustra en la figura 64, en el cual contiene el código de los controladores, lectura y procesamiento de datos implementados para el control de la temperatura. A este Arduino le subiremos dicho código.



```

arduino_MAESTRO Arduino 1.8.13
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
arduino_MAESTRO $
// ARDUINO MAESTRO CONTROL RST Y CONTROL PID
#include <TimerOne.h>
#include <Adafruit_MAX31865.h>

```

Figura 65. Archivo Arduino MAESTRO.

CÓDIGO ARDUINO MAESTRO

```

// ARDUINO MAESTRO CONTROL RST Y CONTROL PID
#include <TimerOne.h>
#include <Adafruit_MAX31865.h>

//LECTURA TERMOCUPLA

```

```

Adafruit_MAX31865 thermo = Adafruit_MAX31865(10);
double RREF = 430.0;
double RNOMINAL = 100.0;

// VARIABLES DE MODOS Y CONTROL
double pwmval;
int temp;
String pwmpid, r, modo, tipo;
String s, t, u, v, x, y, z,zz, zzz;
int MODO, condi, plenta, prapida, TL, CRST, CPID, TIPOL;
double VALORKP, VALORTI, VALORA1, VALORB1, VALORTD;
volatile double dT_V;
volatile unsigned long tiempo1;

/*****
  Parámetros controlador digital RST LENTA
*/
double b1;
double a1;
int setp1;
int pwrst1;

// Estados sin desplazar y desplazados (Bloque de control de lazo de
realimentación)
double x2, x2s;

// Salida de controlador uk, entrada de controlador ek (Bloque de control de
lazo de realimentación)
double uk1;
double ek1;

// Estados sin desplazar y desplazados (Bloque de control de SetPoint)
double x2t, x2st;
// Salida de controlador uk, entrada de controlador ek (Bloque de control de
SetPoint)
double ukt1;
double ekt1;

/*****
  Parámetros controlador digital RST RAPIDA
*/
double b;

```

```

double a;
int setp;
int pwmrst;

// Estados sin desplazar y desplazados (Bloque de control de lazo de
realimentación)
double x1, x1s;

// Salida de controlador uk, entrada de controlador ek (Bloque de control de
lazo de realimentación)
double uk;
double ek;

// Estados sin desplazar y desplazados (Bloque de control de SetPoint)
double x1t, x1st;
// Salida de controlador uk, entrada de controlador ek (Bloque de control de
SetPoint)
double ukt;
double ekt;

//VARIABLE CONTROL PID planta rapida

float r11 = 0;
volatile float U1 = 0, U_11 = 0;
byte TS1 = 3;

float KP1, TI1, TD1;
float q01, q11, q21;
volatile float e1 = 0 , e_11 = 0, e_21 = 0;
//PLANTA LENTA

float k1 = 0.52, tau1 = 675;

//VARIABLE CONTROL PID planta rapida

float r1 = 0;
volatile float U = 0, U_1 = 0;
byte TS = 3;

float KP, TI, TD;
float q0, q1, q2;
volatile float e = 0 , e_1 = 0, e_2 = 0;

```

```

//PLANTA RAPIDA

float k = 0.559, tau = 283.7;

// millis multitarea

unsigned long premillis = 0;
unsigned long curmillis = 0;
const long interval = 3000;

void setup() {

    Serial.begin(9600);

//modo de pines digitales SUICHE
    pinMode(8, INPUT);
    pinMode(9, INPUT);

//iniciacion sensor
    thermo.begin(MAX31865_2WIRE);

// FUNCION DE MUESTREO CADA 3s
    Timer1.initialize(3000000);
    Timer1.attachInterrupt(ISR_RT);

//DECLARACION VARIABLES PWM
    modo = "0";
    pwmval = 0;
    digitalWrite(2, LOW);
    digitalWrite(4, LOW);
    digitalWrite(7, LOW);
    analogWrite(3, pwmval);
    analogWrite(5, pwmval);
    analogWrite(6, pwmval);

```

```

}

void loop() {

    curmillis = millis();
    // MULTICILO ARDUINO MILLIS
    if (curmillis - premillis >= interval) {

        premillis = curmillis;

        //ENTRADA DE SUICHES
        plenta = digitalRead(8);
        prapida = digitalRead(9);

        //LECTURA SENSOR
        temp = thermo.temperature(RNOMINAL, RREF);

        //LECTURA DE DATOS LABVIEW
        String strs[20];
        int StringCount = 0;
        r = Serial.readString();
        while (r.length() > 0)
        {
            int index = r.indexOf('$');
            if (index == -1) // No space found
            {
                strs[StringCount++] = r;
                break;
            }
            else

            {
                strs[StringCount++] = r.substring(0, index);
                r = r.substring(index + 1);
            }
        }
        // RESULTADOS EN STRING
        v = strs[3].toInt(); // temperatura setpoint
        u = strs[2].toInt(); //VALOR KP PID
        t = strs[1].toInt(); //control PID
    }
}

```

```

s = strs[0].toInt(); //control RST
x = strs[4].toInt(); //LAZO CERRADO Y LAZO ABIERTO
y = strs[5].toInt(); //VALOR TI PID
z = strs[6].toInt(); //VALOR A1 RST
zz = strs[7].toInt(); //VALOR B1 RST
zzz = strs[8].toInt(); //VALOR B1 RST
// CONVERTIR VALORES DE STRING A INT
VALORKP = u.toFloat();
VALORTI = y.toFloat();
VALORA1= z.toFloat();
VALORB1= zz.toFloat();
VALORTD= zzz.toFloat();

CRST = s.toInt();
CPID = t.toInt();
TL = v.toInt();
TIPOL = x.toInt();
}
}

void ISR_RT()
{
//PLANTA LENTA
if ( plenta == 1) {
modo = "777";
//ACTUADOR LUMINICO APAGADO PWM=0
analogWrite(5, 0);
analogWrite(3, 0);

//CONTROL LAZO CERRADO
if (TIPOL == 44) {

//CONTROL RST LENTA
if ( CRST == 4) {

//VALORES DE LABVIEW
a1= VALORA1;
b1= VALORB1;
//TEMPERATURA LECTURA SENSOR
ek1 = temp;
// Ecuaciones de estado bloque de lazo de realimentación

```

```

x2s = x2 + ek1;
// Salida de control de lazo de realimentación
uk1 = a1 * ek1 + b1 * x2;
// Actualización de estados
x2 = x2s;

// Entrada al bloque de control = setPoint
ekt1 = TL;
// Ecuaciones de estado bloque de control de setPoint
x2st = x2t + ekt1;
// Salida de control del bloque de setPoint
ukt1 = a1 * ekt1 + b1 * x2t;
// Actualización de estados
x2t = x2st;

// VALOR PWM
pwmrst1 = (ukt1 - uk1);

//SATURACION
if (pwmrst1 < 0) {
    pwmrst1 = 0;
}
if (pwmrst1 > 190) {
    pwmrst1 = 190;
}
//ESCRIBIR VALOR PWM
analogWrite(6, pwmrst1);
// OTRA PLANTA VALOR= 0
analogWrite(3, 0);
analogWrite(5, 0);

pwmrst=pwmrst1;
}

//CONTROL PID PLANTA LENTA
if ( CPID == 3) {
    //DEFINICION KP TI
    KP1 = VALORKP;
    TI1 = VALORTI;
    TD1 = VALORTD;

    //CONSTRUCCION CONTROLADOR PI

```

```

q01 = KP1 * (1 + TS1 / (2 * TI1) + (TD1 / TI1));
q11 = KP1 * (1 - TS1 / (2 * TS1) + (TD1 / TI1));
q21 = TD1 / TS1;

//SET POINT TEMPERATURA IDEAL
r11 = TL;

e1 = (r11 - temp);
U1 = U_11 + q01 * e1 + q11 * e_11 + q21 * e_21;

//SATURACION
if (U1 < 0){
    U1 = 0;
}
if (U1 > 190){
    U1 = 190;
}
//ACTUALIZACION DE VARIABLES
e_21 = e_11;
e_11 = e1;
U_11 = U1;

//ESCRIBIR VALOR PWM
analogWrite(6, U1);
U=U1;
}
}

// MODO LAZO ABIERTO
if (TIPOL == 55) {

    if ( CPID == 3) {
analogWrite(6, U);
    }
    if ( CRST == 4) {

analogWrite(6, pwmrst);
    }
}

}
}
/*

```

```

// CODIGO PLANTA LUMINICA

*/
// PLANTA RAPIDA LUMINICA
if ( prapida == 1) {

modo = "888";
analogWrite(6, 0);

//CONTROL LAZO CERRADO
if (TIPOL == 44) {
//CONTROL PID RAPIDA
if ( CPID == 3) {

//VALORES DEL CONTROLADOR KP, TI
KP = VALORKP;
TI = VALORTI;
TD = VALORTD;

//DEFINICION DE VARIABLES DEL CONTROLADOR
q0 = KP * (1 + (TS / 2*(TI)));
q1 = -KP * (1 - (TS / 2*(TI)));
q2 = KP * TD / TS;

//SET POINT- TEMPERATURA IDEAL
r1 = TL;

e = (r1 - temp);
U = U_1 + q0 * e + q1 * e_1 + q2 * e_2;

// CONTROL DE SATURACION ACTUADORES
if (U < 30) {
U = 30;
}
if (U > 190) {
U = 190;
}
e_2 = e_1;
e_1 = e;
U_1 = U;

//ESCRIBIR PWM EN ACTUADOR

```

```

        analogWrite(5, U);
        analogWrite(3, U);

    }

    //CONTROL RST RAPIDA
    if ( CRST == 4) {

        a= VALORA1;
        b= VALORB1;
        ek = temp;
        // Ecuaciones de estado bloque de lazo de realimentación
        x1s = x1 + ek;
        // Salida de control de lazo de realimentación
        uk = a * ek + b * x1;
        // Actualización de estados
        x1 = x1s;
        // Entrada al bloque de control = setPoint
        ekt = TL;
        // Ecuaciones de estado bloque de control de setPoint
        x1st = x1t + ekt;
        // Salida de control del bloque de setPoint
        ukt = a * ekt + b * x1t;
        // Actualización de estados
        x1t = x1st;
        pwmrst = (ukt - uk);
        //FILTRO DE SATURACION
        if (pwmrst < 30) {
            pwmrst = 30;
        }
        if (pwmrst > 210) {
            pwmrst = 210;
        }
        analogWrite(3, pwmrst);
        analogWrite(5, pwmrst);
    }

}

// MODO LAZO ABIERTO
if (TIPOL == 55) {

    if ( CPID == 3) {

```

```

    analogWrite(3,U);
    analogWrite(5, U);
  }
  if ( CRST == 4) {

    analogWrite(3, pwmrst);
    analogWrite(5, pwmrst);
  }

}
}
// MODO DE ESCOGER LA PLANTA(NO ENCENDER LOS DOS SUICHES)
if ( prapida == 0 & plenta == 0) {
  modo = "0";
  analogWrite(3, 0);
  analogWrite(5, 0);
  analogWrite(6, 0);
}
if ( prapida == 1 & plenta == 1) {
  modo = "0";
  analogWrite(3, 0);
  analogWrite(5, 0);
  analogWrite(6, 0);
}

/*
*
*
*/

// IMPRIMIR VARIABLES
Serial.println();
Serial.print("$");
Serial.print(modo);
Serial.print("$");
Serial.print(temp);
Serial.print("$");
Serial.print(U);
Serial.print("$");
Serial.print(pwmrst);
Serial.print("$");
Serial.print(CRST);
Serial.print("$");
Serial.print(CPID);

```

```

Serial.print("$");
Serial.print(TL);
Serial.print("$");

}

```

T

Figura 66. Código subido a Arduino maestro.

TERCER PASO (VERIFICAR INTERFAZ DE USUARIO)

se procede a abrir el archivo de LabVIEW llamado simulación_LABVIEW.vi en el cual contiene la simulación de la interfaz de visualización como indica en la figura 66.

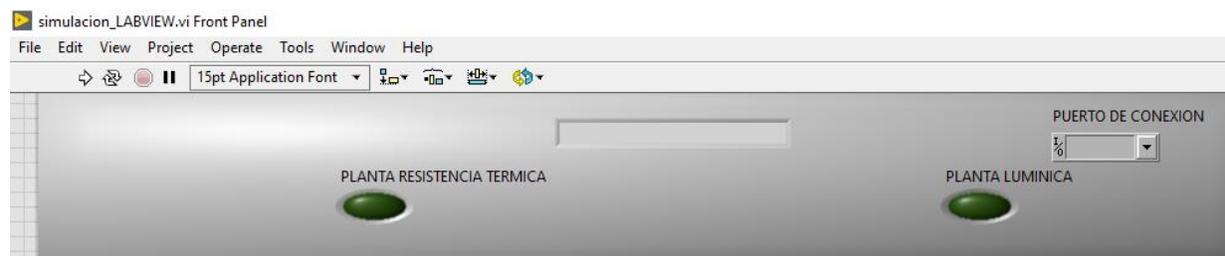


Figura 67. Código interfaz de LabVIEW

CUARTO PASO OPCIONAL (CODIGO PANTALLA TFT 2.4 in)

se procede a abrir el otro archivo de Arduino llamado Arduino_pantalla.ino en el cual contiene el programa de la simulación de la pantalla, en el cual se observa una gráfica en tiempo real de la temperatura y el valor del PWM. subimos el archivo al otro Arduino enfocado a la visualización de datos en la pantalla tft, como se ilustra en la figura 67, a continuación, se ilustra el código.

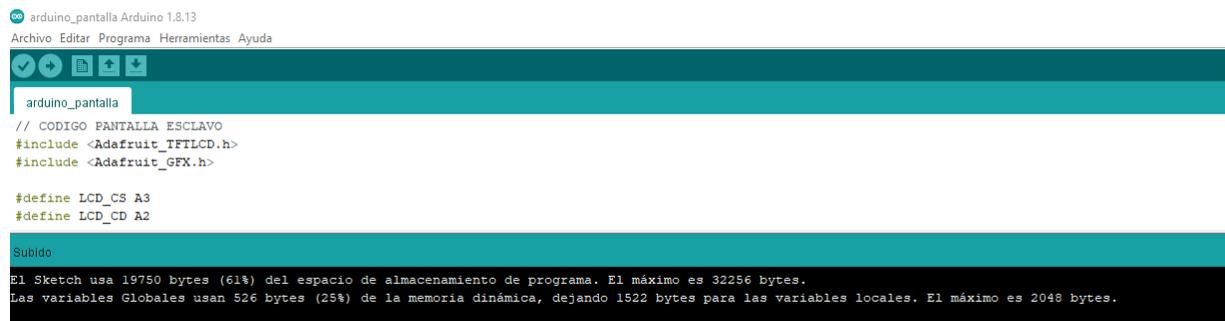


Figura 68. Código subido Arduino pantalla

CÓDIGO ARDUINO PANTALLA

```
// CODIGO PANTALLA ESCLAVO
#include <Adafruit_TFTLCD.h>
#include <Adafruit_GFX.h>

#define LCD_CS A3
#define LCD_CD A2
#define LCD_WR A1
#define LCD_RD A0
#define LCD_RESET A4

#define BLACK    0x0000
#define BLUE     0x001F
#define RED      0xF800
#define GREEN    0x07E0
#define CYAN     0x07FF
#define MAGENTA  0xF81F
#define YELLOW   0xFFE0
#define WHITE    0xFFFF

float volt = 0;
int t,p,q;

int adcRaw = 0;
double x = 20;
double C;
String r;

Adafruit_TFTLCD tft(LCD_CS, LCD_CD, LCD_WR, LCD_RD, LCD_RESET);

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  tft.reset();

  uint16_t identifier = tft.readID();

  if (identifier == 0x9325) {
    Serial.println(F("Found ILI9325 LCD driver"));
  } else if (identifier == 0x9328) {
    Serial.println(F("Found ILI9328 LCD driver"));
  } else if (identifier == 0x7575) {
```

```

    Serial.println(F("Found HX8347G LCD driver"));
} else if (identifier == 0x9341) {
    Serial.println(F("Found ILI9341 LCD driver"));
} else if (identifier == 0x8357) {
    Serial.println(F("Found HX8357D LCD driver"));
} else {
    Serial.print(F("Unknown LCD driver chip: "));
    Serial.println(identifier, HEX);
    Serial.println(F("If using the Adafruit 2.4\" TFT Arduino shield, the
line:"));
    Serial.println(F(" #define USE_ADAFRUIT_SHIELD_PINOUT"));
    Serial.println(F("should appear in the library header
(Adafruit_TFT.h)."));
    Serial.println(F("If using the breakout board, it should NOT be
#define!"));
    Serial.println(F("Also if using the breakout, double-check that all
wiring"));
    Serial.println(F("matches the tutorial."));
    return;
}

tft.begin(identifier);

tft.setRotation(1);
tft.fillScreen(BLACK);

tft.setCursor(30,30);
tft.setTextColor(WHITE);
tft.setTextSize(3);
tft.print("PLANTA DE TEMP");

tft.setCursor(70,100);

tft.setTextColor(BLUE);
tft.setTextSize(1.7);
tft.print("DAVID SAMBONI");

    tft.setCursor(70,115);
tft.setTextColor(BLUE);
tft.setTextSize(1.7);
tft.print("SEBASTIAN ORTIZ");

```

```

tft.fillRect(40,150,190,60,RED);
tft.drawRect(40,150,190,60,WHITE);
tft.setCursor(55,175);
tft.setTextColor(WHITE);
tft.setTextSize(2.8);
tft.print("UNICOMFACAUCA");

delay(4000);
tft.fillScreen(BLACK);
}

void loop(){

tft.fillRect(10,10,115,35,BLACK);
tft.setCursor(10,10);
tft.setTextColor(CYAN);
tft.setTextSize(2);
tft.print(t);

tft.setCursor(40,10);
tft.setTextColor(WHITE);
tft.setTextSize(2);
tft.print("temp");

tft.setCursor(100,10);
tft.setTextColor(CYAN);
tft.setTextSize(2);
tft.print(p);

tft.setCursor(190,10);
tft.setTextColor(CYAN);
tft.setTextSize(2);
tft.print(q);

tft.setCursor(220,10);
tft.setTextColor(WHITE);
tft.setTextSize(2);
tft.print("PWM");

tft.setCursor(140,10);

```

```

tft.setTextColor(WHITE);
tft.setTextSize(2);
tft.print("PWM");

tft.setCursor(0,45);
tft.setTextColor(WHITE);
tft.setTextSize(C);
tft.print("130");
tft.setCursor(0,75);
tft.setTextColor(WHITE);
tft.setTextSize(C);
tft.print("110");
  tft.setCursor(0,105);
tft.setTextColor(WHITE);
tft.setTextSize(C);
tft.print("90");

tft.setCursor(0,135);
tft.setTextColor(WHITE);
tft.setTextSize(C);
tft.print("70");
tft.setCursor(0,165);
tft.setTextColor(WHITE);
tft.setTextSize(C);
tft.print("50");
tft.setCursor(0,195);
tft.setTextColor(WHITE);
tft.setTextSize(C);
tft.print("30");
tft.setCursor(0,220);
tft.setTextColor(WHITE);
tft.setTextSize(C);
tft.print("10");
tft.setCursor(4,230);
tft.setTextColor(RED);
tft.setTextSize(C);
tft.print("T");

tft.drawRect(20,30,299,210,MAGENTA);
tft.drawCircle(x, map(t, 25, 150, 200, 60), 1, GREEN);
x=x+3;
if(x>318){

```

```

    x=20;
    tft.fillRect(20,90,318,110,BLACK);
}

String strs[20];
int StringCount = 0;
r=Serial.readString();

while (r.length() > 0)
{
    int index = r.indexOf('$');
    if (index == -1) // No space found
    {
        strs[StringCount++] = r;
        break;
    }
    else
    {
        strs[StringCount++] = r.substring(0, index);
        r = r.substring(index+1);
    }
}

// Show the resulting substrings

p= strs[3].toInt();
q= strs[4].toInt();
t= strs[2].toInt();
Serial.println(p);
Serial.println(t);
Serial.println(q);

    delay(1000);

}

```

Después de subirlo se desconecta el Arduino, al momento de iniciar la simulación se conecta a la corriente nuevamente.

EJECUCIÓN DE LA SIMULACIÓN

PASO 1(ENLACE Y EJECUCIÓN DE INTERFAZ)

enlazar el puerto de conexión al Arduino maestro, el cual es el encargado del procesamiento de datos, si está bien conectado se visualiza en la parte superior derecha del cuadro del apartado 1 al presionar click izquierdo sobre el cuadro del puerto de conexión, se deslizará un cuadro al que seleccionaremos a que puerto está conectado el Arduino maestro. el cual debe ser el mismo al que subimos el programa llamado Arduino_MAESTRO.vi. Al realizar la conexión del puerto serial de LabVIEW con Arduino maestro, esto se visualiza en la figura 68.

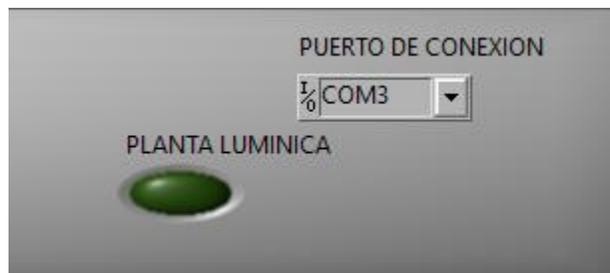


Figura 69. Puerto de conexión exitoso LABVIEW.

posterior a el enlace se oprime el botón “ok” ubicado en el apartado 5 como indica la figura 69 y se procede a iniciar la simulación, pulsando el botón “run” que tiene integrado LabVIEW. Como indica la figura 70.

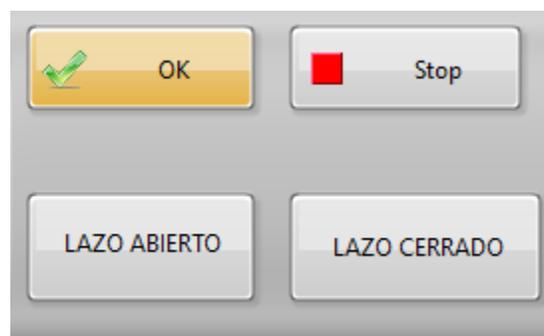


Figura 70. Botón ok, apartado 5.

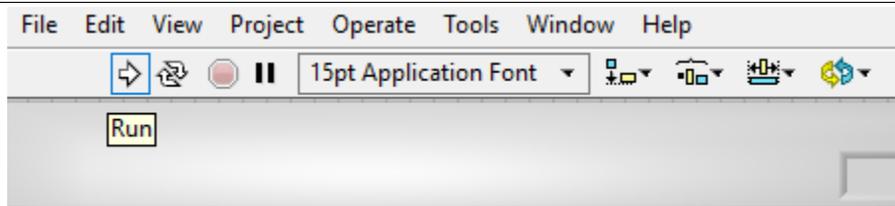


Figura 71. Botón run e inicio del programa

Se verifica si el sensor está leyendo una señal correcta en la cual la temperatura de apartado 3 y la gráfica del apartado 2 debe estar en un promedio es de 25-30 grados centígrados temperatura ambiente, esto se visualiza como indica la figura 71.

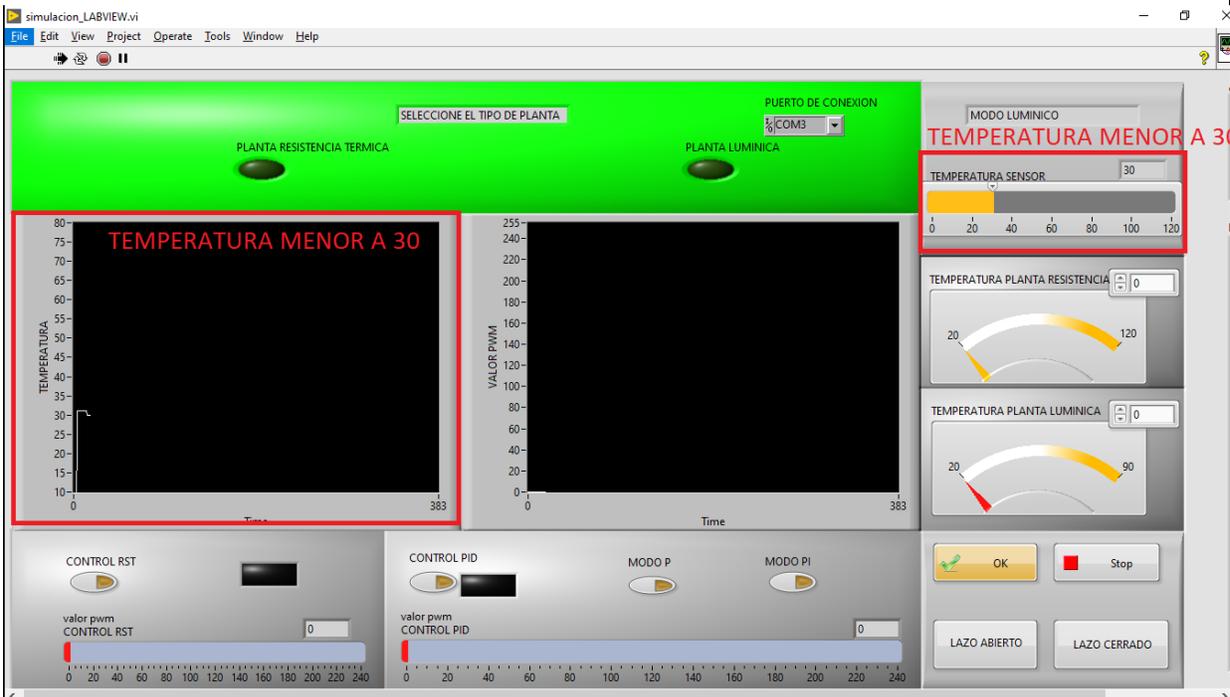


Figura 72. Verificación de temperatura correcta sensor.

Si la temperatura es correcta, se procede a integrar el sensor en la caja de control que se desea utilizar para el control. recomendación visualizar la tabla 1 para ver la descripción de los dos tipos de plantas.

Después de escoger la planta que se desea utilizar se procede a introducir el sensor en el agujero rojo integrado en la parte frontal de la caja de control como indica la figuras 72 y 73.

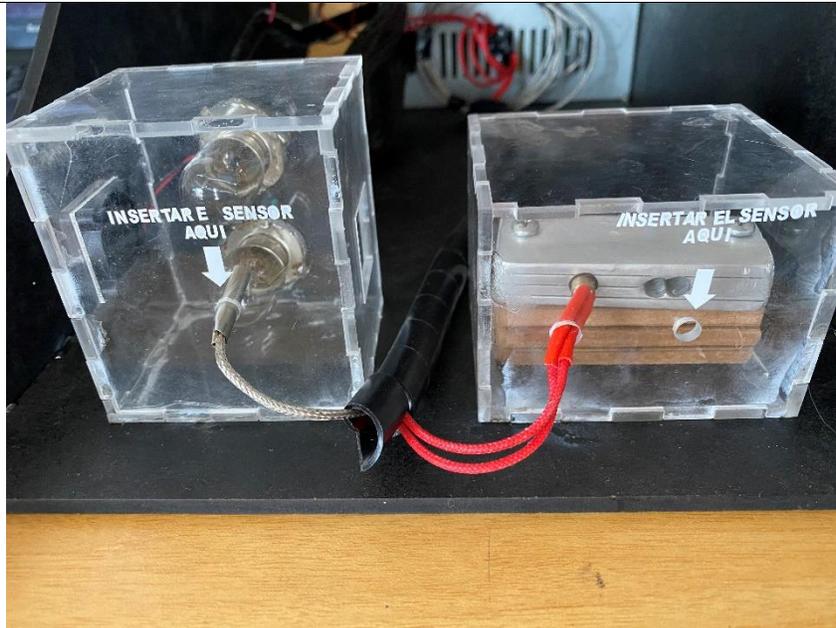


Figura 73. Sensor introducido en la caja de control lumínico

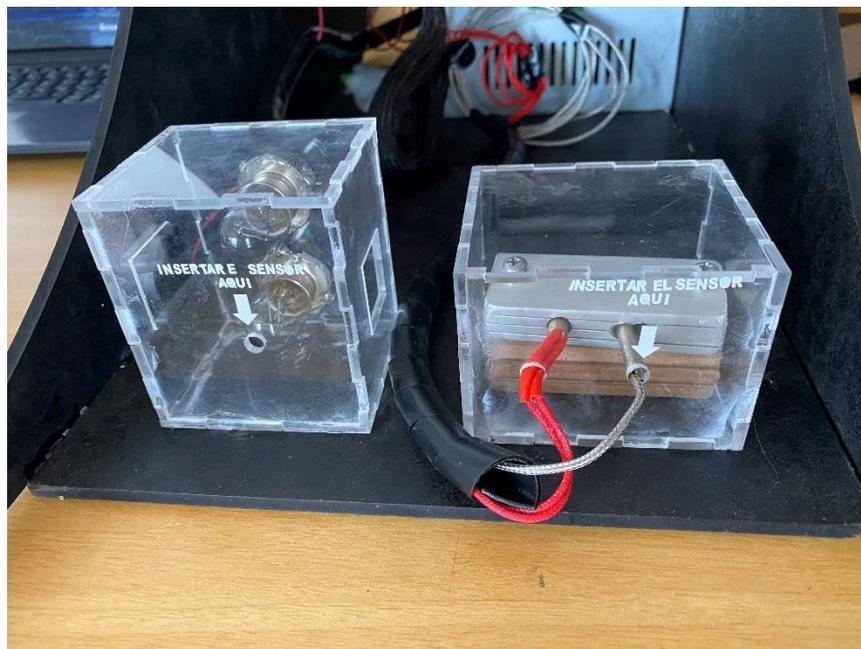


Figura 74. Sensor introducido en la caja de control con resistencia térmica

PASO 2 (ESCOGE TIPO DE PLANTA)

Después de integrar el sensor en la caja de control se procede a oprimir el suich en la parte superior del prototipo dependiendo del tipo de planta que escogiste. Al oprimir el suich se ilumina un piloto como se ilustra en la figura 74.



Figura 75. Escoge la planta en la parte del hardware del prototipo.

En este momento se inicia la simulación, la zona en color verde ubicada en el primer apartado se coloca en gris indicando que se inició correctamente, dependiendo del tipo de planta que deseamos utilizar se iluminara de color verde la temperatura deseada en el apartado 3 como indican la figuras 75 y 76.



Figura 76. Temperatura deseada de planta lumínica ESTADO ON



Figura 77. Temperatura deseada de planta con resistencia térmica ESTADO ON.

PASO 3 (ESCOGER EL TIPO DE CONTROL QUE DESEA USAR)

Presionar click izquierdo sobre uno de los dos controles que se tiene como opción de ejecutar, el control RST o el control PID, si se inició uno de los dos controles se iluminara de verde el fondo del modo que hayas escogido, en la figura 77 se ilustra el control RST ENCENDIDO y en la figura 78 se ilustra el modo PID ENCENDIDO.

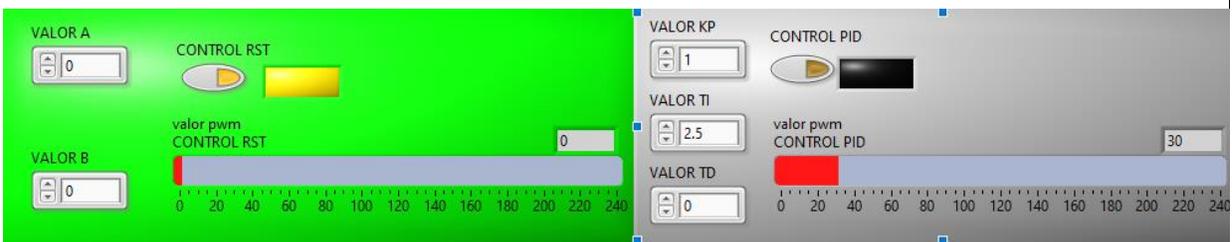


Figura 78. CONTROL RST control elegido por el usuario.

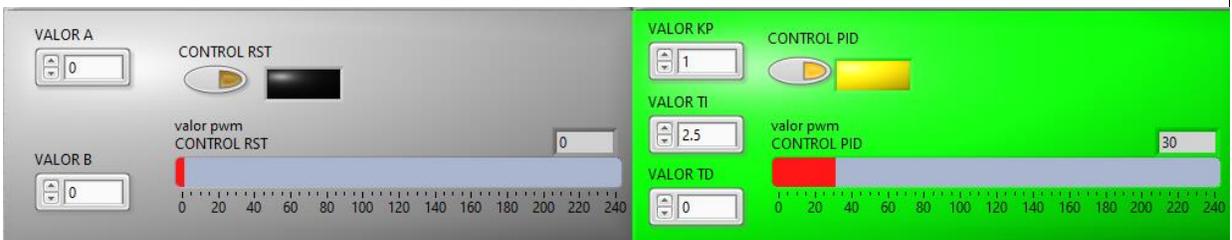


Figura 79. CONTROL PID control elegido por el usuario.

Posterior a esto, si escogió el CONTROL RST, los actuadores empezaran energizarse e iniciará a elevar la señal indicada en la gráfica llamada ‘VALOR PWM’, lo cual iniciará a medir la temperatura y asignar el valor necesario a los actuadores.

Si escogió el CONTROL RST, saltar el PASO 4, avanzar al PASO 5.

Si escogió el CONTROL PID, es necesario escoger que tipo de control desea, MODO PI (proporcional-integral) y MODO P(proporcional).

PASO 4 (SOLO SI ESCOGISTE EL MODO RST)

A continuación, se deberá colocar el valor de las variables del CONTROL RST, las cuales están indicadas en la siguiente tabla.

Modo	Tipo de control	Constantes	código en el Arduino
planta lumínica	Control RST	A=1.8268 B=0.5734	<pre> //valores del controlador a= VALORA1; b= VALORB1; ek = temp; // Ecuaciones de estado bloque de lazo de realimentación x1s = x1 + ek; // Salida de control de lazo de realimentación uk = a * ek + b * x1; // Actualización de estados x1 = x1s; // Entrada al bloque de control = setPoin ekt = TL; // Ecuaciones de estado bloque de control setPoint x1st = x1t + ekt; // Salida de control del bloque de setPoi ukt = a * ekt + b * x1t; // Actualización de estados x1t = x1st; //salida del controlador pwmrst = (ukt - uk); //FILTRO DE SATURACION if (pwmrst < 10) { pwmrst = 10; } </pre>

			<pre> if (pwmrst > 190) { pwmrst = 190; } </pre>
planta con resistencia térmica	CONTROL RST	A1=2.0728 B1=0.5	<pre> //VALORES DE LABVIEW a1= VALORA1; b1= VALORB1; //TEMPERATURA LECTURA SENSOR ek1 = temp; // Ecuaciones de estado bloque de lazo de realimentación x2s = x2 + ek1; // Salida de control de lazo de realimentación uk1 = a1 * ek1 + b1 * x2; // Actualización de estados x2 = x2s; // Entrada al bloque de control = setPoint ekt1 = TL; // Ecuaciones de estado bloque de control de setPoint x2st = x2t + ekt1; // Salida de control del bloque de setPoint ukt1 = a1 * ekt1 + b1 * x2t; // Actualización de estados x2t = x2st; // VALOR PWM pwmrst1 = (ukt1 - uk1); //SATURACION if (pwmrst1 < 0) { pwmrst1 = 0; } if (pwmrst1 > 190) { pwmrst1 = 190; } </pre>

ESCRIBE en las casillas ubicadas en el APARTADO 4 el valor de cada una de las variables en este caso VALOR A Y VALOR B. como indica la figura 79.

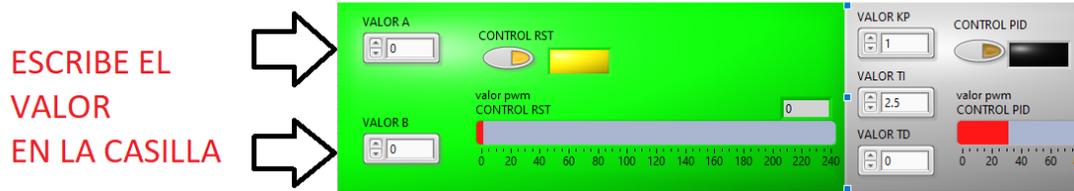


Figura 80. ESCRIBE LOS VALORES EN LA CASILLAS

PASO 5 (SOLO SI SE ESCOGIÓ EL CONTROL PID)

SI ESCOGIÓ EL CONTROL PID se colocará verde y tendrá que escoger el tipo de controlador para implementar PI.

Tabla 32. Descripción del modo P y modo PI.

Modo	Tipo de control	Constantes	Formula en el Arduino
planta lumínica	Control PI (proporcional integral)	KP=1.2 TI=5.8 TD=0	<pre>//DEFINICION DE VARIABLES DEL CONTROLADOR q0 = KP * ((1 + (TS / 2*(TI))+ (TD/TS))); q1 = -KP * ((1 - (TS / 2*(TI))+ (2*TD/TS) q2 = KP * TD / TS; //SET POINT=TEMPERATURA IDEAL r1 = TL; //TEMPERATURA IDEAL - TEMPERATURA ACTUAL SENSOR e = (r1 - temp); //SALIDA DEL CONTROLADOR U = U_1 + q0 * e + q1 * e_1 + q2 * e_2; //ACTUALIZACION DE ESTADOS e_2 = e_1; e_1 = e; U_1 = U; // CONTROL DE SATURACION ACTUADORES</pre>

			<pre> if (U < 30) { U = 30; } if (U > 190) { U = 190; } </pre>
planta con resistencia térmica	Control PI (proporcional integral)	<p>KP=1.3</p> <p>TI=4.9</p> <p>TD=0</p>	<pre> //DEFINICION DE VARIABLES DEL CONTROLADOR q0 = KP * ((1 + (TS / 2*(TI))+ (TD/TS))); q1 = -KP * ((1 - (TS / 2*(TI))+ (2*TD/TS))); q2 = KP * TD / TS; //SET POINT=TEMPERATURA IDEAL r1 = TL; //TEMPERATURA IDEAL - TEMPERATURA ACTUAL SENSOR e = (r1 - temp); //SALIDA DEL CONTROLADOR U = U_1 + q0 * e + q1 * e_1 + q2 * e_2; //ACTUALIZACION DE ESTADOS e_2 = e_1; e_1 = e; U_1 = U; // CONTROL DE SATURACION ACTUADORES if (U < 30) { U = 30; } if (U > 190) { U = 190; } </pre>

A continuación, se debe colocar el valor de KP, TI, TD en el APARTADO 4 la parte del CONTROL PID como se ilustra la figura 80.

ESCRIBE
EL VALOR
DE
KP, TI, TD

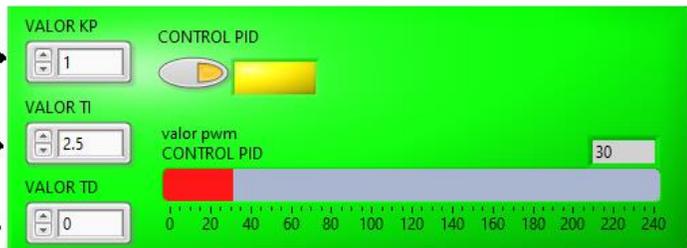
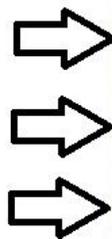


Figura 81. ESCRIBE LAS VARIABLES DEL CONTROLADOR PID.

Se inicia a enviar una señal al actuador, lo cual se observa que se eleva la gráfica del valor PWM, también se eleva el valor en la barra que está en el apartado 4, la parte del control PID. El proceso se ilustra en la figura 81.

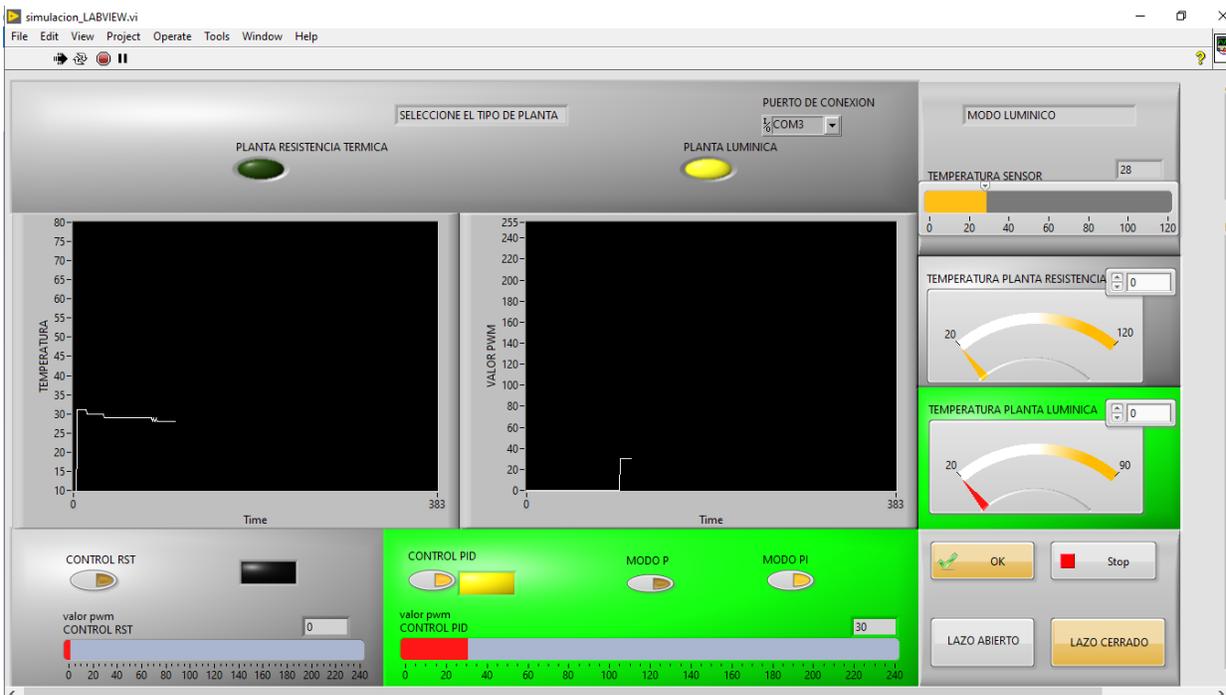


Figura 82. Barra y grafica del valor PWM iniciada en 30

Al ejecutar el control y verificar que la temperatura del controlador esta en rangos de 25-30 grados centígrados y posteriormente comenzara a elevar la temperatura dentro de la caja del controlador.

PASO 6

Elevar la temperatura deseada del tipo de planta que escogiste en el apartado 3, el cual tiene dos variadores de temperatura deseada, SOLAMENTE variar el valor de la temperatura del panel que este de color verde. Como se ilustra en la figura 82.



Figura 83. Variar la temperatura deseada.

IMPORTANTE, el valor que se coloca en la temperatura deseada debe ser MAYOR a la temperatura actual del sensor. Como se ilustra en la figura 83.

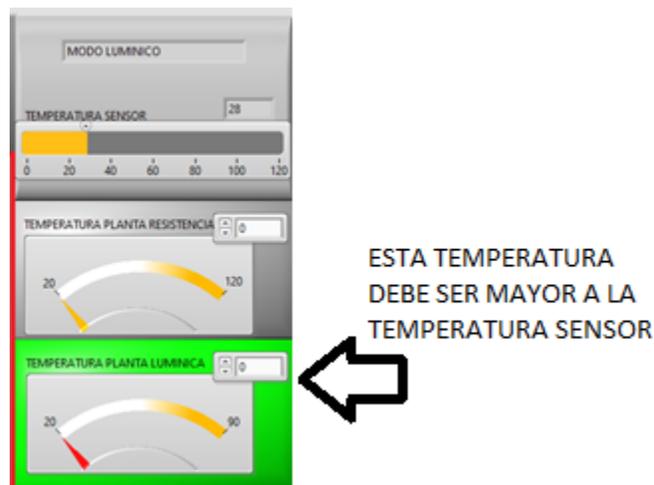


Figura 84. Valor temperatura deseada mayor a temperatura del sensor.

A continuación, se limita a observar el control de la temperatura y el cambio del valor PWM referente a la temperatura, se observa un constante envío de VALORES DE PWM para la estabilización de la planta.

DISTURBIO PLANTA LUMINOSA

A continuación, al obtener la variable controlada se hace uso de un botón implementado en el hardware, el cual lo accionaremos por 20 segundo, como indica la figura 84.

Después de transcurrir dicho tiempo observaremos el cambio de temperatura y del valor del pwm, si lo que se realizó es correcto se ilustra de la siguiente forma el valor de la TEMPRATURA y el VALOR PWM el cual se ilustra en la figura 84.

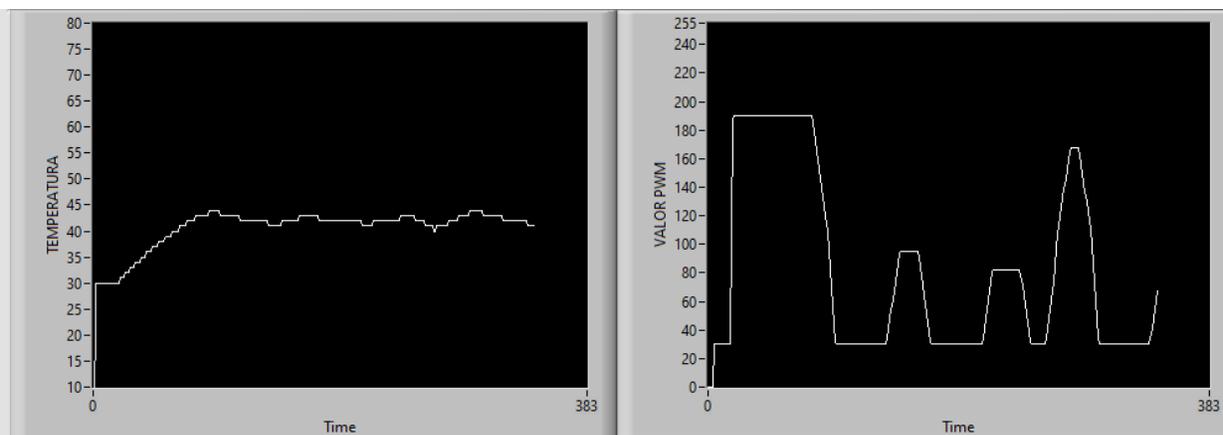


Figura 85. Gráfica TEMPERATURA y VALOR PWM, aplicando disturbio.