



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**  
**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**PROPUESTA TECNOLÓGICA**

**DESARROLLO DE UN ENTORNO VIRTUAL 3D PARA EL CONTROL DE PRESIÓN DE UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO.**

Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención de Título de Ingeniero en Electromecánica.

**Autores:**

Chipuxi Caiza Christian Paúl

Yanchatipán Ugsha Héctor Efraín

**Tutor Académico:**

Ing. Porras Reyes Jefferson Alberto

**LATACUNGA - ECUADOR**

**2021**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, Chipuxi Caiza Christian Paúl y Yachatipán Ugsha Héctor Efraín, declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: “DESARROLLO DE UN ENTORNO VIRTUAL 3D PARA EL CONTROL DE PRESIÓN DE UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO”, siendo Ing. Porrás Reyes Jefferson Alberto tutor del presente Trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Latacunga, agosto 2021

---

Chipuxi Caiza Christian Paúl

C.C. 1724937113

---

Yachatipán Ugsha Héctor Efraín

C.C. 1805418728

## **AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN**

En calidad de tutor del trabajo de investigación sobre el título:

“DESARROLLO DE UN ENTORNO VIRTUAL 3D PARA EL CONTROL DE PRESIÓN DE UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO”, de los ponentes: Chipuxi Caiza Christian Paúl y Yanchatipán Ugsha Héctor Efraín, de la carrera de Ingeniería en Electromecánica, considero que dicho informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, agosto 2021

---

Ing. Porras Reyes Jefferson Alberto

C.C. 0704400449

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN**

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD de Ciencias de las Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes: Chipuxi Caiza Christian Paúl y Yanchatipán Ugsha Héctor Efraín, con el título de Proyecto de titulación: “DESARROLLO DE UN ENTORNO VIRTUAL 3D PARA EL CONTROL DE PRESIÓN DE UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO” han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, agosto 2021.

Para constancia firman:

---

**Lector 1 (Presidente)**

Ing. Ms.C Byron Paúl Corrales Bastidas  
C.C. 0502347768

---

**Lector 2**

PhD. Héctor Luis Laurencio Alfonso  
C.C. 1758367252

---

**Lector 3**

Ing. Ms.C Luis Rolando Cruz Panchi  
C.C. 0502595176

## **AVAL DE IMPLEMENTACIÓN**

En calidad de Director de la Carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi certifico que mediante el proyecto de propuesta tecnológica: “DESARROLLO DE UN ENTORNO VIRTUAL 3D PARA EL CONTROL DE PRESIÓN DE UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO”, de los estudiantes; CHIPUXI CAIZA CHRISTIAN PAÚL y YANCHATIPÁN UGSHA HÉCTOR EFRAÍN realizan la entrega de instrumentos de medición para la variable de presión, para el Laboratorio de Investigación de Automatización y Control de la Carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

De acuerdo a lo anterior se hace constar que el proyecto de propuesta tecnológica se encuentra en las condiciones adecuadas.

Latacunga, agosto 2021

---

Ing. MSc. Cristian Gallardo Molina

C.C. 0502847692

### **Agradecimiento**

*El presente trabajo es el resultado de esfuerzo, dedicación y ganas de superación, agradezco a toda mi familia desde el más pequeño al más grande de los integrantes, de manera especial a mi padre José Chipuxi quien ha sido un pilar fundamental en mi educación inculcándome valores y principios, a mi madre Rosa Caiza por todos los cuidados y los consejos que supieron guiarme por un buen camino, a mis hermanos Iván, Sylvia y Jessica por apoyarme en todas las decisiones importantes que he tomado en mi vida y por darme su apoyo incondicional en todo momento y a mis compañeros de aula que de una u otra manera me han apoyado en este proceso.*

*A todos ellos muchas gracias*

*Christian Paúl*

### **Agradecimiento**

*Agradezco a Dios y mis padres por regalarme la oportunidad de vivir esta grandiosa experiencia en mi formación académica donde he conocido personas maravillosas que han aportado significativamente en mi formación profesional y personal entre ellos están docentes, amigos y mas*

*Héctor Efraín*

**Dedicatoria**

*El presente trabajo de dedicación va dedicado a mi familia quien me apoyo siempre, me aconsejo y me dio ánimos para lograr terminar esta etapa de mi vida, a las personas que conocí durante este proceso y se convirtieron en mis amigos apoyándome en todo momento.*

*Christian Paúl*

### **Dedicatoria**

*El presente trabajo de titulación está dedicado a mis padres María y Aníbal quienes me han apoyado incondicionalmente durante toda mi formación académica sin importar factores que muchas veces nos dificultaba seguir.*

*Dedico también a mis hermanos que siempre han estado ahí extendiéndome su mano brindándome sus consejos a través de su experiencia*

*Héctor Efraín*

## ÍNDICE GENERAL

1.	Información general.....	1
2.	Introducción.....	3
2.1.	El problema .....	3
2.1.1.	Situación Problémica.....	3
2.1.2.	Formulación Del Problema.....	4
2.3.	Beneficiarios.....	4
2.4.	Justificación.....	4
2.5.	Hipótesis.....	5
2.6.	Objetivos.....	5
2.6.1.	General.....	5
2.6.2.	Específicos.....	5
2.7.	Sistema de tareas .....	5
3.	Fundamentación teórica.....	7
3.1	Antecedentes.....	7
3.2.	sistema de control de presión.....	8
3.2.1.	Definición de Sistema de Control.....	8
3.2.2.	Definición de Presión .....	8
3.2.3.	Tipos de presión .....	8
3.3.	Técnicas de Control .....	10
3.3.1.	Control lazo cerrado .....	10
3.3.2.	Control de lazo abierto .....	10
3.3.3.	Sistema Didáctico de Control de Presión .....	11
3.3.4.	Control PID .....	12
3.3.5.	Sintonización .....	12
3.3.6.	Reglas de Ziegler-Nichols para sintonizar controladores PID. ....	12
3.4.	Simulación.....	14

3.4.1. Definición de Simulación .....	14
3.4.2. Ventajas de las Técnicas de Simulación.....	14
3.4.3. Desventajas de las Técnicas de Simulación .....	15
3.5. Modelos 3D .....	15
3.5.1. Definición de Modelos 3D .....	15
3.5.2. Blender .....	15
3.6. Realidad virtual .....	16
3.6.1. Definición de Realidad Virtual.....	16
3.6.2. Usos de la Realidad Virtual .....	16
3.6.3. Realidad Virtual en la Educación .....	16
3.6.4. Primeras Implementaciones.....	17
3.7. Juegos Serios .....	17
3.7.1. Definición de Juegos Serios .....	17
3.7.2. Aplicación de los Juegos Serios .....	18
3.7.3. Alcance de los Juegos Serios.....	18
3.7.4. Antecedentes de los Juegos Serios .....	18
3.7.5. Modelo Matemático.....	19
3.8. Unity 3D .....	19
3.8.1. Definición de Unity .....	19
3.8.2. Aplicaciones de Unity .....	20
3.8.3. Assets.....	20
3.8.4. Game4Automation .....	20
3.8.5. Animaciones de Personajes .....	20
3.8.6. Lenguajes de Programación.....	20
3.9. Microsoft visual studio .....	21
3.10. Controladores Lógicos Programables.....	21
3.10.1. PLC Siemens S7-1200.....	21

3.11. TIA Portal .....	22
3.11.1. PID Compact .....	22
3.11.2. OPC (OLE for Process Control).....	22
3.11.3. TCP/IP .....	23
3.12. Arduino.....	23
3.12.1. Definición de Arduino .....	23
3.12.2. Lenguaje de Programación .....	23
3.12.3. Aplicaciones de Arduino .....	23
3.12.4. Antecedentes de Arduino.....	24
3.12.5. Clasificación .....	24
3.12.6. Señales.....	24
3.12.7. Señales Digitales .....	24
3.12.8. Señales Analógicas .....	25
3.12.9. Conversión de Señales Digitales a Analógicas. ....	25
3.13. Comunicación Serial.....	25
3.14. Conversor Digital – Analógico MCP4725 .....	25
4. Materiales y Métodos .....	26
4.1. Obtención de la Función de Transferencia de la Planta de Presión .....	26
4.1.2. Aplicación de Métodos De Sintonización .....	35
4.1.3. Acondicionamiento de la Función de Transferencia Para Ingresar en Arduino.....	40
4.2. Diseño del Entorno Virtual de Control de Presión.....	42
4.2.1. Desarrollo Del Modelado 3D .....	42
4.2.2. Diseño Unity 3D.....	43
4.2.3. Descripción Del Entorno Virtual.....	43
4.3. Selección de Controlador Lógico Programable.....	45
4.4. Selección del Tipo de Arduino .....	46
4.5. Selección del Tipo del Convertidor de Señales Digitales a Analógicas.....	49

4.6. Comunicación del software y Hardware del Proyecto .....	50
4.6.1. Comunicación TCP/IP .....	51
4.3.2. Configuración y Programación del PLC S7-1200.....	53
4.3.3. Comunicación Serial.....	60
4.6.4. Configuración y programación del PLC S7-1200 .....	61
5. Análisis y Discusión de los Resultados .....	65
6. Conclusiones y Recomendaciones .....	75
6.1. Conclusiones.....	75
6.2. Recomendaciones .....	75
7. Bibliografía.....	77
8. Anexos .....	2

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Diagrama de Ishikawa.....	4
Figura 3.1. Diagrama de fase .....	9
Figura 3.4. Ejemplo método Smith .....	13
Figura 3.4. MCP4725 .....	25
Figura 4.1. Descripción del desarrollo de tesis.....	26
Figura 4.2. Válvula de control, accionamiento neumático .....	27
Figura 4.3. Perdiadas del sistema. ....	28
Figura 4.4. Módulo de presión RT450.03 .....	32
Figura 4.5. Curva de la planta ante una señal escalón.....	33
Figura 4.7. Diagrama de bloques en Simulink .....	34
Figura 4.8. Comparación de resultados .....	35
Figura 4.9. Diagrama de bloques, control planta presión.....	35
Figura 4.10. Curva de reacción, planta presión .....	36
Figura 4.11. Curva de reacción, parámetros .....	36
Figura 4.12. Parámetros de control PID en TIA V16.....	37
Figura 4.13. Parámetros de control PID en TIA V16.....	38
Figura 4.14. Parámetros de control PID en TIA V16.....	40
Figura 4.15. Curva de la función de transferencia.....	40
Figura 4.16. Curva de la función raíz cuadrada.....	41
Figura 4.17. Planta de presion. ....	41
Figura 4.18. Creación del entorno virtual en Blender. ....	42
Figura 4.19. Importación del entorno a Unity 3D .....	43
Figura 4.20. Entorno virtual de la planta. ....	44
Figura 4.21. Esquema de comunicación TCP/IP.....	51
Figura 4.22. Configuración de la dirección IP en TIA Portal. ....	52
Figura 4.23. Configuración de la dirección IP en Unity 3D.....	52

Figura 4.24. Creación de nuevo proyecto.....	54
Figura 4.25. Configuración de un nuevo dispositivo. ....	54
Figura 4.27. Configuración de la dirección IP del PLC. ....	55
Figura 4.28. Comprobación de la conexión entre el PLC y nuestro Equipo. ....	56
Figura 4.32. Selección de un bloque Cyclic Interrupt. ....	57
Figura 4.35. Configuración de los parámetros PID. ....	59
Figura 4.37. Esquema de comunicación serial. ....	60
Figura 4.38. Librerías para la comunicación serial. ....	60
Figura 4.42. Obtención de los valores absolutos de las señales SP y PV.....	63
Figura 4.43. Selección del bloque PID_Compact.....	63
Figura 4.44. Configuración de los parámetros PID. ....	64
Figura 4.45. Programación para activar el PID con botones externos. ....	64
Figura 5.1. Función de transferencia más escalón unitario .....	66
Figura 5.2. Pantalla de inicio del entorno virtual. ....	71
Figura 5.3. Válvula de perturbación. ....	72
Figura 5.4. Variación de perturbación en el entorno virtual.....	72
Figura 5.5. Actuador abierto al 2%.....	73
Figura 5.4. Actuador abierto al 30%.....	73

## INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Fórmulas de sintonización Cohen y Coon.....	13
Tabla 3.2. Fórmulas de Smith.....	14
Tabla 4.1. Tiempos necesarios para el método.....	34
Tabla 4.2. Parámetros de sintonía de Ziegler y Nichols.....	37
Tabla 4.3. Fórmulas de sintonización de Cohen y Coon.....	38
Tabla 4.4. Parámetros de sintonía de Smith.....	40
Tabla 4.5. Controles del entorno virtual.....	44
Tabla 4.6. Evaluación del criterio de costo. ....	45
Tabla 4.7. Evaluación del criterio de disponibilidad.....	45
Tabla 4.8. Evaluación del criterio de comunicación. ....	46
Tabla 4.9. Evaluación del criterio de software. ....	46
Tabla 4.10. Evaluación de criterios según tipo de controlador lógico programable. ....	46
Tabla 4.11. Evaluación del criterio de costo. ....	47
Tabla 4.12. Evaluación del criterio de disponibilidad.....	47
Tabla 4.13. Evaluación del criterio de tamaño. ....	48
Tabla 4.14. Evaluación del criterio de software.....	48
Tabla 4.15. Evaluación de criterios según el tipo de Arduino.....	48
Tabla 4.16. Evaluación del criterio de costo. ....	49
Tabla 4.17. Evaluación del criterio de disponibilidad.....	50
Tabla 4.18. Evaluación del criterio de eficiencia. ....	50
Tabla 4.19. Evaluación de los criterios según el tipo de convertidor de señales.....	50
Tabla 4.20. Valores del SP convertidos a 12 bits. ....	53
Tabla 4.21. Valores del PV convertidos a 12 bits. ....	53
Tabla 4.22. Valores del CV convertidos a 12 bits.....	53
Tabla 4.23. Variables utilizadas en la programación en TIA Portal.....	53
Tabla 4.24. Variables utilizadas en la programación del TIA Portal. ....	61

Tabla 5.1. Resultados de la función de transferencia con escalón unitario de 1-25 .....	66
Tabla 5.2. Resultados del modelo matemático ingresado en Arduino .....	67
Tabla 5.3. Método de sintonización Ziegler Nichols .....	69
Tabla 5.4. Método de sintonización Cohen y Coon .....	69
Tabla 5.5. Método de sintonización Smith y Corripio .....	70

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 3.1. Presión Dinámica .....	9
Ecuación 3.2 Presión Hidrostática .....	9
Ecuación 3.3. Tiempo al 28% de la Amplitud.....	13
Ecuación 3.4. Tiempo al 62.3% de la Amplitud.....	13
Ecuación 4.1. Coeficiente de válvula .....	27
Ecuación 4.2. Pérdida de presión en la línea .....	28
Ecuación 4.3. Flujo.....	29
Ecuación 4.4. Coeficiente de fricción.....	29
Ecuación 4.5. Caudal máximo de la Válvula .....	29
Ecuación 4.6. Flujo máximo.....	29
Ecuación 4.7. Función de transferencia de la válvula .....	30
Ecuación 4.8. Ganancia del sistema .....	30
Ecuación 4.9. Constante de tiempo .....	30
Ecuación 4.10. Función de transferencia de la planta .....	32
Ecuación 4.11. Modelo de primer orden más tiempo muerto .....	33
Ecuación 4.12. Constante de tiempo .....	34
Ecuación 4.13. Tiempo muerto.....	34
Ecuación 4.14. Constante de parametrización.....	41
Ecuación 4.15. Modelo matemático de la planta .....	42
Ecuación 4.16. Modelo matemático de la planta.....	67

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**

**TÍTULO: “DESARROLLO DE UN ENTORNO VIRTUAL 3D PARA EL CONTROL DE PRESIÓN DE UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO.”**

**Autores:**

Chipuxi Caiza Christian Paúl

Yanchatipán Ugsha Héctor Efrén

**RESUMEN**

El presente proyecto describe la aplicación y desarrollo de un entorno virtual de control de presión generado en Unity dedicado al entrenamiento de habilidades para el reconocimiento de parámetros necesarios para la selección y aplicación de distintos métodos de sintonización según el resultado que se quiera obtener en la variable controlada, partimos de la función de transferencia de un módulo de control de presión de aire comprimido que se obtiene de forma analítica donde está considerado las pérdidas del propio sistema y demás parámetros que influyen dentro del funcionamiento de la planta virtual de presión de aire comprimido, para que el ambiente virtual generado tenga similitud del mundo real se implementó la manipulación de una válvula manual en tiempo real logrando generar así valores de perturbación. A continuación, el proyecto se divide en tres fases. En la primera fase se describen de manera general los conceptos bibliográficos de los procesos de control industrial, métodos de sintonización, software que se utiliza para generar un entorno virtual, el impacto que la misma tiene en el entrenamiento académico o de otras áreas de interés. En la segunda fase se detalla el proceso por el cual se valida el comportamiento similar de la planta ubicada en Arduino y la función de transferencia en Simulink a través de la comparación de las respuestas que arrojan ante un estímulo de escalón unitario en lazo abierto con la ayuda de Matlab donde se ingresó el modelo matemático de la programación de Arduino. En la última fase se realizan las mediciones del tiempo en el que el sistema alcanza estabilidad con la ayuda del controlador PLC S7-1200 para poder comprobar que los valores de sintonización encontradas analíticamente responden de forma favorable.

**Palabras clave:** Control, Virtual, Sintonización, Controlador, Presión, Unity.

**TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI**

**FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES**

**TITLE: "DEVELOPMENT OF A 3D VIRTUAL ENVIRONMENT FOR THE  
PRESSURE CONTROL OF A COMPRESSED AIR SYSTEM".**

**Authors:**

Chipuxi Caiza Christian Paúl

Yanchatipán Ugsha Héctor Efraín

**ABSTRACT**

This project describes the application and development of a virtual pressure control environment generated in Unity dedicated to the training of skills for the recognition of parameters necessary for the selection and application of different tuning methods according to the result to be obtained in the controlled variable, We start from the transfer function of a pressure control module that is obtained analytically where it is considered the losses of the system itself and other parameters that influence the operation of the virtual plant of compressed air pressure, so that the virtual environment generated has similarity to the real world was implemented the manipulation of a manual valve in real time thus achieving generate disturbance values. The project is then divided into three phases. In the first phase there is a general description of the bibliographic concepts of industrial control processes, tuning methods, software used to generate a virtual environment, the impact it has on academic training or other areas of interest. The second phase details the process by which the similar behavior of the plant located in Arduino and the transfer function in Simulink is validated through the comparison of the responses to a unit step stimulus in open loop with the help of Matlab where the mathematical model of the Arduino programming was entered. In the last phase the measurements of the time in which the system reaches stability with the help of the PLC controller S7-1200 are made to verify that the tuning values found analytically respond favorably.

**Keywords:** Control, Virtual, Tuning, Controller, Pressure, Unity.

## ***AVAL DE TRADUCCIÓN***

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma Inglés del proyecto de investigación cuyo título versa: **“DESARROLLO DE UN ENTORNO VIRTUAL 3D PARA EL CONTROL DE**

**PRESIÓN DE UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO”** presentado por: **Chipuxi Caiza Christian Paúl y Yachatipán Ugsha Héctor Efraín**, egresados de la Carrera de: **Ingeniería en Electromecánica**, perteneciente a la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructuragramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, Julio del 2021

Atentamente,



**Mg. Mayra Clemencia Noroña Heredia.**  
**DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTCC.C.**  
**0501955470**



Firmado electrónicamente por:  
**MARCO PAUL  
BELTRAN  
SEMBLANTES**



CENTRO  
DE IDIOMAS

## 1. INFORMACIÓN GENERAL

**Título:**

Desarrollo de un entorno virtual 3D para el control de presión de un sistema de aire comprimido.

**Fecha de inicio:**

Abril 2021

**Fecha de finalización:**

Agosto 2021

**Lugar de ejecución:**

Zona 3, Provincia de Cotopaxi, Cantón Latacunga, Parroquia San Felipe.

**Facultad que auspicia:**

Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

**Carrera que auspicia:**

Ingeniería Electromecánica

**Equipo de trabajo:**

Tutor

**Nombre:** Jefferson Alberto

**Apellido:** Porras Reyes

**Cedula de  
identidad:** 0704400449

**Email:** jefferson.porras0449@utc.edu.ec

**Ponente 1**

**Nombre:** Christian Paúl

**Apellido:** Chipuxi Caiza

**Cedula de  
identidad:** 1724937113

**Email:** christian.chipuxi7113@utc.edu.ec

**Ponente 2**

**Nombre:** Héctor Efraín

**Apellido:** Yanchatipán Ugsha

**Cedula de  
identidad:** 1805418728

**Email:** hector.yanchatipan8728@utc.edu.ec

**Área de conocimiento:**

-07 Ingeniería, Industria y Construcción

-52 Ingeniería y Profesiones Afines

0714 Electrónica y Automatización

**Línea de investigación:**

-Tecnología de la información y comunicación (TICS)

-Procesos industriales

**Sublíneas de investigación de la carrera:**

Sub línea de investigación: Automatización, control y protecciones de sistemas electromecánicos.

## 2. INTRODUCCIÓN

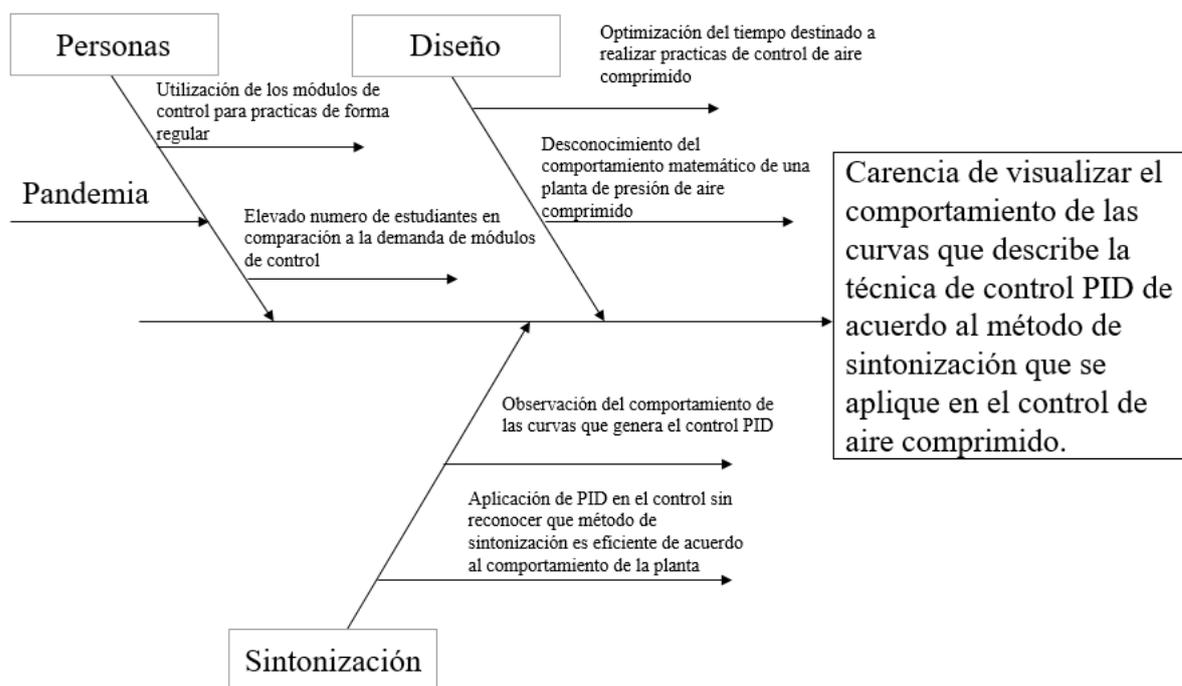
### 2.1. EL PROBLEMA

#### 2.1.1. Situación Problémica

En la actualidad dentro del control de procesos industriales aún se utiliza de forma habitual el control PID sin embargo la aplicación de este tipo de control es de manera empírica o dando valores de sintonización con la técnica de tanteo, es decir por prueba y error ajustando estos parámetros de acuerdo al resultado deseado en el control del actuador [1].

Actualmente los estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi dentro de la formación académica realizan varias prácticas de control industrial dentro de estas prácticas está el control de presión de aire comprimido por PID, pero al carecer de un módulo que represente una planta de presión de aire comprimido no es posible apreciar el comportamiento que tiene este tipo de procesos.

Al realizar cualquier tipo de control es interesante conocer cuál es la relación que tienen entre las variables frente a los diferentes estímulos o perturbaciones que ingresen a la planta de un proceso industrial, una buena opción para comprender es graficar el comportamiento de las variables en función del tiempo y así relacionarlas y ver su comportamiento.



**Figura 2.1.** Diagrama de Ishikawa

### **2.1.2. Formulación Del Problema**

Carencia de habilidades prácticas en profesionales para la aplicación de técnicas de sintonización en controladores PID en procesos de control de presión de aire comprimido, por lo cual se realiza un entorno virtual para observar el comportamiento de la planta de presión de acuerdo al método de sintonización aplicado.

### **2.2. Objeto y campo de acción**

#### **2.2.1. Objeto de estudio.**

Entorno virtual de control de presión de aire comprimido.

#### **2.2.2. Campo de acción.**

Ingeniería, industria y construcción

-52 Ingeniería y profesiones afines

-3311.02 Ingeniería de Control

3311 Tecnología de la Instrumentación

3311.01 Tecnología de la Automatización

### **2.3. BENEFICIARIOS**

Con el desarrollo de este proyecto tecnológico se beneficiará de forma directa a los estudiantes y docentes que hacen uso del laboratorio de automatización y control de la Carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi y de forma indirecta a las personas que tengan la necesidad de trabajar en un proyecto de similares características.

### **2.4. JUSTIFICACIÓN**

La investigación se realiza para solventar el inconveniente de la falta de un módulo que simule una planta de presión de aire comprimido donde se realice el control de presión por PID usando distintos tipos de técnicas de sintonización, este proyecto se puede usar como base para el desarrollo de otro tipo de entornos y aplicaciones industriales de carácter didáctico pues se demuestra la posibilidad de obtener variables a través de software, a partir de un modelo matemático de un módulo o planta de procesos industriales garantizando así la similitud de comportamiento de las variables, de esta forma se puede abaratar costos en adquisición de módulos de control físicos, manteniendo la lógica de funcionamiento para el desarrollo de

prácticas con los controladores lógicos programables beneficiando así de forma conjunta a los docentes y estudiantes pues se podrá dar un mejor seguimiento en el desarrollo de habilidades y conocimientos necesarios para el avance correcto en la formación de futuros profesionales.

## 2.5. HIPÓTESIS

La virtualización del módulo de control de aire comprimido facilitará la apreciación gráfica del comportamiento que tiene la técnica de control PID según el método de sintonización que se aplique.

## 2.6. OBJETIVOS

### 2.6.1. General

Diseñar un sistema didáctico virtual para el control de la variable presión caso de estudio aire comprimido.

### 2.6.2. Específicos

- Contrastar datos de fuentes bibliográficas que hayan desarrollado entornos virtuales.
- Definir el modelo matemático del proceso que será usado para la virtualización del control de presión.
- Establecer el módulo virtual junto a la programación que permita el enlace entre el software y hardware por medio de la interfaz de comunicación.
- Analizar la funcionalidad del entorno virtual generado.

## 2.7. SISTEMA DE TAREAS

Objetivos específicos	Tareas	Resultado de actividad	Descripción de la actividad
Contrastar datos de fuentes bibliográficas que hayan desarrollado entornos virtuales.	Análisis de la información de distintos autores y documentos.	El tema propuesto es viable de acuerdo a la información encontrada en investigaciones anteriores	Búsqueda de archivos digitales como tesis, monografías, artículos científicos que aborden la virtualización y entrenamiento de personas a través de este medio.
	Consulta de los tipos de control de presión aplicadas en la industria.	Existen varias técnicas de control sin embargo la técnica que ha perdurado en el tiempo hasta la actualidad es el PID	Recopilación de información encontrada en libros de control que contengan la evolución, desarrollo y técnicas de control industrial dentro de la producción.

	Análisis de los métodos de generación de entornos virtuales.	Para tener un entorno virtual hay que empezar por construir elementos en software de modelación 3d o acceder a librerías de ese tipo.	Búsqueda de software libre que permita el desarrollo de modelos 3D, elección del software que tenga una amplia gama de objetos ya desarrollados o una gran comunidad que aporte para el desarrollo de este tema.
Definir el modelo matemático del proceso que será usado para la virtualización del control de presión.	Análisis y elección del ejercicio planteado en libros para el entrenamiento de control industrial	Selección y desarrollo del modelo matemático del proceso industrial de control de presión que se implementara	Seleccionamos el documento digital de identificación y diseño del controlador para una planta de regulación de presión que es una tesis que consta en la biblioteca de la ESPOL
Establecer el módulo virtual junto a la programación que permita el enlace entre el software y hardware por medio de la interfaz de comunicación.	Análisis de los lenguajes de programación del entorno virtual y la comunicación Serial entre las tarjetas y dispositivos de control para generar señales y controlarlas de manera virtual.	Para la comunicación de los componentes a utilizar se determinó el uso de comunicación TCP/IP, y conexión serial	Se buscó implementar la mejor manera de conectividad entre la tarjeta Arduino el entorno virtual generado el modelo matemático a cuál reaccionaria las gráficas por medio del control realizado por un PLC
Analizar la funcionalidad del entorno virtual generado.	Comprobación del entorno virtual generado	El entorno virtual generado brinda la apreciación el comportamiento gráfico por curvas de Cv,Sp,Pv	Determinadas los complementos que forman el entorno virtual de control de presión se procede a verificar que se ejecute de forma fluida las acciones dentro del mismo
	Comparación de los resultados obtenidos con las distintas formas de enlace para la comunicación y control de variables	Se obtiene la visualización en tiempo real de cómo actúan los sistemas de control frente a perturbaciones que pueden tener lugar dentro de un proceso industrial	Se conectan todos los dispositivos que harán posible la virtualización del módulo para someterlo a perturbaciones y mirar cual es la reacción que tiene entre Cv,Sp,PV

### **3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

#### **3.1 ANTECEDENTES**

A través del tiempo la tecnología dedicada a la automatización, control de procesos industriales han tenido significativos avances con el fin de solucionar problemas y cubrir necesidades que van surgiendo conforme se busca la optimización de recursos dentro de la producción, dentro de las variables que se controlan en las industrias citamos a la presión de los gases pues estos están asociados directa o indirectamente a las acciones realizadas en las diferentes etapas de la producción, esta variable es controlada para garantizar la ejecución correcta de distintas tareas y también para garantizar la seguridad de los operarios, colaboradores que podrían ser afectados por la fuga de algún gas ocasionado por superar la presión límite que soporta cualquier conductor o acumulador del mismo [2].

Como respuesta a esta acción las instituciones educativas donde se forman los profesionales destinados a realizar tareas afines a este tema han venido implementando numerosas técnicas y herramientas pedagógicas donde el objetivo común de cada uno de estos es dotar de habilidades, conocimientos teóricos prácticos de las distintas técnicas de automatización que pueden ser usadas para controlar variables dentro de un proceso productivo.

Se mencionan a continuación algunos trabajos realizados para el uso de nuevas tecnologías en el ámbito educativo.

“Diseño de red industrial ethernet, con autómatas programables, HMI Siemens y sistemas de control inteligente aplicado a sistemas mecatrónicos en entorno de realidad virtual”.

El objetivo principal es aplicar e integrar las TICs, con dispositivos de redes industriales y autómatas programables, como una alternativa innovadora para capacitar y dotar a los estudiante universitario de ingeniería habilidades necesarias para su correcta formación profesional y a los trabajadores de las áreas de control, redes industriales Ethernet y automatización experiencia y competencia laboral [3].

“Diseño e implementación de base de datos mediante el uso de web services con integración de Unity3D para apoyo de aplicaciones lúdicas en la materia de fundamentos de programación”.

Se realizó el presente proyecto con el objetivo de diseñar e implementar un modelo de base de datos que permita el almacenamiento y análisis de datos de una aplicación lúdica de evaluación desarrollada en Unity3D [4].

## 3.2. SISTEMA DE CONTROL DE PRESIÓN

### 3.2.1. Definición de Sistema de Control

Es un conjunto de componentes físicos que están conectados entre sí, de esta manera el arreglo pueda controlarse a si mismo u otro sistema. Estos sistemas son encargados de controlar dinámicamente [5].

El sistema de control de procesos está formado por un conjunto de dispositivos de diverso orden. Pueden ser de tipo eléctrico, neumático, hidráulico, mecánico, entre otros. El tipo o los tipos de dispositivos están determinados, en buena medida, por el objetivo a alcanzar [6].

### 3.2.2. Definición de Presión

**Presión (P):** Es una magnitud física que está definida por la derivada de la fuerza con respecto al área.

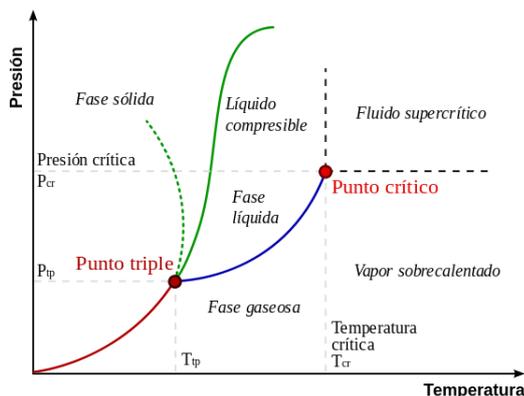
**Presión estable:** Es la presión que, referida a un instrumento determinado, no varía, o varía lentamente de manera continua y de forma tal que cumple simultáneamente:

- a.) Su velocidad de cambio instantáneo es menor o igual a 1% del límite superior de medición por segundo (o de la suma de los límites de medición).
- b.) La variación total en un minuto no sobrepasa del 5% del límite superior de medición (o de la suma de los límites de medición) [7]. Es muy común que las fuerzas se ejerzan sobre una superficie. A partir de esto la presión está definida como una fuerza que es ejercida perpendicularmente sobre algún tipo de superficie. La unidad de presión S.I es el N/m<sup>2</sup> que recibe el nombre de pascal (en honor de Blas Pascal) y se abrevia como Pa. [8].

### 3.2.3. Tipos de presión

Enumeramos distintos tipos de presión los que se usan según el campo de interés de estudio:

**Presión crítica:** En los cuerpos líquidos se considera al valor de la presión con el que cambian a su estado gaseoso. Esta presión depende también de la temperatura.



**Figura 3.1.** Diagrama de fase [8].

**Presión atmosférica:** Es la presión ejercida en cierto punto debido a la propia atmósfera el caso de la presión atmosférica terrestre, pues este valor depende de la altitud a la que se tome la medida como ejemplo, la presión atmosférica mayor en Guayaquil a diferencia de Quito.

**Presión manométrica:** Es la presión total ejercida en un punto determinado sin tomar en cuenta la presión atmosférica los equipos que miden la presión manométrica se llama manómetro.

**Presión absoluta:** Presión total en un punto determinado con respecto al vacío de presión por esto se concluye que:

$$\textit{Presión Absoluta} = \textit{Presión Atmosférica} + \textit{Presión Manométrica}$$

**Presión dinámica:** Presión adicional producida cuando se tiene un fluido en movimiento dado por el choque de partículas de la misma:

$$q = \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (3.1)$$

Donde  $q$ =presión dinámica en pascuales,  $\rho$  densidad de flujo en  $\frac{kg}{m^3}$ ,  $v$ = velocidad de fluido en  $\frac{m}{s}$

**Presión estática:** Presión en un fluido que no es dada por el movimiento del mismo entonces si el fluido está en reposo la presión estática será igual a la presión absoluta.

**Presión Hidrostática:** Presión debida al propio peso que tiene el fluido pues esta depende de la densidad, la profundidad y la gravedad sobre la cual se está ejerciendo dicha presión.

$$P = \rho * g * h \quad (3.2)$$

Donde  $P$  es la presión hidrostática,  $\rho$  es la densidad de fluido  $g$  es la gravedad y  $h$  la profundidad a la que se está calculando la presión.

### 3.3. TÉCNICAS DE CONTROL

#### 3.3.1. Control lazo cerrado

En este tipo de sistemas de lazo cerrado, existe una retroalimentación por parte de la señal controlada, este proceso se realiza con el fin de comparar con la señal de referencia, como respuesta de esta operación el sistema debe enviar una señal de control que actué de manera proporcional al error obtenido de la diferencia entre la entrada y salida del sistema, para disminuir el error o en el mejor de los casos corregir de forma definitiva.

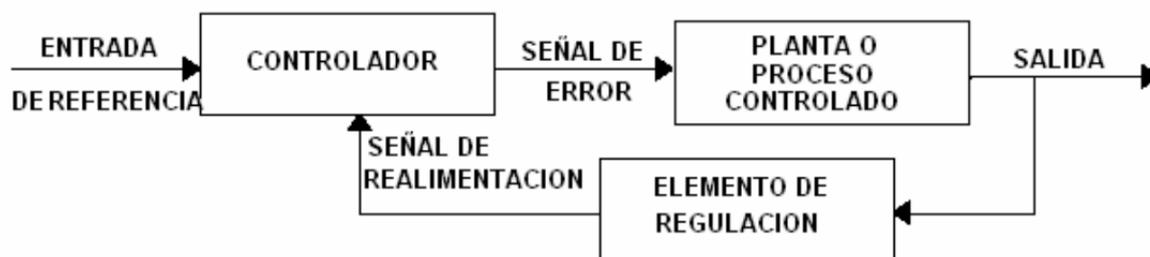


Figura 3.2. Sistema de Control de Lazo cerrado [8].

Un sistema de estas características hace notar que la acción de control es directamente proporcional a la señal de salida. Los sistemas de control de lazo cerrado se realimentan con la señal de salida para hacer una comparación con el valor requerido por el sistema dando como resultado un error, esta es la señal que actúa sobre el sistema con el fin de llegar al valor deseado. En otras palabras, el término lazo cerrado implica el uso de acción de realimentación negativa para reducir el error del sistema [5].

#### 3.3.2. Control de lazo abierto

En este tipo de sistemas la salida no se mide pues no va ser realimentada para la comparación con la señal de entrada en busca de un error. Los sistemas de control de lazo abierto son sistemas de control en los que la salida no tiene efecto sobre la señal o acción de control [6].



Figura 3.3. Sistema de Control de Lazo Abierto [8].

### 3.3.3. Sistema Didáctico de Control de Presión

Hoy en día, todas las industrias compiten en el mercado buscando formas de reducir los costos de fabricación mejorando la calidad, confiabilidad, actualización y durabilidad del producto. Para lograr estos objetivos, necesita buenas prácticas de optimización y gestión de la producción. Esto no es posible sin aplicar el control automático y la robótica a la tecnología de procesos. La implementación de la tecnología se basa en el conocimiento del control automático de procesos continuos y algunos de los parámetros básicos como la variación de temperatura, el contenido de material líquido en el tanque, la presión en el sistema, la intensidad de la luz, la velocidad de rotación. Por lo tanto, los estudiantes deben aprender los conceptos básicos de control y automatización, sistemas de sensores, reguladores y reglas del sistema operativo. La educación en diversas disciplinas de la ingeniería requiere la existencia de un instituto de investigación para proporcionar a los estudiantes conocimientos de calidad y habilidades prácticas en el campo del control práctico de procesos. Los avances en las tecnologías de la información y la computación han abierto nuevos horizontes para los laboratorios de aprendizaje y formación de todo el mundo. Además de los tradicionales ejercicios prácticos de laboratorio, los ejercicios virtuales son cada vez más populares.

La simulación en ambientes virtuales puede ser una poderosa herramienta para situar a los estudiantes en escenarios "prácticos" a los que difícilmente podrían acceder en la realidad, permitiendo establecer un mayor grado de equidad en el proceso de la combinación de un entorno interactivo dotado de textos, imágenes y simulaciones promueve la participación activa de los estudiantes en su propio proceso de aprendizaje. El uso de nuevas tecnologías ofrece nuevas posibilidades para la formación de profesionales en diversas disciplinas técnicas. Por otro lado, la mayoría de las universidades de los países en desarrollo se encuentran actualmente bajo presión financiera debido a los recortes presupuestarios del gobierno en la financiación del sector educativo. Esto tiene un impacto significativo en los programas de ingeniería, obligando a reducciones o reemplazos en los laboratorios de física para encontrar otras formas de cumplir con la capacitación práctica.

Producción continua y condiciones de operación seguras exige la medición y el control de la variable presión. Los contenedores o tuberías tienen una presión máxima de trabajo, que puede destruir no solo el equipo en sí, sino también el equipo adyacente, poniendo al personal en situaciones peligrosas, especialmente cuando se trabaja con líquidos inflamables o corrosivos.

Para tales aplicaciones, el control y la medición con gran precisión para la variable presión son tan importantes como la seguridad extrema [9].

### **3.3.4. Control PID**

PID es la abreviación de proporcional integral y derivativo, para el estudio de esta técnica de control también se utiliza las iniciales a nivel de elemento es decir: el elemento proporcional está abreviado como P, el elemento integral está abreviado con la letra I mientras que el elemento derivativo está identificada con la letra D. esta técnica de control inició en el año 1939 y hasta la actualidad sigue siendo utilizado para el control de procesos, según la investigación japonesa realizada en el año 1989 se indicó que el 90% de los controladores usados en la industria de procesos son controladores PID y versiones actualizadas de controlador PID [2].

### **3.3.5. Sintonización**

La sintonización del control PID, consiste en ajustar los parámetros ( $K_p, T_i, T_d$ ) con el fin de lograr un comportamiento aceptable y robusto en el control de un proceso establecido, antes de realizar la sintonización de los controladores se debe identificar la dinámica del proceso, para determinar los parámetros del controlador utilizando algún método de sintonización seleccionado.

### **3.3.6. Reglas de Ziegler-Nichols para sintonizar controladores PID.**

Ziegler y Nichols propusieron reglas para determinar los valores de ganancia proporcional  $K_p$ , tiempo de integración  $T_i$  y tiempo derivado  $T_d$  en función de las características de respuesta de un dispositivo particular. Los ingenieros pueden determinar estos parámetros del controlador PID mediante experimentos de fábrica. (Después de la primera sugerencia de Ziegler Nichols, aparecieron muchas reglas para ajustar el controlador PID. Estas reglas están disponibles tanto en publicaciones técnicas como de los fabricantes de estos controladores.)[10]

### **3.3.7. Método de Cohen y Coon**

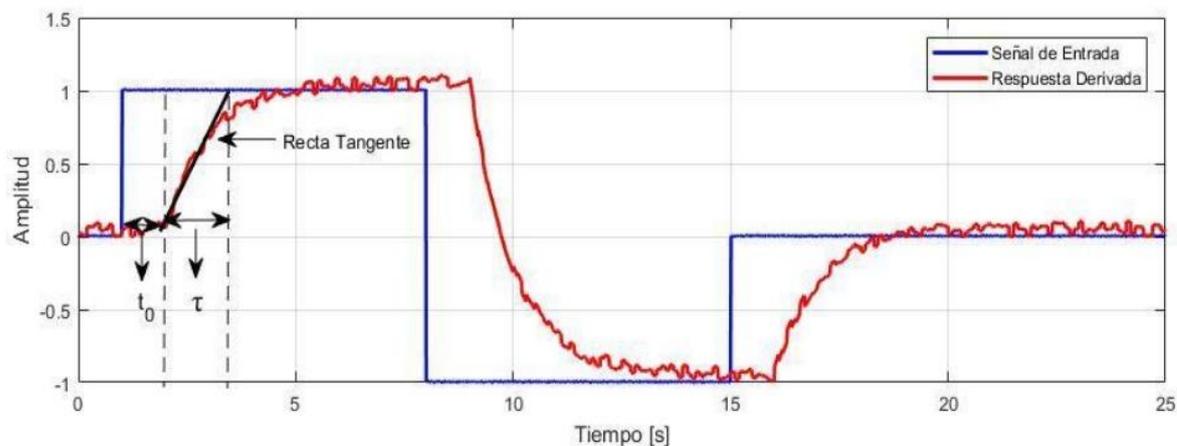
Este criterio consiste en aplicar una entrada escalón directamente al sistema sin controladores, y se hallan los parámetros a partir de la curva de reacción del proceso, una característica de la curva de reacción es que esta tiene forma de “S”. A partir de la curva de reacción del proceso se traza una línea tangente en el punto de inflexión, de tal manera que la línea tangente y el eje x o eje de tiempo representan el atraso de tiempo o  $t_0$  y la conociendo la ganancia, estos parámetros se reemplazan en los diversos controladores[11].

**Tabla 3.1.** Fórmulas de sintonización Cohen y Coon.

	$K_C$	$T_i$	$T_D$
$P$	$K_C = \frac{1}{K} \frac{\tau}{\theta} \left( 1 + \frac{\theta}{3\tau} \right)$	No aplica	No aplica
$PI$	$K_C = \frac{1}{K} \frac{\tau}{\theta} \left( 0.9 + \frac{\theta}{12\tau} \right)$	$T_i = \theta \frac{32 + 6 \frac{\theta}{\tau}}{13 + 8 \frac{\theta}{\tau}}$	No aplica
$PID$	$K_C = \frac{1}{K} \frac{\tau}{\theta} \left( \frac{4}{3} + \frac{\theta}{4\tau} \right)$	$T_i = \theta \frac{32 + 6 \frac{\theta}{\tau}}{13 + 8 \frac{\theta}{\tau}}$	$T_D = \theta \frac{4}{11 + 2 \frac{\theta}{\tau}}$

**3.3.8. Método de sintonización de Smith y Corripio.**

Es la primera técnica que no requiere que se trace la recta tangente, aquí se toman dos puntos de la curva del proceso para hallar  $\tau$  y  $t_0$ .



**Figura 3.4.** Ejemplo método Smith [10].

Los puntos tomados son en los puntos 28.3% y 63.2% para hallar los tiempos equivalentes con las siguientes fórmulas.

$$t1 = \tau + \frac{T}{3} \tag{3.3}$$

$$t2 = \tau + T \tag{3.4}$$

Donde  $t_1$  es el tiempo el 28.3% de la amplitud,  $t_2$  es el 63.2% de la amplitud,  $\tau$  Es el tiempo el tiempo de la recta tangente,  $T$  es el tiempo de de estabilización.

Tabla 3.2. Fórmulas de Smith

Controlador	$kp$	$\tau_i$	$\tau_d$
PID	$1.2 \frac{\tau}{KL}$	$2L$	$0.5L$

### 3.4. SIMULACIÓN

#### 3.4.1. Definición de Simulación

La simulación se refiere a la manipulación de un modelo digital que representa la estructura de un proceso dinámico. Teniendo en cuenta los valores de las condiciones iniciales, los parámetros y las variables extrínsecas, se realiza una simulación para representar el comportamiento del proceso en el tiempo.

Al igual que la simulación es una representación de la realidad que utiliza un modelo u otro mecanismo que se comporta como la realidad en determinadas condiciones.

Simular es evaluar cursos alternativos de acción, mediante técnicas cuantitativas, basados en hechos y suposiciones, con un modelo matemático programable, a fin de facilitar la toma real de decisiones en condiciones de incertidumbre [12].

#### 3.4.2. Ventajas de las Técnicas de Simulación

- Es conveniente porque se puede experimentar el modelo en lugar del sistema real.
- La tecnología de simulación permite manipular una réplica en lugar de un sistema verdadero.
- Estudiar simulaciones es una forma muy útil y práctica de dividir sistemas complejos en subsistemas. Este tipo de simulación permite al observador obtener más conocimiento de lo que hace que un sistema funcione y observar las relaciones de causa y efecto que pueden conducir a sugerencias para mejorar sistemas.
- Las relaciones complejas de propiedades aleatorias y predecibles a menudo son más fáciles de usar con procesos simulados que para desarrollar modelos matemáticos complejos que representen todo el proceso que se está considerando.

- La simulación por computadora le permite dedicar tiempo a analizar situaciones dinámicas básicas.
- El modelo de simulación es esencialmente una descripción operativa del sistema o proceso y puede ser explicado fácilmente por el personal de administración. Si la simulación es más fácil de entender que el modelo matemático relativamente complejo, las posibilidades de éxito aumentan considerablemente.

### **3.4.3. Desventajas de las Técnicas de Simulación**

- No se genera una solución óptima. Ejecutar cada simulación es como ejecutar una prueba separada con un conjunto específico de condiciones determinadas por un conjunto de valores en la solución de entrada, por lo que necesita ejecutar muchas simulaciones.
- A medida que aumenta la facilidad de uso de la simulación, la facilidad de aplicación puede aumentar la tendencia a confiar en esta técnica.
- Cuando se hace referencia a un modelo matemático utilizado en un programa de simulación por computadora, es posible que no sea posible cuantificar todas las variables que afectan el rendimiento del sistema.

## **3.5. MODELOS 3D**

### **3.5.1. Definición de Modelos 3D**

El modelo en 3D es un "mundo conceptual en tres dimensiones que se puede ver de dos maneras diferentes, desde un punto de vista técnico, se considera como un grupo de fórmulas matemáticas que describen un "mundo". En cambio en vista visual, un modelo en 3D es una representación 15 esquemática visible a través de un conjunto de objetos, elementos y propiedades una vez procesada (renderización), se convertirán en imagen en 3D o animación 3D [13].

### **3.5.2. Blender**

Blender es un software de creación 3D de código abierto y gratuito. Es compatible con la totalidad de la tubería 3D: modelado, montaje, animación, simulación, renderizado, composición y seguimiento de movimiento, edición de video y tubería de animación 2D [14].

### **3.6. REALIDAD VIRTUAL**

#### **3.6.1. Definición de Realidad Virtual**

El término realidad virtual fue acuñado en 1973 por el investigador Milon Kluger. Algunos dicen que la realidad virtual es un concepto que evolucionó a partir de la novela de ciencia ficción de William Gibson "Neuromancer", publicada en 1985 y determinada por científicos de la NASA. Aunque, en justicia, el primero en inventar el concepto fue el informático Iban Southerland, quien además en 1965 construyó el primer casco y creó el primer programa [15].

Hay dos tipos de realidad virtual, la realidad virtual de escritorio y la realidad virtual completa, según el hardware utilizado. Los entornos virtuales suelen ser utilizados por una persona o un grupo pequeño, el entorno virtual se muestra en la pantalla de una computadora y los participantes pueden usar un dispositivo especial como un mouse para interactuar con el entorno virtual y navegar por el entorno esto limita su inmersión en los efectos psicofisiológicos de sentirse "dentro" del entorno virtual creado por el material. En la realidad virtual totalmente inmersiva, el usuario utiliza un sensor de movimiento y guantes de datos para operar un casco de realidad virtual o un dispositivo de campo visual que muestra el entorno virtual interno.

Este equipo permite generar en el usuario un alto grado de inmersión, siempre y cuando el equipo y el ambiente estén correctamente aplicados y calibrados, de lo contrario la persona puede sufrir efectos secundarios, como mareos o desorientación [15].

#### **3.6.2. Usos de la Realidad Virtual**

La realidad aumentada ligada a la tecnología de realidad virtual está cada vez más extendida en la sociedad. En muchas aplicaciones industriales y domésticas, una gran cantidad de información disponible se asocia con objetos del mundo real, y la realidad aumentada se presenta como una forma de fusionar y combinar esta información con objetos del mundo real. Así, muchos de los diseños que realizan los arquitectos, ingenieros, diseñadores pueden ser visualizados en el mismo lugar físico del mundo real para donde han sido diseñados [15].

#### **3.6.3. Realidad Virtual en la Educación**

Los nuevos métodos de educación y aprendizaje apoyados por las tecnologías de la información y la comunicación son importantes y, en algunos casos, pueden resultar perjudiciales para los métodos del siglo anterior. Algunos de estos cambios son todavía prototipos experimentales o aislados, y otros liderados por instituciones educativas de renombre mundial han sido ampliamente adoptados. Este fenómeno puede deberse a la convergencia de tres factores:

algunas tendencias tecnológicas especialmente relevantes en la educación, las características de los alumnos del siglo XXI y el creciente interés del medio de las tecnologías y del sector productivo en el mercado de la educación [16].

Basadas en presentaciones en 3D, estas nuevas herramientas interactivas facilitan la comprensión de todos los temas científicos. Los estudiantes pueden interactuar con objetos virtuales en un entorno real aumentado y desarrollan el aprendizaje experimentando [17].

Centrando el interés de la aplicación de la Realidad Aumentada en la educación superior se pueden indicar diferentes grupos activos y aplicaciones; destacamos entre ellos las aplicaciones realizadas para distintas disciplinas académicas como la enseñanza de conceptos de ingeniería mecánica en combinación de Web3D, la enseñanza de matemáticas y la enseñanza de geometría [17].

#### **3.6.4. Primeras Implementaciones**

EHU Multimedia Corporation ha estado activa en la educación superior en línea durante 10 años, enfocándose en la creación de video / multimedia como parte integral del plan de estudios de proceso de estudio, particularmente en el campo de la ingeniería. El grupo ha iniciado recientemente una investigación sobre el diseño y desarrollo de contenidos multimedia en un entorno educativo online utilizando realidad aumentada. La plataforma elegida para el desarrollo de contenido multimedia basado en realidad aumentada es AMIRE, y el equipo ha identificado temas técnicos en los que las aplicaciones de realidad aumentada pueden ser efectivas. Uno de los campos de aplicación de esta nueva tecnología es el laboratorio de las asignaturas que se imparten en la Facultad de Ingeniería Mecánica. En estos laboratorios los estudiantes experimentan por vez primera con dispositivos eléctricos o mecánicos reales como son las máquinas eléctricas, circuitos electrónicos, modelos a escala, actuadores neumáticos, motores [5].

### **3.7. JUEGOS SERIOS**

#### **3.7.1. Definición De Juegos Serios**

El juego serio, es un ejercicio recreativo basado en escenarios reales, donde se asume un rol en el mundo real o virtual, para obtener un aprendizaje, dirigido a una gran variedad de público, cabe mencionar, que los juegos serios pueden ser de cualquier género, usar diversa tecnología de juegos y estar desarrollados para multiplataforma [10].

Los juegos serios potencian el aprendizaje de conductas y actitudes necesarias para el eficiente desempeño de una actividad particular y también tienen la funcionalidad del ocio cultural.[10]

En la sociedad actual, este papel lo juegan los videojuegos. Los videojuegos proporcionan a los jugadores las destrezas y habilidades típicas de la época y facilitan eficazmente el aprendizaje de las reglas. Estos beneficios se han utilizado para hacer que la educación, la formación y el procesamiento de la información sean más eficientes. Al grupo de videojuegos destinados a cumplir dichos objetivos se les denomina juegos serios [10].

### **3.7.2. Aplicación de los Juegos Serios**

Se utilizan para capacitar al personal de servicio en entornos públicos y privados en los sectores de desarrollo médico, de emergencia, educativo, industrial, comercial y científico. Este modo también incluye simulación y videojuegos diseñados para ayudar en la rehabilitación de pacientes con enfermedades crónicas o terminales. Personas diseñadas para ayudar a la psicoterapia y superar el trauma. Creado para el entrenamiento militar, no solo en táctica, sino también en el manejo de armas modernas. Son múltiples las aplicaciones para el aprendizaje de habilidades, destrezas y procesos cognitivos de nivel superior en un contexto determinado [18].

El juego serio, es un ejercicio recreativo basado en escenarios reales, donde se asume un rol en el mundo real o virtual, para obtener un aprendizaje, dirigido a una gran variedad de público, cabe mencionar, que los juegos serios pueden ser de cualquier género, usar diversa tecnología de juegos y estar desarrollados para multiplataforma [18].

### **3.7.3. Alcance de los Juegos Serios**

A través de una práctica de juego seria, se aprenden cada vez más las habilidades necesarias para tener éxito en el entorno digital en rápida evolución en todas las áreas de la sociedad actual. Hay dos ventajas principales de utilizar juegos serios para el entrenamiento: a) Tiene propiedades y técnicas específicas que te ayudan a comprender materiales y procesos complejos más rápidamente y motivar a los entrenados creados durante el entrenamiento. Quiero tener éxito en el juego. En otras palabras, resultan eficientes y además económicos [18].

### **3.7.4. Antecedentes de los Juegos Serios**

Los entornos digitales comunes que apoyan los juegos educativos, los simuladores, los micromundos y el aprendizaje constructivista existen desde finales de la década de 1980. La realidad aumentada hace que el juego se destaque. El juego como tendencia actual en la educación, en particular en la educación superior, está asociado con tres factores. Por un lado,

este elemento busca acercarse a un grupo de jugadores que se entrenan en la universidad. Al mismo tiempo, la industria de los videojuegos, que desde hace mucho tiempo le ha dado la espalda al sector educativo poco rentable, se ha interesado en la industria del poder adquisitivo, que utiliza los juegos con fines distintos al entretenimiento y tiene un interés lúdico en los juegos educativos. Juego serio famoso a la vanguardia en este campo es America's Army, un juego desarrollado por el ejército de los EE. UU. Para reclutar a jóvenes. En la educación superior, los juegos serios se han desarrollado en los últimos años en diversos campos del conocimiento como la medicina, los idiomas, la seguridad, la electricidad y la música. Finalmente, la industria de la educación no ha reconocido los fenómenos sociales asociados con los juegos en línea a gran escala y la capacidad de promover el pensamiento y la acción a gran escala en un entorno de juego seriamente abierto. Juegos como Peacemaker1 sobre el conflicto israelí-palestino.

Sin embargo, desarrollar simuladores y juegos educativos en serio o de una manera mejor y más responsable requiere un pensamiento, diseño e implementación cuidadosos y complejos. El juego no debe simplificar la realidad que intenta enseñar. En este sentido, el profesor Robert Tinker, fundador de The Concord Consortium en su artículo "Enseñanza y aprendizajes profundamente digitales" nos invita a reflexionar sobre la importancia de aprovechar de manera profunda el poder computacional de la tecnología [16].

### **3.7.5. Modelo Matemático**

Los modelos matemáticos pueden adoptar muchas formas. Dependiendo del sistema en cuestión y la situación particular, un modelo matemático puede ser menos costoso que otro. Por ejemplo, para problemas de control óptimos, es útil utilizar representaciones de espacios de estados. Por otro lado, para analizar la respuesta transitoria o de frecuencia de un sistema lineal con entradas y salidas invariantes en el tiempo, la representación de la función de transferencia puede ser más práctica que cualquier otra representación. Una vez obtenido un modelo matemático de un sistema, se usan diversos recursos analíticos, así como computadoras para estudiarlo y sintetizar [10].

## **3.8. UNITY 3D**

### **3.8.1. Definición de Unity**

Unity3D es un motor de gráficos 3D para PC, que se proporciona como una herramienta para crear juegos, aplicaciones interactivas, visualizaciones 3D y animaciones en tiempo real. Además es un motor de desarrollo totalmente integrado que ofrece un sinnúmero de

funcionalidades innovadoras, que utiliza para combinar su material gráfico y activo en distintas escenas y entornos en espacio de trabajo intuitivo y de gran velocidad [13].

### **3.8.2. Aplicaciones de Unity**

Unity es un software que centraliza todo lo necesario para desarrollar videojuegos. Es decir, Unity es una herramienta que te permite crear videojuegos para diversas plataformas mediante un editor visual y programación vía scripting, pudiendo conseguir resultados totalmente profesionales [19].

### **3.8.3. Assets**

Se conoce como Asset a un complemento el cual se puede incluir en tu juego o proyecto, estos pueden ser creados fuera o dentro de Unity como Animator Controller, Audio Mixer o Render Texture, también puede tener varios formatos compatibles con el software : modelos 3d, archivos de audio o una imagen [20].

### **3.8.4. Game4Automation**

Mejora la interfaz de usuario de Unity proporcionando una entrada fácil para la mecánica y automatización, posee muchos componentes para dispositivos de automatización entre ellos la interfaz para conectar los controladores de automatización real a través de TCP-IP [21].

### **3.8.5. Animaciones de Personajes**

La animación de personajes se puede definir como la generación, almacenamiento y presentación de imágenes que en sucesión rápida producen una sensación de movimiento, estas animaciones requieren una gran cantidad de frames intermedios para dar una sensación de movimiento, a este proceso se lo denomina interpolación [22].

### **3.8.6. Lenguajes de Programación**

El software unity está diseñado para trabajar con los lenguajes de programación como C#, JavaScript y Boo.

C# Es un lenguaje de programación orientado a objetos, desarrollado y estandarizado por Microsoft, su sintaxis básica se basa en C/C++ y utiliza el modelo de objetos de la plataforma .Net similar a la de java, pero incluye mejoras derivadas de otros lenguajes.

JavaScript lenguaje de programación enfocado a objetos basado en prototipos, imperativo, débilmente tipado y dinámico [4].

Boo es un lenguaje de programación estático orientado a objetos para una infraestructura de lenguaje común que utiliza una sintaxis inspirada en Python y se centra en la extensibilidad del lenguaje y su compilador.

### **3.9. MICROSOFT VISUAL STUDIO**

Conocido como un editor de código fuente basado en componentes para crear aplicaciones potentes y de alto rendimiento, que permite compartir herramientas y facilitar soluciones multilenguaje, este paquete es simple y de fácil acceso para la programación de gráficos por computadora. Haz que suceda de una forma u otra. Además, la funcionalidad de .NET Framework en estos lenguajes proporciona acceso a tecnologías clave y simplifica el desarrollo de aplicaciones web ASP y servicios web XML. Está basado en BASIC (Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code), un lenguaje de programación de alto nivel, que puede ser tanto interpretado como compilado, no estructurado, y de fácil aprendizaje, Visual Basic .NET es un lenguaje de programación orientado a objetos que cuenta con los beneficios que le brinda .NET Framework, el modelo de programación diseñado para simplificar la programación de aplicaciones en un entorno sumamente distribuido [23].

### **3.10. CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES**

Son aparatos que se desarrollaron para reemplazar los circuitos secuenciales de relés utilizados para controlar máquinas, trabajan analizando el estado en el que se encuentra sus entradas y dependiendo del estado de las mismas, para manipular sus salidas encendiéndose o apagándose. Se debe ingresar un programa usualmente por software para obtener resultados de operación deseados.

Al usar los PLC en varias aplicaciones de tareas cotidianas produce ahorro de costos y tiempo, además de evitar que los operarios realicen tareas peligrosas [24].

#### **3.10.1. PLC Siemens S7-1200**

El controlador SIMATIC S7-1200 es el modelo modular y compacto para pequeños sistemas de automatización que requieran funciones simples o avanzadas para lógica, HMI o redes, gracias a su diseño compacto, su bajo coste y sus potentes funciones, los sistemas de automatización S7-1200 son idóneos para controlar tareas sencillas en el marco del compromiso SIMATIC para con la automatización plenamente integrada (TIA: Totally Integrated Automation), la familia de productos S7-1200 y la herramienta de programación STEP 7 Basic

proporcionan la flexibilidad necesaria para cubrir las diferentes necesidades de automatización de cada caso [13].

### **3.11. TIA PORTAL**

Es un sistema que permite la configuración intuitiva y eficiente de los procesos de planificación y producción. Ofrece un entorno de ingeniería unificado para múltiples tareas de control, visualización y accionamiento, pues incorpora las nuevas versiones de software SIMATIC Step 7, WinCC y Stardrive para la programación parametrización y diagnóstico de los controladores SIMATIC. Se dispone de un texto estructurado, diagramas de contactos, esquemas de funcionamiento, listas de instrucciones y la posibilidad de programar la cadena de procesos [25].

#### **3.11.1. PID Compact**

La herramienta PID Compact del TIA Portal ofrece un regulador PID continuo con optimización integrada, en este bloque se compara una señal deseada con el valor real que será medido con la ayuda de un sensor que se encuentra en la planta, de esta diferencia entre los dos valores se obtiene un error a partir de este valor calcula el valor de salida o de control para que el valor real y el deseado sea el mismo de forma estable y en el menor tiempo.

Este bloque internamente nos brinda un regulador PID que realiza 3 acciones de control que son regulados de manera autónoma como optimización inicial, posterior a esto se puede realizar una optimización fina [26].

#### **3.11.2. OPC (OLE for Process Control)**

OPC es el conjunto de normas industriales para la interconectividad de sistemas que proporcionan una interfaz común para las comunicaciones entre diferentes productos de distintos proveedores [27].

La Arquitectura Unificada OPC (OPC UA) es el nuevo estándar de la organización OPC que proporciona interoperabilidad en la automatización de procesos.

La organización OPC ha publicado un conjunto de estándares ampliamente aceptados en la industria para proporcionar interoperabilidad en la automatización industrial. OPC DA [DA] permite acceder a datos actuales, OPC HDA [HDA] acceder a datos históricos y OPC A & E [AE] acceder a alarmas y eventos. La nueva especificación OPC UA proporciona todos los datos en su espacio de direcciones unificado. Por lo tanto, los datos actuales, los datos históricos y los eventos están relacionados entre sí. Un gran logro nuevo de OPC UA es un modelo de

datos de nivel superior más allá de la simple información de tipo de datos. OPC UA proporciona un metamodelo extensible donde se escriben esos elementos. Además de proporcionar un elemento con el tipo de datos flotantes y algo de metainformación como unidad de ingeniería, OPC UA permite escribir el elemento [28].

### **3.11.3. TCP/IP**

Es un protocolo de comunicación que trabaja en la capa 3 y la capa 4 de la escala OSI. Es un predecesor del actual internet que fue inicialmente desarrollado por el departamento de defensa de los Estados Unidos [29].

Los protocolos TCP/IP fueron desarrollados por el departamento de defensa de los estados unidos en el año 1972 con el fin de dar solución a un problema de ingeniería, con él se simplificó la tarea que realizan las redes en el proceso de comunicación creando así la posibilidad para la comunicación entre diferentes redes, fue diseñado para tener un alto grado de fiabilidad, siendo adecuado para grandes redes de comunicaciones. Hoy en día es utilizado para conectarse a internet a nivel mundial [29].

Es compatible con las herramientas estándar para el análisis del funcionamiento de la red TCP/IP se basa en el modelo de operación envío/recepción. Tiene dos formas diferentes de entablar una conexión activa y pasiva [29].

## **3.12. ARDUINO**

### **3.12.1. Definición de Arduino**

Arduino es el ecosistema de software y hardware de código abierto líder en el mundo. La compañía ofrece una gama de herramientas de software, plataformas de hardware y documentación que permiten a casi cualquier persona ser creativa con la tecnología [30].

### **3.12.2. Lenguaje de Programación**

El lenguaje estándar para programar Arduino es C++, sin embargo, es posible usar otro tipo de lenguajes, estos lenguajes son una adaptación que proviene de Avr-Libc que provee de una librería de C de alta calidad para usar con GCC en los microcontroladores AVR de Atmel.

### **3.12.3. Aplicaciones de Arduino**

Arduino es una herramienta popular para el desarrollo de productos de IoT y una de las herramientas más exitosas en la educación STEM / STEAM. Cientos de miles de diseñadores, ingenieros, estudiantes, desarrolladores y fabricantes de todo el mundo están utilizando Arduino

para innovar en música, juegos, juguetes, hogares inteligentes, agricultura, vehículos autónomos y más [30].

#### **3.12.4. Antecedentes de Arduino**

Inició como un proyecto de investigación por Massimo Banzi, David Cuartielles, Tom Igoe, Gianluca Martino y David Mellis en el Interaction Design Institute de Ivrea a principios de la década de 2000. Se basa en el proyecto Process, que es el lenguaje A para aprender a programar. En el contexto de las artes visuales, fue desarrollado por Casey Reas y Ben Fry y un borrador de tratado fue elaborado por Hernando Barragán en la pizarra.

La primera placa Arduino está diseñada para ayudar a los estudiantes de diseño sin experiencia en programación en electrónica o microcontroladores a crear prototipos prácticos que conectan los mundos físico y digital. Desde entonces, se ha convertido en la herramienta de creación de prototipos electrónicos más popular utilizada por ingenieros e incluso grandes empresas.

Arduino se ha convertido en la opción número uno para los fabricantes de productos electrónicos, especialmente para desarrollar soluciones para el mercado de IoT [30].

#### **3.12.5. Clasificación**

Arduino ha desarrollado varias tarjetas con especificaciones diferentes brindando así la posibilidad de seleccionar el adecuado según los requerimientos que se tenga, entre los más usuales tenemos:

- Arduino uno
- Arduino Mega 2560
- Arduino Mega ADK
- Arduino Leonardo
- Arduino Nano
- Arduino FIO
- Arduino DUE
- Arduino YUN

#### **3.12.6. Señales.**

Son las variaciones de la corriente eléctrica u otra magnitud física a través del tiempo con el fin de transmitir información con eficiencia.

#### **3.12.7. Señales Digitales**

La señal digital o binaria solo tiene dos posibilidades niveles o estados discretos de interés, el estado alto (on) y l estado bajo (off).

### 3.12.8. Señales Analógicas

Son aquellas cuya variación, tanto en amplitud como a lo largo del tiempo, es continua. Es decir, pueden tomar cualquier valor real, en cualquier instante de tiempo.

### 3.12.9. Conversión de Señales Digitales a Analógicas.

Los instrumentos de campo se comunican por lo general mediante señales analógicas, mientras que la computadora y demás dispositivos electrónicos trabajan con señales digitales.

Para la comunicación entre estos dos tipos de señales se tiene Un convertidor de Digital a Analógico es un dispositivo que emite una señal analógica a partir de una señal de entrada digital. Esto lo logra mediante el proceso inverso al convertidor A/D [31].

## 3.13. COMUNICACIÓN SERIAL

Cuando hablamos de código Morse, estamos hablando de comunicación serial. Esto se llama así porque los bits se transmiten uno tras otro o "en serie". Este tipo de comunicación se usa mucho en computadoras. La comunicación realizada con el puerto serial es asíncrona, para la sincronización se precisa siempre de un bit adicional a través del cual el emisor y el receptor intercambian la señal de pulso [32].

### 3.14. CONVERTOR DIGITAL – ANALOGICO MCP4725

Con una resolución de 12 bits. Este convertidor está montado en una placa de Adafruit Industries como se muestra en la Figura 3.1. El MCP4725 es utilizado para convertir los valores discretos de la señal de control, proveniente del microcontrolador por medio del bus I2C, a valores analógicos [31].

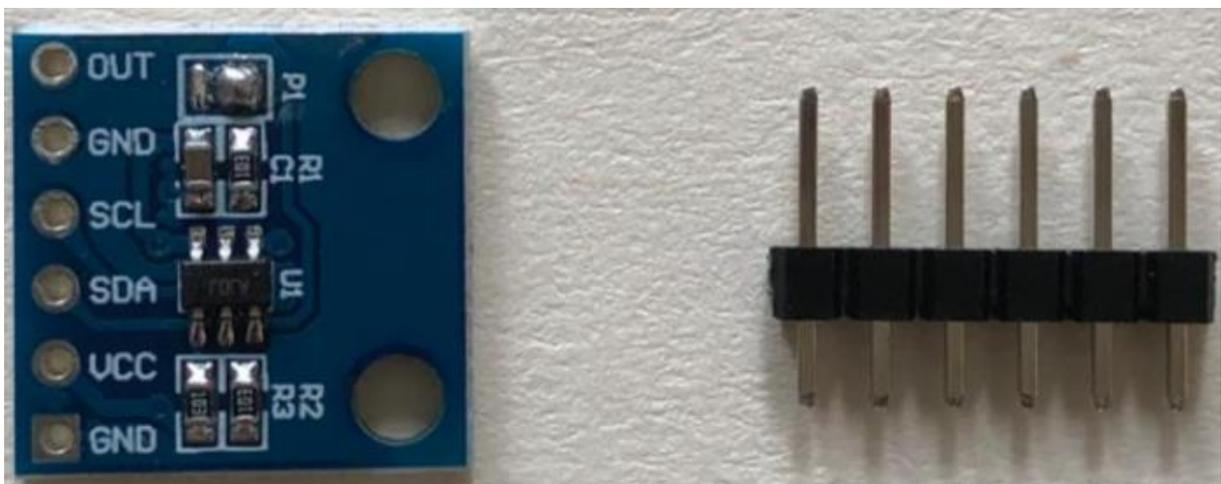
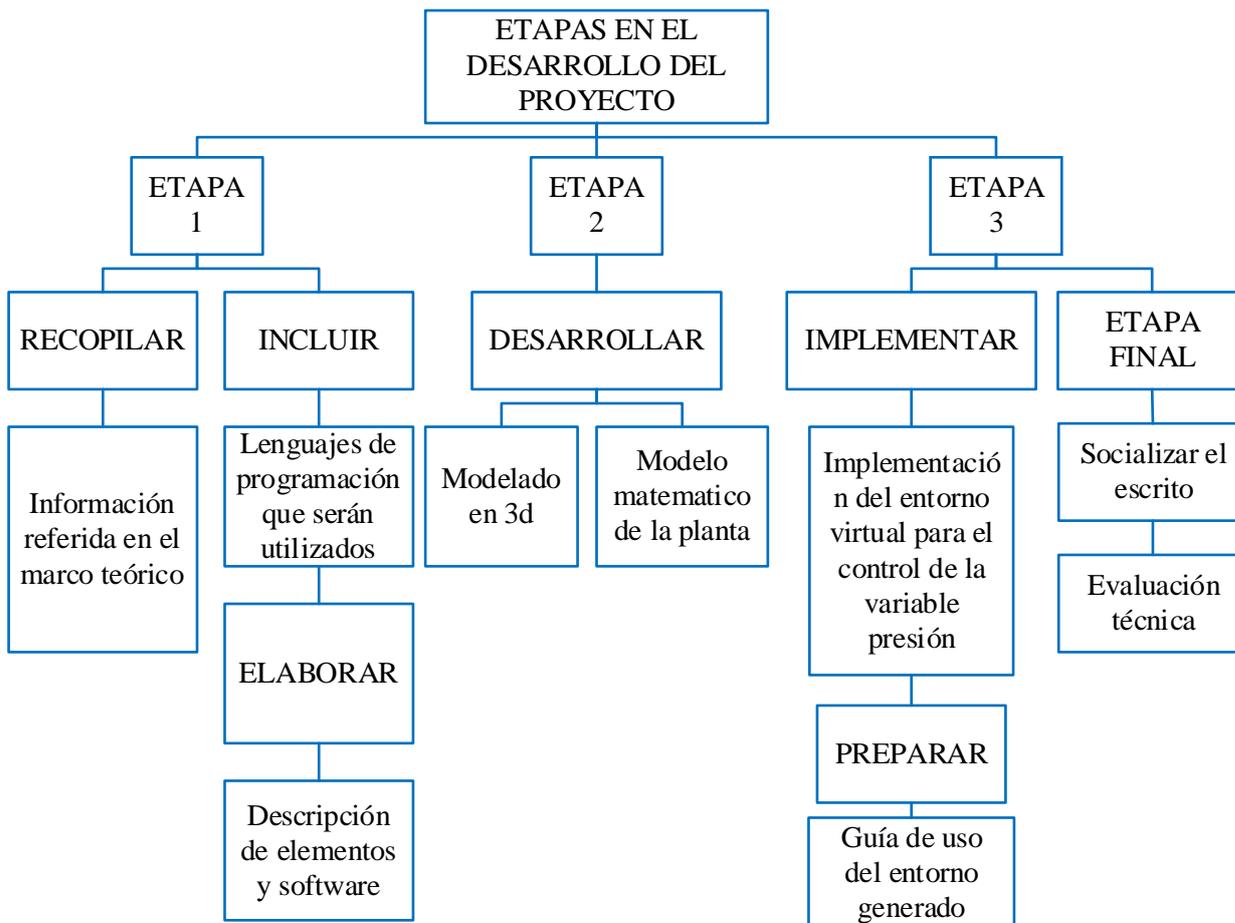


Figura 3.4. MCP4725

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente proyecto de tesis se orienta hacia un estudio de tipo descriptivo. Cada una de las etapas presenta una relación clara y concisa para el desarrollo general. La base fundamental del proceso se encuentra dirigida hacia la recopilación de la información y la comunicación entre los componentes y software que permiten la virtualización del proceso de control PID de aire comprimido aplicando distintos métodos de sintonización.



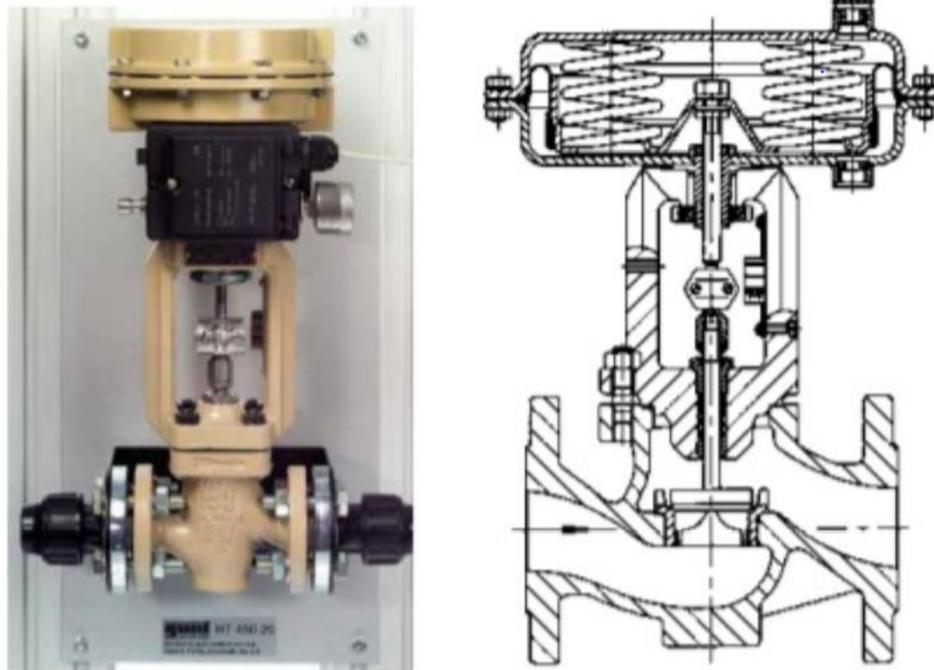
**Figura 4.1.** Descripción del desarrollo de tesis

### 4.1. OBTENCIÓN DE LA FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA DE LA PLANTA DE PRESIÓN

La función de transferencia responde al módulo de presión RT450.03 que está debidamente equipada para poder realizar prácticas de control de presión de aire comprimido, posee protecciones tanto de tipo neumáticas como eléctricas. Este módulo está compuesto por compresor de aire de 60 psi que alimenta al sistema, una unidad de mantenimiento con el fin de

purificar y lubricar el aire, el actuador de esta planta es una válvula neumática con una presión nominal de accionamiento de 0 a 14.5 PSI, el porcentaje de abertura o cierre de esta válvula está dada por señales de corriente de 4 a 20 mA. y posee un indicador visual del porcentaje de abertura que está teniendo la válvula, consta también de dos cilindros de acero incorporados con manómetros y el sensor de presión que es elemento transductor pasivo con el principio de funcionamiento piezoeléctrico que mide la presión relativa su rango de alimentación es 11-33Vdc y la salida es corriente de 4 a 20 mA, Los conductores son mangueras de acople rápido.

- Analisis de la Válvula de Control Neumático



**Figura 4.2.** Válvula de control, accionamiento neumático [33]

La válvula neumática se comporta de forma lineal y recibe como señal de control de 4 – 20 mA con una carrera máxima de 15 mm y una cantidad de caudal de la válvula en una posición completamente abierta ( $K_v$ ) de 0.4.

Como la válvula es lineal se realiza el siguiente procedimiento:

$$Cv = C_{v,max} * vp \quad (4.1)$$

Donde  $C_v$  es coeficiente de caudal,  $V_p$  es la posición de la válvula,  $C_{v,max}$  es el caudal máximo que pasa por la válvula.

$$kv = 0.86 * C_v$$

$$C_v = \frac{kv}{0.86}$$

$$C_v = \frac{0.4}{0.86}$$

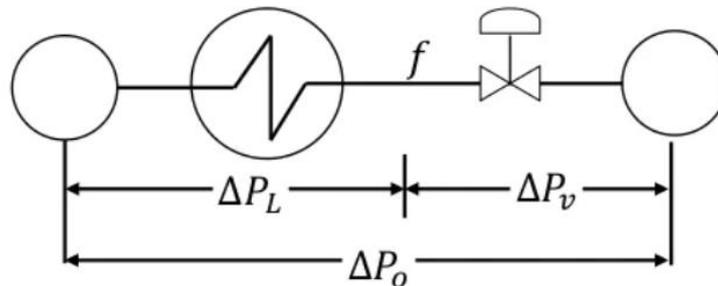
$$C_v = 0.46 \text{ l/min}$$

Rangeabilidad

$$R = \frac{\text{flujo al (95\%)}}{\text{flujo al (5\%)}}$$

$$\Delta P_l > \Delta p_v$$

Donde  $R$  es la rangeabilidad,  $\Delta P_l$  es la pérdida de presión en la línea incluido todos los componentes,  $\Delta p_v$  es la pérdida en la válvula.



**Figura 4.3.** Pérdidas del sistema.

$$\nabla P_l = K_l G_f f^2 \tag{4.2}$$

Donde  $\nabla P_l$  pérdida de presión en la línea,  $K_l$  es el coeficiente de fricción  $G_f$  es la densidad del fluido (aire=1 PSI/gpm<sup>2</sup>).

Para el caso de estudio se considera nula la pérdida en la línea.

Flujo

$$f = \frac{C_v}{\sqrt{1+k_l C_v^2}} \sqrt{\frac{\Delta P_o}{G_f}} \quad (4.3)$$

$$f = 254 \frac{l}{min} * \frac{1gpm}{3.7} = 68.64 gpm$$

$$f = 68.64 gpm$$

Asumiendo el 10% de pérdida calculamos el coeficiente de fricción.

$$Kl = \frac{\Delta Pl}{G_f f^2} \quad (4.4)$$

$$Kl = \frac{6}{1 * 68.64 + 68.64^2}$$

$$Kl = 0,087$$

Cálculo del caudal máximo que permite la Válvula

$$Cv_{max} = 2f \sqrt{\frac{G_f}{\Delta P_o}} \quad (4.5)$$

$$Cv_{max} = 2 (68.64) \sqrt{\frac{1}{9}}$$

$$Cv_{max} = 45.76 gpm$$

Cálculo del flujo máximo

$$f_{max} = \frac{Cv_{max}}{\sqrt{1+k_l C_v_{max}}} \sqrt{\frac{\Delta P_o}{G_f}} \quad (4.6)$$

$$f_{max} = \frac{45.76}{\sqrt{1 + 0.087 * 45.76^2}} \sqrt{\frac{9}{1}}$$

$$f_{max} = 10.1431$$

Flujo al 95 % de abertura de la válvula: como la válvula es lineal se calcula el 95% del Cv.

$$Cv_{5\%} = 45.76 * 0.05 = 2.29gpm$$

$$Cv_{95\%} = 45.76 * 0.5 = 43.47gpm$$

$$f_{95\%} = \frac{2.29}{\sqrt{1 + 0.087 * 2.25^2}} \sqrt{\frac{9}{1}}$$

$$f_{95\%} = 5.7$$

$$f_{95\%} = \frac{43.47}{\sqrt{1 + 0.087 * 43.47^2}} \sqrt{\frac{9}{1}}$$

$$f_{95\%} = 10.1401$$

Calculamos la Rangeabilidad

$$R = \frac{f_{95\%}}{f_{5\%}}$$

$$R = \frac{10.1401}{5.7}$$

$$R = 1.778$$

Función de transferencia de la válvula

$$G_v(s) = \frac{K_v}{\tau_v s + 1} \quad (4.7)$$

Ganancia del sistema (Kv)

$$Kv = \pm \frac{1}{100} C_{v,max} \left(1 + k_l \bar{C}_v^{-2}\right)^{-\frac{3}{2}} \sqrt{\frac{\Delta p_o}{G_f}} \quad (4.8)$$

Donde  $\bar{C}_v$  Es el valor de la apertura donde se estabiliza la válvula.

$$Kv = \pm \frac{1}{100} \frac{f_{max}}{(1 + k_l \bar{C}_v^{-2})} \frac{gpm}{\%CO}$$

$$Kv = \pm \frac{1}{100} \frac{10.1431}{(1 + 0.087 * 48^2)} \frac{gpm}{\%CO}$$

$$Kv = \pm 0.0031 \frac{gpm}{\%CO}$$

Constante de tiempo del actuador de la válvula ( $\tau$ )

$$\tau = \sqrt{\frac{m}{K * gc}} \quad (4.9)$$

$$\tau = \sqrt{\frac{m}{K * \frac{m \cdot a}{F}}}$$

$$P = \frac{F}{A}$$

$$\tau = \sqrt{\frac{PA}{Ka}}$$

$$\tau = \sqrt{\frac{PA}{Ka}}$$

$$\tau = \sqrt{\frac{60PSI * 0.125m}{9.33 \frac{N}{m} * 1 \frac{m}{s^2}}}$$

Donde m es la masa, k es la constante de hooke, F es la fuerza, a es la aceleración, P es la presión, A es el área.

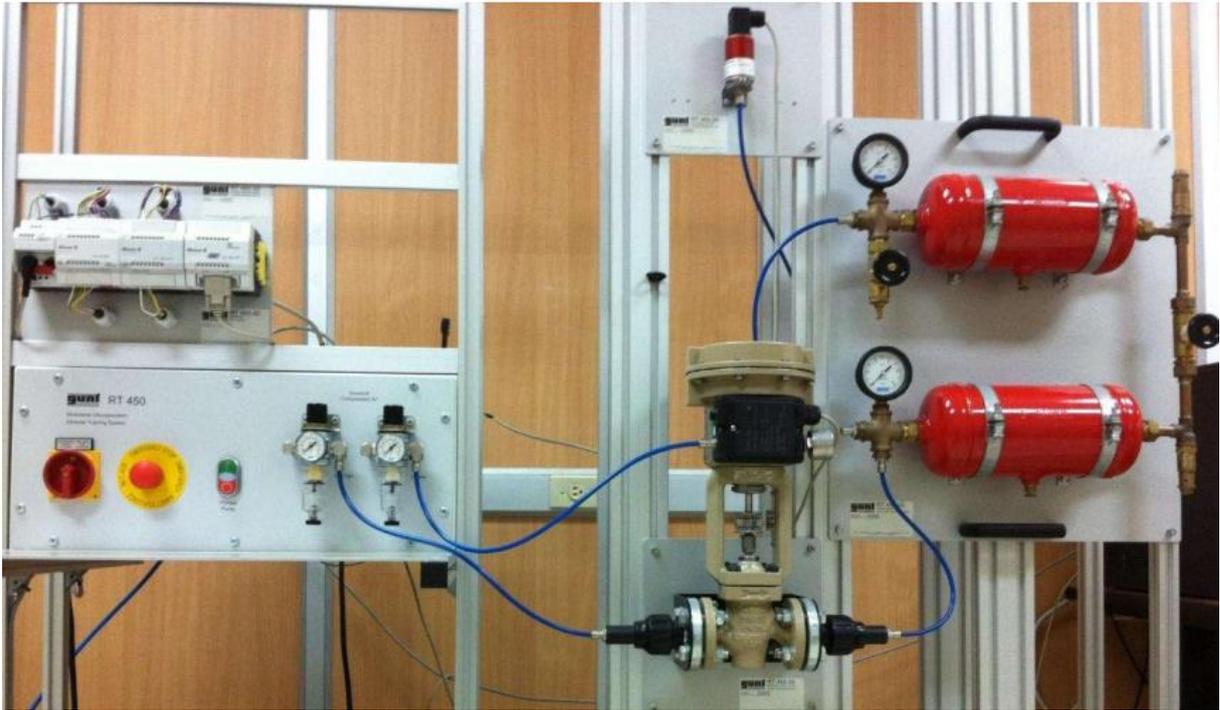
$$9.33 \frac{N}{m} * 0.7376 \frac{PSI}{1 \frac{N}{M}}$$

$$6.88 PSI$$

$$\tau = \sqrt{\frac{60PSI * 0.125m}{6.88PSI * 1 \frac{m}{s^2}}}$$

$$\tau = 1.04s$$

$$G_v(s) = \frac{0.0005}{1.04s + 1}$$

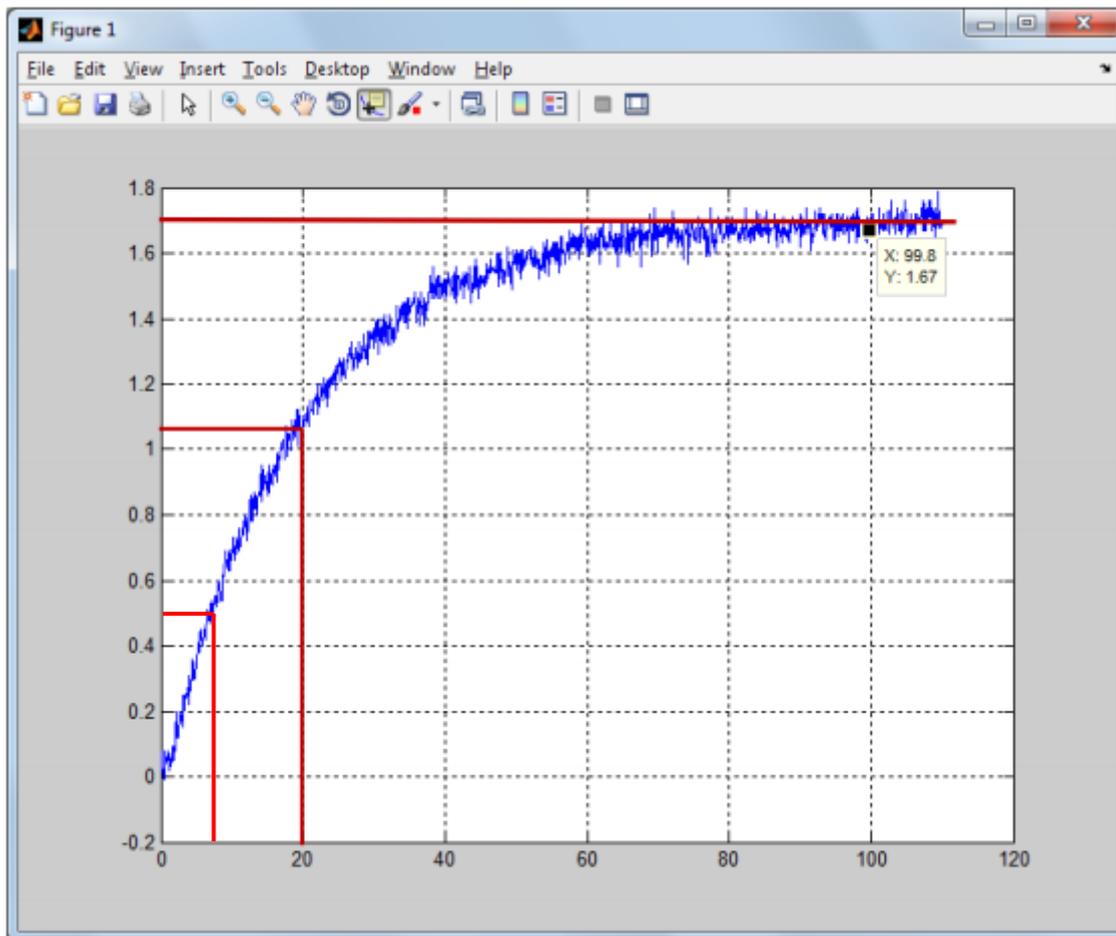


**Figura 4.4.** Módulo de presión RT450.03 [33]

De este módulo se obtiene la señal de comportamiento de forma manual con abertura del elemento controlador al 10% y en la configuración de lazo abierto obteniendo así la señal sobre la que se trabaja para comprobar la validez de la función de transferencia.

$$G = \frac{-0.032682(s-2.34)}{(s+1.205)(s+0.03556)} \quad (4.10)$$

Para esta parte de la investigación previa a la realización del proyecto de investigación se comprueba la validez y proceso de obtención de función transferencia utilizando el método de los dos puntos de Smith donde manifiesta que los tiempos requeridos para que la respuesta alcance el 28.3% ( $t_{28}$ ) y el 63.2% ( $t_{63}$ ) del valor final. Entonces partimos de la curva proporcionada en la tesis que describe la respuesta de la planta ante una señal escalón.



**Figura 4.5.** Curva de la planta ante una señal escalón

Los sistemas sobreamortiguados de orden superior a uno, se representan por medio de un modelo de primer orden más tiempo muerto.

$$G = \frac{ke^{-t_0s}}{(\tau s+1)^2} \quad (4.11)$$

Dónde:  $G$  es la función de primer orden con retardo,  $k$  es la ganancia del sistema,  $T_0$  es el tiempo muerto y  $\tau$  es la constante del tiempo.

Para aplicar el método señalado por Smith vemos que el valor final donde se estabiliza la planta es 1.7 pasando ser este valor la amplitud, entonces se obtiene los dos valores de tiempo que se necesita, calculando el 28.3% y 63.2% del total de la amplitud.

Estos valores se ubican en el eje (Y) y trazando una perpendicular sobre la recta obtenemos los dos tiempos necesarios para el método que estamos aplicando.

**Tabla 4.6.** Tiempos necesarios para el método.

Valor final de estabilización	Porcentaje (%)	Porcentaje (%)
1.7	28.3%	63.2 %
Tiempo	0.48(s)	1.07(s)

Con estos valores se aplican las siguientes fórmulas para encontrar  $\tau$  y  $t_o$ .

$$\tau = 1.5(t_{63} - t_{28}) \quad (4.12)$$

$$t_o = t_{63} - \tau \quad (4.13)$$

Donde  $\tau$  es la constante de tiempo,  $t_{63}$  y  $t_{28}$  es el tiempo al 63.2% y 28.3% del total de la curva de la planta en lazo abierto frente al escalón unitario respectivamente,  $t_o$  es el tiempo muerto.

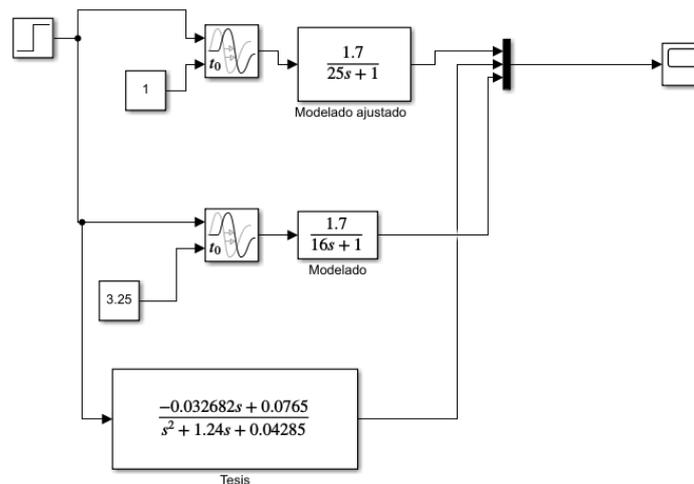
$$\tau = 1.5(19 - 8.5)$$

$$\tau = 15.75$$

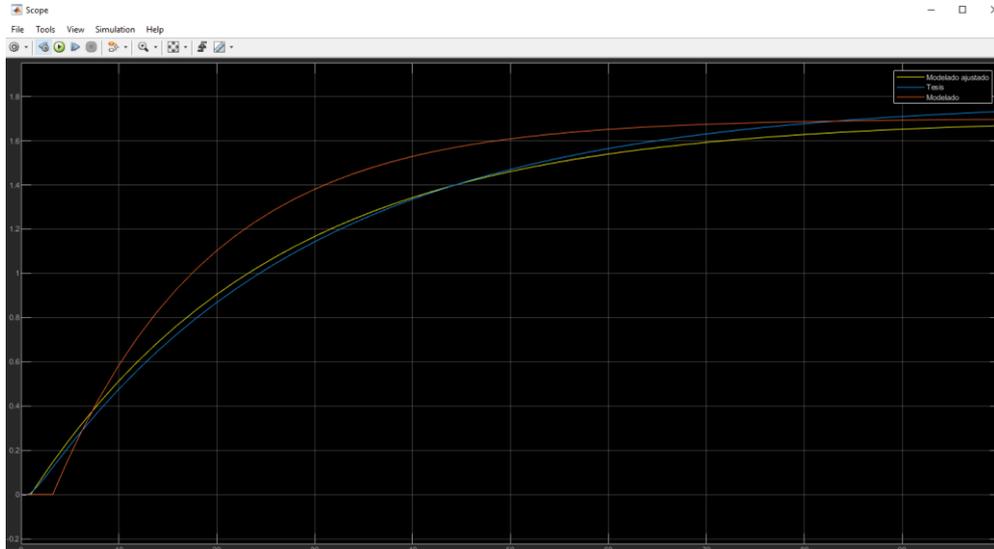
$$t_o = 19 - 15.75$$

$$t_o = 3.25$$

Una vez obtenidos los valores se ingresa por medio de Simulink en un bloque de función de transferencia figura 4.7. para poder comparar la curva que esta nos traza verificar que grado de similitud que tiene ingresando también la función de transferencia dada por la tesis.

**Figura 4.7.** Diagrama de bloques en Simulink

Esta es la configuración que se usa para comprobar la función de transferencia de manera analítica pues la técnica que los autores de la tesis de donde tomamos la función de transferencia es la regresión y como se puede observar la curva de comportamiento es similar.



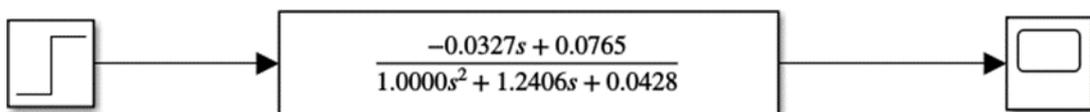
**Figura 4.8.** Comparación de resultados

Este es el resultado donde claramente se aprecia que la línea amarilla que es el modelo ajusta de forma manual tiene una similitud bastante alta por ende se comprueba que esa función de transferencia si se puede usar en nuestro proyecto.

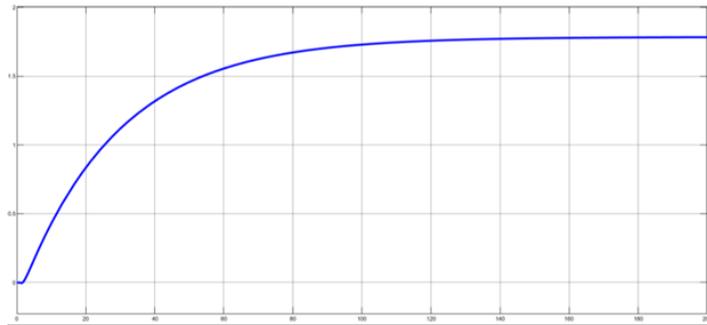
#### 4.1.2. Aplicación de Métodos De Sintonización

##### -Ziegler y Nichols

Se inicia el comportamiento de la función de transferencia en lazo abierto, aquí se presenta el diagrama de bloques Figura 4.9 y la curva de reacción en la Figura 4.10.

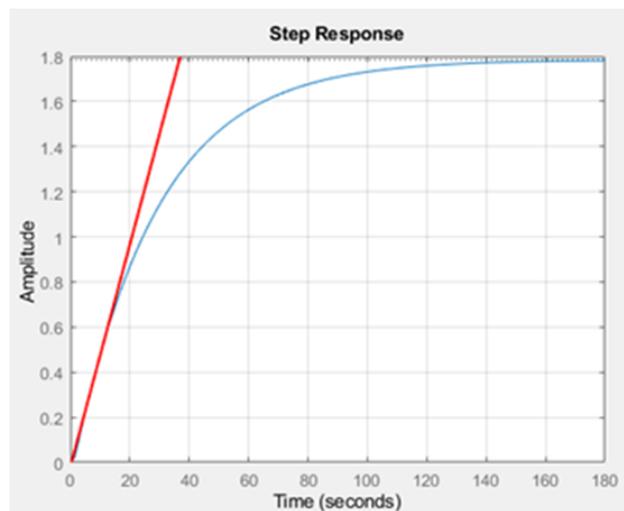


**Figura 4.9.** Diagrama de bloques, control planta presión



**Figura 4.10.** Curva de reacción, planta presión

Se obtiene el tiempo de retardo  $L$  y la constante de tiempo  $\tau$ , en base al método 1 de sintonización de Ziegler y Nichols, ver la Figura 4.11.



**Figura 4.11.** Curva de reacción, parámetros

Donde:

$$K = 1.8$$

$$L = 2.66$$

$$L_1 = 36$$

$$\tau = L_1 - L = 36 - 2.66 = 33.34$$

$$k_p = 1.2 \frac{\tau}{KL} = 1.2 \left( \frac{33.34}{1.8 * 2.66} \right) = 8.35 \text{ recomendado } \frac{k_p}{2} \implies k_p = \frac{8.35}{2} = 4.17$$

$$\tau_i = 2L = 2 * 2.66 = 5.32$$

$$\tau_d = 0.5 * L = 0.5 * 2.66 = 1.33$$

Por lo tanto, los parámetros de sintonía del PID de la planta de presión son:

**Tabla 4.2.** Parámetros de sintonía de Ziegler y Nichols

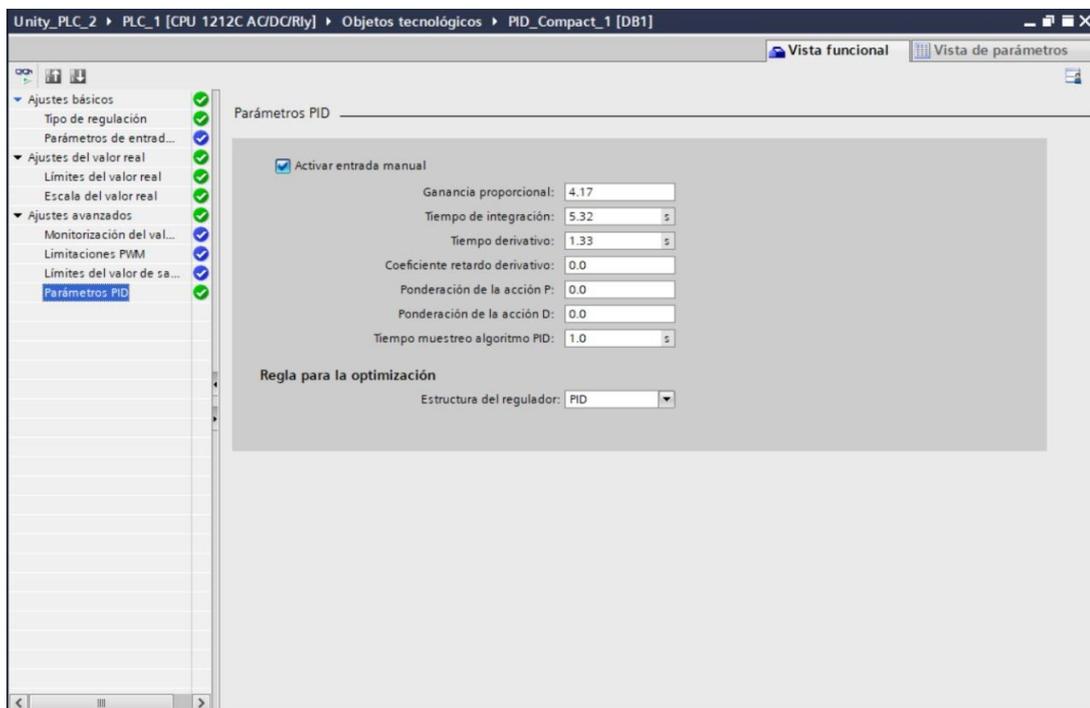
Controlador	$k_p$	$\tau_i$	$\tau_d$
<b>PID</b>	$1.2 \frac{\tau}{KL}$	$2L$	$0.5L$
<b>PID</b>	4.17	5.32	1.33

Para la implementación del control PID se procede a ingresar las constantes de sintonización en la configuración de parámetros del PID\_Compact en TIA V16, como muestra la Figura 4.12.

$$k_p = 4.17$$

$$\tau_i = 5.32$$

$$\tau_d = 1.33$$

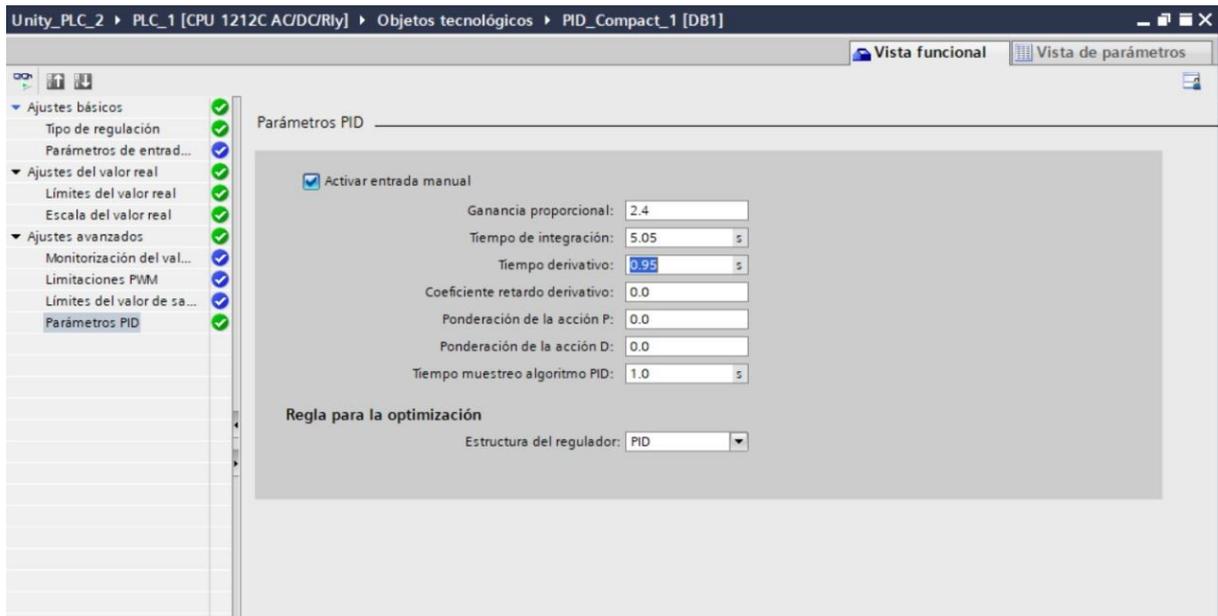


**Figura 4.12.** Parámetros de control PID en TIA V16

- Cohen y Coon

**Tabla 4.3.** Fórmulas de sintonización de Cohen y Coon

	$K_C$	$T_i$	$T_D$
$P$	$K_C = \frac{1}{K} \frac{\tau}{\theta} \left( 1 + \frac{\theta}{3\tau} \right)$	No aplica	No aplica
$PI$	$K_C = \frac{1}{K} \frac{\tau}{\theta} \left( 0.9 + \frac{\theta}{12\tau} \right)$	$T_i = \theta \frac{32 + 6 \frac{\theta}{\tau}}{13 + 8 \frac{\theta}{\tau}}$	No aplica
$PID$	$K_C = \frac{1}{K} \frac{\tau}{\theta} \left( \frac{4}{3} + \frac{\theta}{4\tau} \right)$	$T_i = \theta \frac{32 + 6 \frac{\theta}{\tau}}{13 + 8 \frac{\theta}{\tau}}$	$T_D = \theta \frac{4}{11 + 2 \frac{\theta}{\tau}}$
$PID$	$K_C = 2.40$	$T_i = 5.05$	$T_D = 0.95$



**Figura 4.13.** Parámetros de control PID en TIA V16

**-Smith y Corripio**

$$63.2\% \text{ de } 1.8 = 1.13 \Rightarrow 27 \text{ segundos}$$

$$28.3\% \text{ de } 1.8 = 0.5 \Rightarrow 11 \text{ segundos}$$

$$t_1 = 11$$

$$11 = \tau + \frac{T}{3}$$

$$t_2 = 16$$

$$16 = \tau + T$$

$$\tau = T - 16$$

$$\tau = 11 - \frac{T}{3}$$

$$\tau = \tau$$

$$16 - T = 11 - \frac{T}{3}$$

$$\frac{T}{3} - T = 11 - 16$$

$$\frac{T - 3T}{3} = 11 - 16$$

$$T - 3T = -5 * 3$$

$$-2T = -15$$

$$T = \frac{-15}{-2}$$

$$T = 7.5$$

Reemplazando T

$$16 = \tau + T$$

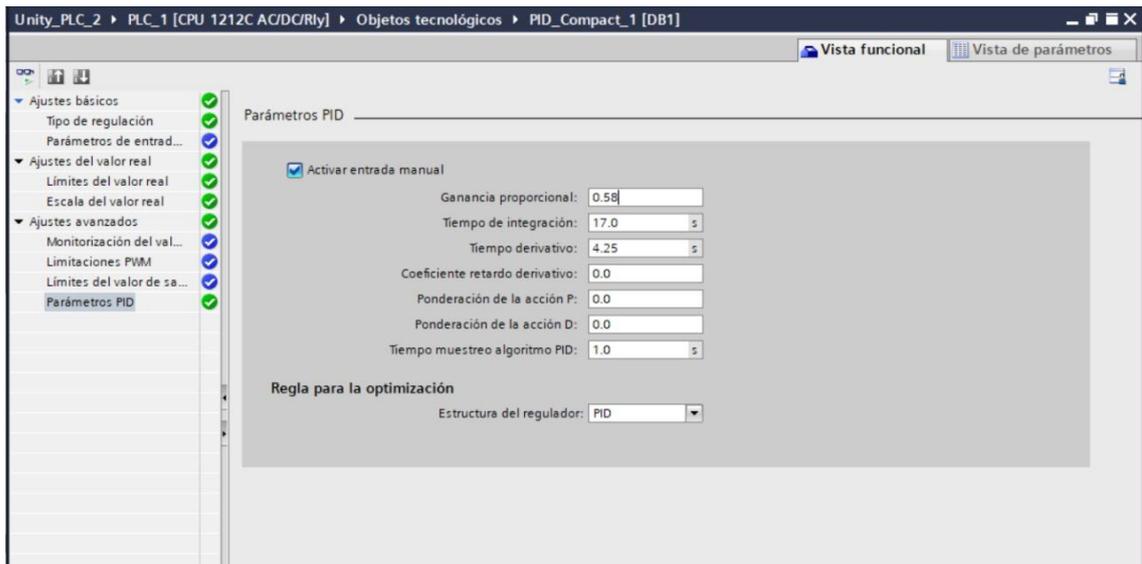
$$\tau = 16 - T$$

$$\tau = 16 - 7.5$$

$$\tau = 8.5$$

**Tabla 4.4.** Parámetros de sintonía de Smith

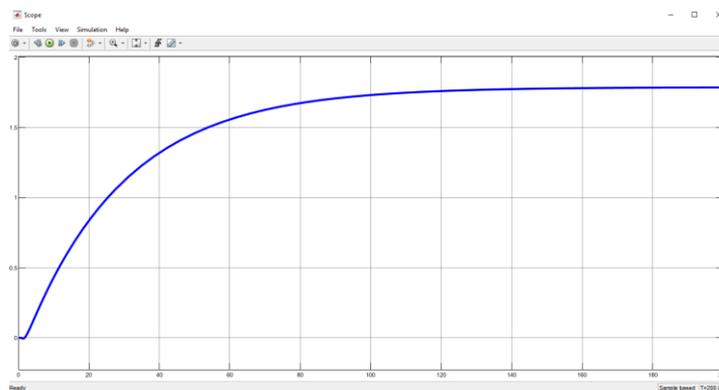
Controlador	$kp$	$\tau_i$	$\tau_d$
PID	$1.2 \frac{\tau}{KL}$	$2L$	$0.5L$
PID	0.58	17	4.25



**Figura 4.14.** Parámetros de control PID en TIA V16

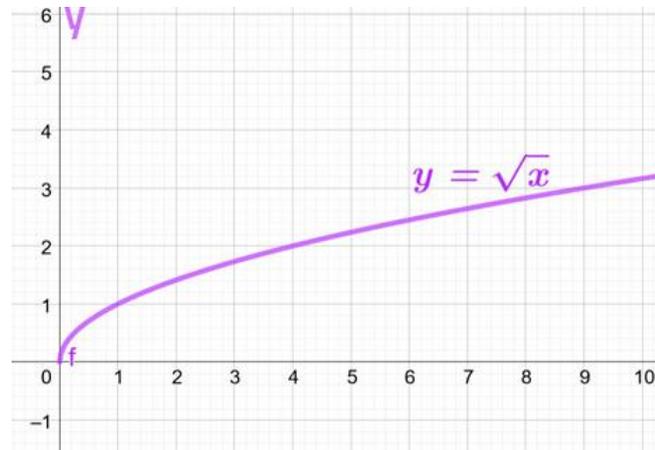
### 4.1.3. Acondicionamiento De La Función De Transferencia Para Ingresar En Arduino

Para generar una planta similar se utiliza Arduino donde no existe la posibilidad de ingresar la función de transferencia como tal entonces partimos del análisis de la curva Figura 4.15. que da como resultado de ingresar la función de transferencia en Simulink.



**Figura 4.15.** Curva de la función de transferencia

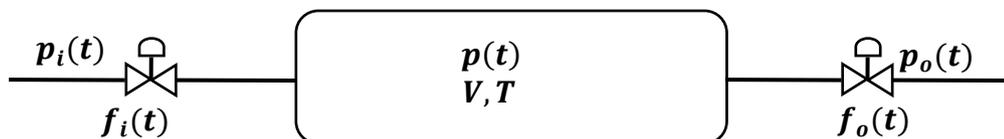
El resultado es una curva similar a la que se obtiene de una función raíz cuadrada.



**Figura 4.16.** Curva de la función raíz cuadrada

Partiendo de esta comparativa se relaciona con una expresión matemática de una planta de control de presión entonces tenemos la siguiente ecuación de tipo raíz cuadrada pudiendo determinar así que la función corresponde a la respuesta de una función que implique la raíz cuadrada.

Como segunda parte de este proceso adoptamos valores de presión de 0 a 25 PSI, temperatura constante de presión con fines didácticos para una mejor apreciación del comportamiento de la planta, designamos las salidas D5 y D9 como las señales de SP y PV respectivamente haciendo referencia en la siguiente Figura 4.14 del autor Carlos A. Smith, Armando B. Corripio.



**Figura 4.17.** Planta de presión [34].

$$C = \frac{V \cdot T}{R} \quad (4.14)$$

$$V = 5 \text{ m}^3 \text{ (Volumen)}$$

$$R = 8500 \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{kgmol}} \text{ (Constante de presión)}$$

$$T = 273 \text{ F (Temperatura)}$$

$a_1 = \text{válvula de control de ingreso}$

$a_2 = \text{válvula de control de salida}$

Partiendo de estas expresiones y datos que nos proporciona el ejercicio se determina que el modelo matemático de la planta es:

$$pp = C * \left[ \left( a_1 * \sqrt{(p_i * (p_i - p))} \right) - \left( a_2 * \sqrt{(p * (p - p_o))} \right) \right] \quad (4.15)$$

De estos valores se obtiene una constante para nuestra planta que es:

$$C=0.16$$

## 4.2. DISEÑO DEL ENTORNO VIRTUAL DE CONTROL DE PRESIÓN

### 4.2.1. Desarrollo Del Modelado 3D

Para la creación del entorno virtual se toma como base un taller con un módulo de presión diseñado desde Blender figura 4.18. Una vez terminado el proceso de diseño se procede a exportar en formato FBX para su importación en Unity 3D.

Se usó Blender como software de modelado principal por ser gratuito y por su alta compatibilidad con Unity.

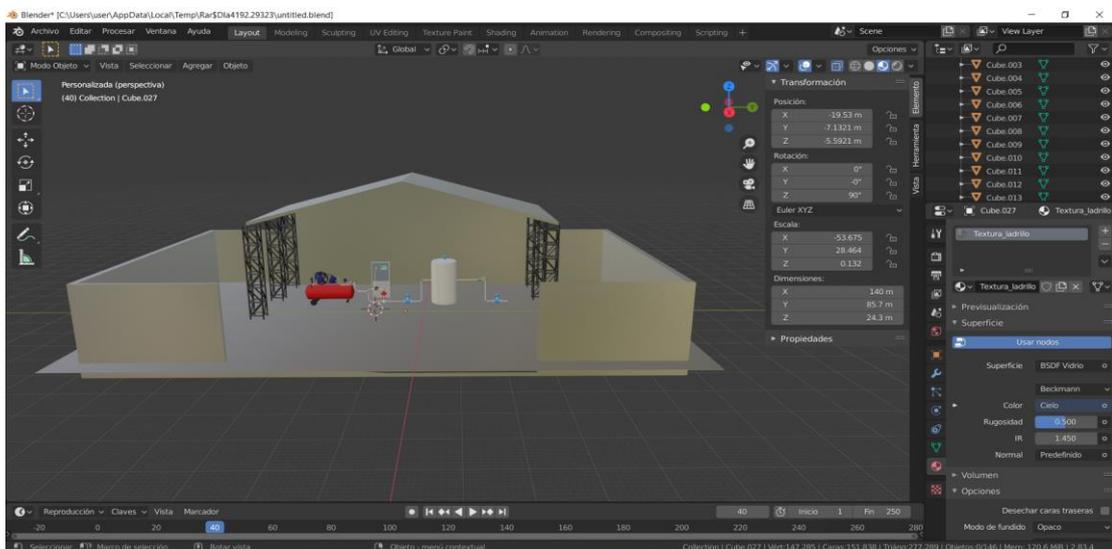
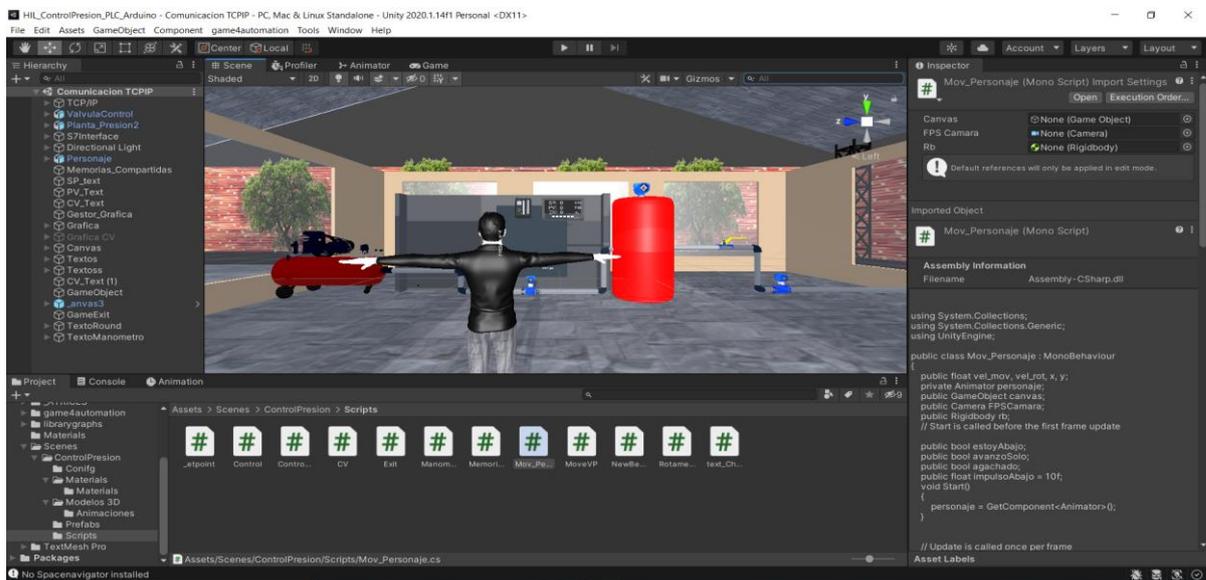


Figura 4.18. Creación del entorno virtual en Blender.

### 4.2.2. Diseño Unity 3d

El entorno diseñado en Blender se importa a Unity 3D en formato FBX figura 4.19. Para así poder configurar texturas, materiales, puntos de rotación. Unity también nos permite dar las animaciones y movimientos necesarios para que nuestro entorno se asemeje lo más parecido a un entorno real. Dando así animaciones y movimientos tanto al personaje como a válvulas y manómetros a través de la configuración de scripts que se muestran en anexos.



**Figura 4.19.** Importación del entorno a Unity 3D

### 4.2.3. Descripción Del Entorno Virtual

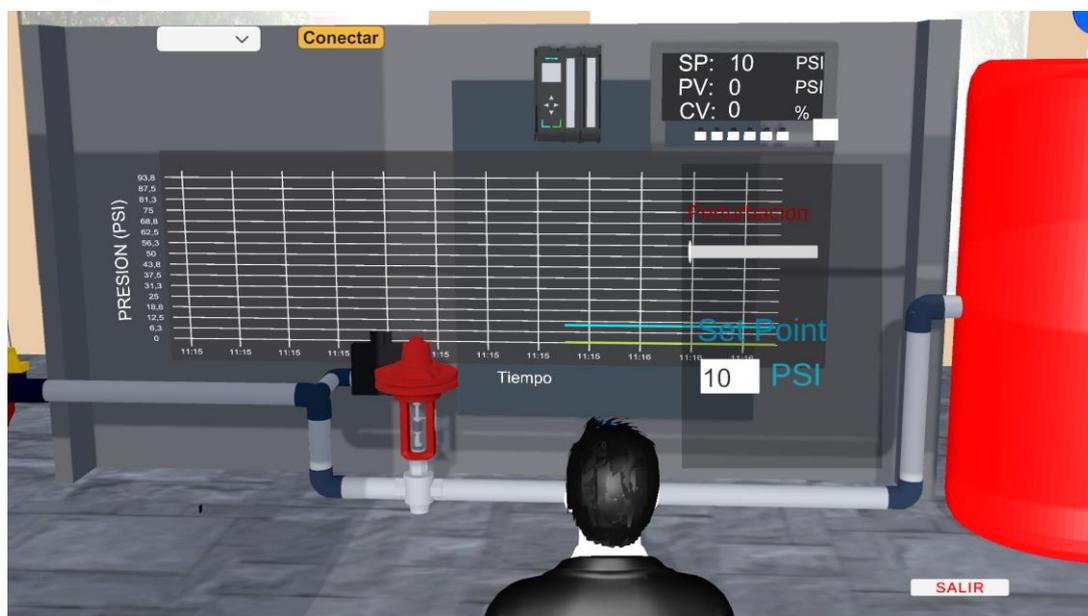
El entorno virtual se desarrolla para PC con sistema operativo Windows, que tendrá como objetivo la enseñanza destinada para los estudiantes con el propósito de adquirir experiencia sobre los procesos industriales.

Será controlado mediante el teclado y mouse como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 4.5.** Controles del entorno virtual

TECLA	ACCION
W	Controla el movimiento de la cámara hacia arriba
A	Controla el movimiento de la cámara hacia la izquierda
S	Controla el movimiento de la cámara hacia abajo
D	Controla el movimiento de la cámara hacia la derecha
B	Permite al personaje agacharse
←↑→↓	Controla el movimiento y giro del personaje
Mouse	Controla la posición de la perturbación

La vista principal que posee el estudiante será en tercera persona el cual cuenta con un cuadro en la parte derecha que contiene el control setpoint mediante caracteres numéricos y el control de la perturbación mediante una barra horizontal como se muestra en la figura 4.20.



**Figura 4.20.** Entorno virtual de la planta.

### 4.3. SELECCIÓN DE CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE

La selección del controlador lógico programable se da en base a dos parámetros que son:

**- Alternativas**

a) PLC S7-1200; b) Logo; c) PLC S7-1500

**- Criterios**

- Costo
- Disponibilidad
- Comunicación
- Software

**Valoración de criterios**

- 1 cuando el criterio de las filas es superior al de las columnas
- 0.5 cuando el criterio de las filas es similar al de las columnas
- 0 cuando el criterio de las filas es inferior al de las columnas

**Evaluación de criterios**

La evaluación de los criterios se da de la siguiente forma:

**Tabla 4.6.** Evaluación del criterio de costo.

COSTO	PLC S7-1200	LOGO	PLC S7-1500	$\Sigma+1$	ponderado
PLC S7-1200		0	1	2	0,33
LOGO	1		1	3	0,50
PLC S7-1500	0	0		1	0,17
TOTAL				6	1,00

**Tabla 4.7.** Evaluación del criterio de disponibilidad.

DISPONIBILIDAD	PLC S7-1200	LOGO	PLC S7-1500	$\Sigma+1$	ponderado
PLC S7-1200		1	1	3	0,46
LOGO	0		0,5	1,5	0,23
PLC S7-1500	0,5	0,5		2	0,31
TOTAL				6,5	1,00

**Tabla 4.8.** Evaluación del criterio de comunicación.

COMUNICACIÓN	PLC S7-1200	LOGO	PLC S7-1500	$\Sigma+1$	ponderado
PLC S7-1200		1	0,5	2,5	0,42
LOGO	0		0	1	0,17
PLC S7-1500	0,5	1		2,5	0,42
TOTAL				6	1,00

**Tabla 4.9.** Evaluación del criterio de software.

SOFTWARE	PLC S7-1200	LOGO	PLC S7-1500	$\Sigma+1$	ponderado
PLC S7-1200		1	0,5	2,5	0,42
LOGO	0		0	1	0,17
PLC S7-1500	0,5	1		2,5	0,42
TOTAL				6	1,00

**Tabla 4.10.** Evaluación de criterios según tipo de controlador lógico programable.

CRITERIO	PRECIO	DISPONIBILIDAD	COMUNICACIÓN	SOFTWARE	$\Sigma+1$	ponderado
PLC S7-1200	0,33	0,46	0,42	0,42	2,63	1,31
LOGO	0,5	0,23	0,17	0,17	2,07	1,03
PLC S7-1500	0,17	0,31	0,42	0,42	2,32	1,15
TOTAL				1,01	2,01	1,00

Se elige como mejor criterio al PLC S7-1200 por tener uno de los mejores precios, disponibilidad, ofrece más alternativas de comunicación, y su software para programar es más completo.

#### 4.4. SELECCIÓN DEL TIPO DE ARDUINO

La selección del tipo de Arduino se da en base a dos parámetros que son:

- **Alternativas**

a) ARDUINO UNO; b) ARDUINO MEGA; c) ARDUINO NANO

- **Criterios**

1. Costo
2. Disponibilidad
3. Tamaño
4. Software

**Valoración de criterios**

- 1 cuando el criterio de las filas es superior al de las columnas
- 0.5 cuando el criterio de las filas es similar al de las columnas
- 0 cuando el criterio de las filas es inferior al de las columnas

**Evaluación de criterios**

La evaluación de los criterios se da de la siguiente forma:

**Tabla 4.11.** Evaluación del criterio de costo.

COSTO	ARDUINO UNO	ARDUINO MEGA	ARDUINO NANO	$\Sigma+1$	ponderado
ARDUINO UNO		1	0	2	0,33
ARDUINO MEGA	0		0	1	0,17
ARDUINO NANO	1	1		3	0,50
TOTAL				6	1,00

**Tabla 4.12.** Evaluación del criterio de disponibilidad.

DISPONIBILIDAD	ARDUINO UNO	ARDUINO MEGA	ARDUINO NANO	$\Sigma+1$	ponderado
ARDUINO UNO		0,5	0,5	2	0,33
ARDUINO MEGA	0,5		0,5	2	0,33
ARDUINO NANO	0,5	0,5		2	0,33
TOTAL				6	1,00

**Tabla 4.13.** Evaluación del criterio de tamaño.

TAMAÑO	ARDUINO UNO	ARDUINO MEGA	ARDUINO NANO	$\Sigma+1$	ponderado
ARDUINO UNO		1	0	2	0,33
ARDUINO MEGA	0		0	1	0,17
ARDUINO NANO	1	1		3	0,50
TOTAL				6	1,00

**Tabla 4.14.** Evaluación del criterio de software.

SOFTWARE	ARDUINO UNO	ARDUINO MEGA	ARDUINO NANO	$\Sigma+1$	ponderado
ARDUINO UNO		0,5	0,5	2	0,33
ARDUINO MEGA	0,5		0,5	2	0,33
ARDUINO NANO	0,5	0,5		2	0,33
TOTAL				6	1,00

**Tabla 4.15.** Evaluación de criterios según el tipo de Arduino.

CRITERIO	COSTO	DISPONIBILIDAD	TAMAÑO	SOFTWARE	$\Sigma+1$	ponderado
ARDUINO UNO	0,33	0,33	0,33	0,33	2,32	1,17
ARDUINO MEGA	0,17	0,33	0,17	0,33	2,00	1,01
ARDUINO NANO	0,5	0,33	0,5	0,33	2,66	1,34
TOTAL				0,99	1,99	1,00

Se elige como mejor criterio al Arduino nano por tener un precio más accesible y ser más compacto.

#### 4.5. SELECCIÓN DEL TIPO DEL CONVERTIDOR DE SEÑALES DIGITALES A ANALÓGICAS

La selección del tipo de Arduino se da en base a dos parámetros que son:

- **Alternativas**

a) Filtro paso bajo; b) MCP-4725;

- **Criterios**

1. Costo
2. Disponibilidad
3. Eficiencia

**Valoración de criterios**

- 1 cuando el criterio de las filas es superior al de las columnas
- 0.5 cuando el criterio de las filas es similar al de las columnas
- 0 cuando el criterio de las filas es inferior al de las columnas

**Evaluación de criterios**

La evaluación de los criterios se da de la siguiente forma:

**Tabla 4.16.** Evaluación del criterio de costo.

COSTO	FILTRO PASO BAJO	MCP-4725	$\Sigma+1$	ponderado
FILTRO PASO BAJO		0	1	0,33
MCP-4725	1		2	0,67
TOTAL			3	1

**Tabla 4.17.** Evaluación del criterio de disponibilidad.

DISPONIBILIDAD	FILTRO PASO BAJO	MCP-4725	$\Sigma+1$	ponderado
FILTRO PASO BAJO		0,5	1,5	0,50
MCP-4725	0,5		1,5	0,50
TOTAL			3	1

**Tabla 4.18.** Evaluación del criterio de eficiencia.

EFICIENCIA	FILTRO PASO BAJO	MCP-4725	$\Sigma+1$	ponderado
FILTRO PASO BAJO		0	1	0,33
MCP-4725	1		2	0,67
TOTAL			3	1

**Tabla 4.19.** Evaluación de los criterios según el tipo de convertidor de señales.

CRITERIO	COSTO	DISPONIBILIDA D	EFICIENCIA	$\Sigma+1$	ponderado
FILTRO PASO BAJO	0,33	0,5	0,33	2,16	0,43
MCP-4725	0,67	0,5	0,67	2,84	0,57
TOTAL				5,00	1,00

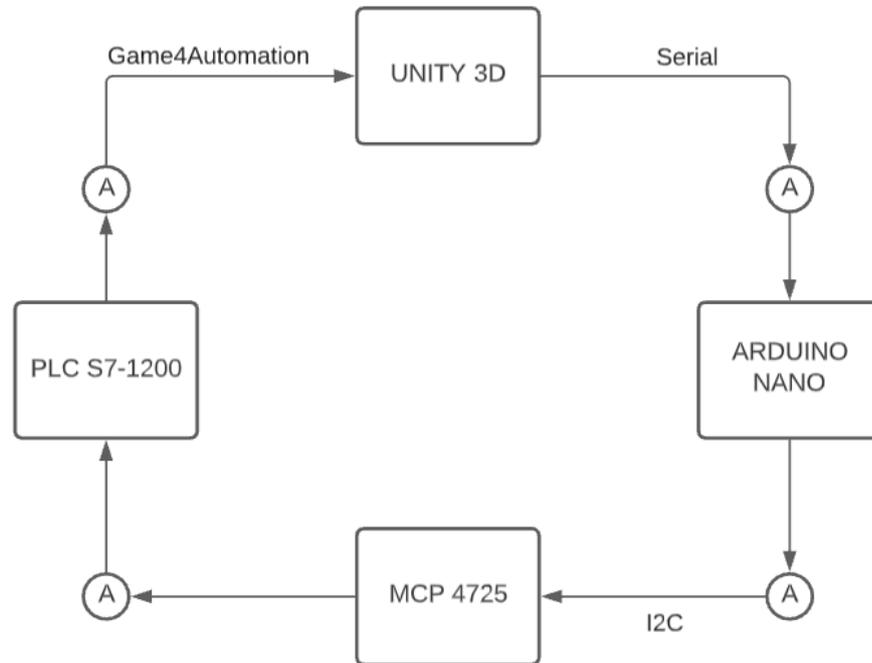
Se elige como mejor criterio al convertidor de señales digitales a analógicas MCP 4725 principalmente por su mejor precio y eficacia.

#### 4.6. COMUNICACIÓN DEL SOFTWARE Y HARDWARE DEL PROYECTO

##### Configuración de la tarjeta Arduino

#### 4.6.1. Comunicación TCP/IP

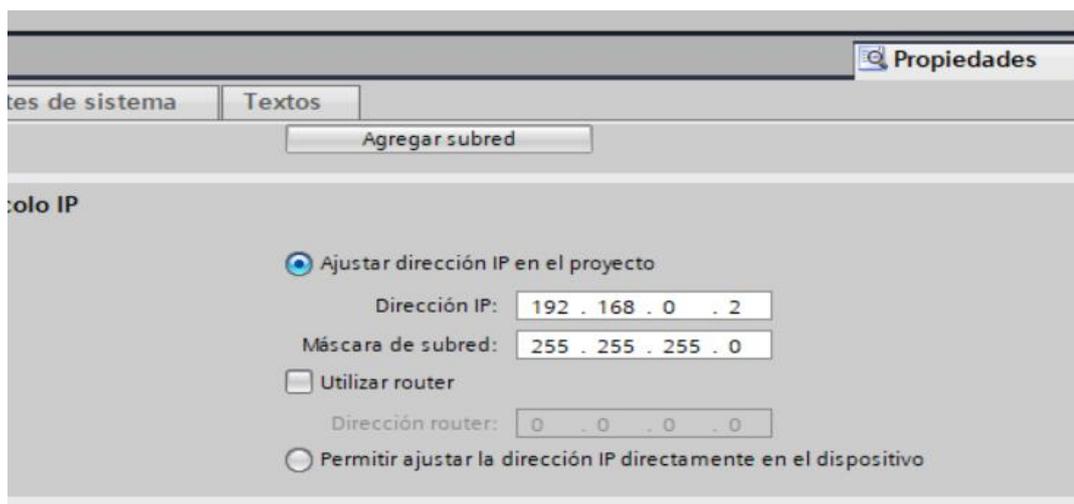
El entorno de comunicación TCP/IP de nuestra propuesta tecnológica se muestra en la figura 4.21.



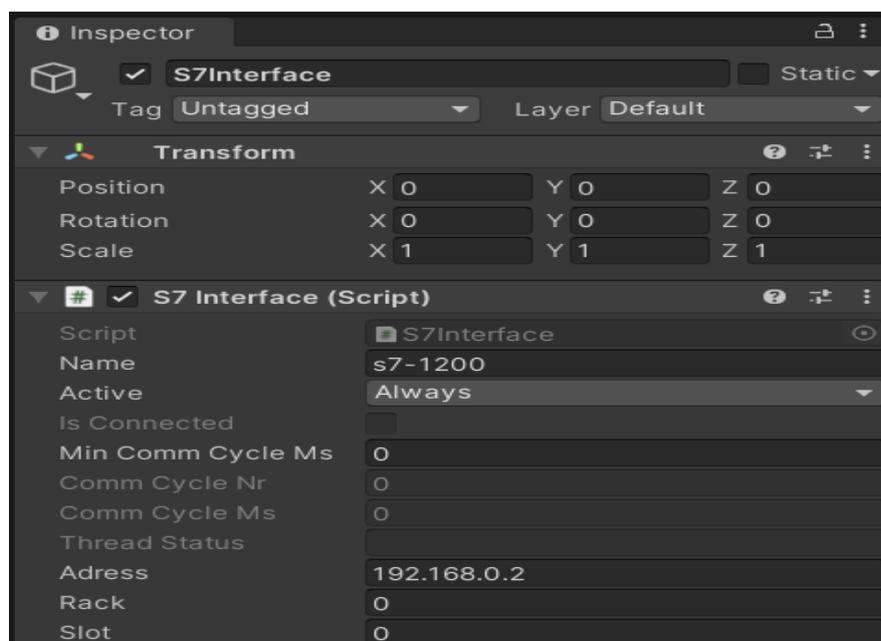
**Figura 4.21.** Esquema de comunicación TCP/IP.

La comunicación entre nuestro módulo con un controlador lógico programable mediante ethernet se realiza con la ayuda de un asset (Game4automation), el cual permite agregar una interfaz capaz de establecer conexión TCP/IP con el PLC mediante el cable ethernet configurando la misma dirección IP en el PLC y en Unity.

El asset Game4automation permite la importación de variables establecidas en el PLC para el buen funcionamiento de nuestro sistema.



**Figura 4.22.** Configuración de la dirección IP en TIA Portal.



**Figura 4.23.** Configuración de la dirección IP en Unity 3D.

Para la comunicación se usó las salidas Pwm del Arduino como una señal de voltaje, que pasan a través de un filtro el cual transforma las señales para así poder introducirlas a las entradas analógicas del PLC.

Estas señales deben ser convertidas en señales digitales de 12 bits para realizar el control en TIA Portal.

La relación entre presión, voltaje y señales 12 bits para Set Point se muestra en la tabla 4.20.

**Tabla 4.20.** Valores del SP convertidos a 12 bits.

	Presión (Psi)	Voltaje (v)	12 bits
Mínimo	0	0	0
Máximo	25	4.3	13560

La relación entre presión, voltaje y señales digitales 12 bits para PV se muestra en la tabla 4.21.

**Tabla 4.21.** Valores del PV convertidos a 12 bits.

	Presión (Psi)	Voltaje (v)	12 bits
Mínimo	0	0	0
Máximo	25	4.2	13720

La relación entre abertura de la válvula, miliamperios y señales digitales 12 bits para CV se muestra en la tabla 4.22.

**Tabla 4.22.** Valores del CV convertidos a 12 bits.

	Abertura de la válvula (%)	Mili Amperios (Mha)	12 bits
Mínimo	0	4	0
Máximo	100	9	13720

#### 4.3.2. Configuración y programación del PLC S7-1200

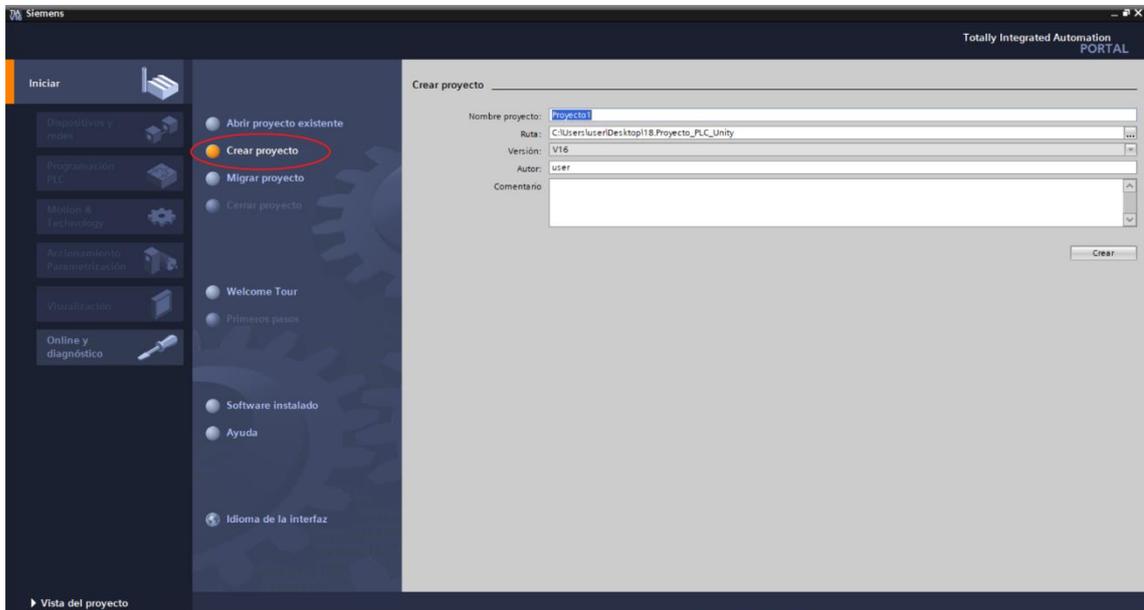
Para la programación del PLC se utilizó diferentes tipos de variables: Bool, Int, Real que se especifican en la siguiente tabla 4.23.

**Tabla 4.23.** Variables utilizadas en la programación en TIA Portal.

VARIABLES			
NOMBRE	TIPO DE DATOS	DIRECCION	COMENTARIO
SP_Input_fisica	Int	%IW64	Entrada analógica SP
Tag_2	Real	%MD10	Valor normalizado SP
SP	Real	%MD14	Valor SP escalado
Pv_Input_fisica	Int	%IW66	Entrada analógica PV
Tag_5	Real	%MD18	Valor normalizado PV
PV	Real	%MD22	Valor PV escalado
CV_PID	Int	%QW96	Salida del PID_COMPACT
Tag_7	Real	%MD26	Valor normalizado CV
CV	Real	%MD30	Valor CV escalado
Tag_6	Real	%MD70	Valor absoluto del SP
Tag_18	Int	%IW100	Valor absoluto del CV
Tag_1	Bool	%M0.0	Marca
Tag_8	Bool	%I0.1	Pulsador de inicio
Tag_4	Bool	%M0.3	Contactador normalmente cerrado
Tag_9	Bool	%I0.0	Pulsador de paro
Tag_3	Bool	%M0.2	Contactador normalmente cerrado

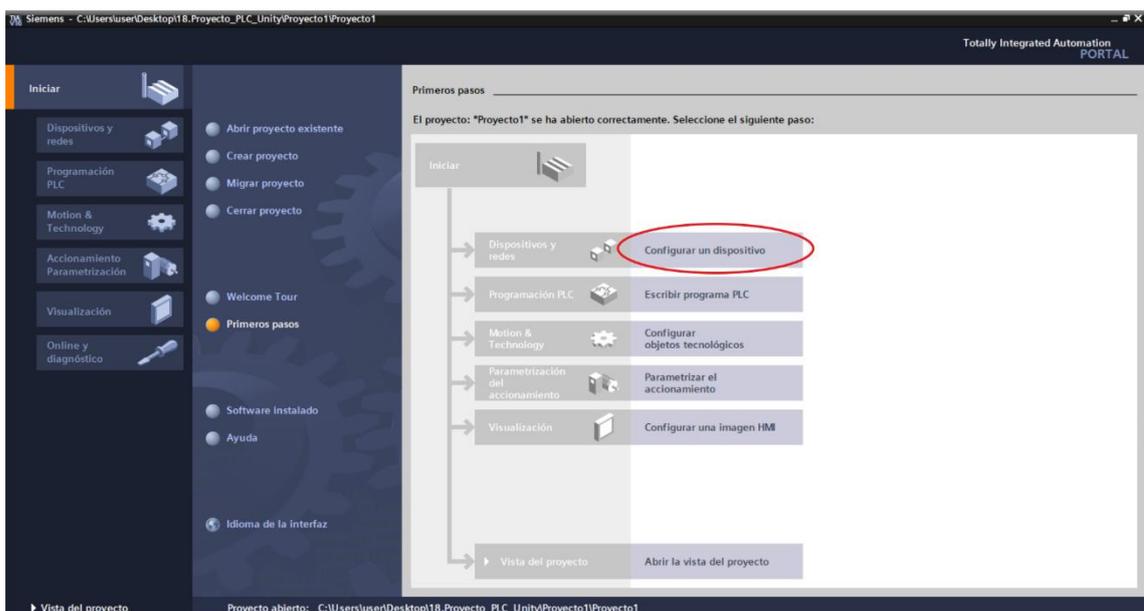
Para comenzar con la configuración del PLC se realizaron los siguientes pasos.

En primer lugar, se abre el software TIA Portal, se crea un nuevo proyecto con el nombre deseado.



**Figura 4.24.** Creación de nuevo proyecto.

Una vez creado el proyecto se selecciona el dispositivo que vamos usar en esta ocasión se usa el PLC S7-1200 CPU 1212C AC/DC/Rly como se muestra en la figura 4.25 y figura 4.26.



**Figura 4.25.** Configuración de un nuevo dispositivo.

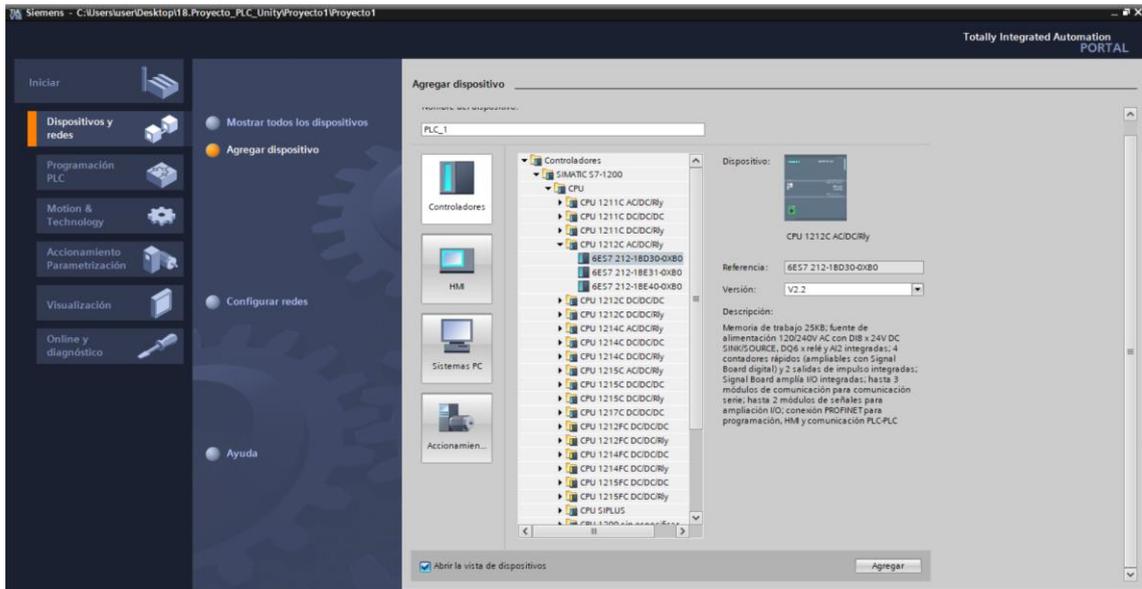


Figura 4.26. Selección del PLC en el que vamos a trabajar.

Se configura la dirección IP del PLC para garantizar que se encuentre en la misma red del equipo en el cual usamos TIA Portal.

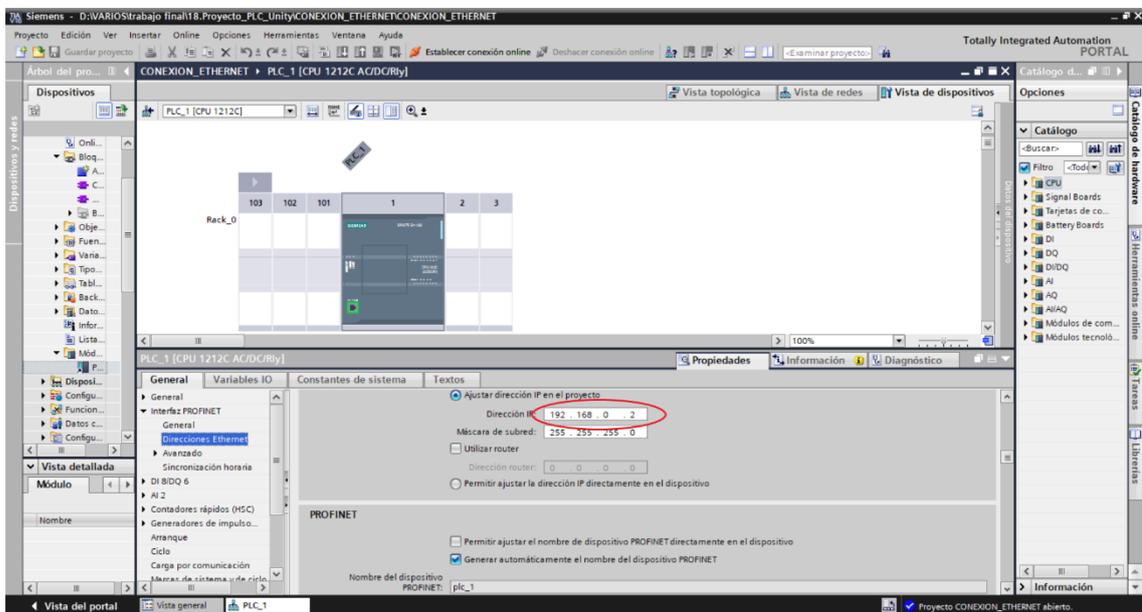
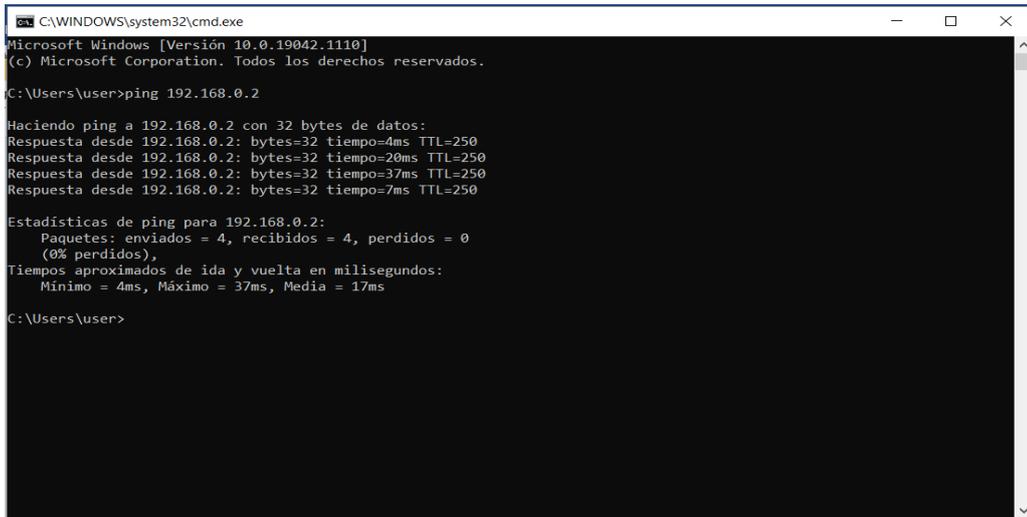


Figura 4.27. Configuración de la dirección IP del PLC.

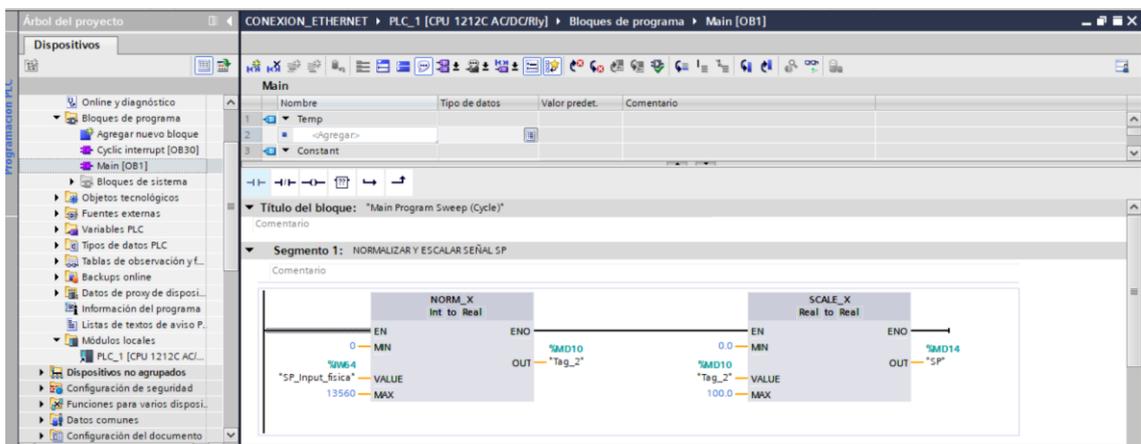
Una vez configurada la dirección IP del PLC se comprueba la conexión mediante Ping de CMD.



**Figura 4.28.** Comprobación de la conexión entre el PLC y nuestro Equipo.

Una vez realizada la comunicación entre nuestro equipo y el PLC que vamos a utilizar se puede comenzar con la programación.

Para la programación se comienza en el bloque de programa MAIN OB, en el cual se usa bloques NORM\_X para normalizar el parámetro VALUE dentro del rango de valores especificado por los parámetros min y max y el bloque SCALE\_X que escala el parámetro value real normalizado al tipo de datos y rango de valores especificados por los parámetros min y max, este procedimiento se realiza para los tres tipos de valores SP, PV, CV.



**Figura 4.29.** Normalización y escala de la señal SP.

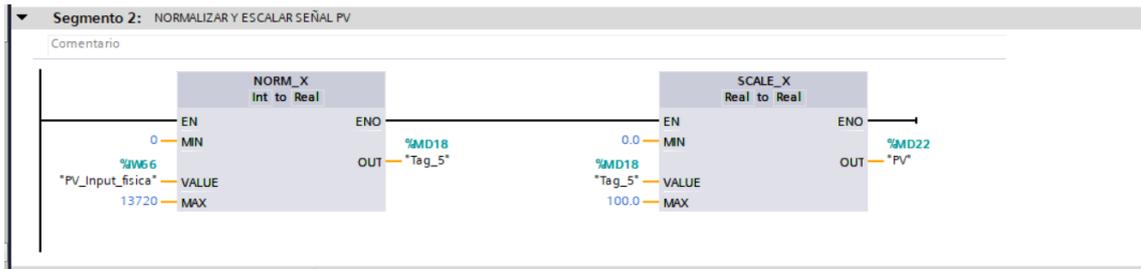


Figura 4.30. Normalización y escala de la señal PV.

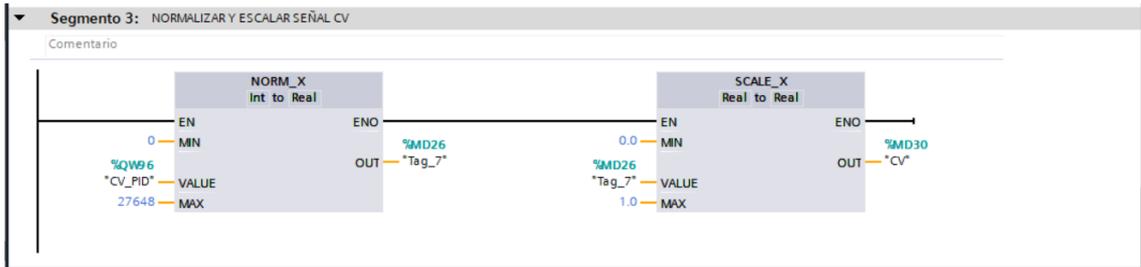


Figura 4.31. Normalización y escala de la señal CV.

Se agrega un nuevo bloque de programa tipo Cyclic Interrupt (OB30) el cual nos permite iniciar programas en intervalos periódicos.

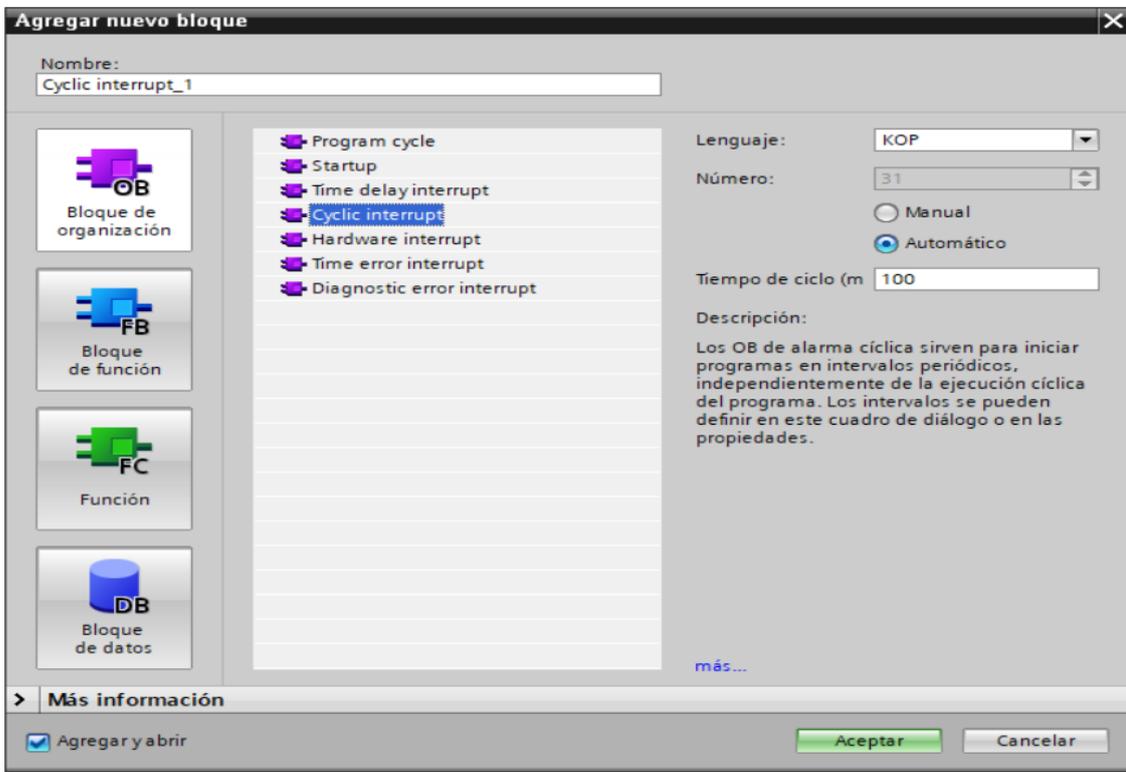
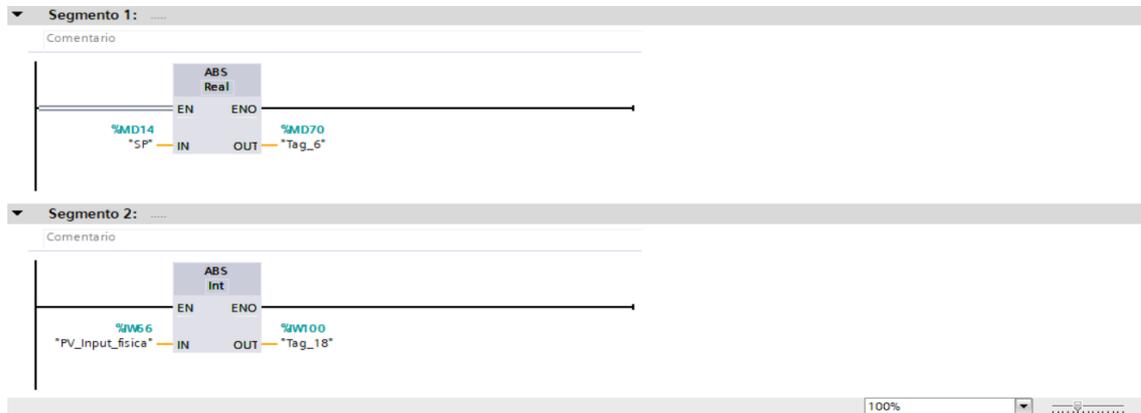


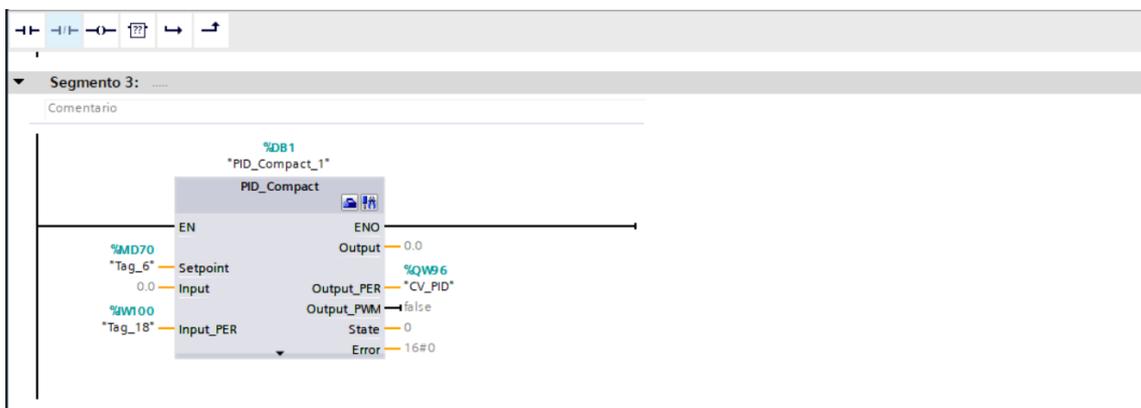
Figura 4.32. Selección de un bloque Cyclic Interrupt.

En el segmento uno y dos se calcula el valor absoluto del SP y CV.



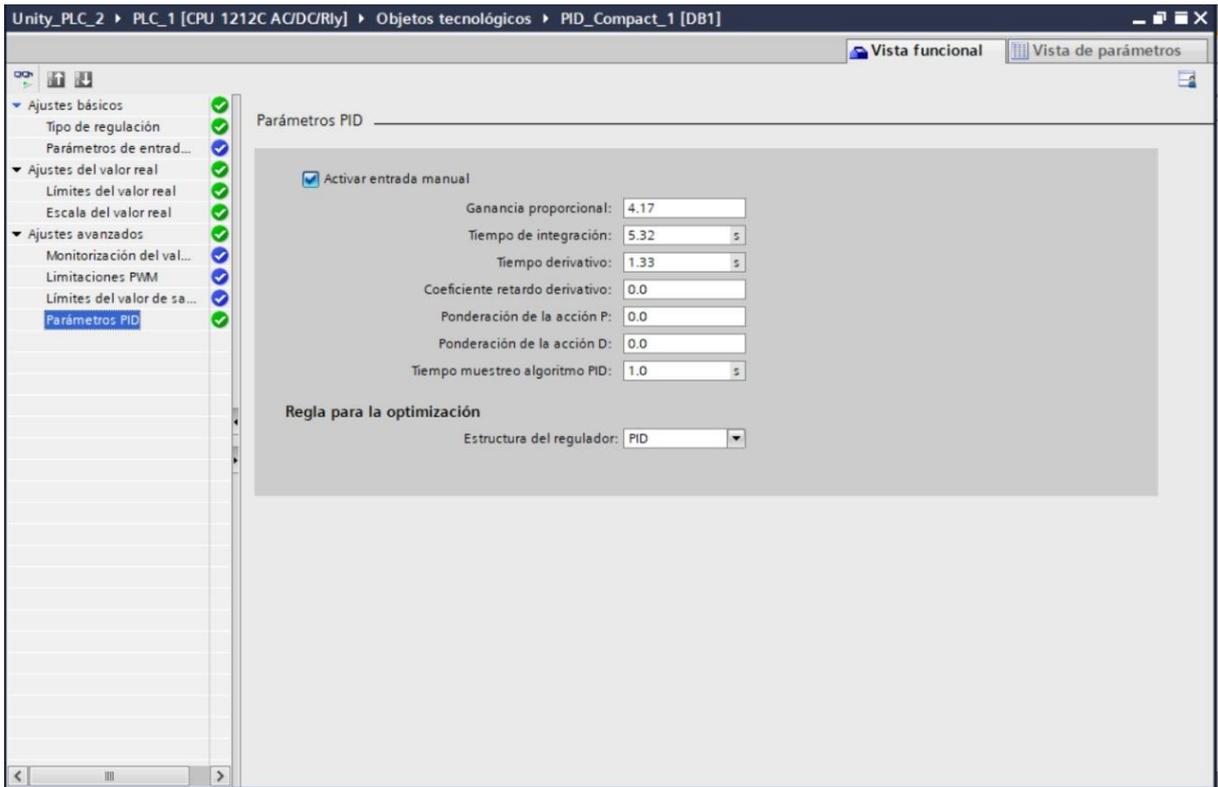
**Figura 4.33.** Obtención de los valores absolutos del SP y CV.

En el segmento tres se utiliza un bloque PID\_Compact el cual nos va ayudar a realizar el control en nuestro proyecto.



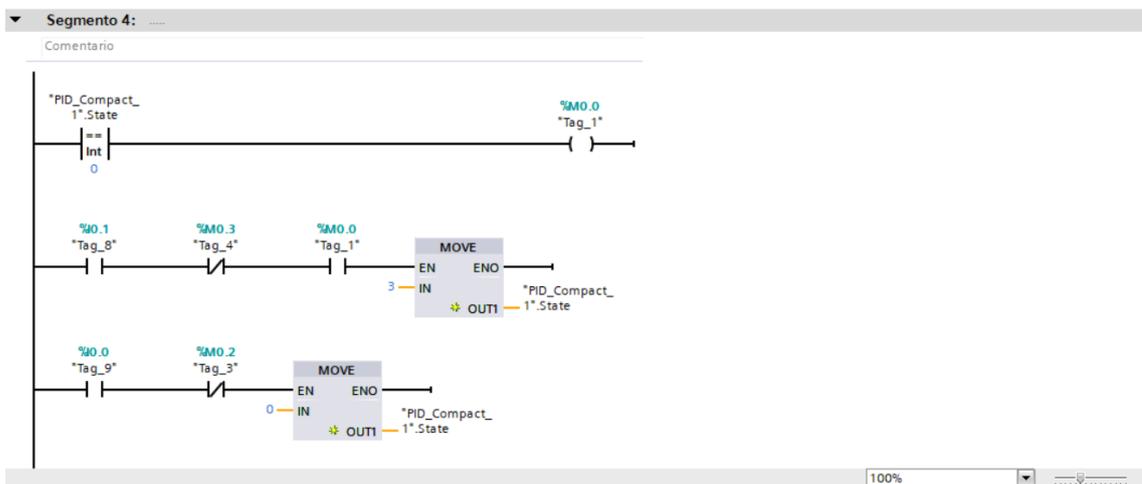
**Figura 4.34.** Selección del bloque PID\_Compact.

Se Configura el bloque PID\_Compact de acuerdo a los valores obtenidos en la sintonización realizada anteriormente, para así garantizar el óptimo funcionamiento del controlador.



**Figura 4.35.** Configuración de los parámetros PID.

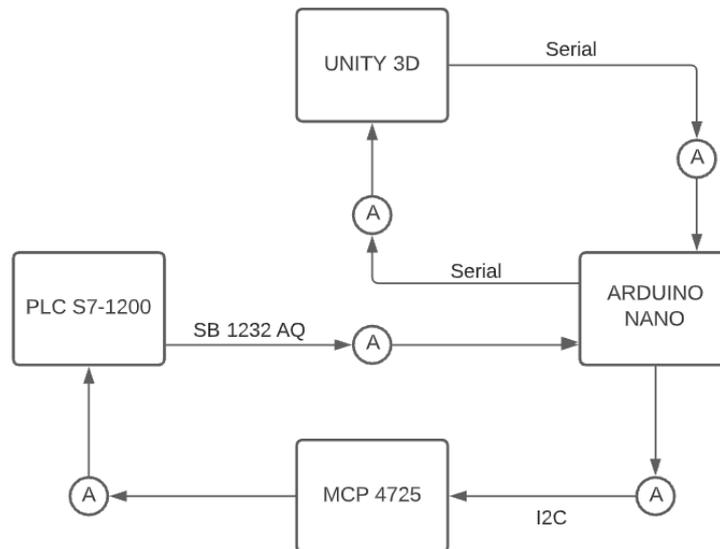
Para poder iniciar el controlador PID de manera manual con botones externos se realiza la programación que se muestra en el segmento 4, en el que se usa bloques MOVE que nos ayudan a copiar o mover valores de una dirección a varias direcciones diferentes y así se puede cambiar el modo de operación del controlador PID siendo 0 estado inactivo y 3 como modo de operación automático.



**Figura 4.36.** Programación para activar el PID con botones externos.

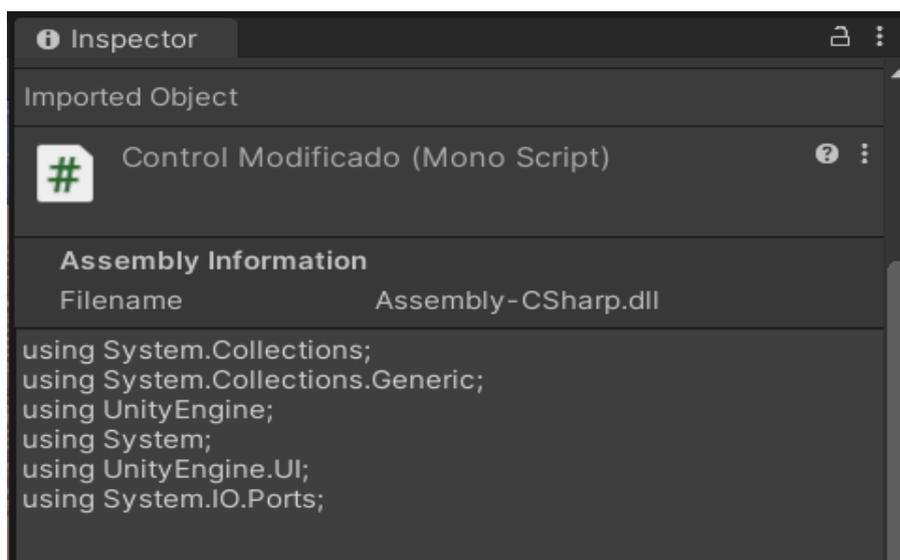
### 4.3.3. Comunicación Serial

El entorno de comunicación Serial de nuestra propuesta tecnológica se muestra en la Figura 4.37.



**Figura 4.37.** Esquema de comunicación serial.

La comunicación entre nuestro módulo con un controlador lógico programable mediante la conexión serial se realiza con la ayuda de SerialPort una librería incluida en namespace, System.IO.Ports. de Unity que almacena toda la clase para controlar los puertos serie, esta será la encargada de la comunicación entre lo que llega al puerto serie y nuestro entorno Unity.



**Figura 4.38.** Librerías para la comunicación serial.

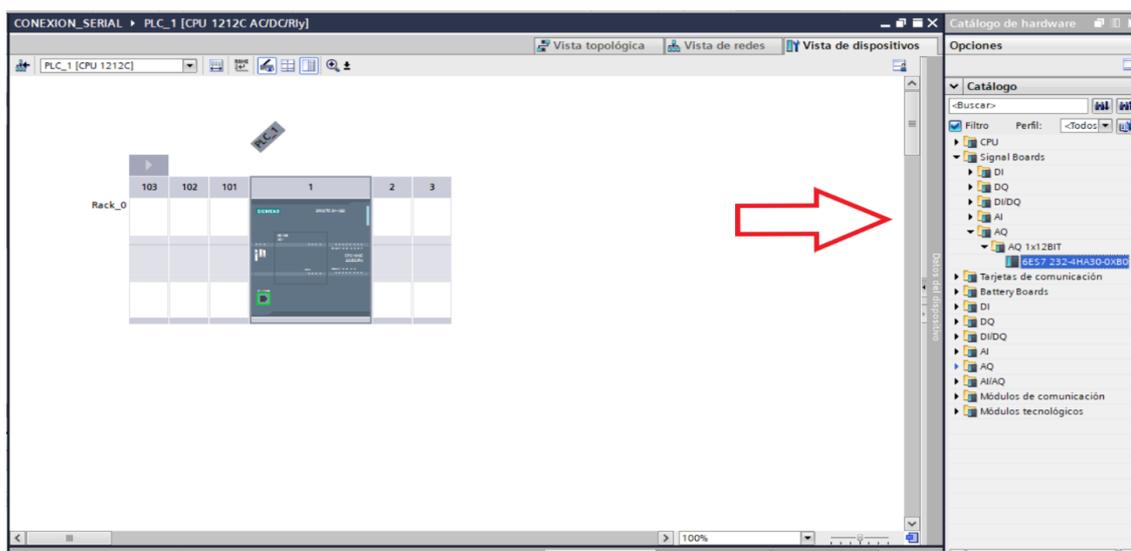
#### 4.6.4. Configuración y programación del PLC S7-1200

Para la programación del PLC en la comunicación Serial se usa las variables especificadas en la tabla 4.24.

**Tabla 4.24.** Variables utilizadas en la programación del TIA Portal.

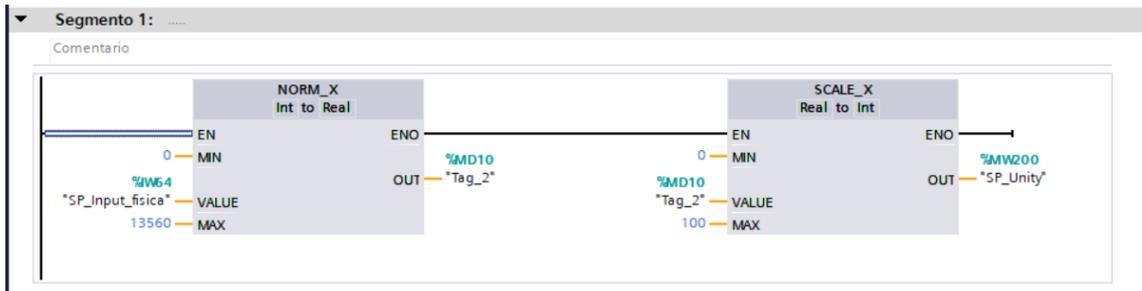
VARIABLES			
NOMBRE	TIPO DE DATOS	DIRECCION	COMENTARIO
SP_Input_fisica	Int	%IW64	Entrada analógica SP
Tag_2	Real	%MD10	Valor normalizado SP
SP_Unity	Int	%MW200	Valor SP escalado
Pv_Input_fisica	Int	%IW66	Entrada analógica PV
Tag_5	Real	%MD18	Valor normalizado PV
PV	Real	%MD22	Valor PV escalado
CV_PID	Int	%QW96	Salida del PID_COMPACT
Tag_7	Real	%MD26	Valor normalizado CV
CV_Output_Fisica	Int	%QW80	Valor CV escalado
Tag_6	Real	%MD70	Valor absoluto del SP
Tag_18	Int	%IW100	Valor absoluto del CV
Tag_1	Bool	%M0.0	Contactador normalmente abierto
Tag_8	Bool	%IO.1	Pulsador de inicio
Tag_4	Bool	%M0.3	Contactador normalmente cerrado
Tag_9	Bool	%IO.0	Pulsador de paro
Tag_3	Bool	%M0.2	Contactador normalmente cerrado

Para la configuración del PLC en la comunicación serial se repite los primeros pasos utilizados en la comunicación TCP/IP, en este caso se agrega una Signal Board que nos sirve para enviar datos mediante la comunicación serial.



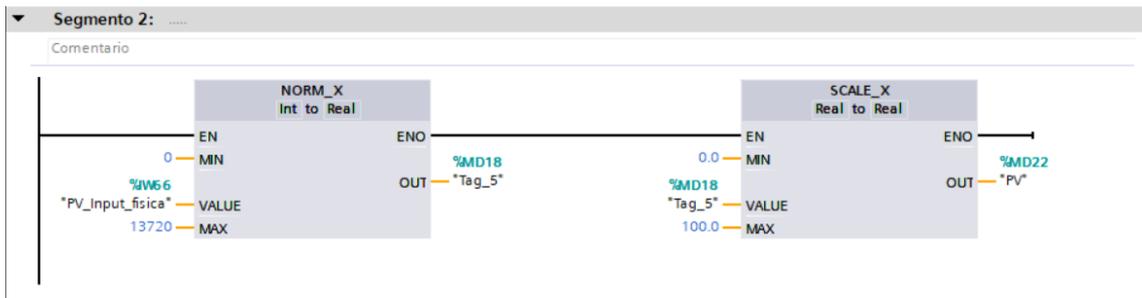
**Figura 4.39.** Selección de Signal Board para la comunicación serial.

Una vez agregada la Signal Board se continúa con la programación necesaria para realizar la conexión serial de nuestra propuesta tecnológica, para la programación se comienza en el bloque de programa MAIN OB, en el cual se normaliza y escala las señales a los rangos requeridos. En el segmento uno se realiza la normalización y escala de la señal SP.



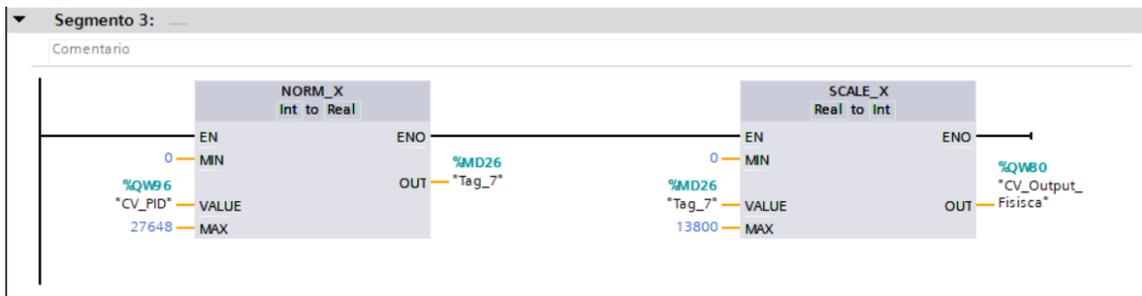
**Figura 4.39.** Normalización y escalamiento de la señal SP.

En el segmento dos se realiza la normalización y escala de la señal PV.



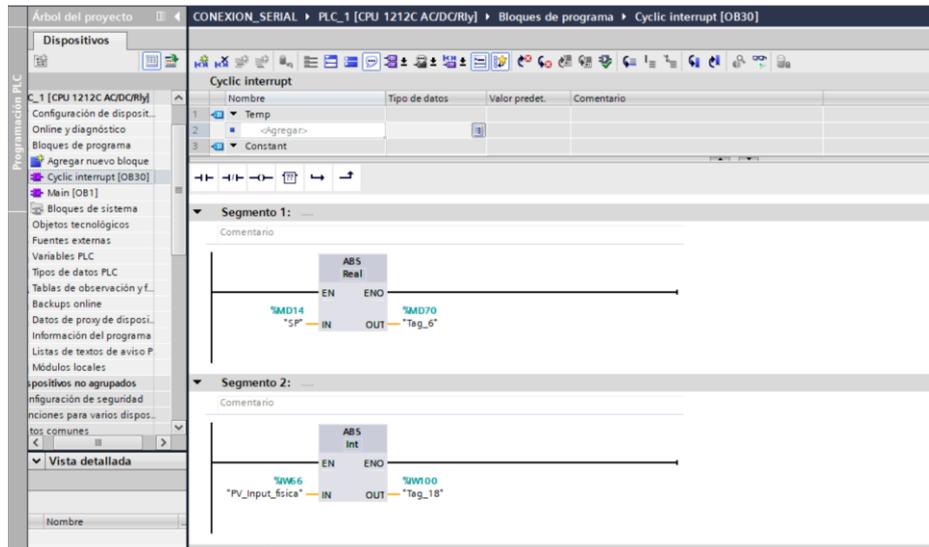
**Figura 4.40.** Normalización y escalamiento de la señal PV.

En el segmento tres se realiza la normalización y escala de la señal CV.



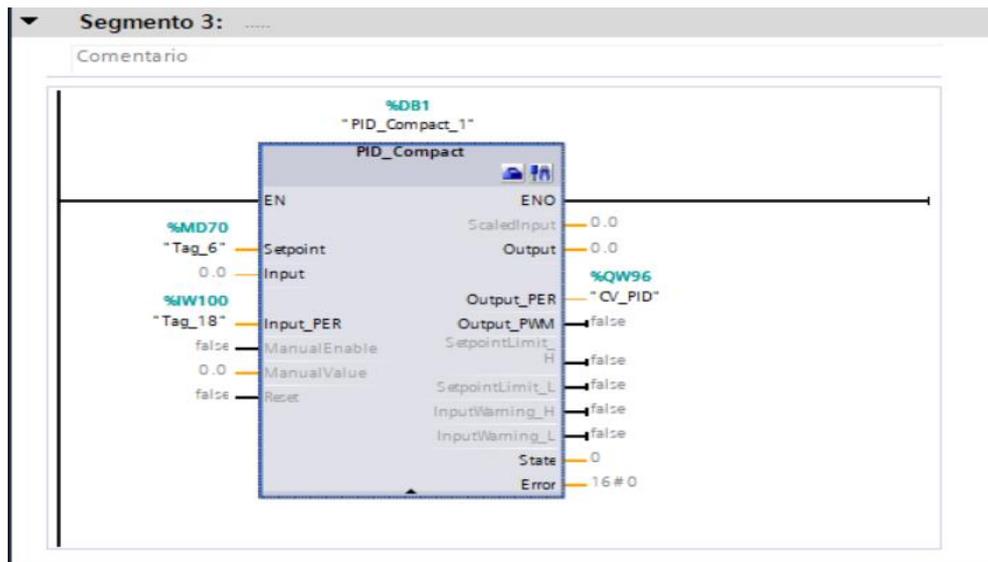
**Figura 4.41.** Normalización y escalamiento de la señal CV.

Se agrega un nuevo bloque de programa Cyclic Interrupt en el que se obtienen los valores absolutos de las señales SP y CV.



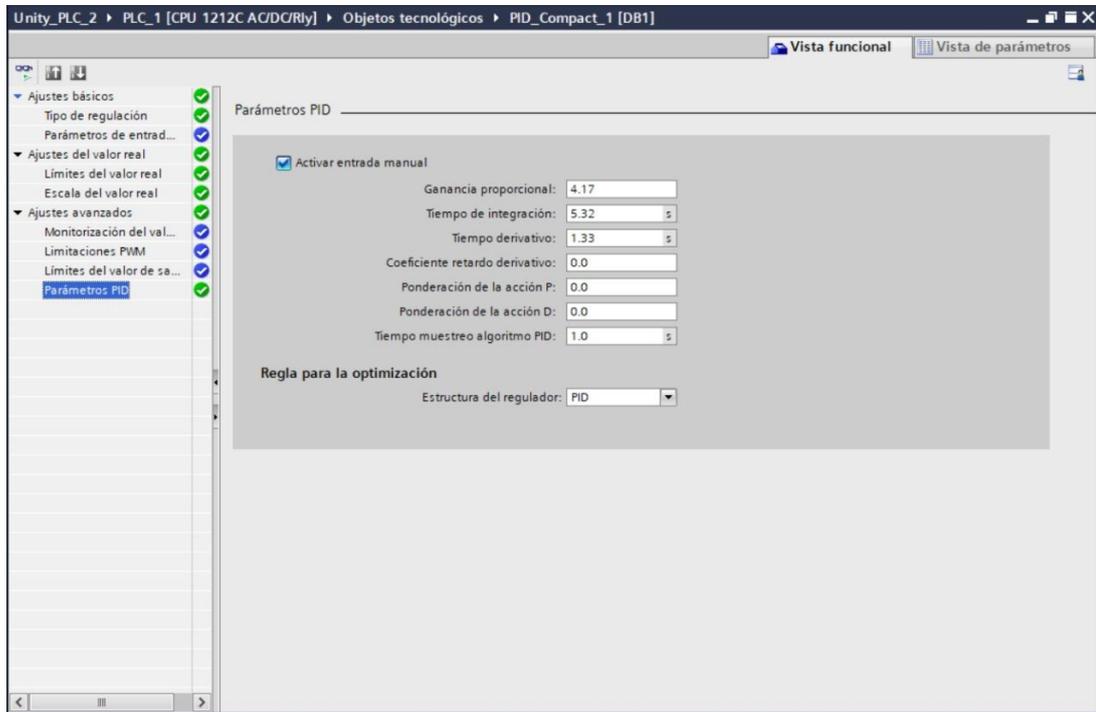
**Figura 4.42.** Obtención de los valores absolutos de las señales SP y PV.

Se agrega un bloque de programa PID\_Compact el cual se encarga de realizar el control de acuerdo a los datos establecidos.



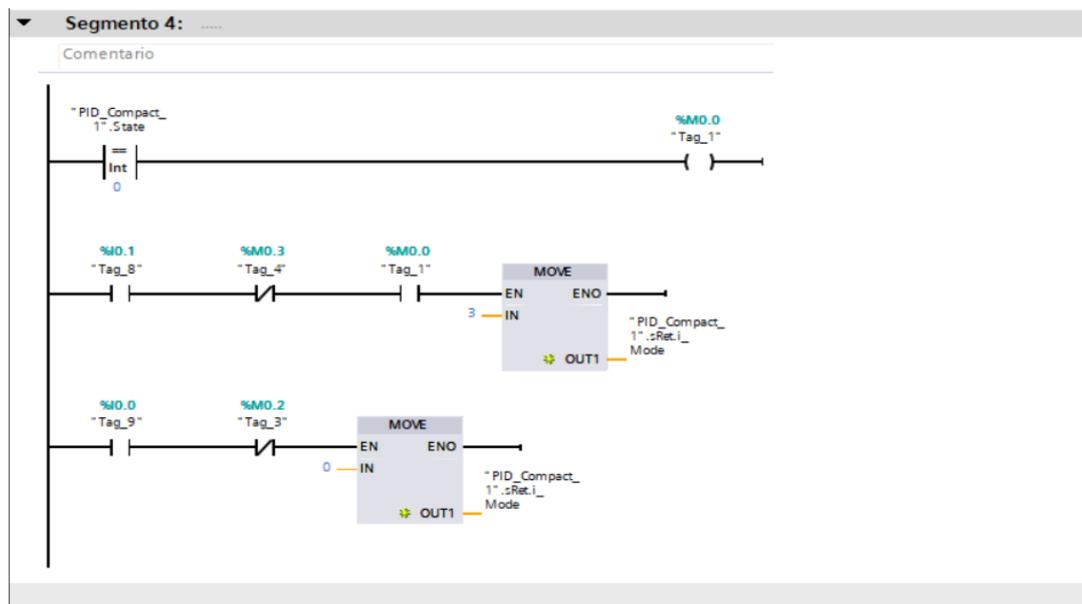
**Figura 4.43.** Selección del bloque PID\_Compact.

Se configuran los parámetros del PID\_Compact de acuerdo a la sintonización realizada para garantizar el funcionamiento.



**Figura 4.44.** Configuración de los parámetros PID.

De igual manera que en el método de comunicación TCP/IP al final se realiza una programación para poder activar el PID de manera externa con botones físicos.



**Figura 4.45.** Programación para activar el PID con botones externos.

## 5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

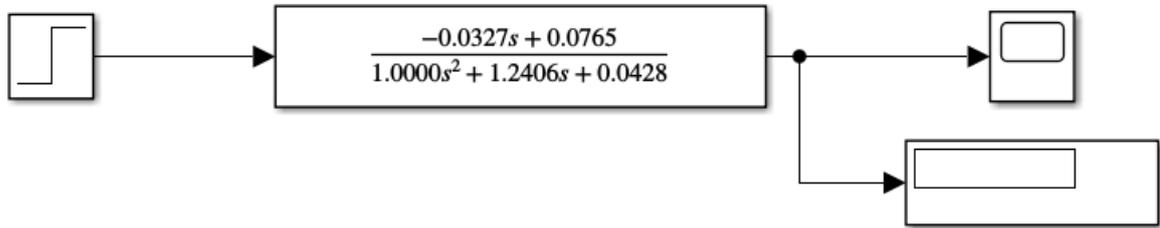
La creación de un entorno virtual de control de presión permite incrementar el número de prácticas individuales y cada uno controle esta variable en distintos procesos industriales sin la ayuda de esta herramienta es muy limitada la realización de prácticas individuales, este tipo de implementación contribuye al desarrollo de las habilidades del manejo e implementación de la industria 4.0 siendo este un tema de desarrollo actual dentro de la producción

La propuesta tecnológica contribuye significativamente en el cuidado del medio ambiente pues se descarta la utilización de materiales físicos que al final terminan siendo desechados, se espera despertar el interés en el desarrollo de entornos virtuales para el entrenamiento y desarrollo de habilidades dentro de la formación profesional, los principales beneficiarios del proyecto desarrollado en la Universidad Técnica De Cotopaxi, son los usuarios del Laboratorio de Investigación de Automatización y Control.

El objetivo esencial del presente proyecto es la implementación de un entorno virtual y obtención de datos a través de un modelo matemático de un proceso de control de presión constante, seguido de esto poder visualizar las curvas en respuesta a perturbación que se puede manipular en conjunto con el (SP ) Setpoint, la programación de control que se debe realizada en el PLC S7-1200 a través de TIA Portal sirve para la realizar prácticas de laboratorio que permita la preparación del estudiante en control de procesos industriales que intervenga la variable presión.

En el desarrollo de esta investigación se consideró el uso de las memorias compartidas para comunicar el software unity con Matlab dándonos como resultado un entorno virtual que requiere características de alta gama en software por esta razón se hace los dos tipos de comunicación TCP/IP y Serial, la parte positiva de esto es que las memorias compartidas brindan una comunicación entre distintos software de manera estable y el inconveniente esta en todos los recursos necesarios para la ejecución de los programas.

Como primer resultado tenemos la tabla 5.1 que corresponde a los resultados en lazo abierto de la función de transferencia figura 5.1 de la planta de control, esto se realiza con el fin de evaluar el margen de error que tiene la planta virtual.



**Figura 5.1.** Función de transferencia más escalón unitario

**Tabla 5.1.** Resultados de la función de transferencia con escalón unitario de 1-25

Función de transferencia	
Escalón unitario	Respuesta
1	1,786
2	3,572
3	5,358
4	7,143
5	8,929
6	10,72
7	12,5
8	14,29
9	16,07
10	17,86
11	19,64
12	21,43
13	23,22
14	25
15	26,79
16	28,57
17	30,36
18	32,15
19	33,93
20	35,72
21	37,5
22	39,29
23	41,07
24	42,86
25	44,65

Esta tabla es comparada con los resultados que se obtienen de la tarjeta Arduino elemento donde se ingresó la planta a través del modelo matemático.

La Tabla 5.1 es generada con la ayuda de Matlab R2021a donde se ingresa la función matemática

$$pp = C * \left[ \left( a_1 * \sqrt{(p_i * (p_i - p))} \right) - \left( a_2 * \sqrt{(p * (p - p_o))} \right) \right] \quad (4.7)$$

Donde

**$pp$  = es la presión de la planta**

**$C$  = constante de parametrización**

**$a_1$  = válvula de control**

**$a_2$  = válvula de perturbación**

**$p_i$  = Presión de entrada**

**$p_o$  = Presión de salida**

**$p$  = Presión inicial del sistema**

Se da un estímulo de escalón unitario de 1 a 25 psi. Para este paso no se consideró la perturbación ni el control pues todo este proceso se lo realiza en lazo abierto, con el fin de ver la reacción de la planta a continuación tenemos la Tabla 5.2 donde se aprecia los resultados.

**Tabla 5.2.** Resultados del modelo matemático ingresado en Arduino

Planta Arduino	
Escalón unitario	Respuesta (s)
1	1,7843
2	3,5686
3	5,3529
4	7,1373
5	8,9216
6	10,7059
7	12,4902
8	14,2745
9	16,0588
10	17,8431
11	19,6275
12	21,4118
13	23,1961
14	24,9804

15	26,7647
16	28,549
17	30,3333
18	32,1176
19	33,902
20	35,6863
21	37,4706
22	39,2549
23	41,0392
24	42,8235
25	44,6078

Con la obtención de estos resultados se comprueba que las respuestas tienen un alto porcentaje de similitud, de esta manera se comprueba que la función de transferencia y la planta que está en Arduino responden como lo esperado.

Como resultado de la investigación que se realizó para el desarrollo de este proyecto se obtuvo que la planta de control se puede comunicar de dos maneras cada una tiene sus ventajas y desventajas empezamos por evaluar la comunicación TCP/IP. Como principal ventaja de esta forma de comunicación tenemos que a nuestro elemento de control en este caso un PLC S7 1200 conectado a un router podemos iniciar el archivo ejecutable del módulo de control de presión y realizar las mediciones de tiempo en el que se estabiliza la presión ver el comportamiento de las curvas de CV,PV,SP y manipular la perturbación ver que el actuador reacciona depende el CV, en todos los equipos conectados a la misma red, abriendo el archivo ejecutable generado para visualizar se puede apreciar de manera individual en varios ordenadores, la desventaja de esta comunicación es que el control solo se puede realizar con un PLC y para que sea posible la comunicación tenemos que acceder a un Asset de paga game4automation.

La segunda opción de comunicación es de manera serial la ventaja de esta forma de comunicación es que es que nosotros podemos remplazar el elemento de control a parte es gratuita solo necesitamos añadir el módulo de salidas analógicas en nuestro caso por usar el PLC S7-1200 pues a través de este módulo enviamos los valores de CV para que se realice el control al actuador virtual de la planta, el inconveniente que aquí se encontró es que no se puede visualizar en varios computadores.

A través del método de sintonización de Ziegler Nichols se puede apreciar los siguiente resultados tabla 5.3.

**Tabla 5.3.** Método de sintonización Ziegler Nichols

SET POINT	TIEMPO DE ESTABILIZACIÓN
DE 0 A 5	14.41s
DE 0 A 10	13.98s
DE 0 A 15	13.43s
DE 0 A 20	14.80s
DE 0 A 25	14.79s

A través del método de sintonización de Cohen Coon se obtiene los siguientes resultados tabla 5.4.

**Tabla 5.4.** Método de sintonización Cohen y Coon

SET POINT	TIEMPO DE ESTABILIZACIÓN
DE 0 A 5	11.70s
DE 0 A 10	11.57s
DE 0 A 15	12.14s
DE 0 A 20	19.44s
DE 0 A 25	22.02s

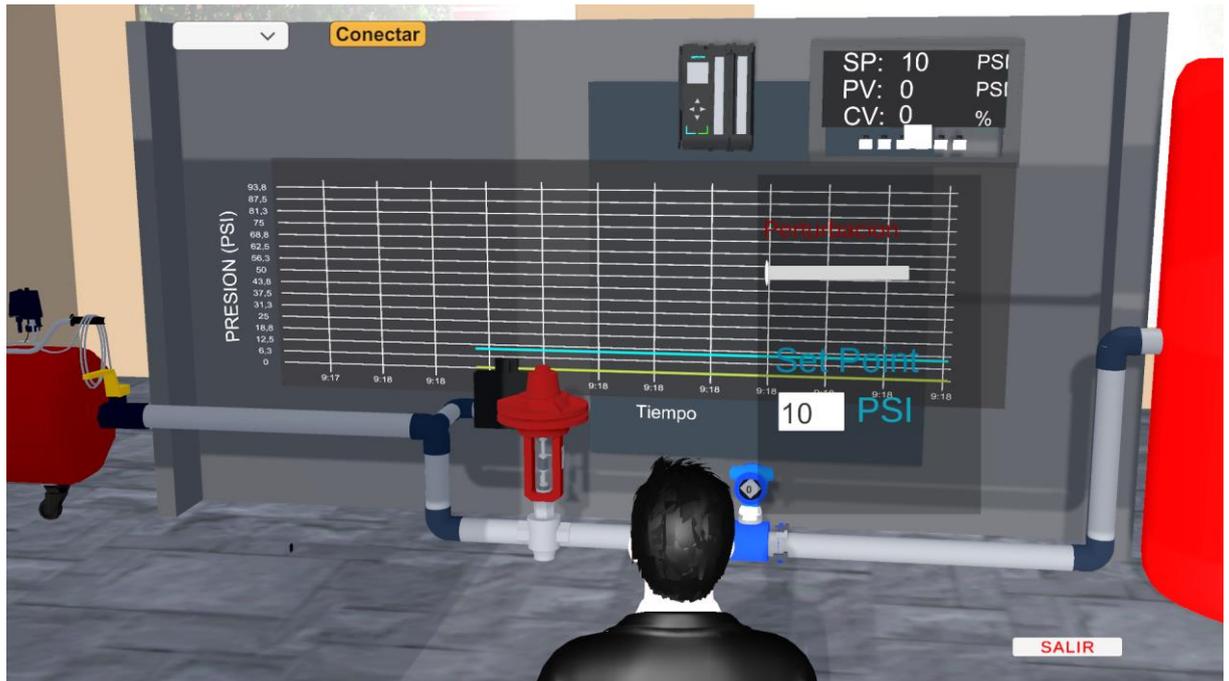
A través del método de sintonización de Smith y Corripio se obtienen los siguientes resultados tabla 5.5.

**Tabla 5.5.** Método de sintonización Smith y Corripio

SET POINT	TIEMPO DE ESTABILIZACIÓN
DE 0 A 5	60.51s
DE 0 A 10	61.57s
DE 0 A 15	64.47s
DE 0 A 20	66.45s
DE 0 A 25	72.12s

Finalizada la recopilación de resultados se verifica que el método de sintonización Ziegler Nichols es el más óptimo para el control de esta planta porque el tiempo de estabilización es menor y no tiene sobre impulso como pasa en el método de Cohen y Coon que es más rápido en alcanzar el valor requerido en el sistema pero tiene un sobre impulso que hace más lento el tiempo en el que se estabiliza el sistema, por otro lado tenemos el método de Smith y Corripio que tiene un tiempo de estabilización muy alto sin embargo el sistema es exacto.

A continuación, se obtiene los resultados del entorno virtual de control de presión, responde a cada uno de los objetivos planteados con el adicional que tiene dos modos de comunicación en la parte superior izquierda podemos seleccionar el puerto de comunicación al que estamos conectados para que Unity reciba todos los datos necesarios para graficar las curvas CV, PV y SP. El movimiento que tenemos en el entorno es fluido no tiene retardos como lo hacía por el uso de memorias compartidas la animación del actuador es satisfactorio pues reacciona de acuerdo al CV, la manipulación de la perturbación también se puede apreciar en la válvula virtual en conjunto con los sensores que tenemos en la tubería y acumulador.



**Figura 5.2.** Pantalla de inicio del entorno virtual.

Esta es la pantalla de inicio del entorno virtual donde se puede apreciar la válvula de control de color rojo, el sensor de presión de color azul donde podemos observar cual es la cantidad que en el instante de medición toma como lectura, la tubería que se ubicó con el fin generar un entorno de carácter industrial el SP inicia siempre en 10 PSI, porque cuando el entorno virtual arranca necesita de valores para iniciar el ciclo de control, el panel que se ve al frente del personaje es donde se grafican las curvas de presión frente al tiempo, desde aquí con el mouse también podemos modificar el estado de la perturbación que responde correctamente como veremos en la figura 5.3.

Con pulsar el teclado de la flecha hacia la derecha el personaje se mueve y podemos observar la respuesta que tiene la animación de la válvula manual de perturbación la parte amarilla corresponde a la palanca de accionamiento que se moverá de acuerdo al slider en este momento se aprecia la válvula cerrada en su totalidad.



**Figura 5.3.** válvula de perturbación.

Aquí también se observa que el entorno generado es bastante acercado a la realidad pues el sensor de presión de salida del contenedor también indica la cantidad de presión que tenemos en ese instante igual el sensor del tanque que como parte didáctica la dejamos a 50 PSI para tener como valor de referencia y ver cómo va subiendo o bajando según demos un valor requerido en la siguiente imagen se ve la perturbación al 50% y 100% de apertura.



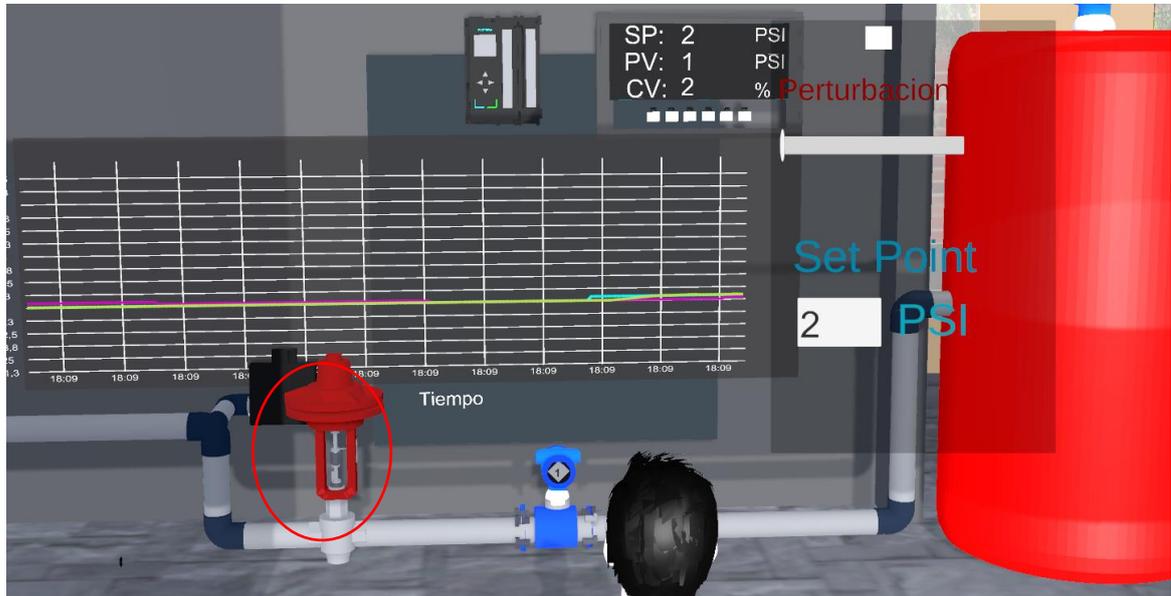
(a) Perturbación al 50%



(b) Perturbación al 100%

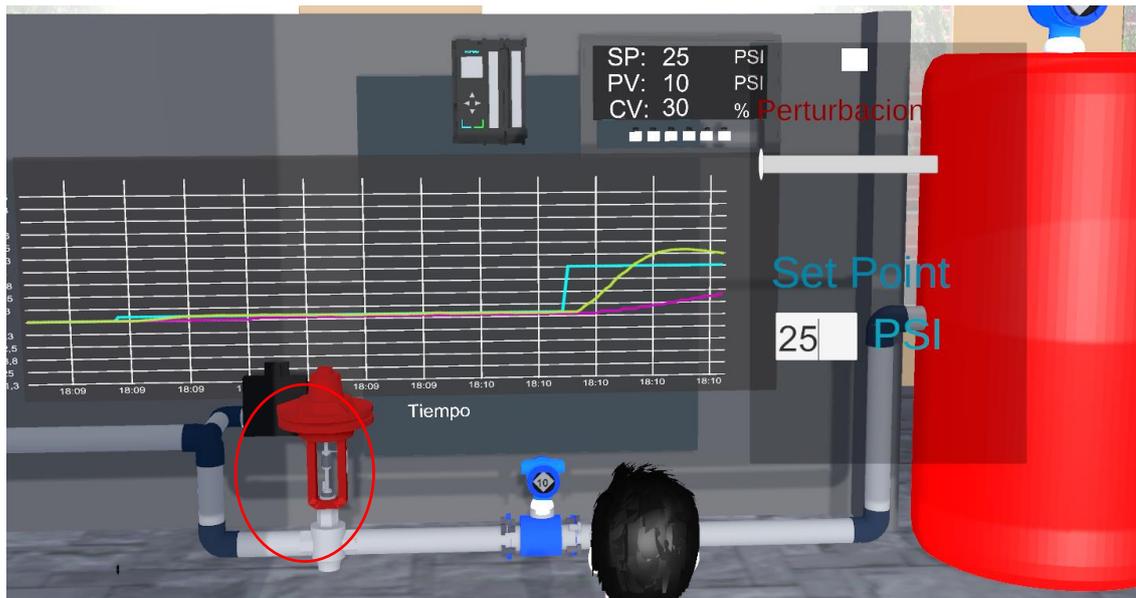
**Figura 5.4.** Variación de perturbación en el entorno virtual.

El actuador funciona correctamente pues en la figura 5.5 se puede apreciar cómo se abre o cierra respondiendo de acuerdo a la señal que emite el controlador con el fin de estabilizar la planta en un valor requerido.



**Figura 5.5.** Actuador abierto al 2%.

Aquí se puede observar que el actuador está abierto en un porcentaje bajo pues el CV está indicando que el actuador debe abrirse el 2% de su capacidad total para poder alcanzar el valor requerido y estabilizar la presión del sistema.



**Figura 5.4.** Actuador abierto al 30%.

Aquí observamos que el actuador está abierto en un porcentaje mayor al anterior pues el CV está indicando que el actuador debe abrirse el 30% de su capacidad total para poder alcanzar el valor requerido y estabilizar la presión del sistema.

## **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1. CONCLUSIONES**

- Determinamos que la mejor opción de los software para crear entornos virtuales es Unity porque brinda cuentas gratuitas para estudiantes y las facilidades que brinda a través de los Assets existentes facilita la comunicación entre los software necesarios para el desarrollo de la propuesta tecnológica.
- Al no contar con una planta física de control se investiga métodos de identificación de procesos con técnicas de lazo abierto para contrastar y validar la función de transferencia concluyendo que el método de Smith es práctico y eficiente para la identificación de procesos.
- La interfaz de comunicación al inicio del desarrollo de la propuesta tecnológica entre Unity, PLC y Arduino se lo realizó por TCP/IP con la ayuda del Asset Game4Automation, esta forma de comunicación es útil para poder apreciar las gráficas en distintos ordenadores de forma personalizada pero existe retardo en la transmisión de datos entonces como solución se realiza la comunicación serial mejorando de manera considerable la calidad de comunicación omitiendo la visualización en varios ordenadores.
- El entorno virtual generado reacciona de manera positiva pues los tipos de comunicación que se implementó hace del entorno fluido y de poco consumo de recursos dando la facilidad de ejecutar este entorno en ordenadores de gama media.
- El módulo virtual es apto para realizar prácticas de control PID de aire comprimido aplicando el primer método de Ziegler y Nichols que es uno de los métodos básicos de control en la industria por esta razón este módulo es excelente pues permite el desarrollo de la habilidad de reconocimiento de los parámetros en los cuales este método es aplicable.

### **6.2. RECOMENDACIONES**

- Para próximos trabajos de esta naturaleza utilizando el software Unity se recomienda no trabajar en versiones beta que están disponibles pues generan conflictos de comunicación y actualización.
- Para evaluar las funciones de transferencia recomendamos usar Simulink de Matlab y usar este mismo software para cargar la configuración de la planta a la tarjeta Arduino.

- Tener en cuenta que para ver el tipo de respuesta de la planta se lo debe hacer con estímulos de tipo escalón unitario y en lazo abierto.
- Para la obtención de las funciones de transferencia ayudarse del método de Smith para optimizar tiempo pues los resultados que este método ofrece son similares a otros de mayor complejidad o a su vez guiarse por las plantas simuladas por Matlab pues aquí se considera ya todas las pérdidas y características de las plantas reales.
- Tomar muy en cuenta que las constantes de PID que manejan los software TIA Portal y Matlab no son las mismas es necesario hacer la conversión según sea el caso tal y como se menciona en los materiales y métodos de este documento.
- Finalmente se recomienda el análisis y deducción de las funciones de transferencia de las plantas de procesos industriales pues esto nos permite hallar el tipo de control que será óptimo de acuerdo a todas las variables de las cuales depende el correcto funcionamiento de una planta industrial.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] T. Álamo, “Diseño del Controlador PID,” *Univ. Sevilla, Dep. Ing. Sist. y Automática*, pp. 1–37, 2007.
- [2] “CONTROL SYSTEMS, ROBOTICS AND AUTOMATION - Volume II: System Analysis and ... - Google Libros.”  
<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=RF1xDAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA58&dq=control+pid&ots=zB-2unuLjM&sig=GTXiLW78eKcDdI1tTzzZcXd8YKA#v=onepage&q=control+pid&f=false> (accessed Jun. 23, 2021).
- [3] C. Puras, ““ NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ ,”” 2017.
- [4] M. J. Coral Quinto, “Diseño e implementación de base de datos mediante el uso de web services con integración de Unity 3D para apoyo de aplicaciones lúdicas en la materia de Fundamentos de Programación.,” 2018, [Online]. Available: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/36403>.
- [5] M. Perez, A. Perez, and E. Perez, “Introduccion a los sistemas de control y modelo matemático para sistemas lineales invariantes en el tiempo.,” *Univ. Nac. San Juan*, vol. 1, pp. 1–69, 2007.
- [6] “Qué es un sistema de control y qué tipos hay | AUTYCOM.”  
<https://www.autycom.com/que-es-un-sistema-de-control/> (accessed Jul. 15, 2020).
- [7] “2956-92 (1).pdf.” .
- [8] I. E. S. La Magdalena, “ $M! (M - m)! m! (M = 10, m \leq M)$ ,” no. 1, p. 29.
- [9] S. M. Charre-Ibarra, J. A. Alcalá-Rodríguez, N. López-Luiz, and M. A. Durán-Fonseca, “Sistema didáctico de control de presión,” *Form. Univ.*, vol. 7, no. 5, pp. 33–40, 2014, doi: 10.4067/S0718-50062014000500005.
- [10] K. Ogata, *Ingenieria de Control Moderna*. 2013.
- [11] J. Henriquez Novoa and W. Martinez Rodriguez, “Identificación y sintonización de controladores PID para procesos de integración,” p. 30, 2018, [Online]. Available: <https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/5557/Identificación+y+sintonización+de+controladores+PID+para+procesos+de+integración.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

- [12] P. Asociado, “SIMULACIÓN José Francisco Parra Garcés,” pp. 21–50, 1981, [Online]. Available: <http://www.bdigital.unal.edu.co/15202/1/9799-17373-1-PB.pdf>.
- [13] E. G. Gualpa Cando and D. A. Rubio Rubio, “Universidad técnica de cotopaxi,” *Univ. Técnica Cotopaxi Fac.*, vol. 1, p. 101, 2018, [Online]. Available: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/4501/1/PI-000727.pdf>.
- [14] “blender.org - Inicio del proyecto Blender - Software de creación 3D gratuito y abierto.” <https://www.blender.org/> (accessed Jan. 18, 2021).
- [15] L. I. Urquiza Mendoza, B. A. Auria Burgos, S. K. Daza Suárez, F. D. R. Carriel Paredes, and R. I. Navarrete Ortega, “Uso de la realidad virtual, en la educación del futuro en centros educativos del Ecuador,” *J. Sci. Res. Rev. Cienc. e Investig.*, vol. 1, no. 4, pp. 26–30, 2016, doi: 10.26910/issn.2528-8083vol1iss4.2016pp26-30.
- [16] O. Mariño Drews, ““Fortalecimiento de la enseñanza de la ingeniería con las tecnologías de información y comunicaciones,”” *Rev. Ing.*, vol. 0, no. 39, p. 45, 2014, doi: 10.16924/riua.v0i39.376.
- [17] X. Basogain, M. Olabe, K. Espinosa, and C. R. J. C. Olabe, “Realidad Aumentada en la Educación : una tecnología emergente,” *Semana*, no. 5, pp. 12–15, 2010.
- [18] J. F. Chipia Lobo, “Juegos Serios: Alternativa Innovadora,” *Conoc. Libr. y Educ.*, vol. 2, no. 2, pp. 1–18, 2011, [Online]. Available: <http://erevistas.saber.ula.ve/index.php/cled/article/view/4862>.
- [19] “Unity ¿Qué es y para qué sirve? | Tutorial Unity.” <https://www.masterd.es/blog/que-es-unity-3d-tutorial/> (accessed Jul. 11, 2020).
- [20] “Quick guide to the Unity Asset Store - Unity.” <https://unity3d.com/es/quick-guide-to-unity-asset-store> (accessed Jun. 28, 2021).
- [21] “Game4Automation Digital Twin Professional | Utilities Tools | Unity Asset Store.” <https://assetstore.unity.com/packages/tools/utilities/game4automation-digital-twin-professional-143543> (accessed Jun. 28, 2021).
- [22] [https://www.researchgate.net/profile/Maria-Morales-Rodriguez/publication/270905191\\_PLANIFICADOR\\_PARA\\_EL\\_ENCADENAMIENTO\\_EN\\_TIEMPO\\_REAL\\_DE\\_ANIMACIONES\\_GESTUALES\\_DE\\_PERSONAJES\\_VIRTUALES/links/54b9d63b0cf24e50e93dcaca/PLANIFICADOR-PARA-EL-](https://www.researchgate.net/profile/Maria-Morales-Rodriguez/publication/270905191_PLANIFICADOR_PARA_EL_ENCADENAMIENTO_EN_TIEMPO_REAL_DE_ANIMACIONES_GESTUALES_DE_PERSONAJES_VIRTUALES/links/54b9d63b0cf24e50e93dcaca/PLANIFICADOR-PARA-EL-)

- ENCADENAMIENTO-EN-TIEMPO-REAL-DE-ANIMACIONES-GESTUALES-DE-PERSONAJES-VIRTUALES.pdf (accessed Jun. 28, 2021).
- [23] “Microsoft Visual Studio, Concepto y ¿Qué es y para qué sirve Microsoft Visual Studio?” <https://www.espaciohonduras.net/microsoft-visual-studio-concepto-y-que-es-y-para-que-sirve-microsoft-visual-studio> (accessed Jan. 18, 2021).
- [24] R. Gh, “controladores logicos programables,” vol. 25.
- [25] “Beneficios de TIA Portal en las tareas de automatización / Industrias GSL.” <https://www.industriasgsl.com/blog/post/beneficios-de-tia-portal-en-las-tareas-de-automatizacion> (accessed Jun. 28, 2021).
- [26] D. L. Fay, “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE PRESIÓN NEUMÁTICA BASADO EN ALGORITMO DE COLONIA DE HORMIGAS (ACO),” *Angew. Chemie Int. Ed.* 6(11), 951–952., 1967.
- [27] W. Mahnke and S. Leitner, “Cal-Controls (1999), Application Guide for Installation and Cabling of the Communications Option for CAL 3300 / 9300 / 9400 / 9500 Controllers.,” 2009.
- [28] S.-H. Leitner and W. Mahnke, “OPC UA – Service-oriented Architecture for Industrial Applications,” *Softwaretechnik-Trends*, vol. 26, no. 4, pp. 1–6, 2006, [Online]. Available: <http://www2.cs.uni-paderborn.de/cs/ag-engels/GI/ORA2006-Papers/leitner-final.pdf%5Cnhttp://dblp.uni-trier.de/db/journals/stt/stt26.html#LeitnerM06%5Cnhttp://www2.cs.uni-paderborn.de/cs/ag-engels/GI/ORA2006-Papers/leitner-final.pdf>.
- [29] “TFG\_Sergio\_Ortega\_Fenández.pdf.” .
- [30] “Arduino - Acerca de nosotros.” <https://www.arduino.cc/en/Main/AboutUs> (accessed Jul. 11, 2020).
- [31] F.J. Auyanet, J. J. Quintana, and **Moises Diaz**, “Revisión y mejora de las prácticas de regulación automática para el aprendizaje del control discreto de un sistema térmico,” *IV Jornadas Iberoam. Innovación Educ. en el ámbito las TIC, Las Palmas Gran Canar.*, pp. 197–204, 2017.
- [32] C. Reddy, “Implementación de un PLC didáctico de laboratorio,” *Экономика Региона*, no. July, p. 32, 2012.

[33] “tesina de seminario.pdf.” .

[34] C. Smith and A. Corripio, *Control automático de procesos: Teoría y práctica*. 1991.

# **8. ANEXOS**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

**PROPUESTA TECNOLÓGICA**

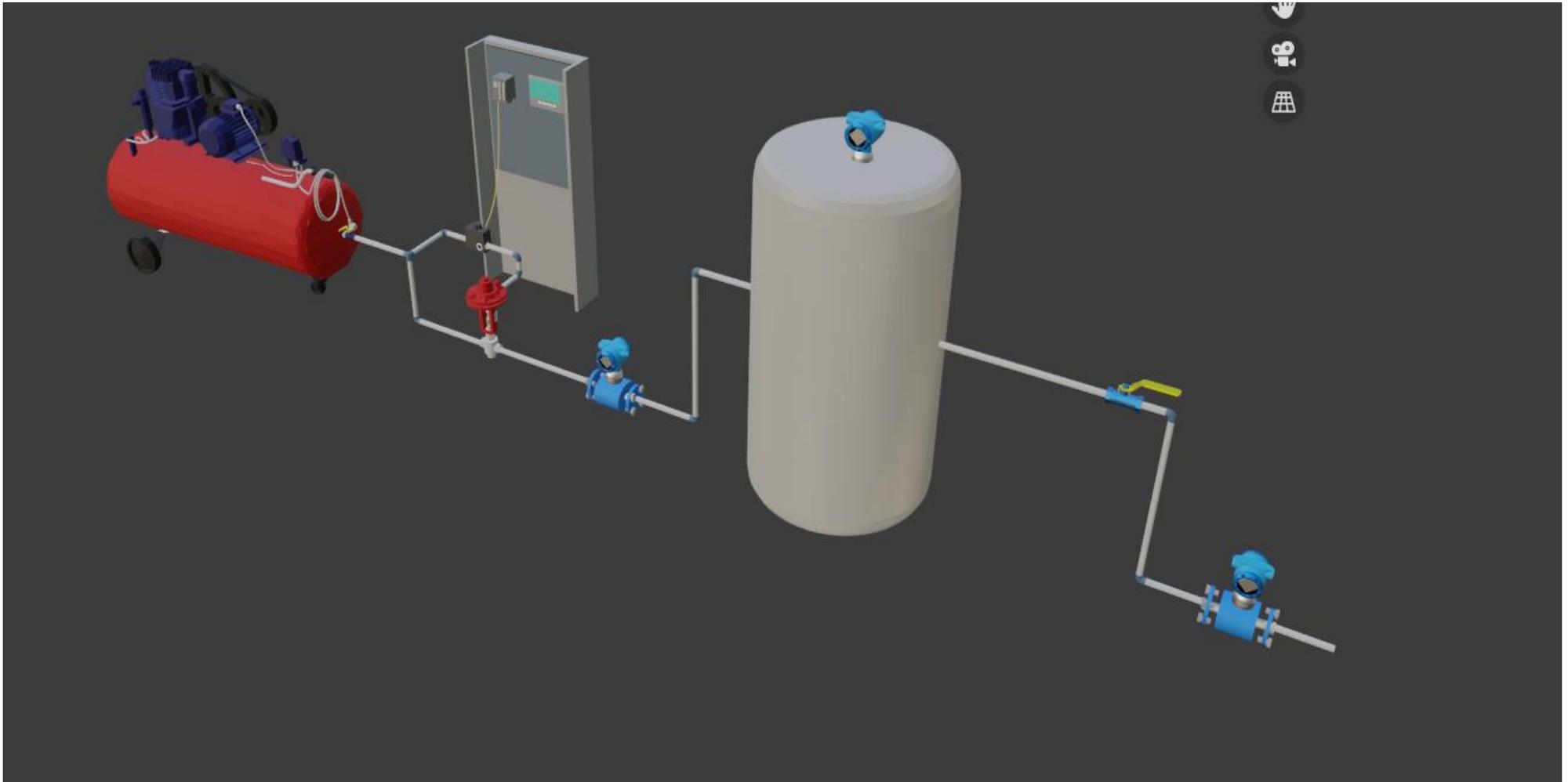
**TÍTULO: DESARROLLO DE UN ENTORNO VIRTUAL 3D PARA EL CONTROL DE  
PRESION DE UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO.**

**Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero en Electromecánica**

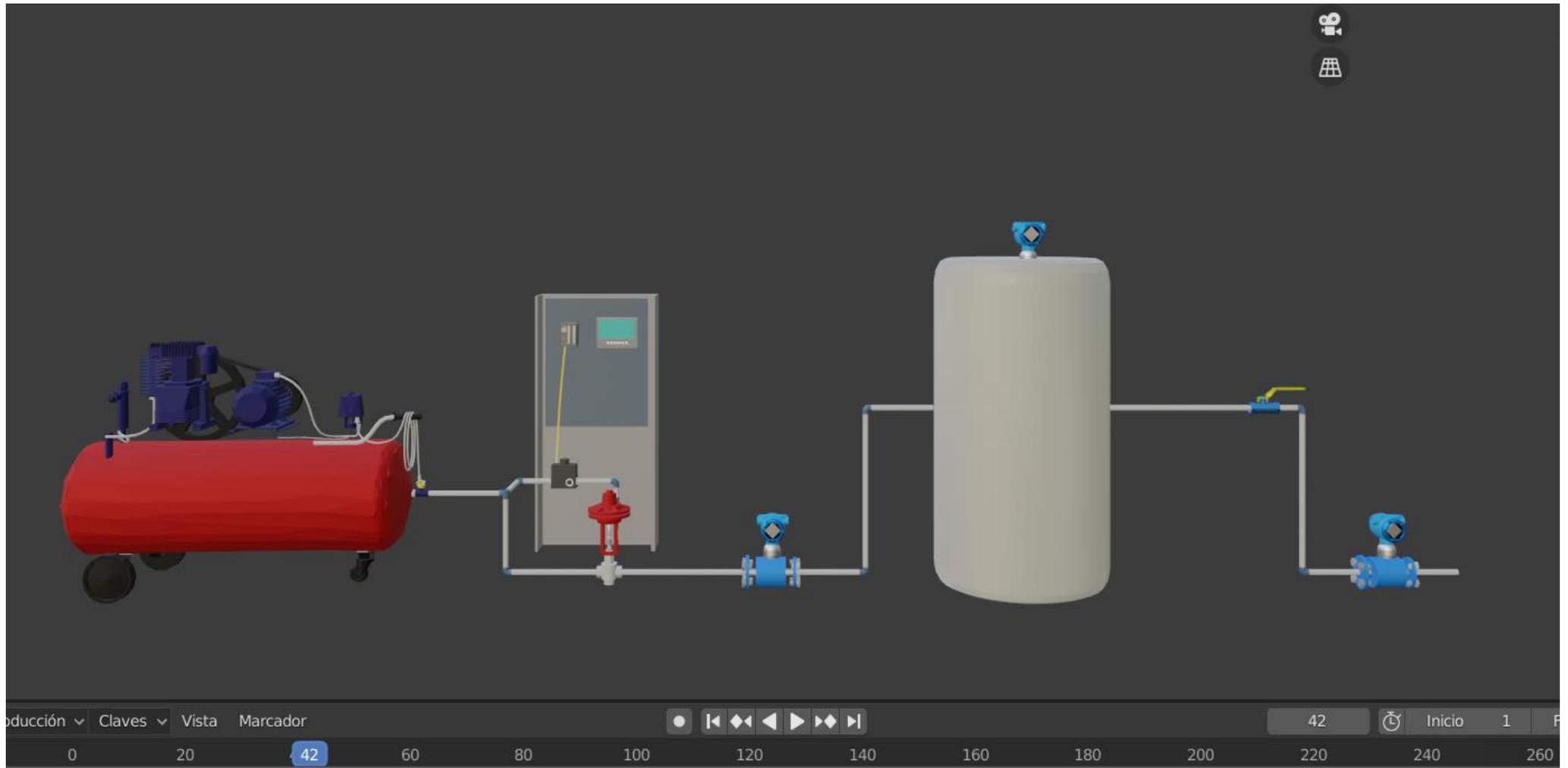
**Autores:**

**Chipuxi Caiza Christian Paúl**

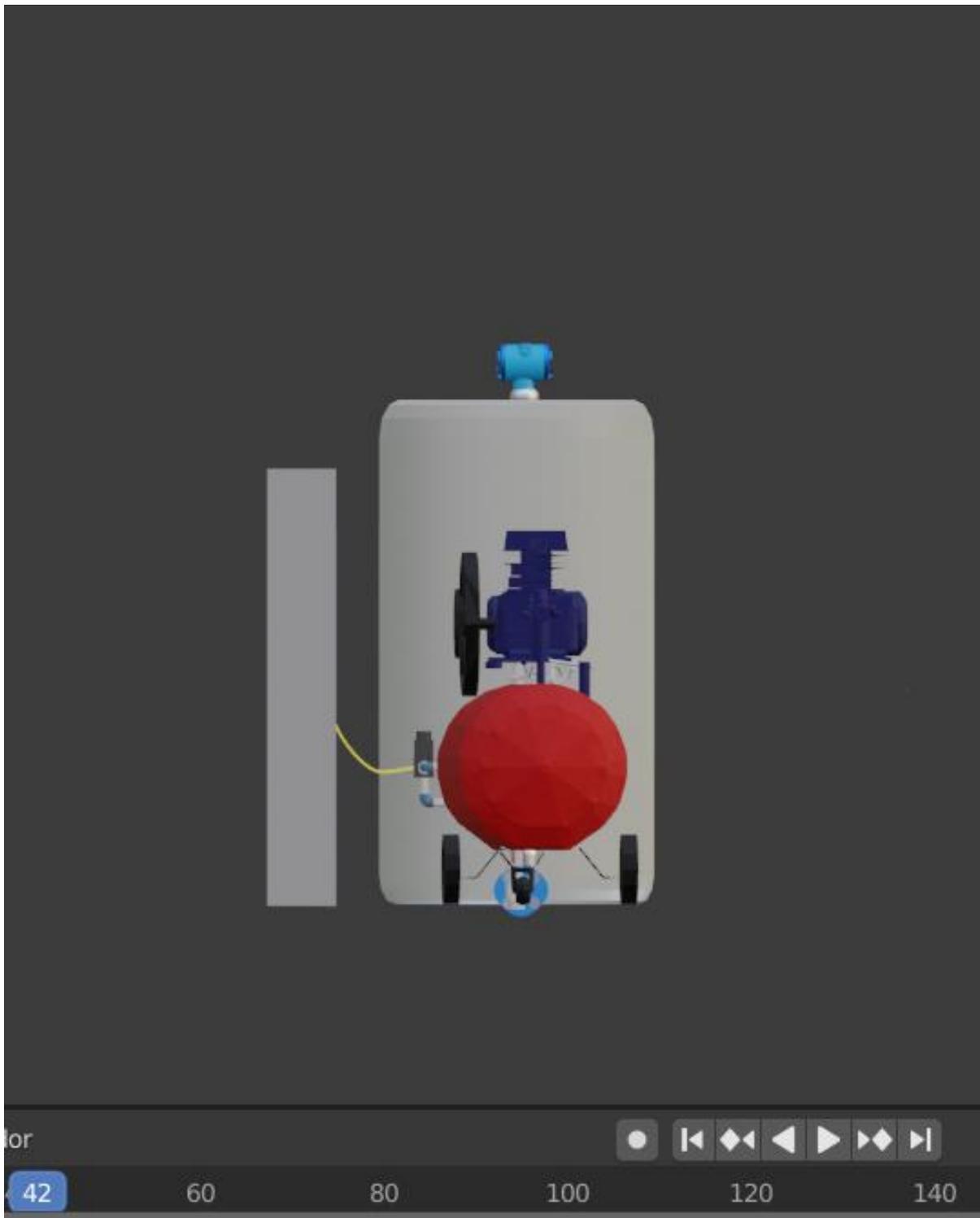
**Yanchatipán Ugsha Héctor Efraín**



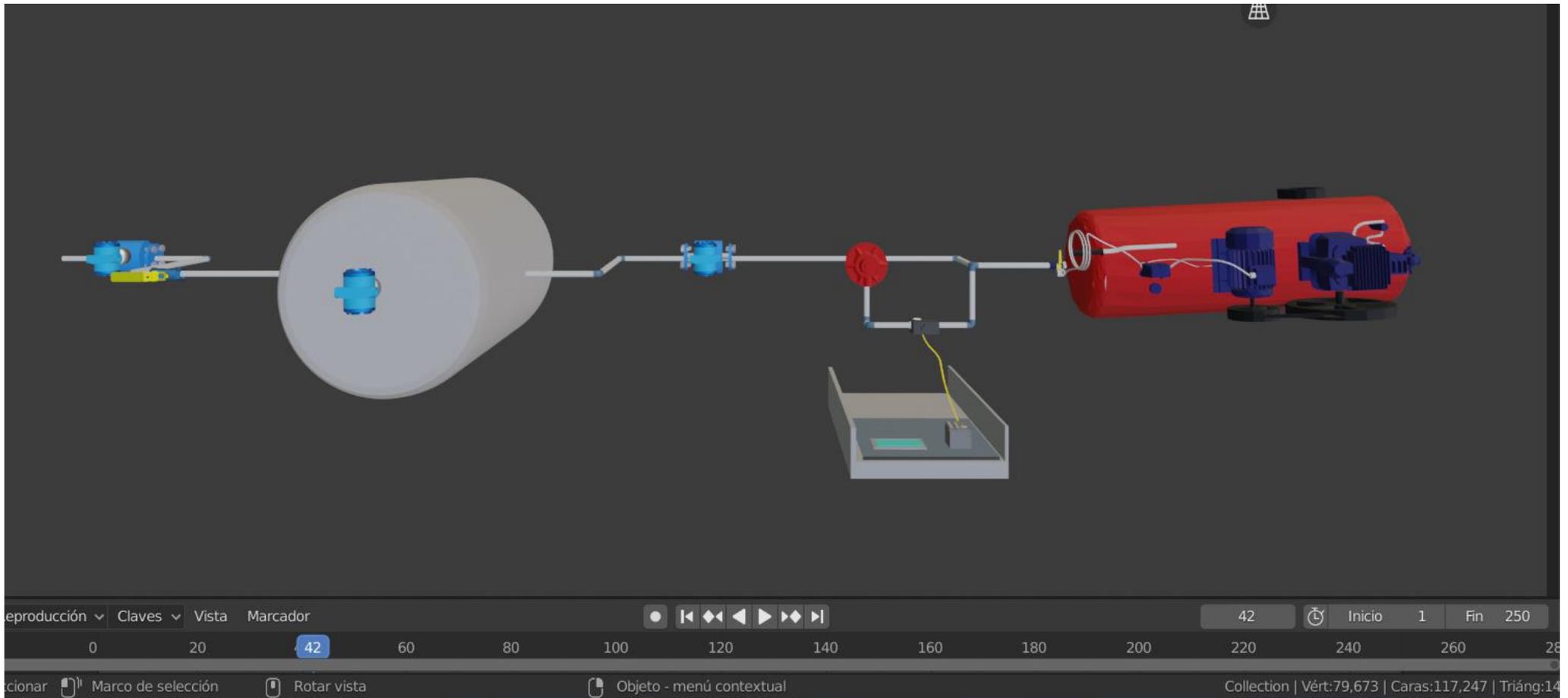
Anexo A: Diseño de la planta en Blender.



Anexo B: Vista frontal de la planta en Blender.



**Anexo C: Vista lateral de la planta en Blender**



**Anexo D: Vista superior de la planta en Blender.**



**Anexo E: Entorno virtual en Unity.**



### Anexo F: Programación en Unity 3D para la comunicación

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;
using System;
using UnityEngine.UI;
using System.IO.Ports;

public class ControlModificado : MonoBehaviour
{
    //Declaraciones para comunicacion ///
    public Slider Barraperturbacion, Barraperturbacion2;
    public InputField SetPoint;
    public TextMesh CVtexto, PVtexto;

    private double pp, pi, p, po, SP, PV, ts = 0.1, SPacon, PVacon;
    private double tiempo;
    public double w, x;
    public float y, z, a1, a2, CV;
    private double V, R, T, C, a3, kv = 0.54;

    SerialPort stream;
    [SerializeField] Dropdown myDrop;
    [SerializeField] Button iniciarBtn;
    [SerializeField] Button conectarBtn;
    [SerializeField] Button desconectarBtn;
    [SerializeField] Text errorText;
    [SerializeField] Text scoreText;
    [SerializeField] GameObject serialCanvas;
    bool isConnected = false;
    void Start()
    {
        iniciarBtn.interactable = false;
        RefreshPorts();

        tiempo = 0;

        PV = 0;
        Barraperturbacion.value = 0.25f;
        Barraperturbacion2.value = 0;
        //PARAMETROS DEL TANQUE
        V = 5f; //VOLUMEN
        R = 8500f; //CONSTANTE DE PRESION
        T = 273f; //TEMPERATURA
        C = V * T / R;
        pi = 60;
        p = 0;
        pp = 0;
        po = 0;
        SP = 10;
        CV = 0;
    }

    public void AttemptConnection()
    {
        //print("Trying to connect to port " + myDrop.captionText.text);
    }
}
```

```

stream = new SerialPort(myDrop.captionText.text, 115200);
try
{
    stream.Open();
    stream.ReadTimeout = 20;
    stream.WriteTimeout = 300;
    iniciarBtn.interactable = true;
    desconectarBtn.gameObject.SetActive(true);
    errorText.gameObject.SetActive(false);
}
catch (System.Exception ex)
{
    errorText.gameObject.SetActive(true);
    errorText.text = ex.ToString().Substring(0, ex.ToString().Length / 4); // just making
the message shorter
}

// Update is called once per frame
void Update()
{
    tiempo += Time.deltaTime;
    if (tiempo >= ts)
    {
        SP = float.Parse(SetPoint.text);
        if (SP >= 25)
        {
            SetPoint.text = 25.ToString();
            SP = 25;
        }
        x = SP;

        PV = float.Parse(PVtexto.text);

        CV = float.Parse(CVtexto.text);
        a1 = CV;

        a2 = Barraperturbacion.value;
        a3 = Barraperturbacion2.value;
        y = a1;
        z = a2;

        tiempo = 0;

        Debug.Log(a1);
        Debug.Log(a2);
    }
    if (stream.IsOpen)
    {
        stream.Write(x.ToString() + ";" + y.ToString("#.##") + ";" + z.ToString("#.##") +
"\n");
        // stream.WriteLine(x.ToString() + ";" + y.ToString("#.##") + ";" + z.ToString("#.##")
+ "\n");
    }
    stream.BaseStream.Flush();
}

public void RefreshPorts()
{
    List<string> ports = new List<string> { };
    foreach (string port in SerialPort.GetPortNames())
    {
        ports.Add(port);
    }
}

```

```
myDrop.ClearOptions();
myDrop.captionText.fontSize = 13;
myDrop.AddOptions(ports);

}

public void Disconnect()
{
    //valor1 = 0;
    // valor2 = 0;
    stream.Close();
    iniciarBtn.interactable = false;
    conectarBtn.gameObject.SetActive(true);
    desconectarBtn.gameObject.SetActive(false);
    isConnected = false;
}

public void HideSerialCanvas()
{
    serialCanvas.gameObject.SetActive(false);
    isConnected = true;
    stream.DiscardOutBuffer();
    stream.DiscardInBuffer();
}

}
```

**Anexo G: Programación en Unity 3D para el movimiento del personaje**

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

public class Mov_Personaje : MonoBehaviour
{
    public float vel_mov, vel_rot, x, y;
    private Animator personaje;
    public GameObject canvas;
    public Camera FPSCamara;
    public Rigidbody rb;
    // Start is called before the first frame update

    public bool estoyAbajo;
    public bool avanzoSolo;
    public bool agachado;
    public float impulsoAbajo = 10f;
    void Start()
    {
        personaje = GetComponent<Animator>();
    }

    // Update is called once per frame
    void Update()
    {
        x = Input.GetAxis("Horizontal");
        y = Input.GetAxis("Vertical");
        if (!estoyAbajo)
        {
            transform.Rotate(0, x * Time.deltaTime * vel_rot, 0);
            transform.Translate(0, 0, y * Time.deltaTime * vel_mov);
        }
        if (avanzoSolo)
        {
            rb.velocity = transform.forward * impulsoAbajo;
        }

        personaje.SetFloat("Velx", x);
        personaje.SetFloat("Vely", y);

        if (Input.GetKey(KeyCode.B))
        {
            personaje.SetTrigger("abajo");
            personaje.SetTrigger("agachado");
            FPSCamara.transform.localPosition = new Vector3(0, transform.localPosition.y + 3.1f,
0); //Distancia que baja la camara
        }
        if (Input.GetKeyUp(KeyCode.B))
        {
            FPSCamara.transform.localPosition = new Vector3(-0.16f, 2.42f, -2.3f); //Posicion de
la camara
        }
        if (Input.GetKeyDown(KeyCode.M))
        {
            personaje.SetTrigger("agachado");
        }
    }
}
```

```
}  
  
if (Input.GetKey(KeyCode.W))  
{  
    FPSCamara.transform.Rotate(-1.2f, 0, 0);  
}  
else  
{  
    if (Input.GetKey(KeyCode.S))  
    {  
        FPSCamara.transform.Rotate(1.2f, 0, 0);  
    }  
    else  
    {  
        if (Input.GetKey(KeyCode.A))  
        {  
            FPSCamara.transform.Rotate(0, -1.2f, 0);  
        }  
        else  
        {  
            if (Input.GetKey(KeyCode.D))  
            {  
                FPSCamara.transform.Rotate(0, 1.2f, 0);  
            }  
        }  
    }  
}  
}  
}  
private void OnTriggerStay(Collider panel)  
{  
    if (panel.tag == "Canva")  
    {  
        canvas.SetActive(true);  
    }  
}  
}
```

**Anexo H: Programación en Arduino**

```
#include <Separador.h>
//VARIABLES GLOBALES
Separador s;
String dato2="";
int valor1=0; //SP
int valor2=0; // a1=CV
int valor3=0; //a2=Perturbacion
int valor4=0; //Condicion
//PINES DE SALIDAS CON SP Y PV
const int PinSP=5; //Pin Señal SP
const int PinPV=9; //Pin Señal PV
// Timer: auxiliar variables
unsigned long previousMillis = 0; // Stores last time temperature was published
const long interval = 100; // interval at which to publish sensor readings

// PARAMETROS DEL TANQUE
float V = 10.0; // VOLUMEN
float R = 8314.0; // CONSTANTE DE PRESION
float T = 260.3; // TEMPERATURA
float C=0.0;
float ts=0.1;
// PRESIONES DEL TANQUE
float pi=290.0; //(PSI) %% PRESION DE ENTRADA (ALIMENTACION DEL COMPRESOR)
float po=232.0; //(PSI) %% PRESION DE SALIDA (COMO SALE AL AMBIENTE NO TIENE
PRESION DE SALIDA)
float pp=261.0;
float SetPoint=0.0;
// VALVULA DE CONTROL
float a1=0; //(ES EN PORCENTAGE 0-1)
float a2=0.3;

// PRESION INICIAL
float p=0; //(PSI)
//Filtro CV
float Y = 0;
float alpha=0.1;
float S=0.0;
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  Serial.setTimeout(100);
  C=V*(T/R);
  delay(1000);
}

void loop() {

  if (Serial.available())
```

```

{
  dato2 = Serial.readString();
}

unsigned long currentMillis = millis();
// Send temperature readings
if (currentMillis - previousMillis >= interval){
  previousMillis = currentMillis;
  String v1=s.separa(dato2,',',0);
  v1.replace(",",".");
  valor1 = v1.toInt();

  String v2=s.separa(dato2,',',1);
  v2.replace(",",".");
  valor2 = v2.toInt();

  String v3=s.separa(dato2,',',2);
  v3.replace(",",".");
  valor3 = v3.toInt();

  String v4=s.separa(dato2,',',3);
  v4.replace(",",".");
  valor4 = v4.toInt();

  float cv_PLC=analogRead(A0);
  Y =cv_PLC;
  S=((alpha*Y)+((1-alpha)*S));
  cv_PLC=S;
  SetPoint=(float)valor1; //SetPoint
  float SPAcon=8.5*SetPoint;
  a2=((float)valor3)/100.0; //Perturbacion

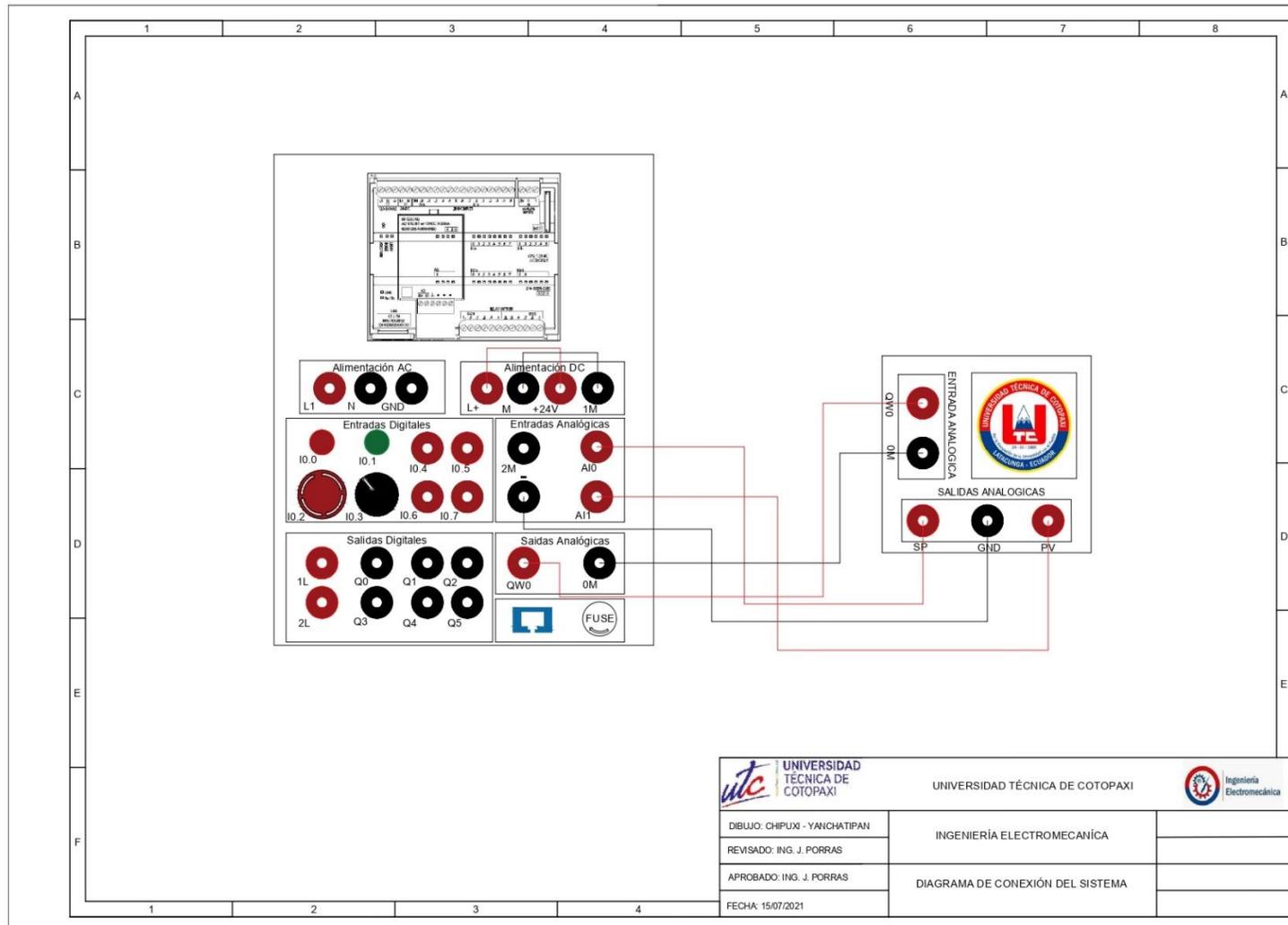
  switch (valor4){
    case 1:
      a1=((float)valor2)/100.0; //CV_OPC
      break;
    case 2:
      a1=cv_PLC/1023.0; //CV_Serial
      break;
    default:
      SetPoint=10.0;
      p=10.0;
      SPAcon=8.5*SetPoint;
      break;
  }
  analogWrite(PinSP,round(SPAcon));

  pp = C*((a1*sqrt(pi*(pi-p)))-(a2*sqrt(p*(p-po))));

  p = p + pp * ts;
  if (p > 30.0) //EVITAR QUE SE PASE DE LA ALIMENTACION
  {
    p = 30.0;
  }
  if (p <= 0.0) //EVITAR QUE SE PASE DE LA ALIMENTACION

```

```
{  
  p = 0.0;  
}  
float PVacon = 8.5*p;  
analogWrite(PinPV,round(PVacon));  
int CV_Unity=map((int)cv_PLC,0,1023,0,27648);  
int PV_Unity=(int)p*100;  
Serial.flush();  
Serial.println(String(PV_Unity)+","+String(CV_Unity));  
}  
  
}
```



**Anexo I: Diagrama de conexión**

# **GUÍAS DE LABORATORIO**

**PRÁCTICA DE LABORATORIO**

<b>CARRERA</b>	<b>CÓDIGO DE LA ASIGNATURA</b>	<b>NOMBRE DE LA ASIGNATURA</b>
<b>INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA</b>	<b>IELM804</b>	<b>MEDIDAS ELECTRICAS E INSTRUMENTACION</b>

<b>PRÁCTICA N°</b>	<b>LABORATORIO:</b>	<b>ELECTRÓNICA</b>	<b>DURACIÓN (HORAS)</b>
<b>1</b>	<b>NOMBRE DE LA PRÁCTICA:</b>	<b>ANÁLISIS DE DIFERENTES MÉTODOS DE SINTONIZACIÓN APLICADOS EN LA PLANTA VIRTUAL DE CONTROL DE PRESIÓN DE AIRE COMPRIMIDO POR COMUNICACIÓN SERIAL Y TCP/IP</b>	<b>2</b>

<b>1</b>	<b>OBJETIVO</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Analizar el comportamiento y tiempos de estabilización de la planta virtual de control de presión de aire comprimido aplicando los metodos de sintonización de Ziegler y Nichols, Cohen y Coon, Smith y Corripio.</li> </ul>

<b>2</b>	<b>FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA</b>
	<p><b>2.1. INTRODUCCIÓN</b></p> <p>PID es la abreviación de proporcional integral y derivativo, para el estudio de esta técnica de control también se utiliza las iniciales a nivel de elemento es decir: el elemento proporcional está abreviado como P, el elemento integral está abreviado con la letra I mientras que el elemento derivativo está identificada con la letra D. esta técnica de control inició en el año 1939 y hasta la actualidad sigue siendo utilizado para el control de procesos, según la investigación japonesa realizada en el año 1989 se indicó que el 90% de los controladores usados en la industria de procesos son controladores PID y versiones actualizadas de controlador PID.</p> <p>La sintonización de los controladores se realiza sin disponer de la información necesaria ya que los métodos de sintonización estan basados en estudios de la respuesta al escalón de diferentes tipos de sistemas, por tal razón los parametros del controlador que se determinan utilizando estas metodologias podrian dar como resultado una respuesta medianamente indeseable</p>

La sintonización de los controladores Proporcional - Integral - Derivativo o simplemente controladores PID, consiste en la determinación del ajuste de sus parámetros ( $K_c$ ,  $T_i$ ,  $T_d$ ), para lograr un comportamiento del sistema de control aceptable y robusto de conformidad con algún criterio de desempeño establecido. Para poder realizar la sintonización de los controladores, primero debe identificarse la dinámica del proceso, y a partir de ésta determinar los parámetros del controlador utilizando el método de sintonización seleccionado.

La comunicación serial consiste en el envío de un bit de información de manera secuencial, esto es, un bit a la vez y a un ritmo acordado entre el emisor y el receptor. A través de este integrado el microcontrolador puede recibir y enviar datos a un computador de manera serial.

TCP/IP significa Protocolo de Control de Transmisión/Protocolo de Internet en español. Hablamos de TCP/IP unidos para referirnos a un modelo de red el cual fue desarrollado por Vinton Cerf y Robert E. Kahn en 1970. Fueron dos de los pesos pesados que trabajaron sobre la red ARPANET, la primera red de intercambio de datos de área amplia o WAN que fue un encargo del Departamento de Defensa de los Estados Unidos.

TCP/IP identifica los protocolos utilizados en las redes y describe el conjunto de guías y reglas generales que hacen posible que un equipo sea capaz de intercambiar información en una red. El modelo asegura una conexión punto a punto y define cómo deben ser formateados, direccionados transmitidos y enrutados los datos.

## **2.2 EQUIPOS, INSTRUMENTOS Y MATERIALES NECESARIOS**

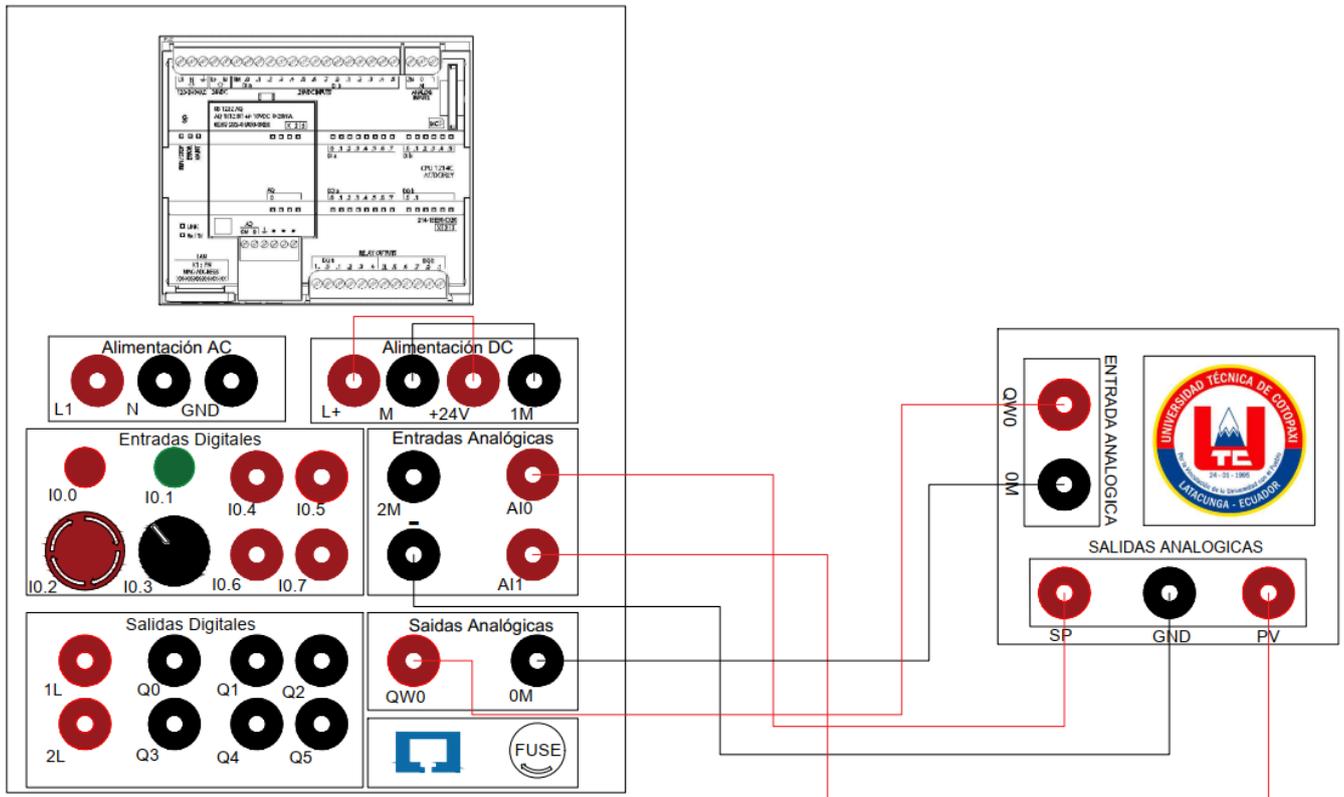
- PLC S7-1200 CPU 1212C AC/DC/Rly Referencia: 6ES7 212-1BD30-0XB0 Version: v2.2
- Modulo de salidas analogicas SB 1232 AQ 1x12BIT\_1 Referencia: 6ES7 232-4HA30-0XB0
- Módulo de conexión entre la planta virtual y el PLC
- PC con TIA PORTAL V16
- Memoria USB con los archivos ejecutables de Unity 3D
- 9 conectores tipo banana

## **2.3. MEDIDAS DE SEGURIDAD**

Los estudiantes deberán tener todas las precauciones y seguridades socializadas al inicio del ciclo con respecto al uso de los laboratorios.

## **2.4. TRABAJO PREPARATORIO**

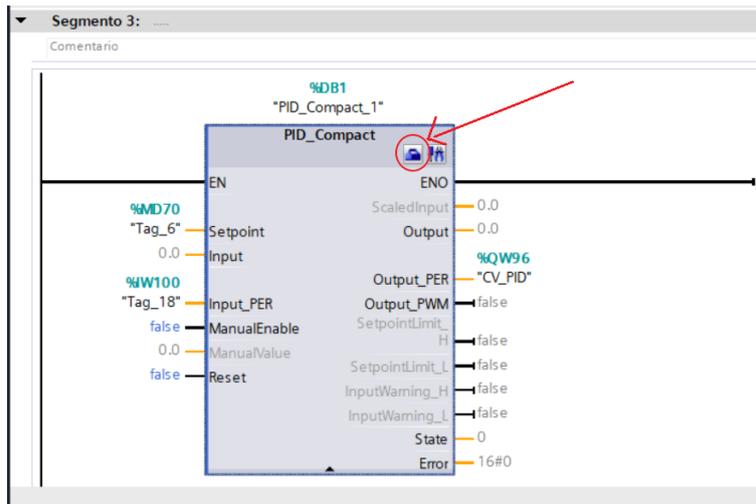
**PASO 1:** Verificar que los cables a utilizar estén en buenas condiciones, una vez revisado los cables realizar la conexión según muestra la figura



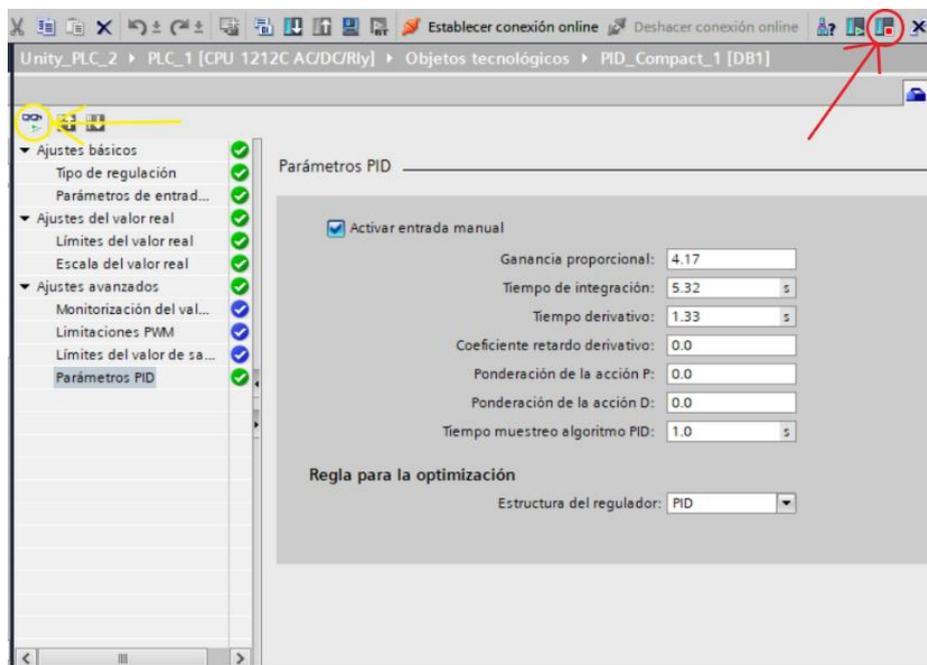
**TABLA DE VARIABLES**

TABLA DE VARIABLES	
SP	Set Point
PV	Presión en tiempo Real
GND	Conexión a tierra

- PASO 2:** Conectar el módulo de comunicación entre la planta virtual y el PLC mediante el puerto USB.
- PASO 3:** Ejecutar la aplicación CH34x\_Install\_Windows\_v3\_4 ubicada en el USB PID\_CONTROL, abra la carpeta EJECUTABLES luego ARDUINO presione install, luego de instalarse las bibliotecas cierre la aplicación.
- PASO 4:** Abrir el archivo de Tia portal con el nombre UNITY\_PLC\_2 ubicado en el USB PID\_CONTROL, abra la carpeta EJECUTABLES luego TIA\_PORTAL.
- PASO 5:** Conectar el PLC al computador mediante puerto ethernet para configurar la dirección IP del PLC con la siguiente dirección IP 192.168.0.2
- PASO 6:** Ejecutar CMD de Windows y escribir “ping 192.168.0.2” para verificar la comunicación entre el PLC y el ordenador.
- PASO 7:** Cargar la programación al PLC.
- PASO 8:** En el programa UNITY\_PLC\_2 En el bloque de programa cyclic interrupt segmento 3 accedemos a la ventana de configuración del bloque PID\_COMPACT dando click donde muestra la figura, y seleccionamos la pestaña parámetros PID.



**PASO 9:** Para cambiar los valores y cargar al PLC debemos parar el CPU (flecha roja) y verificar que la opción observar todo esté deshabilitada (flecha amarilla) para garantizar la carga de los nuevos valores.



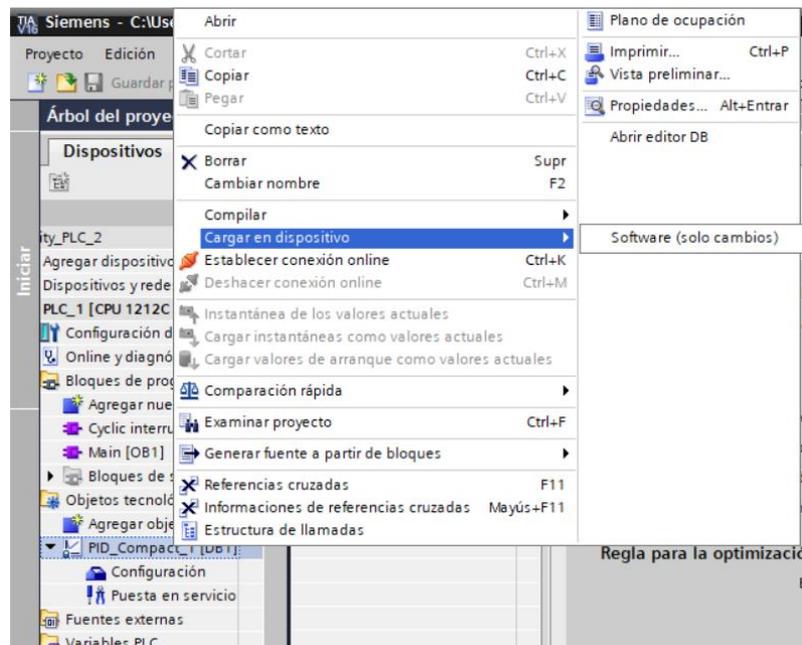
**PASO 10:** Seleccione los valores de un método de sintonización y cambie en el TIA Portal.

<b>MÉTODO DE SINTONIZACIÓN ZIEGLER Y NICHOLS</b>	
<b>Ganancia proporcional</b>	<b>1.25</b>
<b>Tiempo de integración</b>	<b>5.0</b>
<b>Tiempo derivativo</b>	<b>0.008</b>

MÉTODO DE SINTONIZACIÓN COHEN Y COON	
<b>Ganancia proporcional</b>	<b>2.4</b>
<b>Tiempo de integración</b>	<b>5.05</b>
<b>Tiempo derivativo</b>	<b>0.95</b>

MÉTODO DE SINTONIZACIÓN SMITH Y CORRIPIO	
<b>Ganancia proporcional</b>	<b>0.58</b>
<b>Tiempo de integración</b>	<b>17.0</b>
<b>Tiempo derivativo</b>	<b>4.25</b>

**PASO 11:** Para cargar al PLC los cambios ubicamos la pestaña árbol del dispositivo, damos click derecho en PID\_Compact\_1[DB1] ubicamos el puntero en cargar en dispositivo y seleccionamos Software (solo cambios).



## 2.5. ACTIVIDADES A DESARROLLAR

### COMUNICACIÓN SERIAL

1. Ingresamos los valores correspondientes al método Ziegler y Nichols y cargamos al Plc.
2. Ejecutamos la aplicación Pid\_Gases ubicado en el USB PID\_CONTROL, abra la carpeta EJECUTABLES luego COMUNICACIÓN\_SERIAL seleccionamos el puerto COM y presionamos conectar.
3. Para iniciar el proceso de control en el PLC presionamos el pulsador verde.

4. En el cuadro de Set Point Ingresar 0 PSI y esperar que se estabilice (rango del Set Point 0 – 25 PSI)
5. Llenar la siguiente tabla de acuerdo a los valores requeridos.

<b>MÉTODO DE SINTONIZACIÓN DE ZIEGLER Y NICHOLS</b>	
<b>SET POINT (PSI)</b>	<b>TIEMPO DE ESTABILIZACIÓN (s)</b>
<b>DE 0 A 5</b>	
<b>DE 0 A 10</b>	
<b>DE 0 A 15</b>	
<b>DE 0 A 20</b>	
<b>DE 0 A 25</b>	

6. Repetir los pasos 1, 2, 3, 4, 5, con los valores del método de Cohen y Coon y el método de Smith y Corripio y llenar las tablas correspondientes.

<b>MÉTODO DE SINTONIZACIÓN DE COHEN Y COON</b>	
<b>SET POINT (PSI)</b>	<b>TIEMPO DE ESTABILIZACIÓN (s)</b>
<b>DE 0 A 5</b>	
<b>DE 0 A 10</b>	
<b>DE 0 A 15</b>	
<b>DE 0 A 20</b>	
<b>DE 0 A 25</b>	

<b>MÉTODO DE SINTONIZACIÓN DE SMITH Y CORRIPIO</b>	
<b>SET POINT (PSI)</b>	<b>TIEMPO DE ESTABILIZACIÓN (s)</b>
<b>DE 0 A 5</b>	
<b>DE 0 A 10</b>	
<b>DE 0 A 15</b>	
<b>DE 0 A 20</b>	
<b>DE 0 A 25</b>	

## COMUNICACIÓN TCP/IP

1. Ingresamos los valores correspondientes al método Ziegler y Nichols y cargamos al Plc.
2. Ejecutamos la aplicación Pid\_Gases ubicado en el PID\_CONTROL, abra la carpeta EJECUTABLES luego COMUNICACIÓN\_TCP\_IP seleccionamos el puerto COM y presionamos conectar.
3. Para iniciar el proceso de control en el PLC presionamos el pulsador verde.
4. En el cuadro de Set Point Ingresar 0 PSI y esperar que se estabilice (rango del Set Point 0 – 25 PSI)
5. Llenar la siguiente tabla de acuerdo a los valores requeridos.

<b>MÉTODO DE SINTONIZACIÓN DE ZIEGLER Y NICHOLS</b>	
<b>SET POINT (PSI)</b>	<b>TIEMPO DE ESTABILIZACIÓN (s)</b>
<b>DE 0 A 5</b>	
<b>DE 0 A 10</b>	
<b>DE 0 A 15</b>	
<b>DE 0 A 20</b>	
<b>DE 0 A 25</b>	

6. Repetir los pasos 1, 2, 3, 4, 5, con los valores del método de Cohen y Coon y el método de Smith y Corripio y llenar las tablas correspondientes.

<b>MÉTODO DE SINTONIZACIÓN DE COHEN Y COON</b>	
<b>SET POINT (PSI)</b>	<b>TIEMPO DE ESTABILIZACIÓN (s)</b>
<b>DE 0 A 5</b>	
<b>DE 0 A 10</b>	
<b>DE 0 A 15</b>	
<b>DE 0 A 20</b>	
<b>DE 0 A 25</b>	

<b>MÉTODO DE SINTONIZACIÓN DE SMITH Y CORRIPIO</b>	
<b>SET POINT (PSI)</b>	<b>TIEMPO DE ESTABILIZACIÓN (s)</b>
<b>DE 0 A 5</b>	
<b>DE 0 A 10</b>	
<b>DE 0 A 15</b>	
<b>DE 0 A 20</b>	
<b>DE 0 A 25</b>	

**NOTA:** en el caso de requerir observar el procedimiento mediante la comunicación serial en otras computadoras ejecute la aplicación Pid\_Gases ubicada en el USB PID\_CONTROL, abra la carpeta EJECUTABLES luego VISUALIZADOR\_TCP\_IP.

- 7. Describa un proceso real en el que pueda ser usado el control de presión y seleccione un método de sintonización adecuado justifique su respuesta.**

---



---



---

### **3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **3.1. ANÁLISI DE RESULTADOS**

Para la validación y comparación de resultados presentamos los valores obtenidos en el proceso de desarrollo del entorno virtual.

#### **COMUNICACIÓN SERIAL**

- Método de sintonización Ziegler Nichols

<b>SET POINT(PSI)</b>	<b>TIEMPO DE ESTABILIZACIÓN</b>
<b>DE 0 A 5</b>	<b>14.41s</b>
<b>DE 0 A 10</b>	<b>13.98s</b>
<b>DE 0 A 15</b>	<b>13.43s</b>
<b>DE 0 A 20</b>	<b>14.80s</b>
<b>DE 0 A 25</b>	<b>14.79s</b>

- Método de sintonización Cohen y Coon

<b>SET POINT (PSI)</b>	<b>TIEMPO DE ESTABILIZACIÓN</b>
<b>DE 0 A 5</b>	<b>11.70s</b>
<b>DE 0 A 10</b>	<b>11.57s</b>
<b>DE 0 A 15</b>	<b>12.14s</b>
<b>DE 0 A 20</b>	<b>19.44s</b>
<b>DE 0 A 25</b>	<b>22.02s</b>

- Método de sintonización Smith y Corripio

<b>SET POINT (PSI)</b>	<b>TIEMPO DE ESTABILIZACIÓN</b>
<b>DE 0 A 5</b>	<b>60.51s</b>
<b>DE 0 A 10</b>	<b>61.57s</b>
<b>DE 0 A 15</b>	<b>64.47s</b>
<b>DE 0 A 20</b>	<b>66.45s</b>
<b>DE 0 A 25</b>	<b>72.12s</b>

#### **COMUNICACIÓN TCP/IP**

- Método de sintonización Ziegler Nichols

<b>SET POINT (PSI )</b>	<b>TIEMPO DE ESTABILIZACIÓN</b>
<b>DE 0 A 5</b>	<b>14.41s</b>

<b>DE 0 A 10</b>	<b>13.98s</b>
<b>DE 0 A 15</b>	<b>13.43s</b>
<b>DE 0 A 20</b>	<b>14.80s</b>
<b>DE 0 A 25</b>	<b>14.79s</b>

- Método de sintonización Cohen y Coon

<b>SET POINT (PSI)</b>	<b>TIEMPO DE ESTABILIZACIÓN</b>
<b>DE 0 A 5</b>	<b>11.70s</b>
<b>DE 0 A 10</b>	<b>11.57s</b>
<b>DE 0 A 15</b>	<b>12.14s</b>
<b>DE 0 A 20</b>	<b>19.44s</b>
<b>DE 0 A 25</b>	<b>22.02s</b>

- Método de sintonización Smith y Corripio

<b>SET POINT (PSI)</b>	<b>TIEMPO DE ESTABILIZACIÓN</b>
<b>DE 0 A 5</b>	<b>60.51s</b>
<b>DE 0 A 10</b>	<b>61.57s</b>
<b>DE 0 A 15</b>	<b>64.47s</b>
<b>DE 0 A 20</b>	<b>66.45s</b>
<b>DE 0 A 25</b>	<b>72.12s</b>

#### **4 CONCLUSIONES**

En el entorno virtual de control de presión de aire generado en Unity 3D podemos observar de manera gráfica el comportamiento de distintos métodos de sintonización y así comprenderlos de mejor manera.

El método de Smith y Corripio es el método mas lento de los comparados, pero esto lo hace el método más exacto ya que no tiene sobre impulsos y podría ser usado para procesos en los que el tiempo no es tan importante como la precisión.

#### **5 RECOMENDACIONES**

Verificar que exista una comunicación entre el PLC y nuestra PC para no tener inconvenientes al momento de compilar y cargar el programa

Antes de iniciar el ejecutable de Unity en la comunicación TCP/IP asegurarse que el PLC esté conectado para evitar problemas en el equipo.

#### **6 BIBLIOGRAFÍA**

<https://issuu.com/jazinaruizhernandez/docs/unidad3.metodosdesintonizaciondecon>

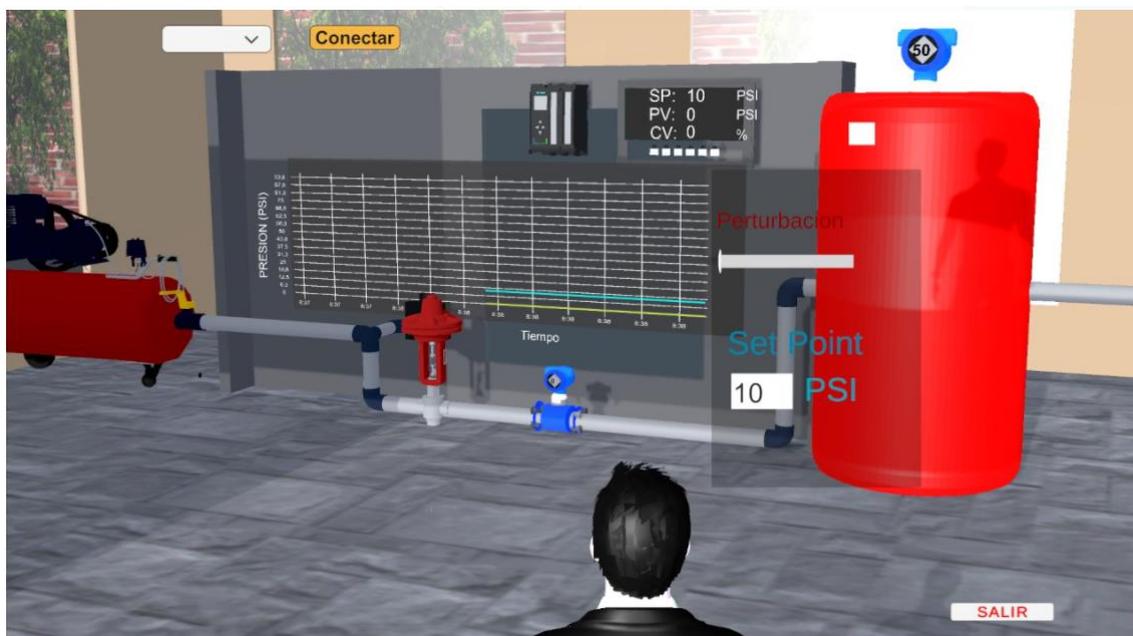
<https://pdfs.semanticscholar.org/4318/a2e423d8840ae4ae5004e895a1f35497ceba.pdf>

ANEXO

MANUAL DE OPERACIÓN – ENTORNO VIRTUAL 3D PARA  
EL CONTROL DE PRESIÓN DE UN SISTEMA DE AIRE  
COMPRIMIDO



## MANUAL DE USO PARA EL ENTORNO VIRTUAL 3D PARA EL CONTROL DE PRESIÓN DE UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO



Antes de manipular el entorno virtual 3D para el control de presión de un sistema de aire comprimido debe leer detalladamente el manual de uso.

En el presente manual contiene la información de todas las características del entorno virtual 3D para el control de presión de un sistema de aire comprimido, componentes, conexiones y el uso correcto de su funcionamiento es por eso que debe ser leído antes de manipularlo.

## 1. DESCRIPCIÓN

Este entorno virtual consta de dos partes, el módulo de comunicación y el entorno virtual generado en Unity con el objetivo de realizar prácticas de control PID aplicando tres tipos de técnicas de sintonización de los siguientes autores Ziegler y Nichols, Cohen y Coon, Smith y Corripio.

### Características

Módulo de comunicación



Este módulo de comunicación está diseñado para comunicar el entorno virtual de control de presión generado en Unity con el PLC S7-1200 de Siemens, consta de una entrada analógica (CV) que controla el actuador del entorno virtual de control presión de aire comprimido, dos salidas analógicas que ingresan al

PLC S7-1200 como variables del proceso de control, SP es el Set Point que de forma manual se ingresa en el entorno virtual en un rango de 0 a 25 PSI representa la presión a la que se desea que el sistema se estabilice, PV es la presión a la que se encuentra el sistema en tiempo real, la entrada y salidas están acompañadas de sus GND respectivamente.

Componentes:

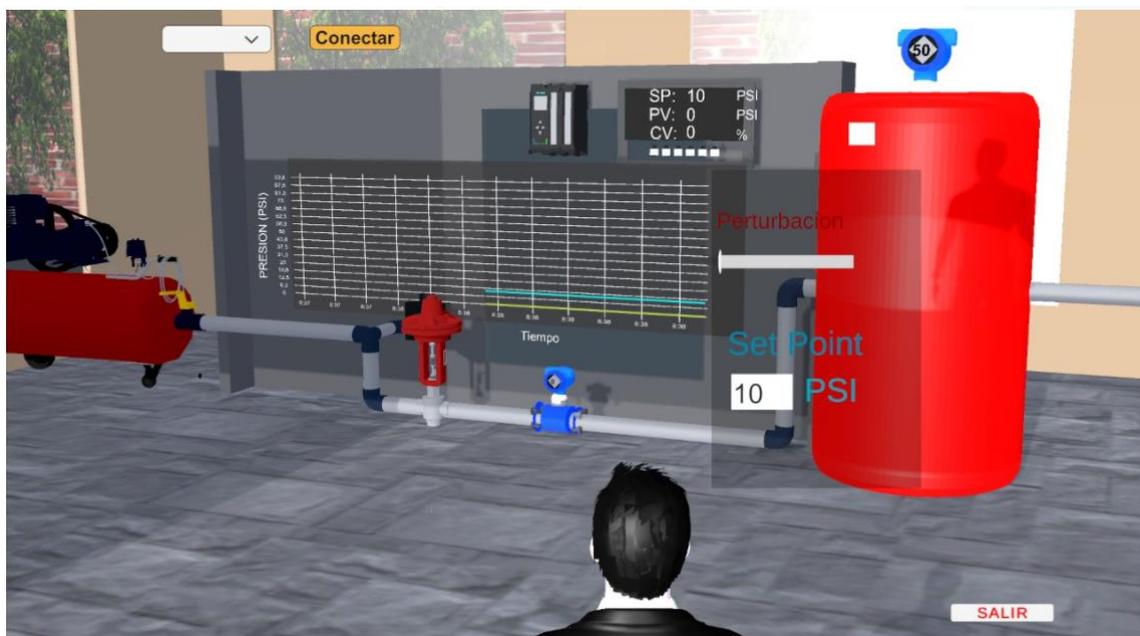
Arduino nano

Convertidor de señal digital – análogo MCP-4725

Placa base del circuito

Conectores tipo banana hembra de seguridad

### Entorno virtual de control de presión de aire comprimido



El software generado en Unity simula un entorno donde se realiza el proceso de control de aire comprimido, podemos dar valores de Set Point, por medio del módulo de comunicación llegará al elemento controlador al igual que la presión en tiempo real medido por el sensor implementado, también se puede manipular la perturbación con la apertura o cierre de una válvula manual al final del sistema de aire comprimido, este entorno permite observar el comportamiento que tiene la técnica de control PID de acuerdo a 3 diferentes tipos de sintonización.

Dentro del entorno virtual nos podemos mover por medio de las siguientes teclas

TECLA	ACCIÓN
W	Controla el movimiento de la cámara hacia arriba
A	Controla el movimiento de la cámara hacia la izquierda
S	Controla el movimiento de la cámara hacia abajo
D	Controla el movimiento de la cámara hacia la derecha
B	Permite al personaje agacharse
←↑→↓	Controla el movimiento y giro del personaje
Mouse	Controla la posición de la perturbación

## 2. EJECUCIÓN DEL SOFTWARE

Para utilizar el entorno virtual 3D para el control de presión de un sistema de aire comprimido no hace falta la instalación de ningún software adicional basta con configurar el PLC s7-1200 con la siguiente dirección IP P 192.168.0.2

El entorno virtual cuenta con dos modos de comunicación:

Serial.

Para este tipo de comunicación nos hace falta acoplar al PLC S7-1200 el módulo de salidas analógicas SB 1232 AQ 1x12BIT\_1 Referencia: 6ES7 232- 4HA30-0XB0.

TCP/IP.

Para este tipo de comunicación no necesitamos acoplar el módulo de salidas analógicas al PLC S7-1200. La principal característica de este tipo de conexión es que se puede duplicar las pantallas de visualización en varias computadoras conectadas a la misma red Ethernet.

### Ejecución

## 3. REQUISITOS PARA UTILIZAR EL MÓDULO

Para la correcta ejecución del entorno virtual se requiere verificar las características del computador donde se pretende ejecutar el software.

Como características básicas se recomienda las siguientes

- Procesador Core i3 o superior.
- Arquitectura 32 o 64 bits
- Memoria RAM 4 Gb o superior

Para completar el desarrollo del manual del uso del entorno virtual con éxito se debe completar los siguientes requisitos:

- Leer el manual de uso para el usuario antes de manipular el entorno virtual.
- Tener conocimientos básicos sobre automatización y control, manipulación de componentes eléctricos y programación básica en Tia Portal V16
- Disponer de 1 módulo de PLC.
- Disponer de 1 computador instalado Tia Portal V16.
- Cables de conexión.
- Destornillador plano tipo bornera.
- Poseer las guías de prácticas correspondientes.

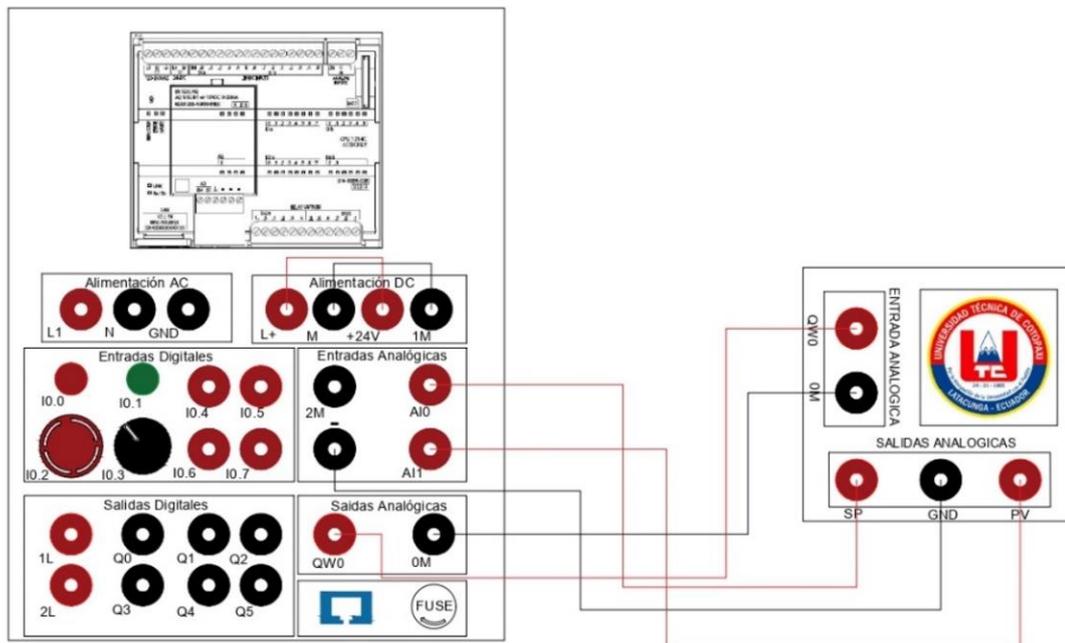
#### **4. MANIPULACIÓN DE MÓDULO**

- Colocar el módulo de comunicación sobre una superficie plana y estable para su manipulación y conexión.
- Utilizar cables cubiertos con aislantes y de preferencia con terminales jumper que calcen sobre los terminales.
- Primero realizar todas las conexiones y luego de que se esté seguro conectar el módulo de comunicación a la computadora.

#### **5. CONEXIÓN DEL MÓDULO DE COMUNICACIÓN CON EL CONTROLADOR.**

Comunicación serial

Para el correcto funcionamiento es necesario realizar estas conexiones entre el módulo de comunicación y el controlador



### Datos importantes

En el caso de tener un defecto en el Arduino del módulo de comunicación siga los siguientes pasos:

Desconecte el módulo de comunicación del ordenador

- Desconecte todos los cables de los terminales de entrada y salida analógica del módulo de comunicación
- Retire los 4 tornillos que aseguran la tapa del módulo de comunicación.
- Retire el Arduino Nano
- Conecte un nuevo Arduino Nano a un computador con el software Arduino IDE instalado.
- Diríjase a la carpeta Arduino y ubique el archivo Arduino\_PLc y cárguelo
- Coloque el nuevo Arduino en el módulo de comunicación
- Coloque la tapa y tornillos.

En el caso de tener un defecto en los convertidores de señal digital –del módulo de comunicación siga los siguientes pasos:

- Desconecte el módulo de comunicación del ordenador
- Desconecte todos los cables de los terminales de entrada y salida analógica del módulo de comunicación
- Retire los 4 tornillos que aseguran la tapa del módulo de comunicación.
- Retire y reemplace los Mcp 4725
- Coloque la tapa y tornillos de sujeción.

En caso de avería de la placa base del módulo de comunicación diríjase a la carpeta “COMUNICACION” en esta carpeta están todos los documentos necesarios para la impresión 3D y diagrama del circuito del módulo.

